



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 132 960.1**

(22) Anmeldetag: **19.12.2018**

(43) Offenlegungstag: **25.06.2020**

(51) Int Cl.: **H05H 1/34 (2006.01)**

(71) Anmelder:
Plasmatreat GmbH, 33803 Steinhagen, DE

(74) Vertreter:
**COHAUSZ & FLORACK Patent- und
Rechtsanwälte Partnerschaftsgesellschaft mbB,
40211 Düsseldorf, DE**

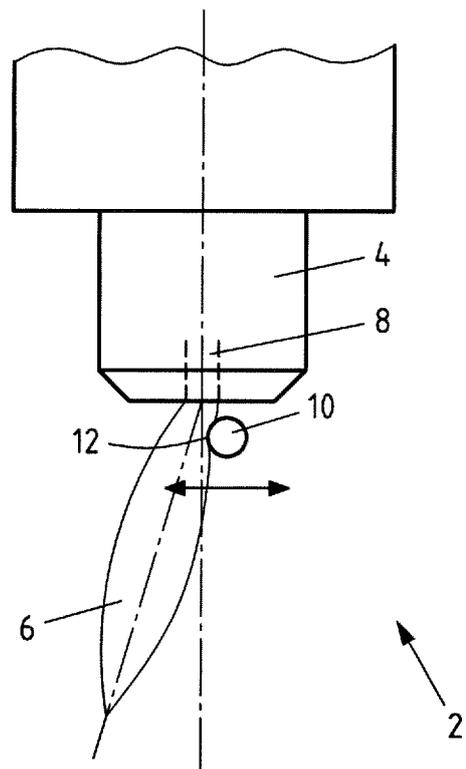
(72) Erfinder:
**Asad, Syed Selman, 33613 Bielefeld, DE; Herlth,
Matthias, 33615 Bielefeld, DE; Buske, Christian,
33619 Bielefeld, DE**

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur Behandlung einer Werkstückoberfläche mit einem atmosphärischen Plasmastrahl**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (2, 2', 2'', 2''', 3) zur Behandlung einer Werkstückoberfläche (18), mit einer Plasmadüse (4, 4', 4'', 4'''), die zur Erzeugung eines atmosphärischen Plasmastrahls (6) eingerichtet ist, wobei die Plasmadüse (4, 4', 4'', 4''') eine Düsenöffnung (8) aufweist, aus der im Betrieb ein atmosphärischer Plasmastrahl (6) austritt, wobei im Bereich der Düsenöffnung (8) ein Ablenkelement (10, 10', 10'', 10''', 11) mit einer konvex gekrümmten Kontaktfläche (12) derart positioniert ist, dass der Plasmastrahl (6) beim Betrieb der Plasmadüse (4, 4', 4'', 4''') mit der Kontaktfläche (12) des Ablenkelements (10, 10', 10'', 10''', 11) wechselwirkt, insbesondere diese streift. Die Erfindung betrifft weiter ein Verfahren zur Behandlung einer Werkstückoberfläche (18) mit einer solchen Vorrichtung (2, 2', 2'', 2''', 3).



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Behandlung einer Werkstückoberfläche, mit einer Plasmadüse, die zur Erzeugung eines atmosphärischen Plasmastrahls eingerichtet ist, wobei die Plasmadüse eine Düsenöffnung aufweist, aus der im Betrieb ein atmosphärischer Plasmastrahl austritt. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Behandlung einer Werkstückoberfläche mit einer solchen Vorrichtung.

[0002] Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Düsenanordnungen bekannt, durch die ein in der Plasmadüse erzeugter Plasmastrahl geleitet werden kann, um dessen Richtung, Form oder räumliche Verteilung zu beeinflussen. So ist zum Beispiel aus der EP 1 236 380 A1 eine Düsenanordnung bekannt, mit der der Plasmastrahl breit aufgefächert wird. Weiterhin ist aus der DE 10 2016 125 699 eine Düsenanordnung bekannt, mit der der Plasmastrahl in eine Vielzahl von Teilstrahlen aufgeteilt werden kann, mit denen eine größerer Bereich einer Oberfläche beaufschlagt werden kann. Derartige Düsenanordnungen können einteilig mit der Plasmadüse oder als Aufsatz für eine Plasmadüse ausgebildet sein, wobei der aus der Plasmadüse austretende Aufsatz direkt in die Düsenanordnung eingeleitet wird.

[0003] Weiter sind zum Beispiel aus EP 1 067 829 A1 und der DE 10 2015 121 252 A1 Düsenanordnungen mit gegenüber der Plasmadüsenachse abgewinkelter Düsenöffnung bekannt, so dass der Plasmastrahl schräg aus der Plasmadüse austritt. Durch Rotation der Plasmadüse kann ein größerer Bereich der zu behandelnden Oberfläche beaufschlagt werden. Wird eine solche rotierende Plasmadüse entlang einer Werkstückoberfläche bewegt, kann auf diese Weise eine relativ breite Behandlungsspur erzeugt werden. Allerdings ergeben sich bei einer solchen Art der Behandlung Unterschiede in der Intensität der Plasmabehandlung auf der Werkstückoberfläche. In der DE 10 2015 121 252 A1 wird dieser Effekt im Einzelnen beschrieben. Um diesem Effekt entgegenzuwirken, wird in der DE 10 2015 121 252 A1 vorgeschlagen, zusätzlich eine die Düsenanordnung umgebende Abschirmung vorzusehen, die mit dem Plasmastrahl wechselwirkt und diesen vergleichmäßig.

[0004] Wie die zuvor beschriebenen Beispiele zeigen, basieren bisherige Maßnahmen zur Beeinflussung der Form, Richtung bzw. Verteilung des Plasmastrahls im Wesentlichen darauf, den zur Düsenöffnung führenden Kanal bzw. die Düsenöffnung geeignet zu formen und auszurichten. Dies hat den Nachteil, dass die Düsenanordnungen abhängig von der geplanten Beeinflussung konstruktiv komplex gestaltet sein können, die Art bzw. der Grad der Beeinflussung nicht oder nur in aufwändiger Weise verändert

werden kann und der Plasmastrahl durch einen längeren Kontakt mit Wandungen der Düsenanordnung recht viel Energie verliert.

[0005] Vor diesem Hintergrund liegt der folgenden Erfindung die technische Aufgabe zugrunde, eine alternative Möglichkeit zur Beeinflussung der Form, Richtung und/oder Verteilung des Plasmastrahls bereitzustellen, die die zuvor beschriebenen Probleme möglichst reduziert.

[0006] Diese Aufgabe wird bei einer Vorrichtung zur Behandlung einer Werkstückoberfläche, mit einer Plasmadüse, die zur Erzeugung eines atmosphärischen Plasmastrahls eingerichtet ist, wobei die Plasmadüse eine Düsenöffnung aufweist, aus der im Betrieb ein atmosphärischer Plasmastrahl austritt, erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass im Bereich der Düsenöffnung ein Ablenkelement mit einer konvex gekrümmten Kontaktfläche derart positioniert ist, dass der Plasmastrahl beim Betrieb der Plasmadüse mit der Kontaktfläche des Ablenkelements wechselwirkt, insbesondere diese streift.

[0007] Es wurde festgestellt, dass sich die Form, die Richtung und/oder die räumliche Verteilung des im Betrieb aus der Plasmadüse austretenden atmosphärischen Plasmastrahls beeinflussen lässt, indem der Plasmastrahl mit einer konvex gekrümmten Kontaktfläche eines Ablenkelements in Wechselwirkung gebracht wird. Abhängig von der Krümmung der Kontaktfläche wurde eine Ablenkung des Plasmastrahls in eine Richtung von der Kontaktfläche weg oder zur Kontaktfläche hin beobachtet. Auf diese Weise kann insbesondere die ursprüngliche Strahlrichtung des Plasmastrahls geändert wird.

[0008] Damit es zu dieser Wechselwirkung kommt, ragt ein Teil der konvex gekrümmten Kontaktfläche des Ablenkelements in den im Betrieb aus der Düsenöffnung austretenden Plasmastrahl hinein. Die der Erfindung zu Grunde liegende Erkenntnis liegt insbesondere darin, dass konvex gekrümmte Kontaktflächen einen Plasmastrahl ablenken. Daher kann die beschriebene Vorrichtung dazu verwendet werden, den Plasmastrahl beim oder nach dem Ausströmen aus der Düsenöffnung räumlich zu modellieren bzw. dessen Richtung zu beeinflussen, was es zum Beispiel ermöglicht eine gewünschte Intensitätsverteilung des Plasmastrahls auf einer Oberfläche zu erreichen.

[0009] Gegenüber der Beeinflussung bzw. einer Richtungsänderung des Plasmastrahls mittels eines gekrümmten Düsenkanals hat die Verwendung eines Ablenkelements verschiedene Vorteile.

[0010] Anders als ein gekrümmter Düsenkanal ist ein Ablenkelement mit einer konvex gekrümmten Kontaktfläche typischerweise konstruktiv einfacher

herzustellen und kann zur Erreichung der gewünschten Ablenkung des Plasmastrahls flexibler angeordnet werden. Weiterhin ermöglicht ein solches Ablenkelement einen kompakteren Aufbau der Plasmadüse. Dadurch kann die Vorrichtung besser dazu eingesetzt werden, um schwer zugängliche Bereiche einer Werkstückoberfläche, beispielsweise Nischen oder Bereiche unter Überhängen, mit einem Plasmastrahl zu behandeln.

[0011] Ein weiterer Vorteil ist es, dass der Plasmastrahl nur über eine kurze Strecke und vorzugsweise nur am Rand in Bezug auf seinen Querschnitt mit der konvex gekrümmte Kontaktfläche des Ablenkelements wechselwirkt, insbesondere diese lediglich streift. Dies hat deutlich weniger Energieverlust des Plasmastrahls zur Folge als beispielsweise eine Plasmastrahlablenkung durch einen Kanal oder ein Reflektorelement zum Beispiel in Form einer Abschirmung. Daher kann bei Verwendung der oben genannten Vorrichtung bei gleicher Plasmaleistung eine intensivere Oberflächenbehandlung erreicht werden.

[0012] Das Ablenkelement kann dauerhaft mit der Plasmadüse verbunden sein, beispielsweise verklebt. Alternativ kann das Ablenkelement auch abnehmbar an der Plasmadüse angebracht sein, was einen Austausch und/oder eine Ausrichtung des Ablenkelements ermöglicht.

[0013] Das Ablenkelement kann derart positioniert sein, dass es durchgehend mit einem aus der Düsenöffnung austretenden Plasmastrahl wechselwirkt. Alternativ kann das Ablenkelement auch derart positioniert sein, dass es zeitweise mit dem Plasmastrahl wechselwirkt, insbesondere wenn sich die Düsenöffnung relativ zum Ablenkelement bewegt. Beispielsweise ist es denkbar, dass die Düsenöffnung rotiert und das Ablenkelement derart positioniert ist, dass der aus der Düsenöffnung austretende Plasmastrahl das Ablenkelement lediglich bei bestimmten Positionen der Düsenöffnung streift. Auf diese Weise kann die Beeinflussung des Plasmastrahls abhängig von der Position der Düsenöffnung erfolgen.

[0014] Die oben genannte Aufgabe wird weiterhin erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Behandlung einer Werkstückoberfläche mit der zuvor beschriebenen Vorrichtung, bei dem mit der Plasmadüse ein atmosphärischer Plasmastrahl erzeugt wird, der aus der Düsenöffnung der Plasmadüse austritt, wobei der Plasmastrahl mit der Kontaktfläche des Ablenkelements wechselwirkt, insbesondere diese streift, und bei dem der Plasmastrahl auf die zu behandelnde Werkstückoberfläche gerichtet wird.

[0015] Durch das oben genannte Verfahren kann der zur Behandlung der Werkstückoberfläche verwendete Plasmastrahl gezielt beeinflusst werden, beispielsweise gleichmäßig gemacht werden. Aufgrund der

beschriebenen Modellierbarkeit des Plasmastrahls, insbesondere seiner räumlichen Verteilung und damit seiner Intensität kann zudem erreicht werden, den Plasmastrahl punktgenau auf bestimmte Bereiche einer Werkstückoberfläche zu richten oder die Plasmabehandlung der Werkstückoberfläche zu homogenisieren.

[0016] Im Rahmen dieser Beschreibung wird unter einer Behandlung einer Werkstückoberfläche mit einem Plasmastrahl insbesondere eine Oberflächenvorbehandlung verstanden, durch die die Oberflächenspannung verändert und eine bessere Benetzbarkeit der Werkstückoberfläche mit Fluiden erreicht wird. Unter einer Behandlung der Werkstückoberfläche wird weiterhin auch eine Oberflächenbeschichtung verstanden, insbesondere indem durch Zugabe von mindestens einem Precursor in den Plasmastrahl eine Oberflächenbeschichtung durch eine im Plasmastrahl und/oder auf der Werkstückoberfläche stattfindende chemische Reaktion erreicht wird, wobei zumindest ein Teil der chemischen Produkte abgeschieden wird. Unter einer Behandlung einer Werkstückoberfläche wird weiterhin auch eine Reinigung, Desinfizierung oder Sterilisierung der Werkstückoberfläche verstanden.

[0017] Im Folgenden werden verschiedene Ausführungsformen der Vorrichtung und des Verfahrens beschrieben, wobei die einzelnen Ausführungsformen jeweils unabhängig voneinander für die Vorrichtung und das Verfahren gelten. Darüber hinaus sind die Ausführungsformen untereinander kombinierbar.

[0018] Bei einer Ausführungsform besteht das Ablenkelement aus einem elektrisch isolierenden Material, insbesondere aus Glas oder Keramik. Es wurde festgestellt, dass auf diese Weise der Energieverlust des Plasmastrahls durch die Wechselwirkung mit dem Ablenkelement reduziert werden kann. Darüber hinaus weisen insbesondere Glas oder Keramik eine gute Robustheit bzw. Inertheit gegenüber dem Einfluss eines Plasmastrahls auf. Glas oder Keramik sind darüber hinaus hitzebeständig. Das Ablenkelement kann vollständig aus einem elektrisch isolierenden Material, wie zum Beispiel Glas oder Keramik, bestehen oder alternativ mit einem solchen Material beschichtet sein.

[0019] Bei einer weiteren Ausführungsform ist das Ablenkelement stabförmig ausgebildet, insbesondere in Form eines Zylinders oder Mehrkantstabs. Das Ablenkelement kann beispielsweise die Form eines Zylinders, Rohres, Vierkantstabs, Sechskantstabs oder eine andere Stabform aufweisen, bei der eine konvex gekrümmte Kontaktfläche vorgesehen ist. Bei einem zylinder- bzw. rohrförmigen Stab ist die gesamte Außenfläche konvex gekrümmt, so dass jeder Abschnitt der Außenfläche als Kontaktfläche eingesetzt werden kann. Bei einem Mehrkantstab bildet

eine Kante eine konvex gekrümmte Kontaktfläche, typischerweise mit sehr kleinem Krümmungsradius. Es sind sowohl Massiv- als auch Hohlstäbe denkbar, wobei sich Hohlstäbe einfacher kühlen lassen, indem zum Beispiel ihr Inneres von einem Kühlmedium durchströmt werden kann.

[0020] Bei einer weiteren Ausführungsform erstreckt sich das Ablenkelement quer zur Richtung der Düsenöffnung. Unter der Richtung der Düsenöffnung wird die Richtung des letzten Abschnitts des Innenkanals der Plasmadüse zur Düsenöffnung verstanden, die die Richtung des aus der Düsenöffnung austretenden Plasmastrahls vorgibt, wenn dieser nicht durch das Ablenkelement beeinflusst würde. Bei der oben genannten Ausführungsform erstreckt sich das Ablenkelement quer zu dieser Richtung. Auf diese Weise konnte eine starke Ablenkung des Plasmastrahls erreicht werden.

[0021] Bei einer weiteren Ausführungsform ist das Ablenkelement verstellbar ausgebildet, um die Positionierung des Ablenkelements zur Düsenöffnung zu verändern. Auf diese Weise kann die Beeinflussung des Plasmastrahls durch das Ablenkelement bedarfsgemäß eingestellt werden. Insbesondere lässt sich auf diese Weise die Größe der konvex gekrümmten Kontaktfläche des Ablenkelements, der im Betrieb mit dem Plasmastrahl wechselwirkt, beeinflussen. Die Größe der im Betrieb mit dem Plasmastrahl wechselwirkenden Kontaktfläche beeinflusst maßgeblich die Art und Intensität der Ablenkung des Plasmastrahls. Insbesondere der Ablenkwinkel, d.h. der Winkel zwischen der Richtung der Düsenöffnung und dem abgelenkten Plasmastrahl, ist von der Position des Ablenkelements zur Düsenöffnung abhängig.

[0022] Bei einer weiteren Ausführungsform weist die Kontaktfläche einen Krümmungsradius von höchstens 2 mm auf. Es hat sich herausgestellt, dass ein Plasmastrahl bei Wechselwirkung mit einer konvex gekrümmten Kontaktfläche mit einem Krümmungsradius von höchstens 2 mm von der Kontaktfläche weggebogen wird. Eine Kontaktfläche mit einem Krümmungsradius von höchstens 2 mm kann beispielsweise durch Verwendung eines zylinderförmigen Ablenkelements mit einem Durchmesser von höchstens 4 mm (d.h. mit einem Radius von höchstens 2 mm) erreicht werden.

[0023] Bei einer weiteren Ausführungsform weist die Kontaktfläche einen Krümmungsradius von mehr als 2 mm auf. Es hat sich herausgestellt, dass ein Plasmastrahl bei Wechselwirkung mit einer konvex gekrümmten Kontaktfläche mit einem Krümmungsradius von mehr als 2 mm zur Kontaktfläche hingebogen wird. Eine Kontaktfläche mit einem Krümmungsradius von mehr als 2 mm kann beispielsweise durch Verwendung eines zylinderförmigen Ablenkelements mit

einem Durchmesser von höchstens 4 mm (d.h. mit einem Radius von mehr als 2 mm) erreicht werden.

[0024] Mit der den beiden vorhergehenden Ausführungsformen zu Grunde liegenden Erkenntnis ist es mit der beschriebenen Vorrichtung möglich, einen Plasmastrahl abhängig vom Krümmungsradius der Kontaktfläche eines Ablenkelements in die gewünschte Richtungen zu lenken. Dies lässt sich für eine Vielzahl von Anwendungen und Möglichkeiten nutzen.

[0025] Bei einer weiteren Ausführungsform ist im Bereich der Düsenöffnung ein weiteres Ablenkelement mit einer konvex gekrümmter Kontaktfläche derart positioniert, dass der Plasmastrahl beim Betrieb der Plasmadüse mit der Kontaktfläche des weiteren Ablenkelements wechselwirkt, insbesondere diese streift. Durch die Verwendung mehrerer Ablenkelemente kann der Plasmastrahl von verschiedenen Seiten beeinflusst werden, wodurch eine gezieltere Beeinflussung der Richtung und/oder der Form des Plasmastrahls bzw. der bewirkten Behandlung auf der Oberfläche erreicht werden kann. Die Kontaktfläche des Ablenkelements und des weiteren Ablenkelements können den gleichen Krümmungsradius oder verschiedene Krümmungsradien aufweisen. Weiterhin sind auch mehr als zwei Ablenkelemente denkbar.

[0026] Bei einer weiteren Ausführungsform sind das Ablenkelement und das weitere Ablenkelement auf gegenüberliegenden Seiten der Düsenöffnung positioniert. Der Plasmastrahl tritt im Betrieb dann zwischen den beiden Ablenkelementen aus. Auf diese Weise kann der Plasmastrahl auf zwei gegenüberliegenden Seiten beeinflusst werden. Dies ist beispielsweise vorteilhaft, wenn die Vorrichtung relativ zu einer zu behandelnden Werkstückoberfläche bewegt wird. Durch entsprechende Ausrichtung der Bewegungsrichtung und dem Verlauf der Ablenkelemente kann damit eine Beeinflussung des Plasmastrahls durch die Ablenkelemente entweder in Bewegungsrichtung oder quer dazu erreicht werden.

[0027] Bei Verwendung von Ablenkelementen, die den Plasmastrahl in Richtung deren jeweiliger Kontaktflächen biegen, lässt sich der Plasmastrahl in einer Ebene aufweiten. Bei Verwendung von Ablenkelementen, die den Plasmastrahl von deren jeweiligen Kontaktflächen wegbiegen, lässt sich der Plasmastrahl in einer Ebene fokussieren. Das Ablenkelement und das weitere Ablenkelement können beispielsweise parallel zueinander ausgerichtet sein.

[0028] Bei einer weiteren Ausführungsform sind das Ablenkelement und das weitere Ablenkelement derart an der Düsenöffnung positioniert, dass die Erstreckungsrichtung des Ablenkelements und die Erstreckungsrichtung des weiteren Ablenkelements in

einem Winkel zueinander verlaufen, vorzugsweise in rechtem Winkel. Diese Anordnung der Ablenkelemente ermöglicht es, weitere Beeinflussungen des Plasmastrahls zu realisieren. Wird die Vorrichtung zum Beispiel relativ zu einer zu behandelnden Werkstückoberfläche bewegt, so kann auf diese Weise zum Beispiel eine Beeinflussung des Plasmastrahls durch die Ablenkelemente sowohl in Bewegungsrichtung als auch quer dazu erreicht werden.

[0029] Bei einer weiteren Ausführungsform weisen die Kontaktfläche des Ablenkelements und die Kontaktfläche des weiteren Ablenkelements unterschiedliche Krümmungen auf. Wie vorhergehend beschrieben, bewirken unterschiedliche Krümmungen von Kontaktflächen unterschiedliche Ablenkungen eines Plasmastrahls bei Wechselwirkung des Plasmastrahls mit den jeweiligen Kontaktflächen. Durch die Verwendung von Ablenkelementen mit Kontaktflächen unterschiedlicher Krümmung kann der Plasmastrahl flexibel beeinflusst werden. Beispielsweise kann der Plasmastrahl in einer Ebene aufgeweitet und in einer anderen Ebene fokussiert werden.

[0030] Bei einer weiteren Ausführungsform weist die Plasmadüse einen im Betrieb um eine Rotationsachse rotierenden Düsenkopf auf, wobei der Düsenkopf die Düsenöffnung aufweist. Auf diese Weise kann der Plasmastrahl über eine größere Fläche verteilt werden. Die ein oder mehreren Ablenkelemente können so positioniert sein, dass deren Kontaktflächen durchgehend oder zeitweise, mit dem Plasmastrahl wechselwirken. Die Plasmadüse kann beispielsweise dazu eingerichtet sein, dass der Düsenkopf im Betrieb mit einer Rotationsgeschwindigkeit im Bereich von 1000 bis 5600 Umdrehungen pro Minute rotiert. Die Verwendung hoher Rotationsgeschwindigkeiten hat eine homogenere Verteilung des Plasmastrahls auf einer Fläche, beispielsweise einer Werkstückoberfläche zur Folge.

[0031] Bei einer weiteren Ausführungsform der Vorrichtung mit rotierendem Düsenkopf verläuft die Richtung der Düsenöffnung unter einem Winkel zur Rotationsachse, und das Ablenkelement ist derart positioniert, dass der Plasmastrahl bei einer vollen Umdrehung des Düsenkopfs um die Rotationsachse zumindest zeitweise, vorzugsweise lediglich zeitweise, mit der Kontaktfläche des Ablenkelements wechselwirkt. Da die Richtung der Düsenöffnung unter einem Winkel zur Rotationsachse verläuft, tritt der Plasmastrahl im Betrieb unter diesem Winkel aus der Düsenöffnung aus. In Kombination mit einer Rotation des Düsenkopfes um die Rotationsachse führt dies zu einem Plasmastrahl, der je nach momentaner Rotationsstellung des Düsenkopfes in unterschiedliche Raumrichtungen austritt.

[0032] Zusätzlich ist ein Ablenkelement mit einer konvex gekrümmten Kontaktfläche derart im Bereich

der Düsenöffnung positioniert, dass der Plasmastrahl bei einer vollen Rotationsumdrehung des Düsenkopfs um die Rotationsachse zumindest zeitweise mit der Kontaktfläche des Ablenkelements wechselwirkt. Aufgrund dieser Wechselwirkung wird der Plasmastrahl zumindest zeitweise abgelenkt, wobei die Ablenkrichtung wie oben beschrieben vom Krümmungsradius der Kontaktfläche abhängt. Auf diese Weise lässt sich der Plasmastrahl abhängig von der Rotationsstellung des Düsenkopfs beeinflussen. Dies ermöglicht es zum Beispiel, die Plasmabehandlung einer Oberfläche zu vergleichmäßigen, indem das bei einem rotierenden Plasmadüsenkopf auftretende Intensitätsminium des Plasmas in der Mitte der kreisförmigen Plasmaspur durch entsprechende Ablenkung des Plasmastrahls ausgeglichen wird.

[0033] Insbesondere kann das Ablenkelement so positioniert sein, dass der aus der rotierenden Plasmadüse austretende Plasmastrahl lediglich dann mit der Kontaktfläche des Ablenkelements wechselwirkt, wenn der Plasmastrahl in die entsprechende Raumrichtung des Ablenkelements gerichtet ist.

[0034] Bei einer weiteren Ausführungsform ist die Düsenöffnung des Düsenkopfes exzentrisch zur Rotationsachse angeordnet. Auf diese Weise kann die Behandlungsspur des Plasmastrahl auf der zu behandelnden Oberfläche weiter vergrößert werden.

[0035] Bei einer weiteren Ausführungsform ist das Ablenkelement drehfest am Düsenkopf positioniert. Bei einer drehfesten Positionierung des Ablenkelements am Düsenkopf findet bei Wechselwirkung zwischen der Kontaktfläche des Ablenkelements und dem Plasmastrahl eine kontinuierliche, d.h. ständige Ablenkung des Plasmastrahls statt. Da das Ablenkelement bei einer Rotation des Düsenkopfes mitdreht, dreht sich auch die Richtung, in der der Plasmastrahl durch das Ablenkelement abgelenkt wird. Auf diese Weise kann derselbe Effekt erreicht werden, wie bei einer unter einem Winkel zur Rotationsachse verlaufenden Düsenöffnung. Demgegenüber hat die Verwendung des Ablenkelements den Vorteil, dass der Kontakt des Plasmastrahls mit der Kanalwandung der Plasmadüse und damit der Energieverlust reduziert wird. Insbesondere kann die winklige Richtung des Plasmastrahls mit einer in Richtung der Plasmadüse verlaufenden Düsenöffnung erreicht werden. Weiterhin hat die Verwendung des Ablenkelements den Vorteil, dass der Düsenkopf kompakter ausgebildet werden kann als mit einer unter einem Winkel zur Rotationsachse verlaufenden Düsenöffnung, so dass mit dem Düsenkopf schwer zugängliche Bereiche eines Werkstücks besser erreicht werden können.

[0036] Die drehfeste Positionierung des Ablenkelements ist vorzugsweise derart verstellbar, dass die Kontaktfläche weiter zur Düsenöffnung bzw. davon

weg positioniert werden kann. Auf diese Weise kann der Ablenkwinkel bedarfsgemäß eingestellt werden. Zusätzlich oder alternativ ist die drehfeste Positionierung des Ablenkelements vorzugsweise derart verstellbar, dass der Winkel der konvexen Kontaktfläche zur Düsenöffnung eingestellt werden kann. Auf diese Weise kann ebenfalls Einfluss auf den Ablenkwinkel genommen werden.

[0037] Bei einer Ausführungsform des Verfahrens werden die Plasmadüse und die Werkstückoberfläche in einer Bewegungsrichtung relativ zueinander bewegt und das Ablenkelement ist auf der Seite der Düsenöffnung in oder entgegen der Bewegungsrichtung positioniert. Auf diese Weise kann der Plasmastrahl in der Ebene der Bewegungsrichtung beeinflusst werden, beispielsweise aufgeweitet, fokussiert oder vergleichmäßiggt werden.

[0038] Bei der Behandlung einer Werkstückoberfläche wird in der Regel ein flächiger Teil der Werkstückoberfläche behandelt. Zu diesem Zweck wird die zu behandelnde Werkstückoberfläche mit dem Plasmastrahl in der Regel in Bahnen abgerastert. Dies geschieht entweder durch ein Verfahren der Plasmadüse, durch ein Verfahren des Werkstücks oder durch ein kombiniertes Verfahren von Plasmadüse und Werkstück. Die Richtung der aus diesem Verfahren resultierenden Relativbewegung wird im Folgenden als Bewegungsrichtung bezeichnet.

[0039] Bei der Behandlung von Werkstückoberflächen mit einem Plasmastrahl können sich durch das Intensitätsprofil eines Plasmastrahls über seinen Querschnitt Unterschiede in der Intensität der Plasmabehandlung auf der Werkstückoberfläche ergeben, insbesondere quer zur Bewegungsrichtung. Bei Plasmabehandlungen mit rotierenden Düsenköpfen können Unterschiede in der Intensität der Plasmabehandlung insbesondere sowohl in als auch quer zur Bewegungsrichtung auftreten. Durch die Überlagerung der Rotation des Düsenkopfes und der Bewegung zwischen Plasmadüse und Werkstückoberfläche kommt es in der Behandlungsspur zu einer spiralförmigen Trajektorie des Plasmastrahls auf der Werkstückoberfläche. Dies führt insbesondere an den Rändern der Behandlungsspur (d.h. quer zur Behandlungsrichtung) zu einer Erhöhung der Behandlungsintensität. Weiterhin treten innerhalb der Behandlungsspur Intensitätsminima zwischen den einzelnen Spiralen der Trajektorie auf. Diese Effekte führen zu Inhomogenitäten der Plasmabehandlung auf der Werkstückoberfläche.

[0040] Zum Erreichen einer verbesserten Homogenität der Plasmabehandlung auf der Werkstückoberfläche hat es sich als besonders vorteilhaft erwiesen, ein Ablenkelement auf der Seite der Düsenöffnung in Bewegungsrichtung und/oder ein Ablenkelement auf der Seite der Düsenöffnung entgegen der Be-

wegungsrichtung zu positionieren. Auf diese Weise kann der Plasmastrahl in der Ebene der Bewegungsrichtung so beeinflusst werden, dass eine homogenere Behandlung erreicht wird. Insbesondere kann der Plasmastrahl in der Ebene der Bewegungsrichtung aufgeweitet werden, so dass ausgeprägten Intensitätsminima zwischen den einzelnen Spiralen der Trajektorie entgegengewirkt wird. Zu diesem Zweck ist der Krümmungsradius der Kontaktflächen vorzugsweise so bemessen, dass der Plasmastrahl zum jeweiligen Ablenkelement hingebogen wird. Insbesondere beträgt der Krümmungsradius der Kontaktfläche eines solchen Ablenkelements höchstens 2 mm.

[0041] Zum Erreichen einer verbesserten Homogenität der Plasmabehandlung auf der Werkstückoberfläche hat sich weiterhin als besonders vorteilhaft erwiesen, auf ein oder zwei Seiten der Düsenöffnung quer zur Bewegungsrichtung ein Ablenkelement zu positionieren. Auf diese Weise kann der Plasmastrahl in der Ebene quer zur Bewegungsrichtung so beeinflusst werden, dass eine homogenere Behandlung erreicht wird. Insbesondere kann der Plasmastrahl in der Ebene quer zur Bewegungsrichtung zur Mitte der Behandlungsspur abgelenkt werden, so dass Intensitätsmaxima am Rand der Behandlungsspur reduziert werden können. Zu diesem Zweck ist der Krümmungsradius der Kontaktflächen vorzugsweise so bemessen, dass der Plasmastrahl vom jeweiligen Ablenkelement weggebogen wird. Auf diese Weise wird der Plasmastrahl an den Rändern der Behandlungsspur zur Mitte gebogen, so dass die Intensitätsmaxima am Rand reduziert werden. Insbesondere beträgt der Krümmungsradius der Kontaktfläche eines solchen Ablenkelements mehr als 2 mm.

[0042] Bei einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens werden die beiden zuletzt beschriebenen Ausführungsformen kombiniert. Zu diesem Zweck werden vorzugsweise zwei Ablenkelemente auf der Seite der Düsenöffnung in und entgegen der Bewegungsrichtung positioniert und zwei weitere Ablenkelemente werden auf den Seiten der Düsenöffnung quer zur Bewegungsrichtung positioniert. Die Krümmungsradien der Kontaktflächen der Ablenkelemente auf den Seiten in und entgegen der Bewegungsrichtung sind vorzugsweise größer als die Krümmungsradien der Kontaktflächen der Ablenkelemente auf den Seiten quer zur Bewegungsrichtung.

[0043] Weitere Merkmale und Vorteile der Vorrichtung sowie des Verfahrens zur Behandlung einer Werkstückoberfläche mit einer solchen Vorrichtung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen, wobei auf die beigefügte Zeichnung Bezug genommen wird.

[0044] In der Zeichnung zeigen

Fig. 1a-b ein erstes Ausführungsbeispiel der Vorrichtung zur Behandlung einer Werkstückoberfläche,

Fig. 2a-b ein zweites Ausführungsbeispiel der Vorrichtung zur Behandlung einer Werkstückoberfläche,

Fig. 3a-c ein weiteres Ausführungsbeispiel der Vorrichtung und ein Ausführungsbeispiel des Verfahrens zur Behandlung einer Werkstückoberfläche,

Fig. 4a-c ein weiteres Ausführungsbeispiel der Vorrichtung und ein Ausführungsbeispiel des Verfahrens zur Behandlung einer Werkstückoberfläche,

Fig. 5a-c Darstellung der Behandlungspur und Intensitätsprofile bei rotierendem Düsenkopf,

Fig. 6 Versuchsergebnisse von Kontaktwinkelmessungen,

Fig. 7 eine Plasmadüse mit schräger Düsenöffnung und

Fig. 8 ein weiteres Ausführungsbeispiel der Vorrichtung zur Behandlung einer Werkstückoberfläche.

[0045] In der nachfolgenden Beschreibung verschiedener Ausführungsbeispiele werden einander entsprechende Bauteile zum Teil mit gleichen Bezugszeichen versehen, auch wenn die Bauteile bei den verschiedenen Ausführungsbeispielen in ihrer Dimension oder Form Unterschiede aufweisen können.

[0046] **Fig. 1a** und **Fig. 1b** zeigen ein erstes Ausführungsbeispiel der Vorrichtung **2** mit einer Plasmadüse **4**, die zum Erzeugen eines atmosphärischen Plasmastrahls **6** eingerichtet ist. Die Plasmadüse **4** weist eine Düsenöffnung **8** auf, aus der im Betrieb der Plasmastrahl **6** austritt. Im Bereich der Düsenöffnung **8** ist ein Ablenkelement **10** mit einer konvex gekrümmten Kontaktfläche **12** verstellbar angebracht. Beispielsweise kann das Ablenkelement **10** direkt oder über ein Halteelement (nicht dargestellt) mit der Plasmadüse verbunden sein. Das Ablenkelement **10** ist im vorliegenden Beispiel in Form eines zylindrischen Stabs ausgebildet. Die konvex gekrümmte Kontaktfläche **12** wird entsprechend von der Oberfläche des Stabes **10** gebildet. Die Erstreckungsrichtung des Ablenkelements **10** verläuft in die Papierebene hinein und das Material des Ablenkelements besteht aus einem elektrisch isolierenden Material, insbesondere Glas oder Keramik. Das Ablenkelement weist im vorliegenden Beispiel einen Krümmungsradius von höchstens 2 mm auf.

[0047] Im Vergleich zwischen **Fig. 1a** und **Fig. 1b** ist der Effekt der Ablenkung durch die Wechselwirkung von Plasmastrahl **6** und Kontaktfläche **12** erkennbar. In **Fig. 1a** ist das Ablenkelement **10** seitlich versetzt

vom Plasmastrahl **6** angeordnet, so dass die Kontaktfläche **12** und der Plasmastrahl **6** nicht miteinander wechselwirken. Der Plasmastrahl **6** verlässt die Düsenöffnung **8** in Richtung der Düsenöffnung **8**.

[0048] In **Fig. 1b** ist das Ablenkelement **10** nach links verschoben positioniert, so dass der Plasmastrahl **6** die Kontaktfläche **12** streift. Es wurde festgestellt, dass dadurch eine Ablenkung von dem Ablenkelements **10** weg stattfindet, wenn die konvex gekrümmte Kontaktfläche **12** des Ablenkelements **10** einen Krümmungsradius von höchstens 2 mm aufweist.

[0049] Ein ähnlicher Effekt ließe sich erzielen, wenn anstelle des zylindrischen Ablenkelements **10** die Kante eines Mehrkantstabes analog zu **Fig. 1b** mit dem Plasmastrahl **6** in Wechselwirkung gebracht wird. Die Kante des Mehrkantstabes entspricht einer Kontaktfläche **12** mit einem sehr kleinen Krümmungsradius von höchstens 2 mm.

[0050] **Fig. 2a** bis **Fig. 2b** zeigen ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung **2'**, wobei gegenüber den **Fig. 1a** bis **Fig. 1b** ein Ablenkelement **10''** mit einem größeren Krümmungsradius der konvex gekrümmten Kontaktfläche **12** verwendet wurde. Der Krümmungsradius beträgt nun mehr als 2 mm. **Fig. 2a** bietet ein ähnliches Bild wie **Fig. 1a**, da keine Wechselwirkung zwischen Plasmastrahl **6** und Kontaktfläche **12** stattfindet.

[0051] **Fig. 2b** zeigt, wie der Plasmastrahl **6** mit der Kontaktfläche **12** wechselwirkt, wobei die Kontaktfläche **12** einen Krümmungsradius von mehr als 2 mm aufweist. Es wurde festgestellt, dass sich der Plasmastrahl **6** in diesem Fall um das Ablenkelement **10''** herum legt, d.h. es findet eine Ablenkung des Plasmastrahls **6** in Richtung des Ablenkelements **10''** statt.

[0052] Auf diese Weise lässt sich der Plasmastrahl **6** durch Positionierung eines geeigneten Ablenkelements mit einer konvex gekrümmten Kontaktfläche im Bereich der Düsenöffnung **8** in gewünschter Weise beeinflussen, insbesondere ablenken.

[0053] Die **Fig. 3a** bis **Fig. 3c** zeigen ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung **2''** und ein Ausführungsbeispiel des Verfahrens zur Behandlung einer Werkstückoberfläche **18** mit der Vorrichtung **2''**. Die Plasmadüse **4'** (nur ausschnittsweise gezeigt) der Vorrichtung **2''** weist einen im Betrieb um eine Rotationsachse **14** rotierenden Düsenkopf **16** auf, wobei der Düsenkopf **16** die Düsenöffnung **8** aufweist. Die Düsenöffnung **8** verläuft unter einem Winkel zur Rotationsachse **14**, so dass der Plasmastrahl in Bezug auf die Rotationsachse **14** schräg aus der Düsenöffnung **8** austritt.

[0054] Weiter weist die Vorrichtung ein Ablenkelement **10** und ein weiteres Ablenkelement **10'** auf, wobei die beiden Ablenkelemente **10**, **10'** jeweils konvex gekrümmte Kontaktflächen **12** aufweisen, deren Krümmungsradius höchstens 2 mm beträgt. Im Betrieb wechselwirkt - abhängig von der Rotationsposition des Düsenkopfes **16** - zeitweise jeweils eine der Kontaktflächen **12** der Ablenkelemente **10**, **10'** mit dem Plasmastrahl **6**. Es findet weiter eine Relativbewegung zwischen der Vorrichtung **2''** und einer zu behandelnden Werkstückoberfläche **18** statt. Die Richtung der Relativbewegung (Bewegungsrichtung) ist durch den Pfeil **20** dargestellt. Die Erstreckungsrichtungen der Ablenkelemente **10**, **10'** sind parallel zur Bewegungsrichtung angeordnet.

[0055] Fig. 3a zeigt eine erste Momentaufnahme des Verfahrens, bei dem die Rotationsstellung des Düsenkopfes **16** derart ist, dass der Plasmastrahl **6** mit der Kontaktfläche **12** des weiteren Ablenkelements **10'** wechselwirkt und durch diese abgelenkt wird. Die Ablenkung erfolgt von dem Ablenkelement weg ins Zentrum des durch die Rotation um die Rotationsachse **14** beschriebenen Kreises.

[0056] Fig. 3b zeigt eine zweite Momentaufnahme des Verfahrens, bei dem die Rotationsstellung des Düsenkopfes **16** derart ist, dass der Plasmastrahl **6** mit keinem der Ablenkelemente **10**, **10'** wechselwirkt. Der schräg aus dem Düsenkopf austretende Plasmastrahl **6** trifft ohne eine Ablenkung durch Ablenkelemente auf die Werkstückoberfläche **18**.

[0057] Fig. 3c zeigt eine dritte Momentaufnahme des Verfahrens, bei dem die Rotationsstellung des Düsenkopfes **16** derart ist, dass der Plasmastrahl **6** mit dem der Kontaktfläche **12** des Ablenkelements **10** wechselwirkt und durch diese abgelenkt wird. Die Ablenkung erfolgt wiederum von dem Ablenkelement weg ins Zentrum des durch die Rotation um die Rotationsachse **14** beschriebenen Kreises.

[0058] Durch die Ablenkelemente **10** und **10'** der in Fig. 3a-c gezeigten Vorrichtung **2''** wird der Plasmastrahl **6** damit jeweils an den Rändern der Behandlungsspur auf der Werkstückoberfläche **18** ins Zentrum gelenkt. Dadurch können die an den Rändern der Behandlungsspur auftretenden Intensitätsmaxima reduziert und die Oberflächenbehandlung homogenisiert werden.

[0059] Die Fig. 4a-c zeigen ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung und ein weiteres Ausführungsbeispiel des Verfahrens zur Behandlung einer Werkstückoberfläche **18** mit der Vorrichtung **2**. Die Vorrichtung **2'''** weist einen Aufbau auf wie die Vorrichtung **2''** aus Fig. 3a-c, wobei jedoch Ablenkelemente **10''** und **10'''** verwendet wurden, deren konvex gekrümmten Kontaktflächen **12** größere Krümmungsradien aufweisen. Die Krümmungsradien der

Ablenkelemente **10''** und **10'''** betragen mehr als 2 mm. Weiterhin sind die Ablenkelemente **10''**, **10'''** quer zur Bewegungsrichtung **20** ausgerichtet.

[0060] Fig. 4a zeigt eine erste Momentaufnahme des Verfahrens, bei dem die Rotationsstellung des Düsenkopfes **16** derart ist, dass der Plasmastrahl **6** mit der Kontaktfläche **12** des weiteren Ablenkelements **10'''** wechselwirkt und durch diese abgelenkt wird. Die Ablenkung erfolgt in Richtung des Ablenkelements, aus dem Zentrum des durch die Rotation um die Rotationsachse **14** beschriebenen Kreises heraus.

[0061] Fig. 4b zeigt weiter eine zweite Momentaufnahme des Verfahrens, bei dem die Rotationsstellung des Düsenkopfes **16** derart ist, dass der Plasmastrahl **6** mit keinem der Ablenkelemente **10''**, **10'''** wechselwirkt. Der schräg aus dem Düsenkopf **16** austretende Plasmastrahl **6** trifft ohne eine Ablenkung durch Ablenkelemente auf die Werkstückoberfläche **18**.

[0062] Fig. 4c zeigt eine dritte Momentaufnahme des Verfahrens, bei dem die Rotationsstellung des Düsenkopfes **16** derart ist, dass der Plasmastrahl **6** mit der Kontaktfläche **12** des Ablenkelements **10''** wechselwirkt und durch diese abgelenkt wird. Die Ablenkung erfolgt wiederum in Richtung des Ablenkelements, aus dem Zentrum des durch die Rotation um die Rotationsachse **14** beschriebenen Kreises heraus.

[0063] Durch die Ablenkelemente **10''** und **10'''** der in Fig. 4a-c gezeigten Vorrichtung **2'''** wird der Plasmastrahl **6** damit in der Ebene der Bewegungsrichtung **20** aus dem Zentrum heraus abgelenkt und dadurch aufgeweitet. Auf diese Weise können Intensitätsminima in den Bereichen zwischen den vom Plasmastrahl in der Behandlungsspur durchfahrenen Spiralen auf der Werkstückoberfläche **18** ausgeglichen bzw. verhindert und die Oberflächenbehandlung homogenisiert werden.

[0064] Ein weiteres, nicht dargestelltes Ausführungsbeispiel wird durch Kombination der Vorrichtungen **2''** aus Fig. 3a-c und Fig. 2''' aus Fig. 4a-c erreicht. Eine solche Vorrichtung weist zwei Ablenkelemente **10**, **10'** mit Kontaktflächen mit kleinerem Krümmungsradius auf den Seiten der Düsenöffnung quer zur Bewegungsrichtung **20** und zwei weitere Ablenkelemente **10''**, **10'''** mit Kontaktflächen mit größerem Krümmungsradius auf den Seiten der Düsenöffnung **8** in und gegen der Bewegungsrichtung **20** auf. Auf diese Weise kann eine Homogenisierung der Plasmabehandlung quer und in Bewegungsrichtung erreicht werden.

[0065] Fig. 5a zeigt schematisch die spiralförmige Trajektorie des Plasmastrahls **6** auf der Werkstück-

oberfläche **18**, die sich durch die Überlagerung der Rotation des Düsenkopfs **16** und der Relativbewegung **20** (in **Fig. 5a** in y-Richtung) zwischen Vorrichtung **2''** bzw. **2'''** und Werkstückoberfläche **18** ergibt. Die Trajektorie (Linie) stellt den Auftreffpunkt der maximalen Plasmaintensität dar. Durch die spiralförmige Trajektorie ergibt sich eine relativ breite Behandlungsspur auf der Werkstückoberfläche **18**. Durch die Bewegungsrichtung (y) kommt es zu dem Effekt, dass die äußeren Bereiche der Behandlungsspur im Bereich der gestrichelten Linien intensiver mit dem Plasma behandelt werden, als es für die mittleren Bereiche der Behandlungsspur der Fall ist.

[0066] Das führt zu der in **Fig. 5b** dargestellten Intensitätsverteilung, die zwei Maxima aufweisen, die in den äußeren Bereichen der Behandlungsspur, angedeutet mit den gestrichelten Linien, auftreten. Dazwischen kommt es nur zu einer merklich geringeren Intensität der Plasmabehandlung, so dass in der Mitte der Behandlungsspur ein Intensitätsminimum entsteht.

[0067] Bei einer Vorrichtung **2''** gemäß **Fig. 3a-c** wird der rotierende Plasmastrahl **6** durch die Ablenkelemente **10, 10'** an den Rändern der Behandlungsspur nach innen abgelenkt, so dass eine gleichmäßigere Plasmabehandlung entlang der Behandlungsspur erreicht wird. Dieses wird in **Fig. 5c** durch das Intensitätsprofil dargestellt, das im Gegensatz zu **Fig. 5b** eine ebene, bzw. nur noch leicht wellige Form eines Plateaus einnimmt. Wenn nebeneinander liegende Behandlungsspuren dann so überlappend auf die Werkstückoberfläche **18** gebracht werden, dass in den Überlappungsbereichen aufsummiert die Intensität des Plateaus erreicht wird, dann wird die Werkstückoberfläche **18** insgesamt gleichmäßiger durch den Plasmastrahl **6** behandelt, als es bisher im Stand der Technik möglich gewesen ist. Dies kann vorliegend insbesondere auch durch das Vorsehen der in **Fig. 4a-c** gezeigten Ablenkelemente **10'', 10'''** erreicht werden, die den Plasmastrahl bzw. dessen Spur auf der Werkstückoberfläche bei einer Umdrehung des Düsenkopfs **16** verbreitern.

[0068] Um die Homogenisierung der Plasmabehandlung bei Verwendung einer Vorrichtung mit Ablenkelementen **10, 10'** aus **Fig. 3** und Ablenkelementen **10'', 10'''** aus **Fig. 4** zu untersuchen, wurden Versuche mit Kontaktwinkelmessungen durchgeführt. Derartige Kontaktwinkelmessungen erlauben eine Aussage über die Stärke und die Homogenität der Plasmabehandlung. Bei der Kontaktwinkelmessung werden (Wasser-)Tropfen auf die behandelte Werkstückoberfläche **18** gegeben und der Kontaktwinkel des Tropfens zur Werkstückoberfläche **18** gemessen. Je kleiner der gemessene Kontaktwinkel ist, desto stärker ist die am Ort des Tropfens erfolgte Plasmabehandlung.

[0069] Für die Versuche wurde die in **Fig. 3a-c** gezeigte Vorrichtung **2''** verwendet, die zusätzlich zu den Ablenkelementen **10** und **10'** (quer zur Bewegungsrichtung) noch die in **Fig. 4a-c** gezeigten Ablenkelemente **10''** und **10'''** (in/entgegen der Bewegungsrichtung) aufwies.

[0070] Mit dieser Vorrichtung wurde dann die Oberfläche einer ersten PE-Probe entlang einer Behandlungsspur behandelt. Weiterhin wurde die Oberfläche einer zweiten PE-Probe entlang einer Behandlungsspur behandelt, wobei die Ablenkelemente **10, 10', 10''** und **10'''** vor der Behandlung der zweiten PE-Probe entfernt wurden. Die Behandlungsparameter für die beiden PE-Proben (insbesondere Abstand zwischen Plasmadüse **4** und Werkstückoberfläche **18** sowie deren Relativgeschwindigkeit zueinander, Plasmaenergie, Rotationsgeschwindigkeit des Düsenkopfs **16**, usw.) waren ansonsten gleich.

[0071] Anschließend wurden die Oberflächen beider PE-Proben mit Wasser benetzt und mittels eines Kamerasystems an jeweils **23** Punkten entlang einer Diagonalen über die gesamte Behandlungsspur, d.h. vom linken Rand der Behandlungsspur (Position -11) über das Zentrum der Behandlungsspur (Position **0**) zum rechten Rand der Behandlungsspur (Position +11), der Kontaktwinkel zwischen der aktivierten PE-Oberfläche und dem Wasser bestimmt.

[0072] **Fig. 6** zeigt eine Ergebnisübersicht dieser Kontaktwinkelmessungen. Der untere Graph zeigt die gemessenen Kontaktwinkel in Grad (°) für die jeweiligen Messpositionen (von -11 bis 11), wobei die durchgezogenen Linien der ersten PE-Probe (mit Ablenkelementen **10, 10', 10'', 10'''**) und die gestrichelten Linien der zweiten PE-Probe (ohne Ablenkelemente) entsprechen. Der obere Graph zeigt darüber hinaus noch die prozentuale Abweichung der Kontaktwinkel zum Mittelwert in Prozent (%).

[0073] Aus **Fig. 6** ist ersichtlich, dass die Plasmabehandlung bei der verwendeten Vorrichtung mit den Ablenkelementen **10, 10', 10''** und **10'''** homogener erfolgte. Die prozentuale Abweichung der Kontaktwinkel nach einer Plasmabehandlung der Werkstückoberfläche **18** mit den Ablenkelement **10, 10', 10'', 10'''** ist geringer als die prozentuale Abweichung der Kontaktwinkel nach einer Plasmabehandlung der Werkstückoberfläche ohne Ablenkelemente.

[0074] **Fig. 7** zeigt eine rotierende Plasmadüse mit gegenüber der Rotationsachse **14** schräg verlaufenden Düsenöffnung, wie sie zum Beispiel aus der EP 1 236 380 A1 bekannt ist. Der Plasmastrahl **6** tritt unter einem Winkel aus der Düsenöffnung **8** eines um eine Rotationsachse **14** rotierenden Düsenkopfes **16** aus. Die in **Fig. 7** gezeigte Plasmadüse **4''** kann beispielsweise als Plasmadüse **4'** in den Ausführungsbeispielen gemäß **Fig. 3a-c** und **Fig. 4a-c**

verwendet werden. Bei einer Rotation des Düsenkopfes **16** um die Rotationsachse **14** beschreibt der Plasmastrahl **6** einen Kreis auf einer Werkstückoberfläche **18** bzw., bei zusätzlicher Relativbewegung zur Werkstückoberfläche, eine spiralförmige Trajektorie (s. **Fig. 5a**).

[0075] **Fig. 8** zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der Vorrichtung. Die Vorrichtung **3** weist eine Plasmadüse **4''** mit einem mitdrehenden Ablenkelement **11** auf. Das Ablenkelement weist eine konvex gekrümmte Kontaktfläche **12** auf, die derart am Düsenkopf **16** positioniert ist, dass der aus der Düsenöffnung **8** austretenden Plasmastrahl **6** mit der Kontaktfläche **12** wechselwirkt, insbesondere diese streift. Das Ablenkelement **11** ist vorzugsweise derart verstellbar angebracht, dass der Winkel des Ablenkelements **11** zur Düsenöffnung **8** (Pfeil **22**) variierbar ist, vorzugsweise in einem Bereich von mindestens 45° , insbesondere mindestens 75° , und/oder die Position in Richtung Düsenöffnung **8** (Pfeil **24**) variierbar ist.

[0076] Die Kontaktfläche **12** weist einen geringen Krümmungsradius von weniger als 2 mm auf, so dass der Plasmastrahl **6** vom Ablenkelement **11** weggebogen wird. Bei Verwendung einer Kontaktfläche **12** mit einem Krümmungsradius von mehr als 2 mm würde der Plasmastrahl **6** stattdessen in Richtung des Ablenkelements **11** gebogen. Durch das Ablenkelement **11** kann demnach ein ähnlicher Effekt erreicht werden wie mit einer schrägen verlaufenden Düsenöffnung. Bei einer Rotation des Düsenkopfes **16** aus **Fig. 8** um die Rotationsachse **14** beschreibt der Plasmastrahl **6** eine ähnliche kreisförmige Bewegung auf einer Werkstückoberfläche **18** (nicht gezeigt) wie in **Fig. 7**. Insbesondere kann die in **Fig. 8** gezeigte Plasmadüse **4''** als Plasmadüse **4'** für die Ausführungsbeispiele gemäß **Fig. 3a-c** und **Fig. 4a-c** verwendet werden.

[0077] Gegenüber der Plasmadüse **4''** aus **Fig. 7** hat die Vorrichtung **3** aus **Fig. 8** den Vorteil, dass die Düsenöffnung entlang der Achse der Plasmadüse verläuft, so dass Energieverluste durch Kontakte des Plasmastrahls mit der Wandung, insbesondere einer schrägen Düsenöffnung wie in **Fig. 7** weitgehend vermieden werden. Darüber hinaus kann die Vorrichtung **3** aus **Fig. 8** sehr kompakt ausgestaltet werden, so dass schwer zugängliche Werkstückoberflächen einfacher behandelt werden können.

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

- EP 1236380 A1 [0002, 0074]
- DE 102016125699 [0002]
- EP 1067829 A1 [0003]
- DE 102015121252 A1 [0003]

Patentansprüche

1. Vorrichtung (2, 2', 2'', 2''', 3) zur Behandlung einer Werkstückoberfläche (18),
- mit einer Plasmadüse (4, 4', 4'', 4'''), die zur Erzeugung eines atmosphärischen Plasmastrahls (6) eingerichtet ist,

- wobei die Plasmadüse (4, 4', 4'', 4''') eine Düsenöffnung (8) aufweist, aus der im Betrieb ein atmosphärischer Plasmastrahl (6) austritt,

dadurch gekennzeichnet,

- dass im Bereich der Düsenöffnung (8) ein Ablenkelement (10, 10', 10'', 10''', 11) mit einer konvex gekrümmten Kontaktfläche (12) derart positioniert ist, dass der Plasmastrahl (6) beim Betrieb der Plasmadüse (4, 4', 4'', 4''') mit der Kontaktfläche (12) des Ablenkelements (10, 10', 10'', 10''', 11) wechselwirkt, insbesondere diese streift.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** dass das Ablenkelement (10, 10', 10'', 10''', 11) aus einem elektrisch isolierenden Material besteht, insbesondere Glas oder Keramik.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet,** dass das Ablenkelement (10, 10', 10'', 10''', 11) stabförmig ausgebildet ist, insbesondere in der Form eines Zylinders oder Mehrkantstabs.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet,** dass sich das Ablenkelement (10, 10', 10'', 10''', 11) quer zur Richtung der Düsenöffnung (8) erstreckt.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet,** dass das Ablenkelement (10, 10', 10'', 10''', 11) verstellbar ausgebildet ist, um die Positionierung des Ablenkelements (10, 10', 10'', 10''', 11) zur Düsenöffnung (8) zu verändern.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Kontaktfläche (12) einen Krümmungsradius von höchstens 2 mm aufweist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Kontaktfläche (12) einen Krümmungsradius von mehr als 2 mm aufweist.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet,** dass im Bereich der Düsenöffnung (8) ein weiteres Ablenkelement (10, 10', 10'', 10''', 11) mit einer konvex gekrümmten Kontaktfläche (12) derart positioniert ist, dass der Plasmastrahl (6) beim Betrieb der Plasmadüse (4, 4', 4'', 4''') mit der Kontaktfläche (12) des weiteren Ablenkelements (10, 10', 10'', 10''', 11) wechselwirkt, insbesondere diese streift.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet,** dass das Ablenkelement (10, 10', 10'', 10''') und das weitere Ablenkelement (10, 10', 10'', 10''') auf gegenüberliegenden Seiten der Düsenöffnung (8) positioniert sind.

10. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet,** dass das Ablenkelement (10, 10', 10'', 10''') und das weitere Ablenkelement (10, 10', 10'', 10''') derart an der Düsenöffnung (8) positioniert sind, dass die Erstreckungsrichtung des Ablenkelements (10, 10', 10'', 10''') und die Erstreckungsrichtung des weiteren Ablenkelements (10, 10', 10'', 10''') in einem Winkel zueinander verlaufen, vorzugsweise in rechtem Winkel.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Kontaktfläche (12) des Ablenkelements (10, 10', 10'', 10''') und die Kontaktfläche (12) des weiteren Ablenkelements (10, 10', 10'', 10''') unterschiedliche Krümmungen aufweisen.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Plasmadüse (8) einen im Betrieb um eine Rotationsachse (14) rotierenden Düsenkopf (16) aufweist, wobei der Düsenkopf (16) die Düsenöffnung (8) aufweist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet,**

- dass die Richtung der Düsenöffnung (8) unter einem Winkel zur Rotationsachse (14) verläuft, und

- dass das Ablenkelement (10, 10', 10'', 10''', 11) derart positioniert ist, dass der Plasmastrahl (6) bei einer vollen Rotationsumdrehung des Düsenkopfs (16) um die Rotationsachse (14) zumindest zeitweise mit der Kontaktfläche (12) des Ablenkelements (10, 10', 10'', 10''', 11) wechselwirkt.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Düsenöffnung (8) des Düsenkopfes (16) exzentrisch zur Rotationsachse (14) angeordnet ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet,** dass das Ablenkelement (11) drehfest am Düsenkopf (16) positioniert ist.

16. Verfahren zur Behandlung einer Werkstückoberfläche (18) mit einer Vorrichtung (2, 2', 2'', 2''', 3) nach einem der Ansprüche 1 bis 15,

- bei dem mit der Plasmadüse (4, 4', 4'', 4''') ein atmosphärischer Plasmastrahl (6) erzeugt wird, der aus der Düsenöffnung (8) der Plasmadüse (4, 4', 4'', 4''') austritt, wobei der Plasmastrahl (6) mit der Kontaktfläche (12) des Ablenkelements (10, 10', 10'', 10''', 11) wechselwirkt, insbesondere diese streift, und

- bei dem der Plasmastrahl (6) auf die zu behandelnde Werkstückoberfläche (18) gerichtet wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet,**

- dass die Plasmadüse (4, 4', 4", 4''') und die Werkstückoberfläche (18) in einer Bewegungsrichtung (20) relativ zueinander bewegt werden und
- dass das Ablenkelement (10, 10', 10", 10''', 11) auf der Seite der Düsenöffnung (8) in oder entgegen der Bewegungsrichtung positioniert ist.

18. Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet,**

- dass die Plasmadüse (4, 4', 4", 4''') und die Werkstückoberfläche (18) in einer Bewegungsrichtung (20) relativ zueinander bewegt werden und
- dass das Ablenkelement (10, 10', 10", 10''', 11) auf einer Seite der Düsenöffnung (8) quer zur Bewegungsrichtung positioniert ist.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

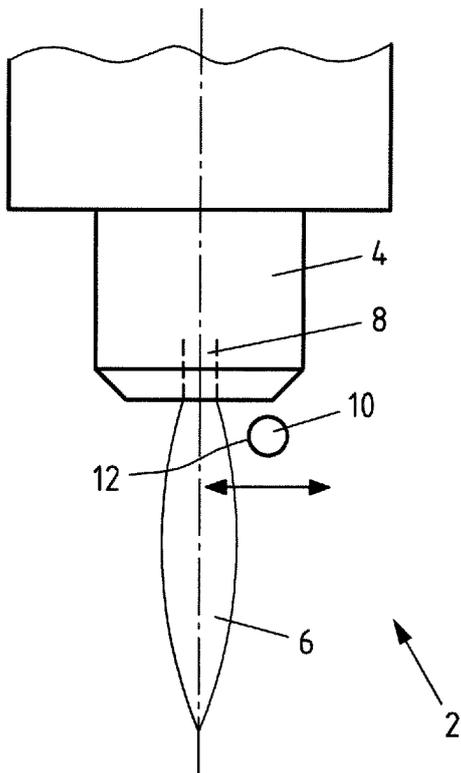


Fig.1a

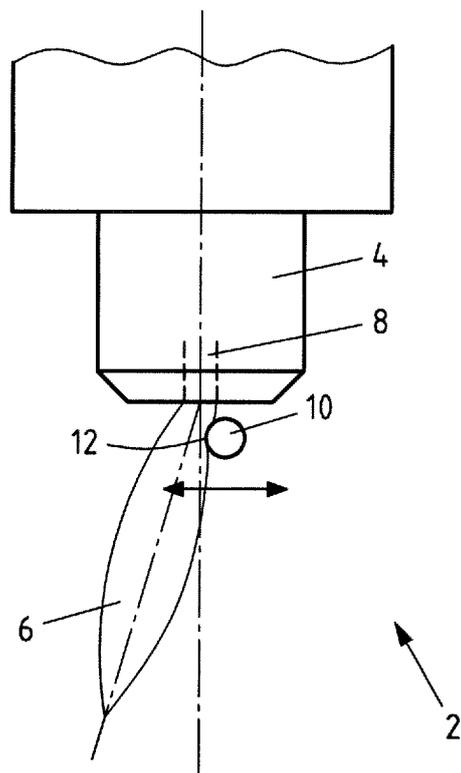


Fig.1b

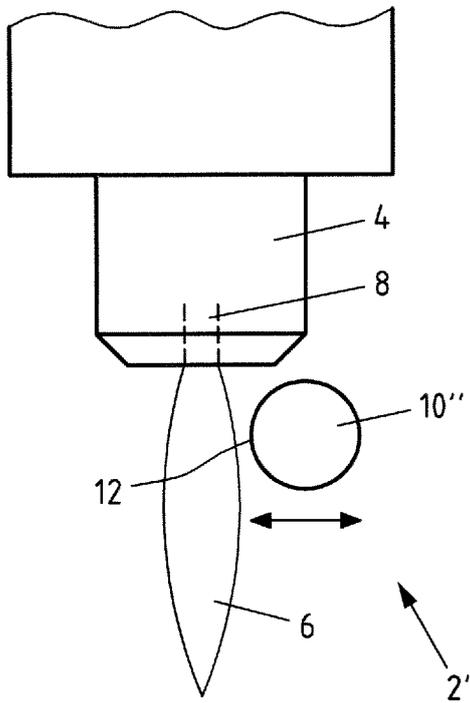


Fig. 2a

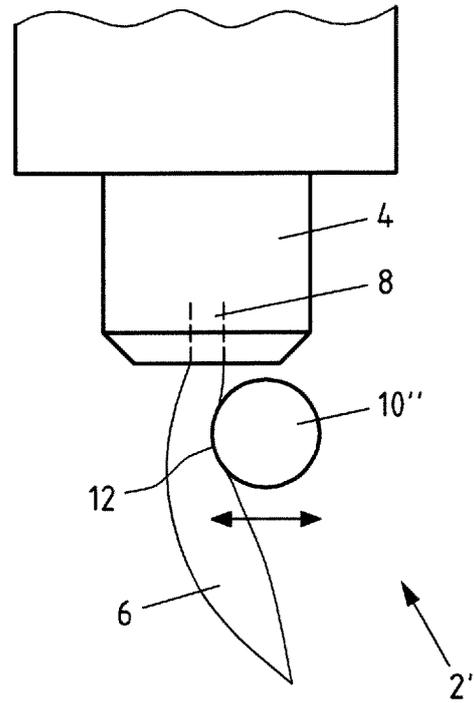


Fig. 2b

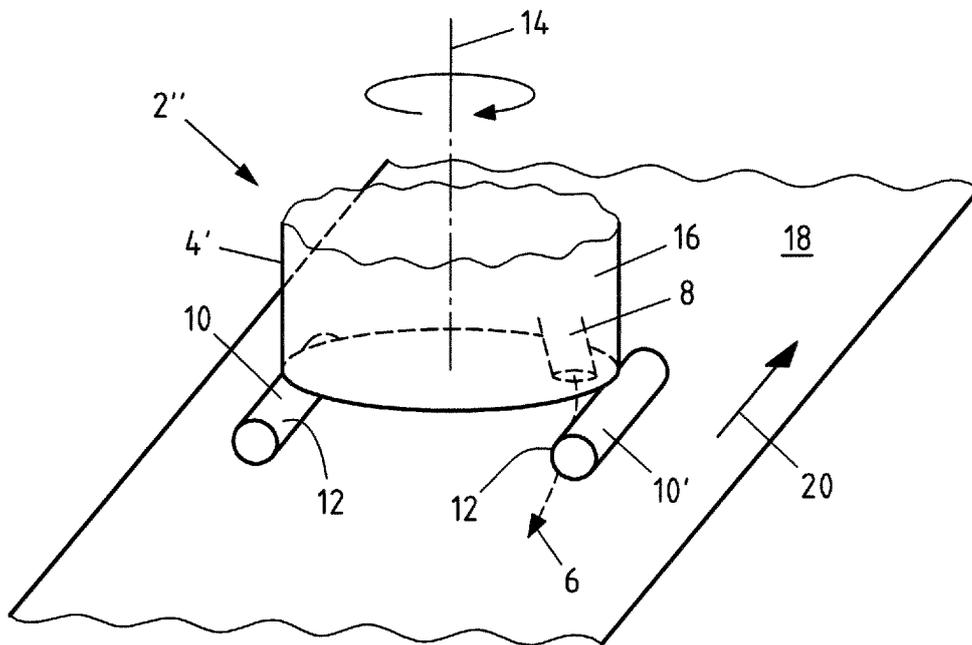


Fig.3a

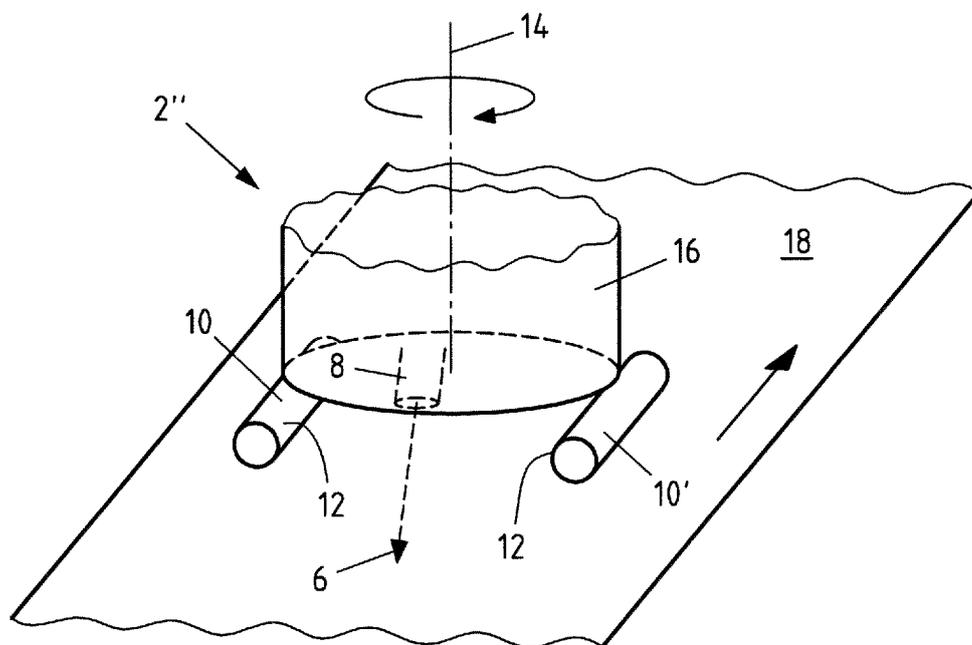


Fig.3b

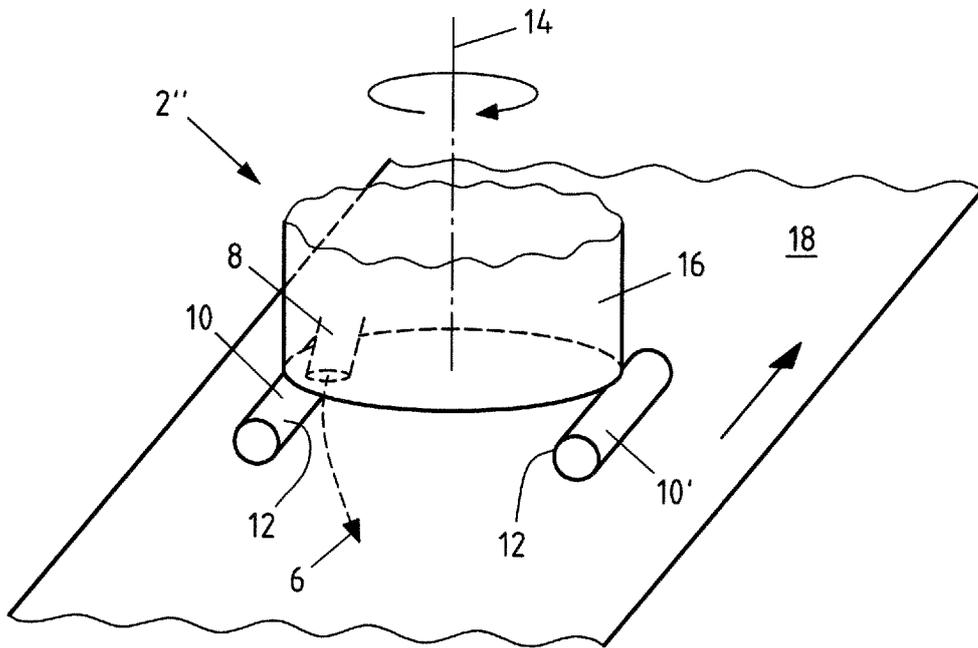


Fig.3c

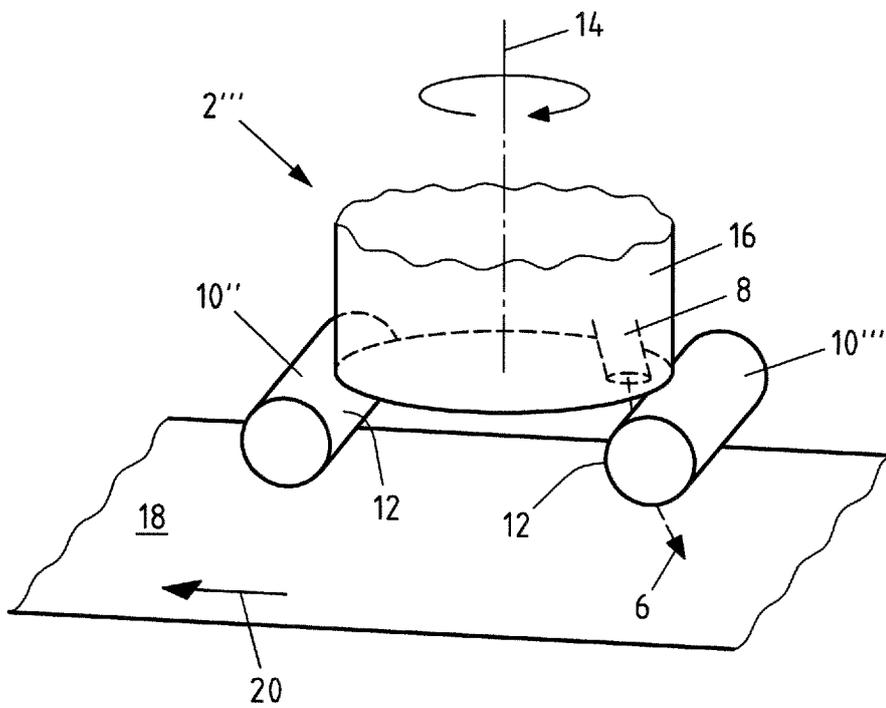


Fig.4a

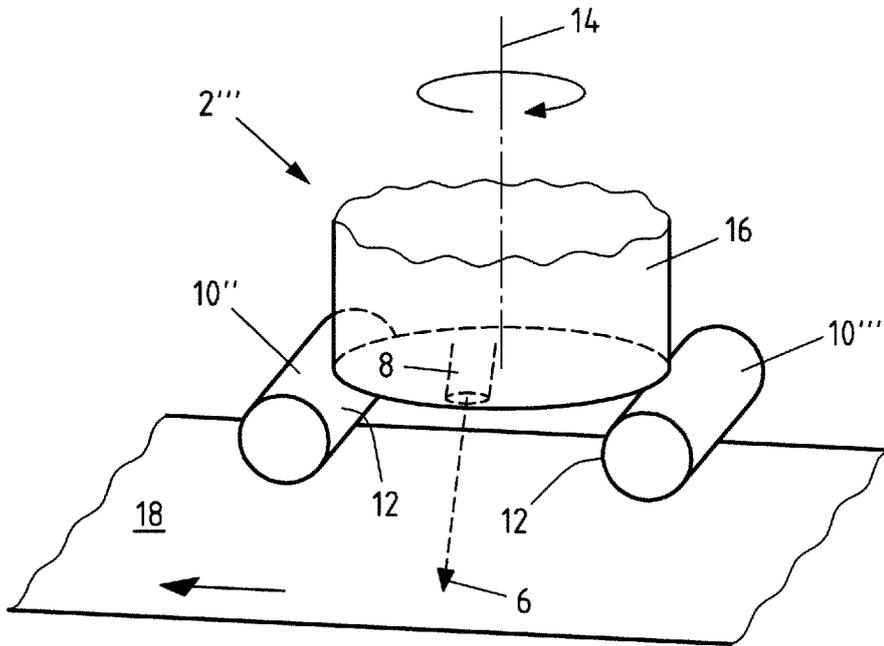


Fig.4b

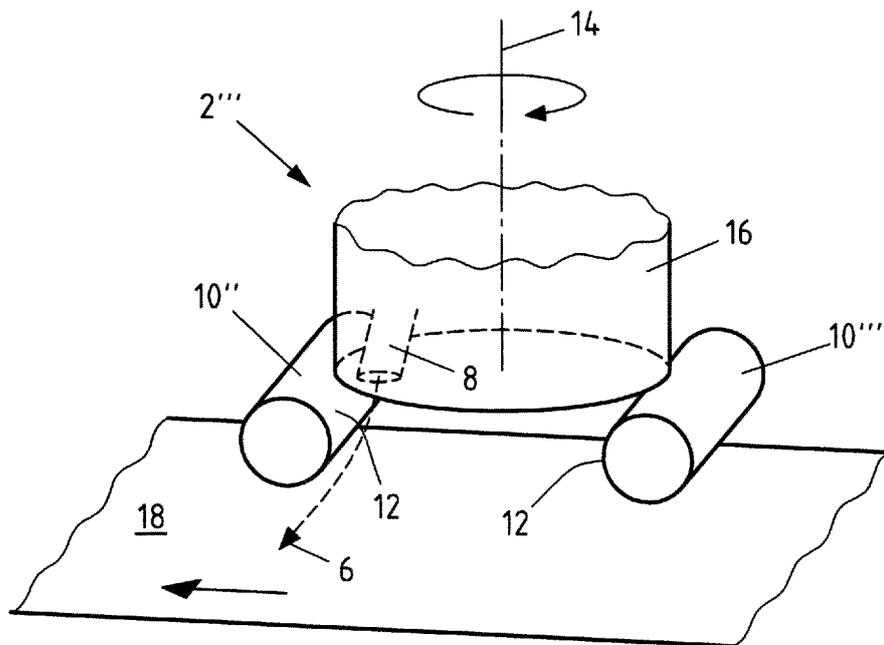


Fig.4c

Fig.5a
Stand der Technik

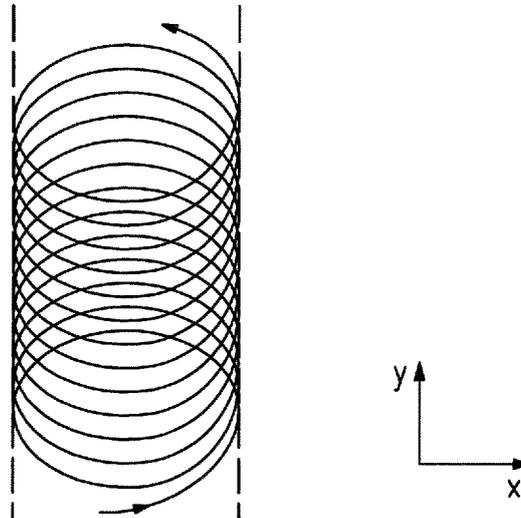


Fig.5b
Stand der Technik

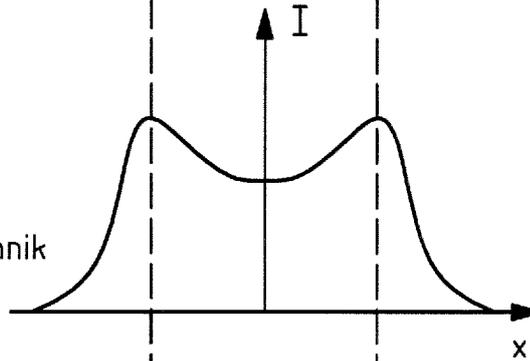
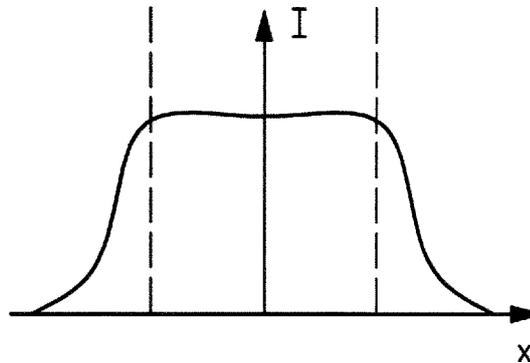


Fig.5c



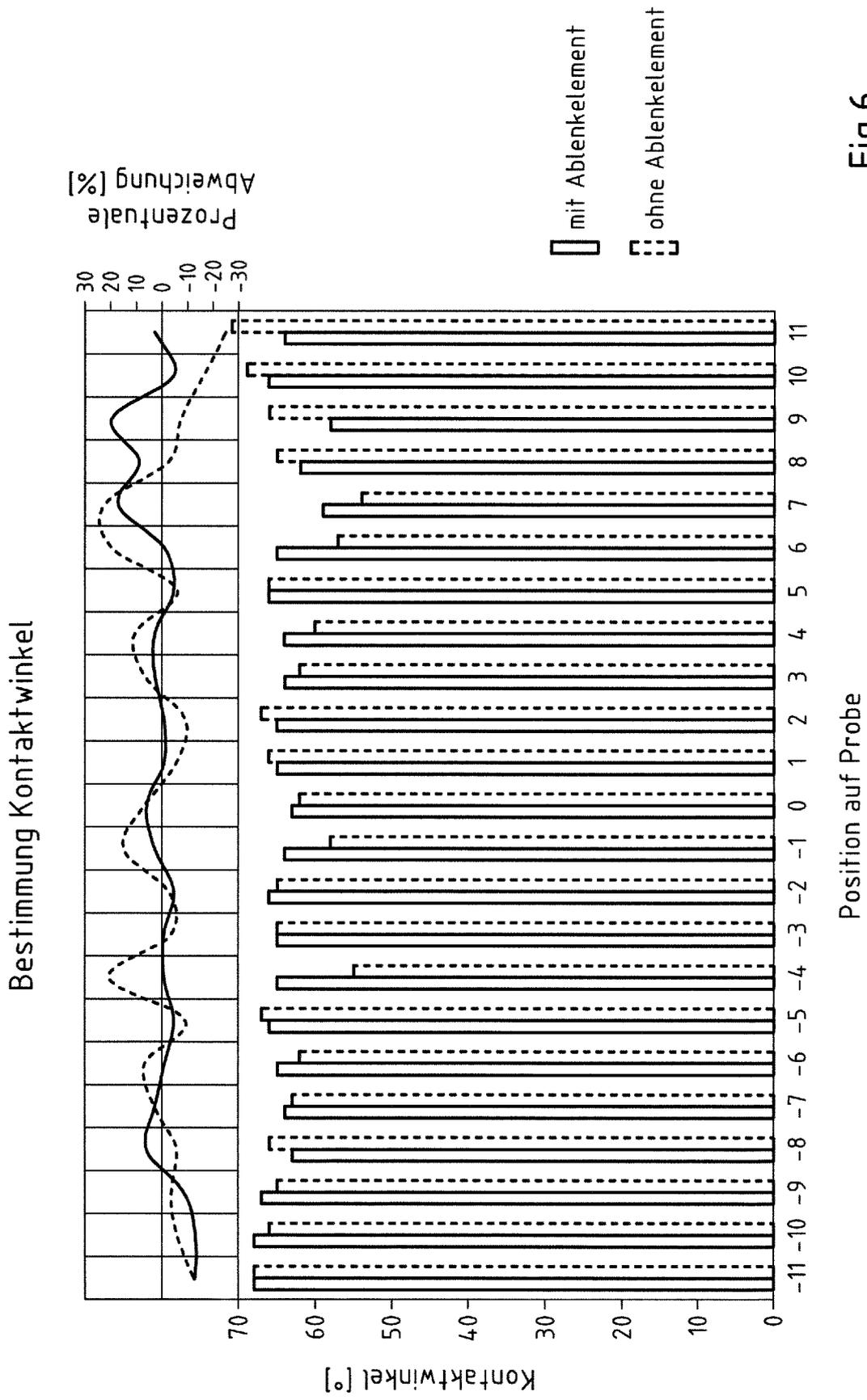


Fig.6

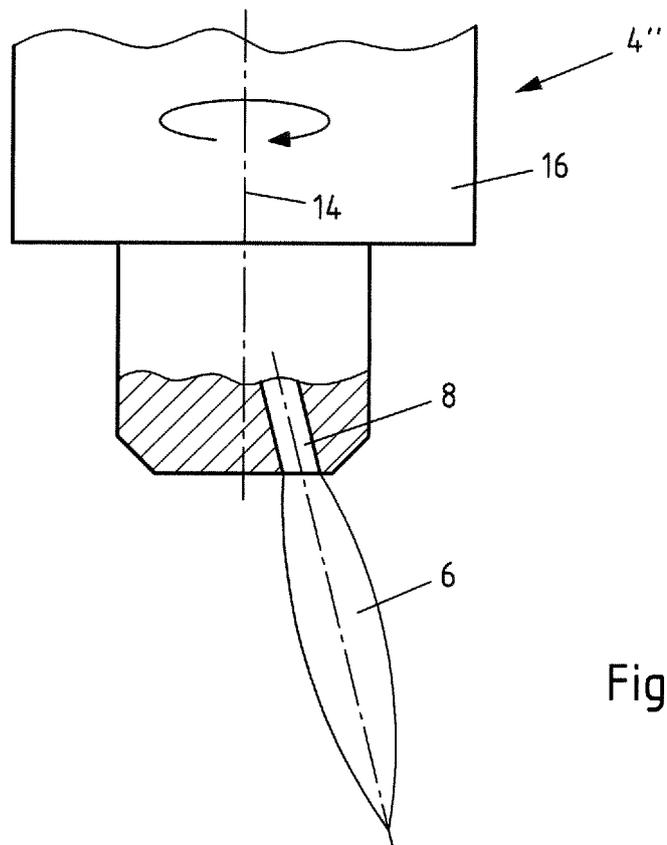


Fig.7

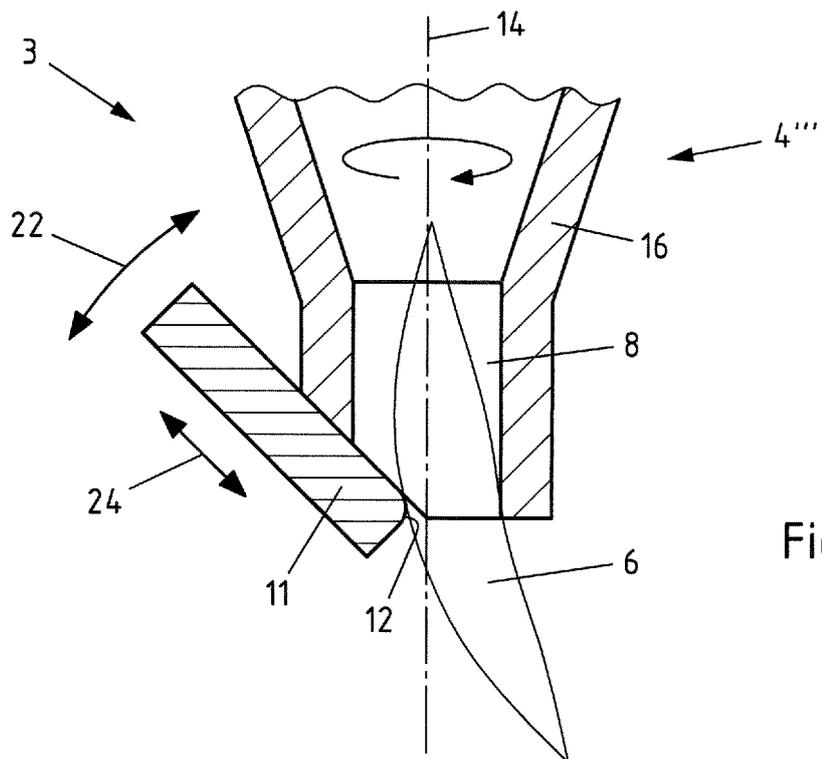


Fig.8