

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 128/2004
(22) Anmeldetag: 2004-01-30
(42) Beginn der Patentdauer: 2006-01-15
(45) Ausgabetag: 2006-10-15

(51) Int. Cl.⁷: **B08B 7/00**

(30) Priorität:
12.02.2003 AT A 208/03 beansprucht.
(56) Entgegenhaltungen:
WO 00/50667A1

(73) Patentinhaber:
ZIGER PETER
A-8010 GRAZ, STEIERMARK (AT).
(72) Erfinder:
ZIGER PETER
GRAZ, STEIERMARK (AT).
JÄGER HELMUT DR.
HAUSMANNSTÄTTEN, STEIERMARK
(AT).
NEUREITER CHRISTIAN
GRAZ, STEIERMARK (AT).

(54) ANLAGE ZUR PLASMAPROZESSIERUNG

(57) Bei einer Anlage zu einer magnetfeldbeeinflussten Plasmaprozessierung eines Endlosmaterials oder eines Werkstücks, umfassend wenigstens eine evakuierbare Entladungskammer, darin eine Anode, die elektrisch isoliert um das Endlosmaterial oder das Werkstück angeordnet ist, eine Einrichtung zur Einstellung einer Gas-Atmosphäre in der wenigstens einen Entladungskammer, eine Energieversorgungseinrichtung zur Bereitstellung einer(s) für eine Gasentladung zwischen dem Endlosmaterial oder dem Werkstück als innere Elektrode und der äußeren Elektrode ausreichenden Spannung bzw. Stroms wird zur Erzielung wesentlich höherer Plasmaplastromdichten, insbesondere in der Größenordnung von einem A/cm², und somit deutlich höhere Prozessgeschwindigkeiten vorgeschlagen, dass zur Erhöhung der erzielbaren Energiedichte der Gasentladung im Bereich der äußeren Elektrode eine Hochleistungsmagnetanordnung zur Erzeugung eines Magnetfelds, insbesondere von wenigstens 50mT, vorzugsweise von wenigstens 100mT, gegebenenfalls von über 400mT, angeordnet ist.

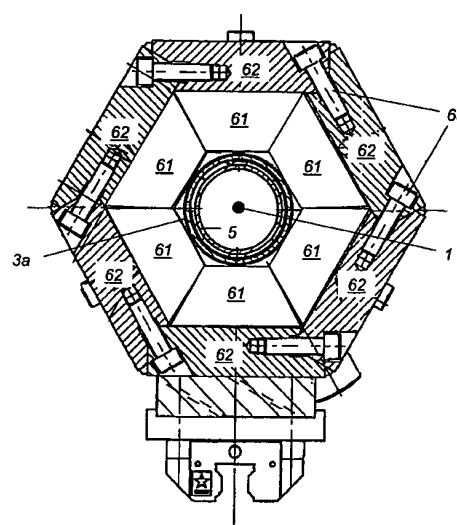


Fig. 1

Die Erfindung betrifft eine Anlage zur magnetfeldbeeinflussten Plasmaprozessierung eines Endlosmaterials oder eines Werkstücks, umfassend wenigstens eine evakuierbare Entladungskammer, darin eine äußere Anode, insbesondere Anode, die elektrisch isoliert um das Endlosmaterial oder das Werkstück angeordnet ist, eine Einrichtung zur Einstellung einer Gasatmosphäre in der wenigstens einen Entladungskammer, eine Energieversorgungseinrichtung zur Bereitstellung einer(s) für eine Gasentladung zwischen dem Endlosmaterial oder dem Werkstück als innere Elektrode, insbesondere Kathode, und der äußeren Elektrode ausreichenden Spannung bzw. Stroms.

Plasmaprozessierung wird zur Behandlung von Werkstücken bzw. von Endlosmaterial zur Erhitzung, zur Reinigung, zur (De-)Oxidation, zur Entfettung, anderer Abtragung, Bedampfung, Sputterung oder anderen Beschichtungen eingesetzt. Herkömmliche Anlagen zur Plasmaprozessierung eines Endlosmaterials oder eines Werkstücks erzeugen Plasmastromdichten von lediglich einigen mA/cm^2 , die eine relative lange Prozessdauer erforderlich machen. Dies bedeutet für die Bearbeitung von Endlosmaterial relativ langsame Durchführungsgeschwindigkeiten und für die eines Werkstücks lange Verweildauern in der Anlage, was wiederum mit erheblichen Kosten verbunden ist.

Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine Anlage zur Plasmaprozessierung gemäß Oberbegriff des Anspruchs 1 anzugeben, die wesentlich höhere Plasmastromdichten, insbesondere in der Größenordnung von einem A/cm^2 , erzeugen kann und somit deutlich höhere Prozessgeschwindigkeiten erlaubt.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, dass zur beträchtlichen Erhöhung der erzielbaren Energiedichte der Gasentladung im Bereich der äußeren Elektrode, vorzugsweise außerhalb der äußeren Elektrode, eine Hochleistungsmagnetanordnung zur Erzeugung eines Magnetfelds, insbesondere von wenigstens 50mT, vorzugsweise von wenigstens 100mT, gegebenenfalls von über 400mT, angeordnet ist.

Durch die Erzeugung derart starker Magnetfelder, insbesondere normal zur Entladungsrichtung, können besonders hohe Plasmastromdichten, insbesondere im Bereich von A/cm^2 , erzeugt werden. Die Ladungsträger werden hierbei von der Lorenzkraft umgelenkt, wobei die Krümmungsradien der Elektronen kleiner sind oder maximal in der gleichen Größenordnung wie die freien Weglängen der Plasmateilchen (typisch im Zehntelmillimeterbereich) liegen.

Durch das Magnetfeld wird das Plasma leitfähiger, so dass die Entladung vorzugsweise nur im magnetfelddurchdrungenen Volumen brennt.

Das Plasma kann bei einem gegebenen Druck gezündet werden und es können sehr große Ströme durchgeleitet werden, ohne dass das Plasma aus dem Magnetfeld „hinausbrennt“. Man kommt also für den gesamten Prozess mit einem einzigen Wert für den Druck aus.

Dazu kommt, dass die Zündspannung des Plasmas in die Nähe der Brennspannung reduziert wird, das die sonst bei Glimmentladungsanordnungen üblicherweise eingesetzten speziellen Zündanordnungen, Prozeduren oder anderen Zündhilfsmittel überflüssig macht.

Am wichtigsten aber ist, dass die zu einem entstehenden Bogenkanal senkrecht stehende Magnetfeldkomponente den Bogen stark behindert, da aus dem leitenden Kanal Elektronen durch die magnetische Kraft hinausgeschleudert werden. Somit können mit dieser Anordnung pro Elektrodenlängeneinheit wesentlich größere Ströme durch das Plasma geleitet werden, ohne dass ein Bogen entsteht. Infolge dessen kann das Endlosmaterial bzw. das Werkstück bei gleichem Behandlungseffekt (z.B.: bei gleicher zu erzielender Erwärmung) schneller prozessiert werden, was letzten Endes eine wesentliche Vergrößerung des Outputs der gesamten Anlage ermöglicht.

Weiters bleiben die Brennzonen räumlich definiert. Da das Plasma durch das Magnetfeld räumlich eingeschränkt wird, hat man hiermit auch eine Maßnahme gegen die Bildung von „Hotspots“ in der Hand: Überhitzte Teile können nun nicht mehr einen überproportionalen Anteil des Stroms an sich ziehen. Außerdem ist durch die höhere Ionisierung im Volumen das Plasma weniger von den Sekundärelektronen abhängig. Des weiteren werden gleiche Ladungsträgerdichten nun mit weniger Teilchen, also bei geringerem Druck produziert - das Plasma brennt also bei gleicher Leistung bei einem niedrigeren Druck. Dies fördert auch eine bessere Teilchendurchmischung. All dies hemmt die Bildung der Hotspots.

In besonderer Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Hochleistungsmagnetanordnung als supraleitender Elektromagnet ausgebildet ist.

Supraleitende Elektromagnete sind geeignet, die erforderlichen hohen Magnetfelder zu erzeugen und bieten darüber hinaus den Vorteil, dass mit ihnen durch eine Regelung des diese durchfließenden Stromes auch ein regelbares Magnetfeld erzeugt werden kann, sodass das Magnetfeld leicht auf bestimmte Anwendungen angepasst werden kann.

In einer anderen Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Hochleistungsmagnetanordnung als Permanentmagnetanordnung ausgebildet ist.

Der Einsatz von Permanentmagneten bringt den Vorteil mit sich, dass zur Erzeugung eines Magnetfeldes kein zusätzlicher Strom erforderlich ist, weswegen der Betrieb der Anlage kostengünstiger ist.

Insbesondere kann vorgesehen sein, dass die Permanentmagnetanordnung aus Permanentmagneten, insbesondere aus anisotropen Permanentmagneten, vorzugsweise aus NdFeB-Permanentmagneten, aufgebaut ist, welche im Wesentlichen die Seitenwände eines Prismas mit polygonalem Querschnitt bilden.

Durch den Aufbau einer Permanentmagnetanordnung aus Permanentmagneten in Form eines Prismas können besonders günstige Magnetfeldverläufe in der Entladungskammer einfach realisiert werden. Der Einsatz anisotroper Permanentmagnete, vorzugsweise von NdFeB-Permanentmagneten, ermöglicht die Erzeugung besonders starker Magnetfelder.

In besonderer Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass der Querschnitt des Prismas als Quadrat oder Sechseck ausgebildet ist.

Diese Ausführungen sind besonders einfach zu realisieren.

In Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass Eisenschlusselemente vorgesehen sind, die das Magnetfeld der Permanentmagnetanordnung im Bereich der Gasentladung konzentrieren.

Durch die relativ kostengünstigen Eisenschlusselemente kann die Wirkung der Permanentmagnete im Bereich der Gasentladung deutlich erhöht werden.

In besonderer Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Permanentmagnete jeweils im Wesentlichen normal zu an diese angrenzenden Eisenschlusselemente angeordnet sind, sodass jeweils genau ein Pol eines Permanentmagnetes am Eisenschlusselement anliegt.

So kann mit einer relativ geringen Anzahl von Permanentmagneten ein starkes im Wesentlichen homogenes Magnetfeld im Bereich der gewünschten Gasentladung konzentriert werden.

In besonderer Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass eine Vorrichtung zur Abstimmung der Magnetfelder der Permanentmagnete mit definierten begrenzten Stromverläu-

fen vorgesehen ist.

So kann die Anlage mit geringem Aufwand auf geänderte Anforderungen abgestimmt werden. Die definierten begrenzten Stromverläufe können auch zur Entmagnetisierung von Permanent-

5 magneten eingesetzt werden.

Insbesondere kann vorgesehen sein, dass wenigstens ein Permanentmagnet und/oder wenigstens ein Eisenschlusselement entfernbar, ersetzbar, verschiebbar oder verdrehbar angeordnet ist.

10

So kann die Anlage mit geringem Aufwand auf geänderte Anforderungen abgestimmt werden, ohne dass einzelne Permanentmagnete ummagnetisiert werden müssten.

Weiters kann vorgesehen sein, dass die äußeren Elektroden und/oder die Hochleistungsmagnetanordnung kühlbar, insbesondere flüssigkeitskühlbar, sind.

15

So kann eine Überhitzung dieser Elemente zuverlässig vermieden werden.

In einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Einrichtung zur Einstellung einer bestimmten Gas-Atmosphäre ein Regel- bzw. Steuersystem mit Vakuumpumpen, vorzugsweise Drehschieberpumpen, und/oder Ventilen umfasst, mit denen die Gas-Atmosphäre auf einen auf eine gewählte Gas-Atmosphäre abgestimmten Druck einstellbar ist.

20

So kann der für eine bestimmte Anwendung erforderliche Gasdruck leicht hergestellt werden. Insbesondere Drehschieberpumpen erweisen sich hierbei als kostengünstige und dennoch ausreichende Variante.

25

Insbesondere kann vorgesehen sein, dass die Einrichtung zur Einstellung einer Gas-Atmosphäre auf Edelgase, insbesondere auf Helium, einstellbar ist.

30

So kann der sichere Betrieb der Anlage mit Edelgasen gewährleistet werden.

In besonderer Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Einrichtung zur Einstellung einer Gas-Atmosphäre auf Edelgase, insbesondere auf Helium, Argon oder Krypton, mit einer Beimengung von vorzugsweise ein bis zehn, speziell ein bis drei Prozent, eines chemisch wirksamen, insbesondere oxidierenden oder reduzierenden, Gases oder Dampfes, wie beispielsweise Wasserstoff, ein Alkohol oder ein Alkan, einstellbar ist.

35

Bei einer derartigen Einstellung werden die vorteilhaften Eigenschaften von Helium (gefahrlos, relativ gutes Kühlgas) und Wasserstoff (hervorragendes Kühlgas, im Vergleich zu Helium gut ionisierbar, reinigende Wirkung durch Deoxidation) in besonders zweckmäßiger Weise kombiniert. Edelgas wirkt als Energiepumpe, die atomare Zustände mit hoher Anregungsenergie und langen Verweildauern bildet, wobei das chemisch wirksame Gas oder der Dampf in einen energetisch höheren Zustand gebracht wird (Ion, angeregtes Atom, freies Radikal ...) und seine chemische Wirksamkeit voll entfaltet.

40

45

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Energieversorgungseinrichtung auf Gleichspannung, insbesondere gepulste Gleichspannung, zwischen äußerer Elektrode und Endlosmaterial bzw. Werkstück abgestimmt ist, wobei die Pulse z.T. auch umgekehrte oder wechselnde Polarität aufweisen können.

50

Gleichspannung ist für eine Gasentladung im vorliegenden Fall geeignet. Eine gepulste Gleichspannung unterdrückt den unerwünschten Übergang der Gasentladung zu einer Bogenentladung mit festem Brennfleck. Für verschiedene Prozesse können unterschiedliche Spannungs- bzw. Stromverläufe der Pulse von Vorteil sein, wie beispielsweise Rechtecksspannungen bzw.

55

Rechtecksstromverläufe.

In besonderer Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass sie für eine kontinuierliche Plasmaprozessierung eines Endlosmaterials ausgelegt ist, umfassend eine Führungseinrichtung zum kontinuierlichen Transport des Endlosmaterials durch die wenigstens eine Entladungskammer, wobei das Magnetfeld der Hochleistungsmagnetanordnung im Wesentlichen parallel zum Endlosmaterial ausgerichtet ist.

Eine solche Anlage ist zur effizienten Behandlung von Endlosmaterial besonders gut geeignet.

In besonderer Ausbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Einrichtung zur Einstellung einer Gas-Atmosphäre ein Vorkammern- und ein Nachkammernsystem umfasst, wobei zwischen den Kammern dieser Systeme Schleusenöffnungen vorgesehen sind, durch welche das Endlosmaterial reibungsarm durch das Vorkammern- und das Nachkammernsystem hindurch führbar ist.

Durch eine derart reibungsarm gestaltete Führung können besonders hohe Prozessgeschwindigkeiten gefahren werden, während gleichzeitig die für die Gasentladung erforderliche Gasatmosphäre aufrecht erhalten werden kann.

In Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Vorkammern in Unterkammern unterteilt sind und/oder das Nachkammernsystem aus einzelnen Nachkammern zusammengesetzt ist, wobei zwischen den Unterkammern bzw. den Nachkammern Schleusenöffnungen vorgesehen sind, über welche das Endlosmaterial reibungsarm durch die Unterkammern bzw. die Nachkammern hindurch führbar ist.

Die Ausbildung von Unterkammern und Nachkammern ermöglicht auch bei reibungsarmer Führung des Endlosmaterials eine sichere Aufrechterhaltung der gewünschten Atmosphäre in der Entladungskammer und verhindert das unerwünschte Eintreten von Luft in dieselbe.

In besonderer Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass wenigstens eine Nachkammer als Gaskühlkammer ausgebildet ist. So kann das Endlosmaterial vor seinem Austritt in Luft abgekühlt werden und eine unerwünschte Oxidation verhindert werden.

In einer anderen Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Führungseinrichtung am Anfang und am Ende der Anlage jeweils eine Führungsrolle umfasst, wobei die beiden Führungsrollen vorzugsweise einen unterschiedlichen Durchmesser aufweisen.

Durch eine derartige Ausbildung von Führungsrollen können mechanische Schwingungen des Endlosmaterials, wie sie insbesondere bei höheren Durchlaufgeschwindigkeiten zu erwarten wären, vermindert werden.

In Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Führungseinrichtung zur mechanischen Stütze ein Führungselement, vorzugsweise eine Führungsblende, eine Öse, eine Spirale oder gekreuzte Plättchen, in einem Bereich zwischen zwei Entladungskammern umfasst.

So können mechanische Schwingungen des Endlosmaterials weiter reduziert werden.

In Weitergestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Vakuumpumpen mit den Vorkammern und dem Nachkammernsystem derart aufeinander abgestimmt sind, dass eine Druckstufung einstellbar ist, die das Eindringen von Umgebungsluft in die Entladungskammern verhindert.

So kann auch bei relativ großen Eintritts- bzw. Austrittsöffnungen gewährleistet werden, dass

die benötigte Atmosphäre in den Entladungskammern aufrecht erhalten bleibt.

In Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Einrichtung zur Einstellung einer Gas-Atmosphäre ein Rückgewinnungssystem umfasst, bei dem Gas aus einer Entladungs- und/oder Nachkammer in eine Vorkammer und/oder Nachkammer mit höherem Druckniveau umwälzbar ist.

So kann besonders gas-sparend prozessiert werden, was insbesondere bei teuren Prozessgasen wie Helium von Bedeutung ist.

In einer anderen Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass in Arbeitsrichtung vor den Vorkammern eine Vorreinigungsstufe mit Grobtrocknung angeordnet ist.

Durch eine derartige Vorreinigung kann die Prozessdauer in der Entladungskammer kürzer gehalten werden und die Prozessgeschwindigkeit daher weiter erhöht werden. Vor allem werden Service- bzw. Reinigungsarbeiten der Anlage seltener notwendig sein.

Weiters kann vorgesehen sein, dass in Arbeitsrichtung nach dem Nachkammersystem eine Flüssigkeitskühlstufe, insbesondere eine Wasserkühlstufe, angeordnet ist.

Eine derartige Kühlstufe ermöglicht eine besonders rasche Abkühlung des Endlosmaterials und verhindert daher besonders zuverlässig seine unerwünschte Oxidation an der Luft.

In einer anderen Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Anlage für eine Plasmaprozessierung für Werkstücke im Batchverfahren ausgelegt ist und eine Beladungseinrichtung für Werkstücke vorgesehen ist.

So kann die Anlage mit hohen Plasmastromdichten auch für Werkstücke unterschiedlicher Geometrie herangezogen werden.

Insbesondere kann vorgesehen sein, dass die Beladungseinrichtung einen abnehmbaren nicht-magnetischen Deckel, vorzugsweise aus Edelstahl oder Aluminium, umfasst, mit dem eine Beladungsöffnung der Entladungskammer vakuumdicht abdeckbar ist.

So kann ein Werkstück bequem in die Entladungskammer eingebracht werden. Ein nichtmagnetischer Deckel ist auch in Gegenwart starker Magnetfelder problemlos handhabbar.

In einer anderen Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Beladungseinrichtung einen Deckel, vorzugsweise eine Platte, mit wenigstens einem Permanentmagneten und/oder einem Eisenschlusselement umfasst, mit der die Beladungsöffnung der Entladungskammer vakuumdicht abdeckbar ist, wobei weiters eine insbesondere hydraulische Betätigungseinrichtung zum Öffnen und Schließen der Beladungsöffnung mit dieser Platte vorgesehen ist.

Eine Platte mit wenigstens einem Permanentmagneten und/oder einem Eisenschlusselement ermöglicht bei geschlossener Entladungskammer die Erzeugung eines besonders homogenen Magnetfelds. Die Bewegung der Platte mit wenigstens einem Permanentmagneten kann gegen eventuell auftretende magnetische Kräfte mit einer insbesondere hydraulischen Betätigungseinrichtung bequem durchgeführt werden.

Die Erfindung betrifft weiters ein Verfahren zur magnetfeldbeeinflussten Plasmaprozessierung eines Endlosmaterials oder eines Werkstücks mit einer Anlage gemäß einem der Ansprüche 1 bis 27.

Aufgabe der Erfindung besteht darin, die erzielbare Energiedichte der Gasentladung wesentlich

zu erhöhen.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, dass ein starkes Magnetfeld, insbesondere von wenigstens 50mT, vorzugsweise von wenigstens 100mT, gegebenenfalls von über 400mT, im Bereich wenigstens einer evakuierbaren Entladungskammer angelegt wird.

Schließlich betrifft die Erfindung eine Anlage zur magnetfeldbeeinflussten Plasmaprozessierung eines Endlosmaterials oder eines Werkstücks gemäß Oberbegriff des Anspruchs 1.

Aufgabe der Erfindung besteht darin, die erzielbare Energiedichte der Gasentladung wesentlich zu erhöhen.

Erfindungsgemäß wird dies durch die Verwendung einer Hochleistungsmagnetanordnung zur Erzeugung eines starken Magnetfeldes, insbesondere von wenigstens 50mT, vorzugsweise von wenigstens 100mT, gegebenenfalls von über 400mT, im Bereich wenigstens einer evakuierbaren Entladungskammer erreicht.

Die Erfindung wird unter Bezugnahme auf die beigeschlossenen Zeichnungen, in welchen Ausführungsformen dargestellt sind, näher beschrieben. Dabei zeigt:

Fig. 1 den Querschnitt durch eine Anlage zur Plasmaprozessierung mit einer Permanentmagnetanordnung mit Eisenschlusselementen,

Fig. 2 den Längsschnitt durch eine Anlage gemäß Fig. 1,

Fig. 3 bis 5 weitere Querschnitte durch Permanentmagnetanordnungen mit Eisenschlusselementen,

Fig. 6 einen Längsschnitt durch eine Permanentmagnetanordnung mit Eisenschlusselementen,

Fig. 7 einen Längsschnitt durch eine Anlage zur Plasmaprozessierung von Endlosmaterial,

Fig. 8 einen Längsschnitt einer Anlage zur Plasmaprozessierung von Werkstücken mit geöffnetem Deckel,

Fig. 9 einen Längsschnitt einer Anlage zur Plasmaprozessierung von Werkstücken mit geöffneter Platte und Betätigungseinrichtung und

Fig. 10 einen Längsschnitt durch eine weitere Ausführungsform einer Anlage zur Plasmaprozessierung von Endlosmaterial.

Fig. 1 zeigt den Schnitt durch eine erfindungsgemäße Anlage, die in Folge von innen nach außen beschrieben wird. Das zu prozessierende Material ist ein Endlosmaterial 1, das von einer äußeren Elektrode 5 umgeben ist und das durch eine die äußere Elektrode 5 umschließende Entladungskammer 3a geführt wird. Die Entladungskammer ist von einer Permanentmagnetanordnung 6 umgeben, die hier aus sechs Permanentmagneten 61 zusammengesetzt ist. Permanentmagnetanordnung 6 kann auch innerhalb der äußeren Elektrode 5 angeordnet sein. Die Permanentmagnete 61 sind vorzugsweise aus anisotropem Material, weisen also eine Vorzugsorientierung auf. Solche anisotrope Permanentmagnete 61 können nämlich stärker magnetisiert werden, als isotrope. Insbesondere Permanentmagnete 61 aus einer NdFeB-Legierung sind hier gut geeignet. Die sechs Permanentmagnete 61 bilden hier im Wesentlichen ein Sechseck. Es sind unterschiedliche Magnetisierungsrichtungen der Permanentmagnete 61 denkbar. Eine mögliche Variante der Polarisierungsanordnung, die einigermaßen homogene Feldbereiche in der Entladungskammer 3a erzeugt, ist in Fig. 6 dargestellt.

Zur besseren Bündelung des Magnetfeldes innerhalb der Entladungskammer 3a können Eisenschlusselemente 62 vorgesehen sein, die um die Permanentmagnetanordnung 6 herum angeordnet sind. Diese Eisenschlusselemente 62 können mit Befestigungen 63 fest zusammengeslossen sein, wobei die Befestigungen 63 auch lösbar, zum Beispiel als Schrauben, ausgeführt sein können. Eine mechanisch stabile Anordnung von Permanentmagneten 61 bzw. Eisenschlusselementen 62 kann auch innerhalb eines Stahlrohres erfolgen.

Fig. 2 zeigt die gleiche Anlage, wie in Fig. 1, im Längsschnitt. Die unterschiedlich schraffierten Permanentmagnete 61 deuten unterschiedliche Magnetisierungsrichtungen derselben an. Eine mögliche Magnetisierungsanordnung ist in Fig. 6 dargestellt.

5 Fig. 3 bis 5 zeigen Querschnitte durch Anordnungen von Permanentmagneten 61 mit Eisenschlusselementen 62, wobei durch die dargestellten Pfeile in den Permanentmagneten 61 Beispiele für mögliche Magnetisierungsrichtungen angedeutet sind. Die Pfeile jeweils innerhalb der Entladungskammer 3a symbolisieren die magnetischen Feldlinien in derselben. Neben den dargestellten rechteckigen und sechseckigen Querschnitten sind auch andere polygonale Geometrien für Anordnungen von Permanentmagneten 61 denkbar.

Mittels zeitlich begrenzter Stromverläufe, die um jeweils einen Permanentmagneten 61 geschickt werden, kann die Magnetisierungsstärke bzw. -Richtung verändert werden. So können mit einer einzigen Anordnung von Permanentmagneten 61 unterschiedliche Magnetfelder in einer Entladungskammer 3a erzeugt werden. Dies ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn Werkstücke 1' unterschiedlicher Geometrien plasmaprozessiert werden sollen.

Es ist aber auch denkbar, durch eine Veränderung der Anordnung (Entfernung, Austausch, Verschieben oder Verdrehen) von Permanentmagneten 61 bzw. Eisenschlusselementen 62 ein Magnetfeld auf benötigte Geometrien und Prozesse abzustimmen.

Um eine Überhitzung der Hochleistungsmagnetanordnung zu unterbinden, die zu einer Beeinträchtigung des zu erzeugenden Magnetfeldes führen könnte, kann eine Kühlung der Hochleistungsmagnetanordnung vorgesehen sein. Hier ist sowohl eine Flüssigkeitskühlung als auch eine Gaskühlung, vorzugsweise eine Luftkühlung, denkbar.

Starke Magnetfelder lassen sich auch durch supraleitende Elektromagnete erzeugen, die anstelle einer Permanentmagnetanordnung 6 als Hochleistungsmagnetanordnung vorgesehen sein können. Solche supraleitende Elektromagnete können durch Variation der diese durchfließenden Stromstärke und der Stromrichtung ebenfalls zur Erzeugung unterschiedlich ausgeprägter Magnetfelder innerhalb einer Entladungskammer 3a herangezogen werden.

Fig. 7 und Fig. 10 zeigen Ausführungsbeispiele einer Anlage zur Plasmaprozessierung von Endlosmaterial 1. Nach zwei oder drei Vorkammersystemen 10, 11, 12, die je aus mehreren Unterkammern bestehen, z.B. 10a, 10b..., und jeweils an der letzten Unterkammer 10e, 11e, 12e ausgepumpt werden, geht das Endlosmaterial 1 durch zwei Entladungskammern 3a, 3b, zu dem Nachkammersystem 2a ... 2k. Dieses besteht aus einer langen Nachkammer 2f, die als Gaskühlstrecke fungiert, sowie vor- und nachgeschalteten kleinen Kammern, die wiederum miteinander durch Schleusenöffnungen verbunden sind. Die Vielzahl an Schleusenöffnungen in Kombination mit einer einstellbaren Druckstufung minimiert den Gasfluss, den Gasverbrauch und die nötige Pumpleistung. Das Gas strömt aus dem Nachkammersystem 2 in die zweite Entladungskammer 3b, danach wird der Gasfluss aufgespaltet. Ein Großteil wird durch eine Vakuumpumpe 7d, der Filter 8 vor- und nachgeschaltet sind, zurück in die als Gaskühlstrecke ausgeführte Nachkammer 2f geleitet. Ein kleiner Teil des Gases strömt in die erste Entladungskammer 3a und gelangt durch die letzte Schleuse der dritten Vorkammer 12e über die Pumpe 7c nach außen. Hiermit wird gewährleistet, dass die zweite Entladungskammer 3b mit sehr sauberem Gas arbeitet, wogegen die Mehrzahl der Ausdampfungen, die ja aus dem Endlosmaterial 1 in der ersten Entladungskammer 3a freigesetzt werden, mit einer relativ kleinen Menge des Arbeitsgases vermischt über eine Vakuumpumpe 7c nach außen gelangt. Die Gaszuführung 9 in die gesamte Anlage erfolgt durch die Quorzuleitung 13 mit einem relativ sehr kleinen Überdruck gegenüber dem Atmosphärendruck (z.B.: 0,1 bar). Der Druck in der als Gaskühlstrecke ausgebildeten Nachkammer 2f ist dagegen wesentlich größer, was dort eine bessere Kühlleistung des Endlosmaterials 1 zu Folge hat. So kann ein Rückgewinnungssystem verwirklicht werden, bei dem Gas aus einer Entladungskammer 3a, 3b in eine Vorkammer 10, 11, 12 und/oder Nachkammer 2a ... 2k mit höherem Druckniveau umgewälzt wird. Als Arbeitsgas

fungiert hier beispielsweise Helium. Ein Rückgewinnungssystem wie in Fig. 10 dargestellt hat sich durch besondere Effizienz bewährt.

Das Endlosmaterial 1 sei ein Edelstahldraht, der beispielsweise auf 1100 Grad Celsius gegläht wird. Die Entladungskammern 3a, 3b bestehen jeweils aus einem 2m langen und 7cm durchmessenden Edelstahlröhr, das gleichzeitig Gefäßwand und die äußere Elektrode 5 bildet sowie einem Quarzglasröhr 4, das dicht an die äußere Elektrode 5 anschließt und die elektrische Isolierung der äußeren Elektroden 5 gewährleistet. Das Magnetfeld wird durch zwei röhrförmige Permanentmagnetanordnungen 6 erzeugt, die außerhalb der Entladungskammern 3a, 3b konzentrisch angeordnet sind. Zwischen den Entladungskammern 3a, 3b und den Permanentmagnetanordnungen 6 befindet sich eine Kühlflüssigkeit. Die beiden Permanentmagnetanordnungen 6 sind jeweils in der Längsrichtung magnetisiert und so angeordnet, dass die gleichnamigen Pole gegeneinander gerichtet sind. Dadurch wird erreicht, dass in der Symmetrieebene zwischen den beiden Entladungskammern 3a, 3b kein Magnetfeld herrscht. Man kann daher das Endlosmaterial 1 dort mechanisch „stützen“ (z.B. durch ein Führungselement 16, vorzugsweise eine Führungsblende, eine Öse, eine Spirale oder gekreuzte Plättchen) und damit am Schwingen hindern, ohne dass eine Entladung zu diesem Führungselement 16 brennt.

Als Spannung zwischen den äußeren Elektroden 5 der beiden Entladungskammern 3a, 3b und dem Endlosmaterial 1 wird eine Gleichspannung, insbesondere eine gepulste Gleichspannung, angelegt, die in eigenen Energieversorgungseinrichtungen (nicht eingezeichnet) erzeugt wird. So kann eine weitere Energiedichtenerhöhung durch Pulsentladungen, z.B. mittels eines Rechteckssignals mit beispielsweise ca. 300V Amplitude und ca. 25kHz Pulsfrequenz, erzielt werden. Es können auch andere Werte für die Amplitude und die Pulsfrequenz gewählt werden, wobei die Pulse z.T. auch umgekehrte Polarität aufweisen können. Eine gepulste Gleichspannung unterdrückt die unerwünschte Ausbildung von Bogenentladungen mit Brennfleck.

Die Führungsrollen 14 sind geerdet und kontaktieren (erden) das Endlosmaterial 1. Sie weisen idealerweise ein Radiusverhältnis von 5:7 auf. Sowohl die Entladungskammern 3a, 3b wie auch die Endlosmaterial-Gaskühlstrecke 2 werden beispielsweise mittels Öl flüssigkeitsgekühlt. Das Öl wird von einer Pumpe umgewälzt und kühlt sich im Flüssigkeitsbehälter einer Endlosmaterial-Vorreinigungsstufe, insbesondere mit Grobtrocknung, durch einen Wärmetauscher auf die Siedetemperatur der Vorreinigungsflüssigkeit (Wasser oder Wasser mit Reinigungsmitteln) ab. Auf diese Weise wird sowohl die Vorreinigungsflüssigkeit erhitzt, als auch die Temperaturen der Entladungskammern 3a, 3b und die der Gaskühlstrecke 2f konstant gehalten. In der ersten Nachkammer 2a befindet sich ein Strahlungsdetektor, der die Wärmestrahlung des Endlosmaterials 1 aufnimmt und daraus die Oberflächentemperatur des Endlosmaterials 1 ermittelt. Nach dem Nachkammersystem kann weiters eine Flüssigkeitskühlstufe, insbesondere eine Wasserkühlstufe, vorgesehen sein. Der ganze Prozess kann über ein Regel- bzw. Steuersystem 17, wie einer Prozesssteuerung SPS, oder auch einfacher Regel- bzw. Steuersysteme, und über insbesondere regel- bzw. steuerbare Ventile 18 kontrolliert werden.

Für eine effiziente Plasmaprozessierung eignen sich unterschiedliche Gase in Kombination mit unterschiedlichen Drücken und Magnetfeldstärken. Einige dieser Kombination sind beispielhaft angegeben.

	100mT	500mT	Bemerkung zu Gas
He	~5mbar	~25mbar	gute Kühleigenschaften und höchste Leistungsdichten
Ar	~2,5mbar	~12,5mbar	kostengünstig und betriebssicher
N ₂	~0,5mbar	~2,5mbar	kostengünstig und betriebssicher, zur Nitrierung geeignet
H ₂			gute Kühleigenschaften, explosiv

Auch Gasgemische können zur Plasmaprozessierung eingesetzt werden. So ist beispielsweise

eine Beimengung von etwa ein bis drei Prozent Wasserstoff zu einer Heliumatmosphäre sinnvoll, um die Vorteile der guten Ionisierbarkeit von Wasserstoff zu nutzen, während der überwiegende Anteil Helium die Betriebssicherheit gewährleistet.

- 5 Als Arbeitsgase können auch ganz allgemein Edalgase, insbesondere Helium, Argon oder Krypton, mit einer Beimengung von vorzugsweise ein bis zehn, speziell ein bis drei Prozent, eines chemisch wirksamen, insbesondere oxidierenden oder reduzierenden, Gases oder Dampfes, wie beispielsweise Wasserstoff, ein Alkohol oder ein Alkan, eingesetzt werden, wofür jeweils die entsprechenden Drücke einstellbar sind.

10

Die entsprechenden optimalen Drücke werden über Vakuumpumpen 7a bis 7d, vorzugsweise kostengünstige Drehschieberpumpen, und gegebenenfalls über Filter 8 und Ventile 18 erzeugt, womit bei gegebenem Magnetfeld der benötigte Druck zur Konzentration des Plasmastromes im Bereich des Magnetfeldes erzielt werden kann.

15

- Fig. 8 und 9 zeigen eine Anlage zur Plasmaprozessierung von Werkstücken 1' im Batchverfahren mit einer Beladungsvorrichtung, die insbesondere eine Beladungsöffnung 22 umfasst. Die Beladungsöffnung 22 kann beispielsweise mit einem nichtmagnetischen Deckel 21 vakuumdicht verschlossen werden. Anstelle des Deckels 21 kann auch eine Platte 23 mit wenigstens einem Permanentmagneten 61 angeordnet sein, wobei diese Platte 23 auch ein Eisenschlusselement umfassen kann. Um die mitunter beträchtlichen magnetischen Kräfte, die bei der Betätigung dieser Platte 23 zu überwinden sind, aufbringen zu können, kann eine Betätigungseinrichtung 24 vorgesehen sein, die es mittels geeigneter mechanischer Übersetzungen, wie z.B. Gewindestangen oder dgl., oder hydraulischer Einrichtungen ermöglicht, diese Platte 23 zum Öffnen bzw. Verschließen der Beladungsöffnung 22 zu bewegen.

25

Patentansprüche:

- 30 1. Anlage zur magnetfeldbeeinflussten Plasmaprozessierung eines Endlosmaterials (1) oder eines Werkstücks (1'), umfassend wenigstens eine evakuierbare Entladungskammer (3a, 3b), darin eine äußere Elektrode (5), insbesondere Anode, die elektrisch isoliert um das Endlosmaterial (1) oder das Werkstück (1') angeordnet ist, eine Einrichtung zur Einstellung einer Gas-Atmosphäre in der wenigstens einen Entladungskammer (3a, 3b), eine
35 Energieversorgungseinrichtung zur Bereitstellung einer(s) für eine Gasentladung zwischen dem Endlosmaterial (1) oder dem Werkstück (1') als innere Elektrode, insbesondere Kathode, und der äußeren Elektrode (5) ausreichenden Spannung bzw. Stroms, *dadurch gekennzeichnet*, dass zur beträchtlichen Erhöhung der erzielbaren Energiedichte der Gasentladung im Bereich der äußeren Elektrode (5), vorzugsweise außerhalb der äußeren Elektrode (5), eine Hochleistungsmagnetanordnung zur Erzeugung eines Magnetfelds, insbesondere von wenigstens 50mT, vorzugsweise von wenigstens 100mT, gegebenenfalls von über 400mT, angeordnet ist.
- 40 2. Anlage nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Hochleistungsmagnetanordnung als supraleitender Elektromagnet ausgebildet ist.
- 45 3. Anlage nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Hochleistungsmagnetanordnung als Permanentmagnetanordnung (6) ausgebildet ist.
- 50 4. Anlage nach Anspruch 3, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Permanentmagnetanordnung (6) aus Permanentmagneten (61), insbesondere aus anisotropen Permanentmagneten, vorzugsweise aus NdFeB-Permanentmagneten, aufgebaut ist, welche im Wesentlichen die Seitenwände eines Prismas mit polygonalem Querschnitt bilden.
- 55 5. Anlage nach Anspruch 4, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Querschnitt des Prismas als

Quadrat oder Sechseck ausgebildet ist.

- 5 6. Anlage nach Anspruch 3, 4 oder 5, *dadurch gekennzeichnet*, dass Eisenschlusselemente (62) vorgesehen sind, die das Magnetfeld der Permanentmagnetanordnung (6) im Bereich der Gasentladung konzentrieren.
- 10 7. Anlage nach Anspruch 6, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Permanentmagnete (61) jeweils im Wesentlichen normal zu an diese angrenzenden Eisenschlusselemente (62) angeordnet sind, sodass jeweils genau ein Pol eines Permanentmagnetes (61) am Eisenschlusselement (62) anliegt.
- 15 8. Anlage nach einem der Ansprüche 3 bis 7, *dadurch gekennzeichnet*, dass eine Vorrichtung zur Abstimmung der Magnetfelder der Permanentmagnete (61) mit definierten begrenzten Stromverläufen vorgesehen ist.
- 20 9. Anlage nach einem der Ansprüche 3 bis 8, *dadurch gekennzeichnet*, dass wenigstens ein Permanentmagnet (61) und/oder wenigstens ein Eisenschlusselement (62) entfernbar, ersetzbar, verschiebbar oder verdrehbar angeordnet ist.
- 25 10. Anlage nach einem der Ansprüche 1 bis 9, *dadurch gekennzeichnet*, dass die äußeren Elektroden (5) und/oder die Hochleistungsmagnetanordnung kühlbar, insbesondere flüssigkeitskühlbar, sind.
- 30 11. Anlage nach einem der Ansprüche 1 bis 8, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Einrichtung zur Einstellung einer Gas-Atmosphäre ein Regel- bzw. Steuersystem (17) mit Vakuumpumpen (7a - 7d), vorzugsweise Drehschieberpumpen, und/oder Ventilen (18) umfasst, mit denen die Gas-Atmosphäre auf einen auf ein gewähltes Gas abgestimmten Druck einstellbar ist.
- 35 12. Anlage nach Anspruch 9, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Einrichtung zur Einstellung einer Gas-Atmosphäre auf Edelgase, insbesondere auf Helium, einstellbar ist.
- 40 13. Anlage nach Anspruch 11 oder 12, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Einrichtung zur Einstellung einer Gas-Atmosphäre auf Edelgase, insbesondere auf Helium, Argon oder Krypton, mit einer Beimengung von vorzugsweise ein bis zehn, speziell ein bis drei Prozent, eines chemisch wirksamen, insbesondere oxidierenden oder reduzierenden, Gases oder Dampfes, wie beispielsweise Wasserstoff, ein Alkohol oder ein Alkan, einstellbar ist.
- 45 14. Anlage nach einem der Ansprüche 1 bis 13, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Energieversorgungseinrichtung auf Gleichspannung, insbesondere gepulste Gleichspannung, zwischen äußerer Elektrode (5) und Endlosmaterial (1) bzw. Werkstück (1') abgestimmt ist, wobei die Pulse z.T. auch umgekehrte oder wechselnde Polarität aufweisen können.
- 50 15. Anlage zur Plasmaprozessierung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, *dadurch gekennzeichnet*, dass sie für eine kontinuierliche Plasmaprozessierung eines Endlosmaterials (1) ausgelegt ist, umfassend eine Führungseinrichtung (15) zum kontinuierlichen Transport des Endlosmaterials (1) durch die wenigstens eine Entladungskammer (3a, 3b), wobei das Magnetfeld der Hochleistungsmagnetanordnung im Wesentlichen parallel zum Endlosmaterial (1) ausgerichtet ist.
- 55 16. Anlage nach Anspruch 15, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Einrichtung zur Einstellung einer Gas-Atmosphäre ein Vorkammern- (10, 11, 12) und ein Nachkammernsystem (2) umfasst, wobei zwischen den Kammern (2, 3a, 3b, 10, 11, 12) dieser Systeme Schleusenöffnungen vorgesehen sind, durch welche das Endlosmaterial (1) reibungsarm durch das Vorkammern- (10, 11, 12) und das Nachkammernsystem (2) hindurch führbar ist.

17. Anlage nach Anspruch 16, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Vorkammern (10, 11, 12) in Unterkammern (a, b, c...) unterteilt sind und/oder das Nachkammersystem (2) aus einzelnen Nachkammern (2a ... 2k) zusammengesetzt ist, wobei zwischen den Unterkammern (a, b, c...) bzw. den Nachkammern (2a ... 2k) Schleusenöffnungen vorgesehen sind, über welche das Endlosmaterial (1) reibungsarm durch die Unterkammern (a, b, c...) bzw. die Nachkammern (2a ... 2k) hindurch führbar ist.
18. Anlage nach Anspruch 16 oder 17, *dadurch gekennzeichnet*, dass wenigstens eine Nachkammer (2f) als Gaskühlkammer ausgebildet ist.
19. Anlage nach einem der Ansprüche 15 bis 18, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Führungseinrichtung (15) am Anfang und am Ende der Anlage jeweils eine Führungsrolle (14) umfasst, wobei die beiden Führungsrollen (14) vorzugsweise einen unterschiedlichen Durchmesser aufweisen.
20. Anlage nach einem der Ansprüche 16 bis 19, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Führungseinrichtung zur mechanischen Stütze ein Führungselement (16), vorzugsweise eine Führungsblende, eine Öse, eine Spirale oder gekreuzte Plättchen, in einem Bereich zwischen zwei Entladungskammern (3a, 3b) umfasst.
21. Anlage nach Anspruch 16 bis 20, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Vakuumpumpen (7a - 7d) mit den Vorkammern (10, 11, 12) und dem Nachkammersystem (2) derart aufeinander abgestimmt sind, dass eine Druckstufung einstellbar ist, die das Eindringen von Umgebungsluft in die Entladungskammern (3a, 3b) verhindert.
22. Anlage nach einem der Ansprüche 16 bis 21, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Einrichtung zur Einstellung einer Gas-Atmosphäre ein Rückgewinnungssystem umfasst, bei dem Gas aus einer Entladungskammer (3a, 3b) und/oder einer Nachkammer (2a ... 2k) in eine Vorkammer (10, 11, 12) und/oder Nachkammer (2a ... 2k) mit höherem Druckniveau umwälzbar ist.
23. Anlage nach einem der Ansprüche 16 bis 22, *dadurch gekennzeichnet*, dass in Arbeitsrichtung vor den Vorkammern (10, 11, 12) eine Vorreinigungsstufe mit Grobtrocknung angeordnet ist.
24. Anlage nach einem der Ansprüche 16 bis 23, *dadurch gekennzeichnet*, dass in Arbeitsrichtung nach dem Nachkammersystem (2) eine Flüssigkeitskühlstufe, insbesondere eine Wasserkühlstufe, angeordnet ist.
25. Anlage nach einem der Ansprüche 1 bis 14, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Anlage für eine Plasmaprozessierung für Werkstücke (1') im Batchverfahren ausgelegt ist und eine Beladungseinrichtung (20) für Werkstücke (1') vorgesehen ist.
26. Anlage nach Anspruch 25, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Beladungseinrichtung (20) einen abnehmbaren nichtmagnetischen Deckel (21), vorzugsweise aus Edelstahl oder Aluminium, umfasst, mit dem eine Beladungsöffnung (22) der Entladungskammer (3a, 3b) vakuumdicht abdeckbar ist.
27. Anlage nach Anspruch 25 oder 26, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Beladungseinrichtung einen Deckel, vorzugsweise eine Platte (23), mit wenigstens einem Permanentmagneten (61) und/oder ein Eisenschlusselement umfasst, mit der die Beladungsöffnung (22) der Entladungskammer (3a, 3b) vakuumdicht abdeckbar ist, wobei weiters eine insbesondere hydraulische Betätigungseinrichtung (24) zum Öffnen und Schließen der Beladungsöffnung (22) mit dieser Platte (23) vorgesehen ist.

28. Verfahren zur magnetfeldbeeinflussten Plasmaprozessierung eines Endlosmaterials (1) oder eines Werkstücks (1') mit einer Anlage gemäß einem der Ansprüche 1 bis 27, *dadurch gekennzeichnet*, dass ein starkes Magnetfeld, insbesondere von wenigstens 50mT, vorzugsweise von wenigstens 100mT, gegebenenfalls von über 400mT, im Bereich wenigstens einer evakuierbaren Entladungskammer (3a, 3b) angelegt wird.
29. Verwendung einer Hochleistungsmagnetanordnung zur Erzeugung eines starken Magnetfeldes, insbesondere von wenigstens 50mT, vorzugsweise von wenigstens 100mT, gegebenenfalls von über 400mT, im Bereich wenigstens einer evakuierbaren Entladungskammer (3a, 3b) für eine Anlage zur magnetfeldbeeinflussten Plasmaprozessierung eines Endlosmaterials (1) oder eines Werkstücks (1') gemäß Oberbegriff des Anspruchs 1.

Hiezu 6 Blatt Zeichnungen

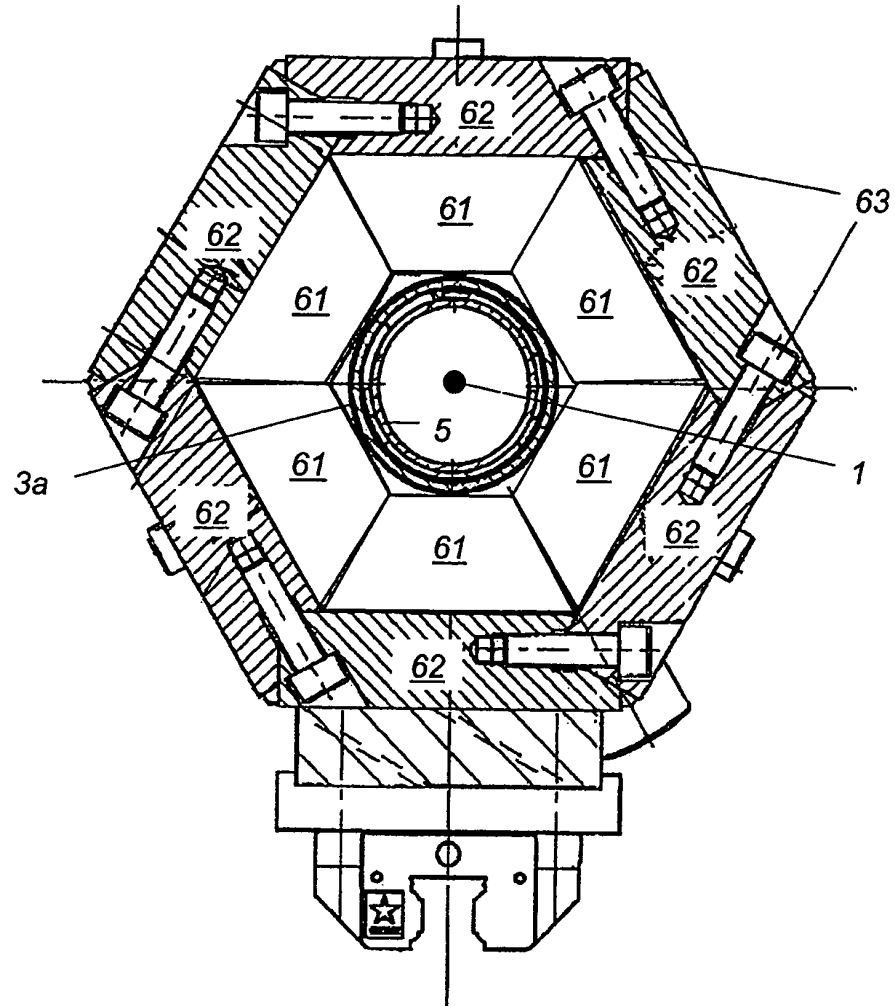


Fig. 1

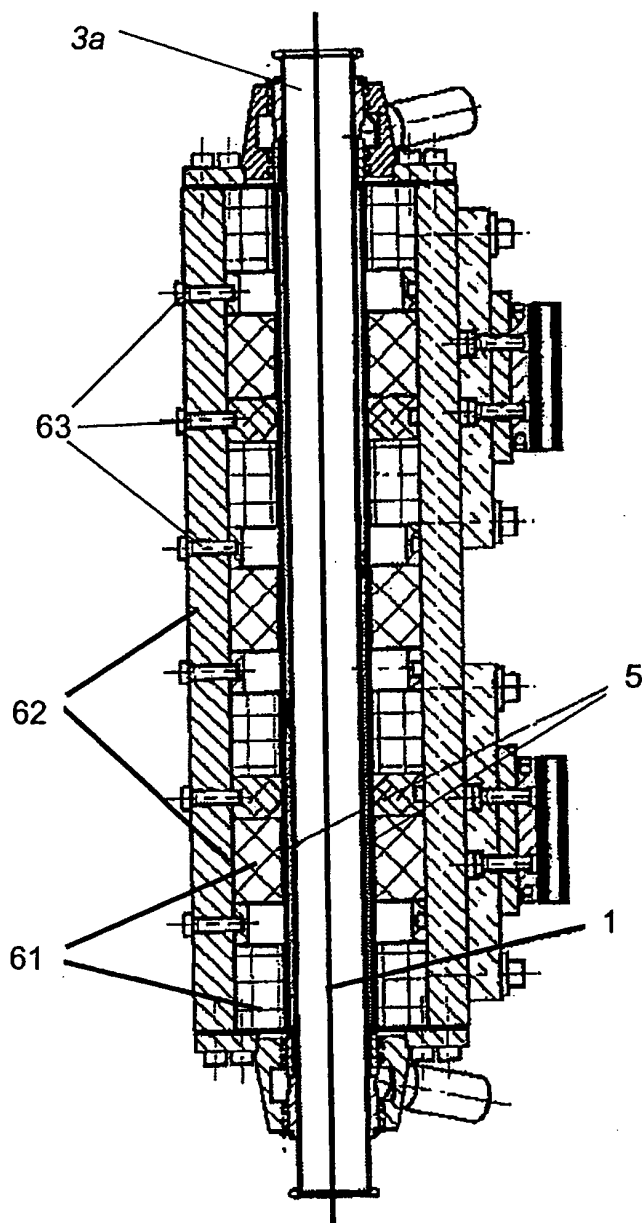


Fig. 2

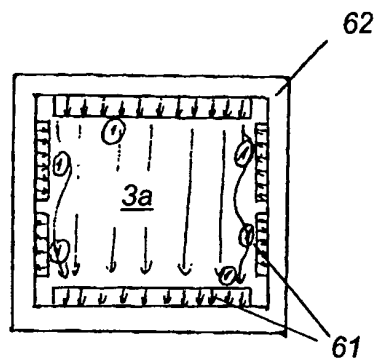


Fig. 3

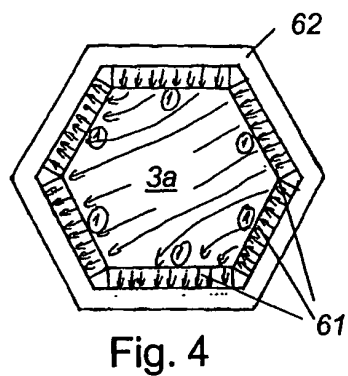


Fig. 4

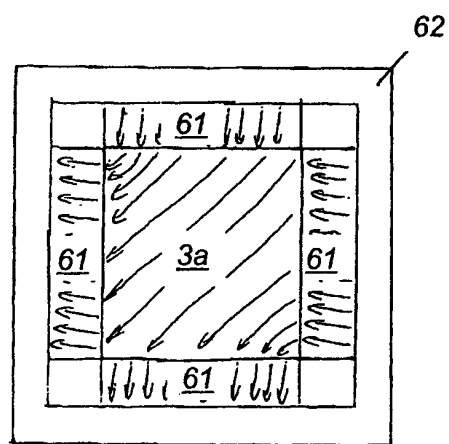


Fig. 5

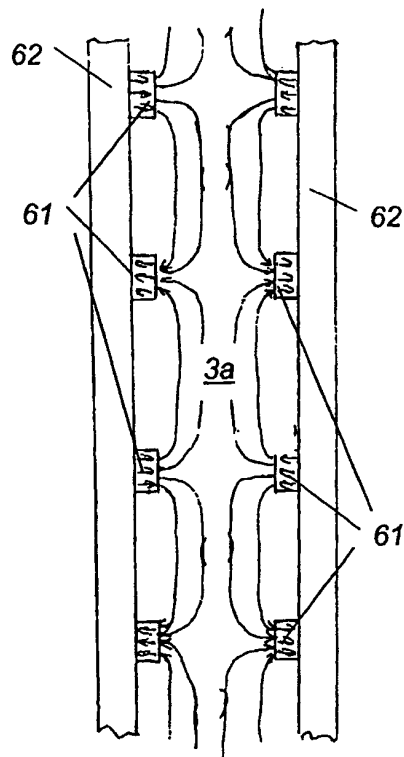


Fig. 6

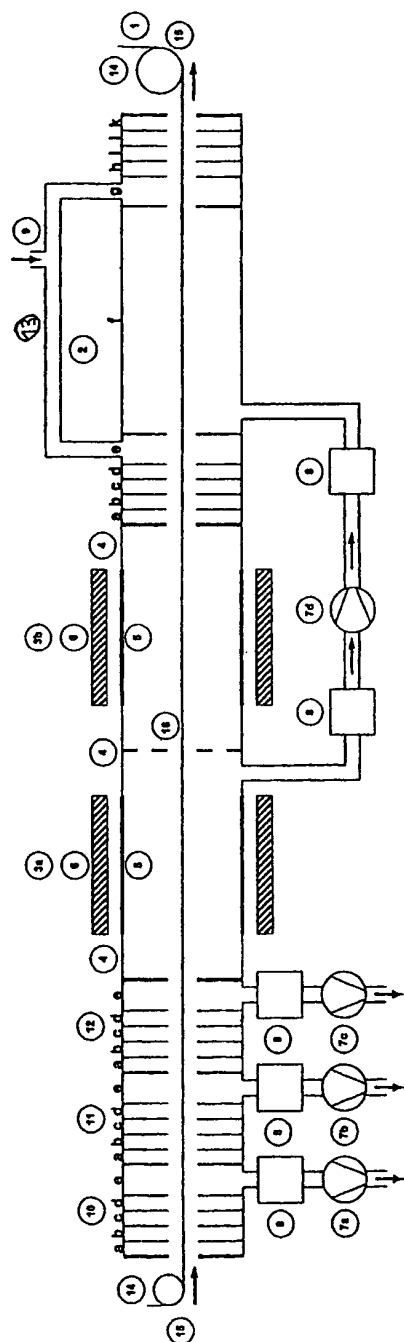


Fig. 7

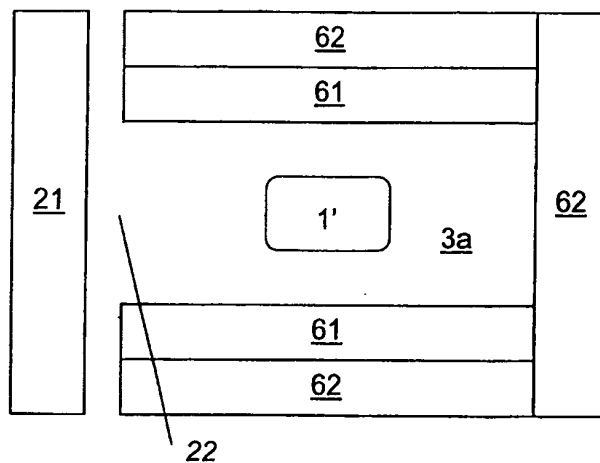


Fig. 8

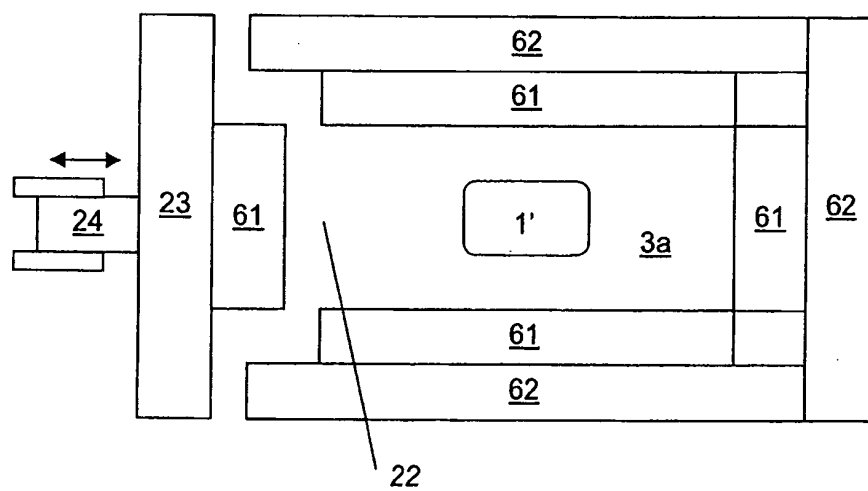


Fig. 9

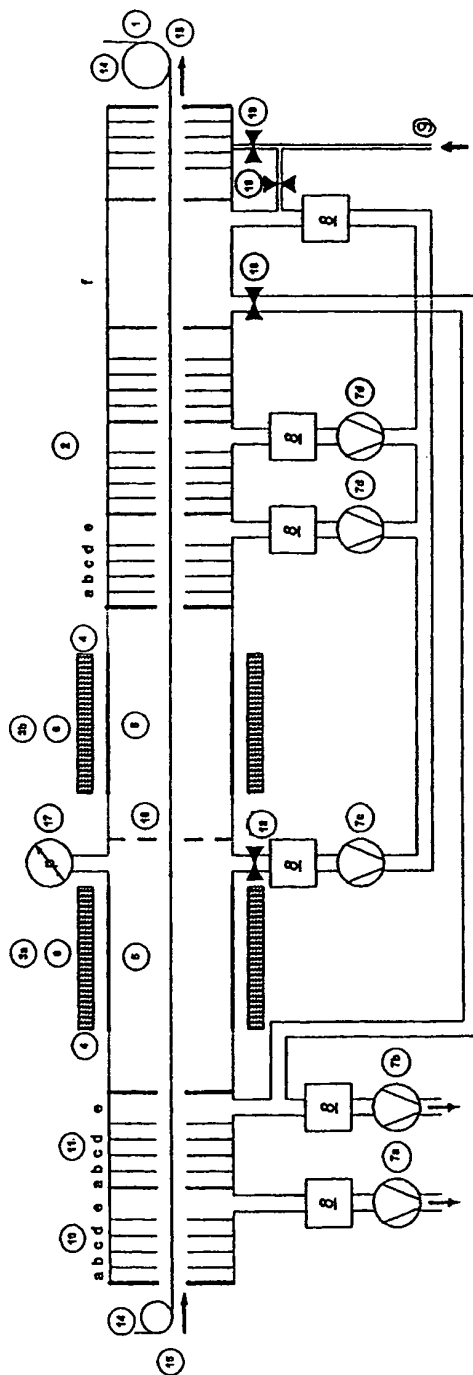


Fig. 10