

(19)



(11)

EP 2 176 439 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
15.04.2020 Patentblatt 2020/16

(51) Int Cl.:
C23C 4/12 ^(2016.01) **B05B 7/16** ^(2006.01)
C23C 24/04 ^(2006.01) **B05B 7/14** ^(2006.01)
B05B 16/40 ^(2018.01)

(21) Anmeldenummer: **08735290.2**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2008/003051

(22) Anmeldetag: **16.04.2008**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2008/125353 (23.10.2008 Gazette 2008/43)

(54) **BEARBEITUNGSMASCHINE FÜR EINE ABTRAGENDE UND FÜR EINE AUFBAUENDE
BEARBEITUNG**

MACHINING CENTER FOR SUBTRACTIVE AND ADDITIVE MACHINING OPERATIONS

MACHINE DE TRAITEMENT POUR UN TRAITEMENT DE DÉSASSEMBLAGE ET D'ASSEMBLAGE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT
RO SE SI SK TR**

(72) Erfinder: **DIRSCHERL, Markus**
81547 München (DE)

(30) Priorität: **16.04.2007 DE 102007017759**

(74) Vertreter: **Hoefer & Partner Patentanwälte mbB**
Pilgersheimer Straße 20
81543 München (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
21.04.2010 Patentblatt 2010/16

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 0 554 033 WO-A1-02/42056

(73) Patentinhaber: **Hermle Maschinenbau GmbH**
78559 Gosheim (DE)

EP 2 176 439 B1

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

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Bearbeitungsmaschine zum kombinierten Aufbau eines Werkstücks durch thermisches Spritzen und abtragende Bearbeitung.

[0002] Derartige Bearbeitungsmaschinen mit 3 Bewegungsachsen zum kombinierten Aufbau eines Werkstücks durch thermisches Spritzen eines Baumaterials und abtragende, insbesondere mechanische Bearbeitung sind bekannt. Sie weisen eine Spritzkammer auf in der sich eine Spritzpistole und eine Abtrageeinrichtung, insbesondere ein rotierendes Fräswerkzeug befindet. In der Spritzkammer wird das Werkstück mit einem thermischen Spritzverfahren aufgebaut und abwechselnd mit einer Abtrageeinrichtung mechanisch abtragend bearbeitet. Alle Versorgungseinrichtungen, wie z. B. ein Pulverförderer oder ein Gaserhitzer befinden sich außerhalb der Verkleidung der Bearbeitungsmaschine. Zudem sind ähnliche kombinierte Anlagen bekannt, z. B. sogenannte CMB-Verfahren (controlled metal build-up technology), bei denen mittels einer Laserauftragsschweißung aufgebaut und anschließend durch Hochgeschwindigkeitsfräsen bearbeitet. Das Dokument WO 02/42056 offenbart eine Vorrichtung zur Herstellung eines Bauteils, die Anlagen zum Auftragen und Abtragen von Materialien aufweist.

[0003] Mit der vorliegenden Erfindung soll eine derartige Bearbeitungsmaschine weiter verbessert werden.

[0004] Dies erfolgt erfindungsgemäß durch eine Bearbeitungsmaschine nach Anspruch 1.

[0005] Aufgrund dieser Ausgestaltung kann der Aufbau und die Bearbeitung des Werkstücks optimiert werden. Außerdem ermöglicht diese Ausgestaltung eine raumsparende Ausgestaltung der gesamten Bearbeitungsmaschine.

[0006] Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0007] Eine maßgebliche Weiterentwicklung der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass die Bewegungsachsen der Bearbeitungsmaschine aus mindestens 3 linearen Bewegungsachsen und aus mindestens 2 rotativen Bewegungsachsen bestehen. Damit wird erreicht, dass sehr komplexe Konturen in einer Aufspannung unter beliebigen Raumwinkeln auftragend und abtragend bearbeitet werden können.

[0008] Weiterhin sind bevorzugt die linearen Bewegungsachsen der Spritzpistole und/oder der Abtrageeinrichtung und die rotativen Bewegungsachsen dem Werkstück zugeordnet. Damit wird erreicht, dass das Werkstück nur zum Zwecke der Positionszustellung und nicht zum Zwecke der Bearbeitung bewegt werden kann. Die dreidimensionale Bewegung beim Auftragen und beim Abtragen erfolgt nur durch das Auftrag- oder Abtragwerkzeug, das Werkstück wird somit im Stillstand bearbeitet (beschichtet und abgetragen).

[0009] Die Abtrageeinrichtung ist in der Spritzkammer mit integriert, so dass eine sehr kompakte Bauform der Bearbeitungsmaschine realisiert werden kann.

[0010] Es sind aber auch Anwendungen denkbar, wo es vorteilhaft ist, wenn die Abtrageeinrichtung von der Spritzpistole räumlich getrennt, aber noch innerhalb der Bearbeitungsmaschine, angeordnet ist. In so einem Fall besitzt die Bearbeitungsmaschine mindestens eine separate Spritzkammer für das Auftragverfahren und mindestens eine separate Bearbeitungskammer für das Abtragverfahren, sodass die Bearbeitungsprozesse Auftragen und Abtragen sich nicht gegenseitig, z.B. thermisch negativ beeinflussen können.

[0011] Weiterhin werden die Spritzpistole und die Abtrageeinrichtung in einer bevorzugten Ausgestaltung mit ein und derselben Bewegungsvorrichtung verfahren, so dass nur relativ wenig Aufwand für die Antriebe aufgewendet werden muss.

[0012] Es sind aber auch Anwendungen denkbar wo die Spritzpistole und die Abtrageeinrichtung mit jeweils einer separaten Bewegungsvorrichtung verfahren werden, sodass die Bearbeitungsprozesse Auftragen und Abtragen in der Bearbeitungsmaschine unabhängig voneinander ablaufen können.

[0013] Als Abtragverfahren kommen vorzugsweise mechanische Abtragverfahren wie Fräsen, Schleifen, usw. zum Einsatz. Es sind aber auch prinzipiell andere Abtragverfahren wie thermische Abtragverfahren, Abtragen mit Ultraschallschwingungen usw. denkbar.

[0014] Eine weitere maßgebliche Weiterentwicklung der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass der thermische Spritzvorgang mit Wasserdampf als Hauptgas des thermischen Spritzverfahrens durchgeführt wird. Dazu ist in der Bearbeitungsmaschine weiterhin ein Hauptgaserzeuger angeordnet, der Wasser in Wasserdampf umwandelt.

[0015] Der Hauptgaserzeuger besteht nach einer vorteilhaften Ausgestaltung aus einem kombinierten Dampferzeuger und einem Übererhitzer. Diese zweistufige Aufheizung hat den Vorteil, dass der Dampferzeuger neben einem kleinen Dampfvolumen auch eine hohe Regeltgenauigkeit des Dampfdrucks sowie ein schnelles Auf- und Abfahrverhalten besitzt, so dass den Anforderungen an einen kontinuierlichen Prozess Rechnung getragen werden kann. Der erzeugte Wasserdampf wird dann einem Nacherhitzer zugeführt und auf die für das Spritzverfahren gewünschte Temperatur erhitzt.

[0016] Der Dampferzeuger besteht nach einer vorteilhaften Ausgestaltung aus einer gewundenen Heizwendel, die z.B. auch aus mehreren spiral- oder meanderförmig gewundenen, ineinander liegend angeordneten Rohrschlangen bestehen kann, deren Enden zu einem geschlossenen Strömungskanal verbunden sind.

[0017] Nach einer bevorzugten Weiterbildung sind die einzelnen Rohrschlangen derart untereinander verbunden, dass das Wasser die Rohrschlangen von außen nach innen passiert.

[0018] Besonders vorteilhaft ist es, wenn das Wasser in die äußerste Rohrschlange eintritt und aus der innersten Rohrschlange austritt. Dies hat den Vorteil, dass mitgerissene Flüssigkeitstropfen in den engeren Wendeln

der inneren Rohrschlange durch die dort höheren Fliehkräfte besser an die Wand gedrückt und dadurch verdampft werden, wodurch ein trockener Dampf ohne Flüssigkeitsanteile erreicht wird.

[0019] Der in Richtung Dampfaustritt am Ende des Strömungskanals liegende Teil der Rohrschlange wird mit einer weit über der Sättigungstemperatur liegenden Temperatur beaufschlagt um eine direkte Überhitzung des Dampfes zu erreichen.

[0020] Nach einer bevorzugten Ausgestaltung ist der Dampferzeuger in ein aus einem Material oder einer Legierung mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit, vorzugsweise Aluminium, bestehendes Gehäuse eingegossen.

[0021] Zur Beheizung des Dampferzeugers sind in dem Gehäuse nach einer vorteilhaften Ausgestaltung Heizelemente vorgesehen.

[0022] Diese Heizelemente können vorteilhafterweise aus elektrischen Heizpatronen oder rauchgasführenden Rohren bestehen.

[0023] Die Heizelemente sind nach einer vorteilhaften Weiterbildung in den Gußkörper eingegossen.

[0024] Alternativ können in dem Gehäuse auch Bohrungen zur Aufnahme der Heizelemente vorgesehen sein, in welche die Heizelemente eingesteckt werden können.

[0025] Um eine besonders symmetrische Beheizung zu ermöglichen, sind die Heizelemente vorzugsweise ringförmig zwischen den Rohrschlangen angeordnet.

[0026] Alternativ können die Heizelemente auch um die Rohrschlangen herumgewickelt und zusammen mit diesen in den Körper eingegossen sein.

[0027] Außerdem sind vorteilhafterweise in dem Körper Temperatursensoren vorgesehen, welche auch die Temperatur der einzelnen Heizbereiche regeln können.

[0028] Der Schmelzpunkt des die Rohrschlangen umgebenden Materials liegt vorteilhafterweise ausreichend unterhalb des Schmelzpunktes der Rohrschlangen und oberhalb der maximalen Betriebstemperatur.

[0029] Um eine Vergrößerung der Heizfläche zu erzielen, können nach einer bevorzugten Ausgestaltung die Rohrschlangen eine gewellte oder gerippte Innenoberfläche haben. Ferner bewirken diese Geometrien eine Zerstäubung der Flüssigkeit bzw. eine Trennung zwischen mitgerissener Flüssigkeit und Dampf.

[0030] Weiterhin können nach einer bevorzugten Weiterbildung die Rohrschlangen auf ihrer Außenseite eine Stützkonstruktion zur Verankerung in dem Körper aufweisen. Diese Stützkonstruktion kann vorzugsweise aus einer Außenberippung bestehen.

[0031] Da sich das Volumen der verdampfenden Flüssigkeit stark ausdehnt, ist es zudem vorteilhaft, wenn sich der Querschnitt der Rohrschlangen in Strömungsrichtung vergrößert, um eine längere Verweilzeit zu erreichen. Zudem können die Verbindungen zwischen den einzelnen Rohrschlangen als Kammern ausgebildet sein, die eine Trennung zwischen mitgerissener Flüssigkeit und Dampf bewirken.

[0032] Der Körper ist vorteilhafterweise von einer Iso-

lierung umgeben.

[0033] Außerhalb der Isolierung kann nach einer bevorzugten Ausgestaltung ein kreisringförmiger Mantel angeordnet sein, welcher von dem zu erwärmenden Wasser durchströmt ist. Dadurch kann einerseits die Wärmebelastung der Umgebung minimiert und andererseits das zugeführte Wasser vorgeheizt werden. Diese Kühlung bzw. Vorheizung kann auch erreicht werden, wenn die äußeren Wendeln nicht unmittelbar beheizt werden. Der Körper wird außen durch die eingespeiste Flüssigkeit gekühlt.

[0034] Dem Dampferzeuger ist vorzugsweise eine Pumpe zur Zuführung des aufzuheizenden Wassers vorgeschaltet. Weiterhin ist dem Dampferzeuger ein Auslassventil in Form einer Expansionsdüse nachgeschaltet. Dies hat den Vorteil, dass die Regelung der Anlage ausschließlich über die Pumpe sowie den eingestellten Querschnitt der Düse auf der Dampfseite erfolgen kann. Der Dampferzeuger wird dazu bevorzugt auf eine Temperatur vorgeheizt und geregelt, die zwischen der Sättigungstemperatur und der Wiederbenetzungstemperatur (Leidenfrosttemperatur) des Wassers im Betriebszustand liegt. Je nach Anzahl der Rohrschlangen wird der Bereich in Richtung der Dampfströmung von trockenem Dampf durchströmt, der dort durch eine geeignete Temperaturregelung des Körpers direkt überhitzt werden kann. Danach wird diejenige Masse Wasser eingespeist, die dampfförmig bei der am Auslassventil anliegenden Druckdifferenz zwischen Betriebsdruck und statischem Druck nach dem Auslassventil bei dem entsprechenden Öffnungsquerschnitt ausströmen kann. Alternativ kann der Austrittsquerschnitt auch aus einem Regelventil bestehen.

[0035] Die Pumpe kann kontinuierlich oder pulsierend arbeiten, wobei letzteres zu einer besseren Verdampfung im zweiphasigen Strömungsgebiet führt. Mit dieser Betriebsführung wird ein rasches An- und Abfahrverhalten erreicht.

[0036] Wenn das Gesamtvolumen des Dampferzeugers zwei Liter nicht überschreitet, so liegt auch bei höchsten Drücken kein Gefährdungspotential für die Umgebung in Folge eines Bruchs der Rohrwendel vor.

[0037] Nach einer bevorzugten Ausgestaltung ist die Heizwendel im Stand-By-Betrieb drucklos gehalten, was die Betriebssicherheit zusätzlich erhöht.

[0038] Aus dem Dampferzeuger wird der bevorzugt über den Sättigungspunkt überhitzte Dampf einem bevorzugt mehrstufigen Nacherhitzer zugeführt. Aufgabe der ersten Stufe ist die reine Überhitzung des Hauptdampfstromes, Aufgabe der zweiten Stufe die kombinierte Erwärmung von Pulver-/Tränergastrom und Hauptdampfstrom.

[0039] Der oben beschriebene Hauptgaserzeuger kann auch in Alleinstellung oder in beliebiger Kombination mit anderen Bearbeitungsmaschinen zur Anwendung kommen.

[0040] Der Nacherhitzer weist vorteilhafterweise ein Innenrohr und ein das Innenrohr umgebendes Druckrohr

auf, wobei das Innenrohr von einem Heizleiter umgeben ist, der einen spiralförmigen Strömungskanal für das Hauptgas bildet. Infolge dieser Ausgestaltung können das Trägergas mit dem Metallpulver und das Hauptgas gleichzeitig aufgeheizt und auf relativ hohe Temperaturen gebracht werden. Da der Nacherhitzer das Trägergas mit dem Metallpulver über eine längere Strecke führt, kann auch das Trägergas mit dem Metallpulver über eine längere Strecke vorgeheizt werden.

[0041] Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung umgibt der Heizleiter das Innenrohr spiralförmig.

[0042] Der Heizleiter besteht vorteilhafterweise aus einem inneren, am Innenrohr anliegenden und einem äußeren, am Druckrohr anliegenden Widerstandsheizelement. Zur leichteren Montage ist ein kleiner Spalt jedoch zulässig.

[0043] Der Heizleiter ist vorzugsweise mit einer elektrisch nicht leitenden Isolierung umgeben. Dies erlaubt einen direkten Kontakt des elektrisch leitfähigen Wasserdampfes mit dem Heizleiter.

[0044] Außerdem besteht der Mantel des Heizleiters aus Edelstahl oder einer Legierung aus Nickel, Chrom und Molybdän, wie z. B. Inconel oder Hasetloy, was eine hervorragende Mischung aus Korrosionsfestigkeit, guter Bearbeitbarkeit und hoher Temperaturfestigkeit aufweist und auch Spannungskorrosionsrisiken gut widerstehen kann.

[0045] Das Druckrohr ist vorteilhafterweise von einer keramischen Isolierung umgeben, um eine Wärmeabstrahlung und eine damit verbundene thermische Belastung der Umgebung weitgehend zu verhindern.

[0046] Um den Nacherhitzer thermisch noch besser zu isolieren, kann die Isolierung in einem Außenrohr angeordnet sein.

[0047] Vorteilhafterweise ist das Außenrohr doppelwandig ausgebildet und in der Wandung ist ein Kühlmittel, wie z. B. Wasser, geführt.

[0048] Wenn der Heizleiter mindestens zwei Abschnitte unterteilt ist, die mit unterschiedlichen Spannungen versorgbar sind, kann eine Segmentierung der Heizwendel erreicht werden, so dass eine variable Vorheizung des Metallpulvers bzw. des Trägergases möglich ist und der Wärmefluss an die jeweiligen Gegebenheiten angepasst werden kann.

[0049] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann der Heizleiter zum Ausgleich von Wärmespannungen nur partiell an dem Innenrohr bzw. dem Druckrohr befestigt sein.

[0050] Die Heißgaserzeuger sind vorzugsweise mindestens 20 cm lang. Zweckmäßigerweise beträgt die Länge im hier vorliegenden Anwendungsfall jedoch ca. 1,2 m.

[0051] Der Querschnitt des zwischen Innenrohr und Druckrohr gebildeten Strömungskanals kann sich nach einer vorteilhaften Weiterbildung verändern, z. B. erweitern oder verringern. Dies kann z. B. durch eine Veränderung der Steigung des Heizleiters erfolgen. Dadurch kann die Strömungsgeschwindigkeit und damit der Wär-

meübergang an die Temperaturdifferenz zwischen Trägergas und Heizleiter angepasst und ein über der Länge gleichmäßiger Austauschwärmestrom erreicht werden. Außerdem kann dadurch auch der Druckverlust im Strömungskanal optimiert werden.

[0052] Der Nacherhitzer ist nach einer bevorzugten Ausgestaltung zweistufig aufgebaut. Dabei dient in der ersten Stufe des Nacherhitzers das Innenrohr zur Ausbildung eines Strömungskanal zwischen Heizleiter und Druckrohr sowie als Verdrängungskörper, während in der zweiten Stufe das Innenrohr von einem Gas-/Pulvergemisch durchströmt wird, um dieses Gemisch aufzuheizen.

[0053] Hierbei ist es besonders vorteilhaft, wenn das Innenrohr in beiden Stufen gerade verläuft, damit sich keine Pulverablagerungen oder unerwünschten Trennungen des Gas-/Pulvergemisches ergeben.

[0054] Falls sich einzelne größere Partikel bilden sollten, ist am Ende der zweiten Stufe des Dampferhitzers ein Sieb mit kleineren Bohrungen als der Durchmesser des engsten Querschnitts der Düse vorgesehen, welches die Partikel zurückhält und ein Verstopfen verhindert.

[0055] Der oben beschriebene Nacherhitzer kann auch in Alleinstellung oder in beliebiger Kombination mit anderen Bearbeitungsmaschinen zur Anwendung kommen.

[0056] Nachdem der Gas-/Pulverstrom den Nacherhitzer verlassen hat, wird er einer Expansionsdüse zugeführt.

[0057] Diese Expansionsdüse besitzt nach einer bevorzugten Weiterbildung einen konvergenten und einen divergenten Bereich mit einem dazwischen liegenden engsten Querschnitt und ihre Innenkontur weist die Form eines einschaligen Hyperboloiden auf, dessen Erzeugende eine Gerade ist.

[0058] Um das Strömungsverhalten weiter zu verbessern, kann der divergente und/oder der konvergente Bereich mit einem Vorsatzelement verlängert werden.

[0059] Nach einer bevorzugten Ausgestaltung kann die Innenkontur der Expansionshülse mit einem gasförmigen oder flüssigen wandbenetzenden Film überzogen werden. Die Hauptaufgabe dieses Films besteht darin, die Expansionsdüse zu kühlen, um so die Standzeit zu erhöhen und die Temperatur der Kernströmungen an die Grenze der Temperaturbeständigkeit des Düsenmaterials heranzuführen.

[0060] Zur Überwachung des Betriebszustandes kann vor der Expansionsdüse ein Drucksensor angeordnet sein.

[0061] Die oben beschriebene Expansionsdüse kann auch in Alleinstellung oder in beliebiger Kombination mit anderen Bearbeitungsmaschinen zur Anwendung kommen.

[0062] Bedingt durch den Spritzprozess ergeben sich einige Probleme. So besteht bei der Verarbeitung von Metallpulver die Gefahr einer Staubexplosion, welche unbedingt vermieden werden muss. Darüber hinaus soll-

te ein Kontakt der Bedienperson mit dem Metallpulver möglichst vermieden werden, um eine gesundheitliche Beeinträchtigung auszuschließen.

[0063] Aus diesem Grunde ist nach einer vorteilhaften Ausgestaltung die Spritzkammer in zwei Funktionsbereiche unterteilt ist, von denen der eine diejenigen Bauteile aufnimmt, die dazu dienen, eine explosionsfähige Atmosphäre zu vermeiden und die eingebrachte thermische Energie sowie Verunreinigungen abzuführen, und von denen der andere diejenigen Bauteile aufnimmt, welche zur Durchführung des Spritzprozesses und des Bearbeitungsprozesses erforderlich sind.

[0064] Da beim Spritzvorgang größere Mengen Pulver in der Spritzkammer anfallen, müssen Pulveransammlungen in möglichen Ecken oder strömungstechnischen Toträumen der Prozesskammer zuverlässig vermieden werden. Diese könnten sich ansonsten durch Funken oder heiße Späne entzünden oder im extremsten Fall durch Aufwirbelung zu einer Staubexplosion führen. Deshalb sind in der Spritzkammer vorteilhafterweise Faltenbälge mit Edelstahllamellen und ein die Wände benetzender, laminarer Wasserschleier angeordnet. Die Faltenbälge streifen die Schmutzpartikel ab, so dass diese in den unteren Bereich der Bearbeitungsmaschine fallen. Der untere Bereich wird durch einen die Wände benetzenden laminaren Wasserschleier sauber gehalten. Das Wasser wird durch Bohrungen in einen Verteiler geleitet, der sicherstellt, dass auf der gesamten Länge gleich viel Wasser zur Verfügung steht. Durch einen Auslauf gelangt das Wasser auf die Spritzkammerwand. Hier entsteht ein durchgehender laminarer Wasserschleier.

[0065] Das den Wasserschleier bildende Wasser wird nach einer bevorzugten Ausgestaltung aufgefangen und einem Sammelbehälter zugeführt, um von dort, vorzugsweise mittels einer Hebepumpe, zu einer Wasseraufbereitungsanlage gefördert zu werden.

[0066] Die Aufbereitungsanlage besteht bevorzugt aus einer Zentrifuge, einem Bandfilter oder einem Vakuumbandfilter welchen bei Bedarf ein Vorabscheider vorgeschaltet ist.

[0067] Weiterhin ist die Spritzkammer mit einer Abluftanlage verbunden, welche in der Spritzkammeratmosphäre schwebende Staubpartikel absaugt sowie entstehende Gase einem Nasswäscher zuführt.

[0068] Um sicherzustellen, dass die dem Explosionsschutz dienenden Baugruppen richtig arbeiten, sind Sensoren vorgesehen, welche die Funktion dieser Bauteile überwachen und bei einem Ausfall eines dieser Bauteile die Bearbeitungsmaschine in einen Sicheren Zustand versetzen.

[0069] Als zusätzliche Sicherheit gegen die Auswirkungen einer Staubexplosion ist zur Druckentlastung in einer Wand der Spritzkammer, vorzugsweise im Kabinendach, eine Berstscheibe angeordnet, die für einen geregelten Abbau der Druckwelle sorgt. Zusätzlich kann der Druck über den Abscheider entweichen.

[0070] Damit der Prozessraum zum einen von außen zugänglich ist und zum anderen eine Beobachtung des

Innenraumes erlaubt, ist die Spritzkammer mittels einer mit einer Scheibe versehenen Schiebetür verschließbar. Um die Scheibe von Verschmutzungen rein zu halten, ist der Wasserschleier auch in die Schiebetür integriert.

[0071] Um weiterhin einen sicheren Schutz des Bedienpersonals vor den Auswirkungen eines Werkzeugbruchs, einer Staubexplosion sowie gegen übermäßige Lärmbelastung zu gewährleisten, ist die Spritzkammer vollständig gekapselt, und die Scheibe der Schiebetür besteht aus schalldämmendem Glas.

[0072] Wegen des in der Spritzkammer auftretenden Schalldrucks von ca. 100-140 dB(A) und auch zur Erhöhung der Sicherheit gegenüber Explosionen besteht das Glas der Schiebetür aus Verbundsicherheitsglas, welches aus mehreren Schichten aufgebaut ist.

[0073] Zusätzlich kann das Verbundsicherheitsglas auf der äußeren Seite noch mit einer Polycarbonatscheibe versehen sein.

[0074] Da das Ausgangssubstrat für den thermischen Spritzprozess temperiert werden muss, ist in der Spritzkammer ein beheizbarer Substrathalter angeordnet.

[0075] Die oben beschriebenen Maßnahmen für die Spritzkammer können auch in Alleinstellung oder in beliebiger Kombination mit anderen Bearbeitungsmaschinen zur Anwendung kommen.

[0076] Die Beheizung des Substrathalters kann durch in den Substrathalter eingesetzte Heizpatronen, durch eine in den Substrathalter integrierte Strahlungsquelle oder durch induktive Erwärmung erfolgen. Abhängig von der Wärmeleitfähigkeit des Bauteils, der Bauteilgröße und insbesondere der Bauteilhöhe muss die zugeführte Energie angepasst werden. Bei zunehmender Bauteilhöhe muss die Temperatur am Substrat erhöht werden. Die Temperatur an der Oberfläche des Bauteils kann durch eine geeignete Sensorik z.B. einer Wärmebildkamera oder Pyrometer ermittelt werden.

[0077] Weil sich eine Erwärmung des Substrathalters negativ auf die Genauigkeit der Bearbeitungsmaschine auswirken würde, ist der Substrathalter durch eine Isolierplatte, vorzugsweise aus Kunstharz, Glasfaser o. dgl., gegenüber der Bearbeitungsmaschine isoliert.

[0078] Der oben beschriebenen Substrathalter kann auch in Alleinstellung oder in beliebiger Kombination mit anderen Bearbeitungsmaschinen zur Anwendung kommen.

[0079] Zur Förderung des Spritzwerkstoffes ist ein Pulverförderer vorgesehen, der das Pulver stetig in einen Gasstrom aus Trägergas dosiert. Als Trägergas wird bevorzugt sauerstoffreduzierte Luft verwendet, es kann jedoch nahezu auch ein beliebiges anderes, gasförmiges Medium eingesetzt werden, z. B. Stickstoff. Bevorzugt ist das gasförmige Medium inert und besonders trocken.

[0080] Nach einer bevorzugten Ausgestaltung wird sauerstoffreduzierte Luft durch den Entzug von Sauerstoff aus komprimierter Luft (Druckluft) erzeugt. Hierbei besteht die Möglichkeit den Sauerstoffanteil einzustellen. Wegen der gewünschten Inertisierung liegt der Sauerstoffanteil bevorzugt bei kleiner als 3 %. Diese sauer-

stoffreduzierte Luft wird anschließend auf einen Druck der gleich oder höher ist als der Systemdruck beim Spritzen verdichtet und bevorzugt in einem Pufferbehälter gespeichert.

[0081] Als Hauptgas zum thermischen Spritzen wird Kaltgasspritzen oder kinetisches Kompaktieren vorzugsweise wie Wasserdampf eingesetzt.

[0082] Die Verwendung des genannten Trägergases und Hauptgases beim thermischen Spritzen kann auch in Alleinstellung zur Anwendung kommen, ohne die in Verbindung beschriebenen Komponenten oder Verfahren.

[0083] Der Pulverförderer umfasst vorteilhafterweise einen Drehteller, der das Pulver zu einer Entnahmestelle fördert, an welcher es von dem Trägergas mitgenommen wird.

[0084] Um den Füllstand im Pulverbehälter zu überwachen ist im Behälter ein kapazitiver Sensor eingebaut. Dies ermöglicht eine Überwachung während der Befüllung sowie Während der Entnahme. Bevorzugt gibt der Sensor ein analoges Signal aus um die Füllhöhe bestimmen zu können.

[0085] Bevorzugt weitet sich der Pulverbehälter kurz über der Übergabestelle des Pulvertellers auf damit das Pulver vor der Dosierung aufgelockert wird (Figur 9, Nr.49). Anschließend kann das Pulver ggf. Durch eine Bohrung dem Drehteller zugeführt werden. Zusätzlich kann durch Bewegung z.B. einem Rührwerk die Pulverentnahme erleichtert werden.

[0086] Um einen homogenen und stetigen Trägergas-Pulverstrom zu gewährleisten, wird der Durchsatz aus einer Kombination eines beliebigen Gasmessedurchflussmessers mit einem Coriolis-Massedurchflussmesser bestimmt. Der Coriolis-Massedurchflussmesser ist als gerades Einrohrsystem mit einem geraden Strömungsdurchgang ausgebildet. Außerdem ist der Strömungsdurchgang vorteilhafterweise frei von Einbauten. Dies verhindert eine Separation oder Abscheidung der festen Komponenten. Da zudem Partikelströmungen sehr abrasiv wirken und die Einbauten in kurzer Zeit massiv beschädigen können, werden durch einen möglichst geraden und einbaufreien Strömungsweg die Lebensdauer und die Messgenauigkeit des Messgerätes erhöht. Bei geeigneter Materialauswahl des Messrohrs sowie des Zuschlagstoffs und/oder bei einer geringeren Strömungsgeschwindigkeit kann das Messrohr abhängig von den Biegeradien auch eine gebogene Form aufweisen. Der erste Gasmessedurchflussmessers ist in der Gaszuleitung vor dem Pulverförderer montiert. Der Coriolis-Massedurchflussmesser ist zwischen dem Pulverförderer und der Düse montiert. Darüber hinaus können mit den beiden Messedurchflussmessern auch Leckagen erkannt werden indem das System ohne Pulver betrieben wird.

[0087] Damit auch während des Spritzvorganges der Pulvervorrat nachgefüllt werden kann, ist nach einer vorteilhaften Ausgestaltung ein Pulvervorrat vorgesehen, welcher in zwei Abschnitte unterteilt ist, die durch eine

Pulverschleuse voneinander getrennt sind. Somit kann aus dem einen Abschnitt Pulver entnommen werden, während in den anderen Abschnitt Pulver nachgefüllt wird.

[0088] Damit die Pulverschleuse auch bei sehr hohen Drücken zuverlässig schließen kann, weist die Pulverschleuse eine Dichtung und einen konischen Verschluss auf. Aufgrund einer solchen Ausgestaltung kann eine Abdichtung allein aufgrund des herrschenden Drucks erfolgen.

[0089] Um den Pulverförderer zu befüllen kann während der Spritzpause der Pulverförderer aus einem Vorratsbehälter nachgefüllt werden. In Kombination mit der Pulverschleuse ist dies auch während dem Betrieb möglich.

[0090] Nach einer bevorzugten Ausgestaltung wird das Pulver mit einem Trägergas in dem Pulverförderer transportiert. Damit sich das Pulver möglichst vollständig vom Trägergas trennen kann wird ein Abscheider verwendet. Dieser Abscheider hat die Aufgabe das vom Vorratsbehälter kommende Pulver-Gas-Gemisch zu separieren, damit das Pulver nach unten in den Pulverförderer fallen kann und das Gas entweichen bzw. abgesaugt werden kann.

[0091] Der oben beschriebene Pulverförderer kann auch in Alleinstellung oder in beliebiger Kombination mit anderen Bearbeitungsmaschinen zur Anwendung kommen.

[0092] Nach einer bevorzugten Ausgestaltung wird als Abscheider ein Zyklon eingesetzt. Ein Zyklon besteht bevorzugt aus einem runden Gehäuse mit tangentialem Einlauf am oberen Rand und einem Gasauslass, der als Tauchrohr konzentrisch im Deckel angebracht ist. Der eintretende Gasstrom beschreibt eine schraubenförmig nach unten verlaufende Kreisbahn. Da der Zyklon unten geschlossen ist kehrt sich die Gesamtrichtung des Gasstromes um, wobei die schraubende Bewegung erhalten bleibt. Um zu verhindern, dass bereits abgeschiedene Partikel wieder aufgewirbelt werden, muss entweder der Staubsammelbehälter genügend tief unter dem Umkehrpunkt der Gasströmung sein oder es wird ein sogenannter Apexkegel verwendet. Dieser Apexkegel wird knapp unterhalb des Konusaustrittes angebracht, so dass nur noch ein ringförmiger Spalt bleibt, durch den das abgeschiedene Pulver in den Sammelbehälter gelangen kann. Ein weiterer Vorteil eines Zyklon ist die einfache Bauart und das der Zyklon bei geeigneter Auslegung hohe Drücke aushält.

[0093] Da ein Zyklon sehr feine Pulver nicht vollständig abscheidet, kann in den Gasausgang zusätzlich ein Filter eingesetzt werden. Dieser Filter kann z.B. aus einem Flies oder einem Sintermaterial bestehen.

[0094] Der oben beschriebene Abscheider kann auch in Alleinstellung oder in beliebiger Kombination mit anderen Bearbeitungsmaschinen zur Anwendung kommen.

[0095] Dadurch das der Pulverförderer aus einem Vorratsbehälter befüllt werden kann besteht die Möglichkeit

die Befüllung unter Schutzgasatmosphäre bzw. Sauerstoffreduzierter Atmosphäre durchzuführen. Dies ist besonders wichtig bei Pulvern die zur Staubexplosion neigen oder leicht oxidieren. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass keine Feuchtigkeit ins Pulver gelangen kann.

[0096] Nach einer bevorzugten Ausgestaltung besteht der Vorratsbehälter aus einem Behälter der eine Zuleitung(x), einen Ausgang (y) sowie einen Anschluss (z) für Druckbeaufschlagung bzw. Entlüftung hat. Die Anschlüsse Zuleitung Trägergas und Ausgang sind nach unten geführt und am Boden mit einer Vorrichtung verbunden die das Pulver aufnimmt - ähnlich einer Wasserstrahlpumpe.

[0097] Nach einer bevorzugten Ausgestaltung des Vorratsbehälters werden die Anschlüsse Zuleitung, Druckbeaufschlagung und Entlüftung mit einem Zentrifugalabscheider sowie einem Filter versehen. Im Fall, dass Pulver zurückgedrückt wird, werden die Ventile bzw. Druckminderer nicht verunreinigt.

[0098] Nach einer bevorzugten Ausgestaltung des Vorratsbehälters kann die Zuleitung beheizt werden, damit das Fließverhalten verbessert wird bzw. dem Pulver Feuchtigkeit entzogen werden kann.

[0099] Die oben beschriebene Vorratsbehälter kann auch in Alleinstellung oder in beliebiger Kombination mit anderen Bearbeitungsmaschinen zur Anwendung kommen.

[0100] Zur Prozeßüberwachung kann eine Videokamera eingesetzt werden um Fehlstellen z.B. Lunker oder Unregelmäßigkeiten in der Oberfläche z.B. nach dem Planfräsen aufgrund zu wenig Materialauftrag erkennen zu können.

[0101] Nach einer bevorzugten Ausgestaltung kann die Prozessüberwachung auch durch eine Wärmebildkamera erfolgen. Hierbei besteht zusätzlich die Möglichkeit einer lokalen Überhitzung vorzubeugen oder eine Delamination der Schichten frühzeitig zu erkennen. Fehlstellen können somit erkannt und nachgearbeitet werden oder die defekten Bereiche abgetragen und neu aufgebaut werden.

[0102] Die oben beschriebene Prozessüberwachung kann auch in Alleinstellung oder in beliebiger Kombination mit anderen Bearbeitungsmaschinen zur Anwendung kommen.

[0103] Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung anhand der Zeichnungen. Es zeigen:

Figur 1: einen Übersichtsplan der erfindungsgemäßen Bearbeitungsmaschine,

Figur 2: den schematischen Aufbau der Bearbeitungsmaschine,

Figur 3: eine Ansicht der Spritzkammer,

Figur 4: den in der Spritzkammer angeordneten Faltenbalg im aus- und eingefahrenem Zu-

stand,

Figur 5: einen Querschnitt, der die Zufuhr des für den Wasserschleier benötigten Wassers zeigt,

Figur 6: eine Ansicht der Rückwand der Spritzkammer mit einer darin angeordneten Werkzeugmagazinklappe,

Figur 7: eine Draufsicht auf die in der Spritzkammer angeordnete Schiebetür

Figur 8: einen Querschnitt, welcher den Aufbau der in der Schiebetür angeordneten Scheibe zeigt,

Figur 9: eine Seitenansicht der Schiebetür,

Figur 10: eine schematische Ansicht des Substrathalters mit integrierter Heizung,

Figur 11: einen Querschnitt durch den Dampferzeuger,

Figur 12: einen Querschnitt durch den Nacherhitzer,

Figur 13: einen Querschnitt durch die Expansionsdüse,

Figur 14: eine schematische Ansicht des Pulverförderers, und

Figur 15: zwei Querschnitte durch den Pulvervorrat mit geschlossener bzw. geöffneter Pulverschleuse.

[0104] In der nachfolgenden Beschreibung ist die erfindungsgemäße Bearbeitungsmaschine zum kombinierten Aufbau eines Werkstücks durch thermisches Spritzen und abtragende Bearbeitung im Detail beschrieben.

[0105] Die Hauptkomponenten der erfindungsgemäßen Bearbeitungsmaschine zum kombinierten Aufbau eines Werkstücks durch thermisches Spritzen und abtragende mechanische Bearbeitung sind eine Spritzkammer 1, ein Hauptgaserzeuger 2, ein Pulveraufbereiter 3 sowie eine Wasseraufbereitungsanlage 4.

[0106] In der Spritzkammer 1 selbst wird ein Werkstück mit einem thermischen Spritzverfahren aufgebaut und abwechselnd mit einem mechanischen Abtragverfahren bearbeitet.

[0107] Der Aufbau der Werkstücks mit Baumateriall mit Hilfe eines thermischen Spritzverfahrens ist im Grundsatz bekannt.

[0108] Bei dem hier beschriebenen Verfahren wird der thermische Spritzvorgang mit Wasserdampf als Hauptgas eines thermischen Spritzverfahrens durchgeführt.

Die Erzeugung des Wasserdampfs erfolgt durch einen in der Bearbeitungsmaschine integrierten Dampferzeuger 5, der neben einem kleinen Dampfvolumen eine hohe Regelgenauigkeit des Dampfdrucks sowie ein schnelles Auf- und Abfahrverhalten besitzt, um den Anforderungen an einen kontinuierlichen Bearbeitungsprozess gerecht zu werden.

[0109] Der erzeugte Wasserdampf wird dann in einem Nacherhitzer 6 auf die für das Spritzverfahren gewünschte Temperatur erhitzt, mit dem vorgewärmten Trägergas/Pulvergemisch zusammengeführt und einer Expansionsdüse 7 zugeführt. Dort werden die Partikel durch eine Überschallgasströmung stark beschleunigt und mit hoher kinetischer Energie auf ein Substrat 8 gespritzt, wo sie einen festen Verbund eingehen.

[0110] Aus dem reinen Verfahren des Spritzprozesses heraus ergeben sich einige Probleme. So besteht bei der Verarbeitung von Metallpulver die Gefahr einer Staubexplosion, welche unbedingt vermieden werden muss. Darüber hinaus sollte ein Kontakt der Bedienperson mit dem Metallpulver möglichst vermieden werden, um eine gesundheitliche Beeinträchtigung auszuschließen.

[0111] Weiterhin bedingen die hohen Gasgeschwindigkeiten an der Expansionsdüse einen extremen Schallpegel in der Spritzkammer 1 von 100-140 dB(A), der durch geeignete Maßnahmen gedämpft werden muss.

[0112] Der kondensierende Dampf führt der Spritzkammer 1 laufend Wärme zu, die abgeleitet und soweit möglich im Rahmen des Prozesses wieder verwendet werden soll, um unnötigen Energieverlust zu vermeiden.

[0113] Um diesen Anforderungen zu entsprechen, ist die Bearbeitungsmaschine im Einzelnen wie folgt ausgebildet.

[0114] Die Spritzkammer 1 besitzt zwei Funktionsbereiche. Zum einen die reinen Explosionsschutzbaugruppen, deren wesentliche Aufgabe darin besteht, eine explosionsfähige Atmosphäre zu vermeiden, die eingebrachte thermische Energie abzuführen und Verunreinigungen abzuführen, um eventuell gefährliche Anreicherungen zu vermeiden. Zum Zweiten die reinen Prozessbaugruppen, die den eigentlichen Spritzprozess mit den erforderlichen Medien versorgen und steuern.

[0115] Die einzelnen Baugruppen sind in den Figuren 1 und 2 zusammenfassend dargestellt.

[0116] Da beim Spritzvorgang größere Mengen Pulver in der Spritzkammer 1 anfallen, müssen Pulveransammlungen in möglichen Ecken oder strömungstechnischen Toträumen der Spritzkammer 1 zuverlässig vermieden werden. Diese könnten sich ansonsten durch Funken oder heiße Späne entzünden oder im extremsten Fall durch Aufwirbelung zu einer Staubexplosion führen.

[0117] Dies wird im oberen (dynamischen) Bereich der Spritzkammer 1 durch Faltenbälge 9 (Figur 3) mit Edelstahl lamellen erreicht. Die Faltenbälge 9 weisen eine Abstreifkante 10 auf, die zum Abstreifen von Schmutzpartikeln 11 dient, so dass diese in den unteren Bereich der Spritzkammer 1 fallen (Figur 5). Der untere (statische) Bereich wird durch einen die Wände der Spritzkammer

1 benetzenden laminaren Wasserschleier 12 sauber gehalten (Figur 5). Das Wasser wird durch Bohrungen in einen Verteiler 13 geleitet. Dieser stellt sicher, dass auf der gesamten Länge gleich viel Wasser zur Verfügung steht. Durch einen Auslauf 14 gelangt das Wasser auf die Wände der Spritzkammer 1, wo ein durchgehender, laminarer Wasserschleier 12 entsteht.

[0118] Die in der Spritzkammer 1 befindlichen Pulverpartikel werden an das Wasser gebunden und einem Sammelbehälter zugeführt, aus dem sie mit einer Hebe-
pumpe zur Wasseraufbereitungsanlage 4 gefördert werden.

[0119] Da die Spritzkammer 1 mit einer Schiebetür 15 und einer Werkzeugmagazinklappe 16 versehen ist, ergeben sich besondere Schwierigkeiten hinsichtlich der Staubanlagerung an solchen beweglichen Bauteilen.

[0120] Die Figuren 6 und 7 zeigen, auf welche Weise auch diese Baugruppen mit einem laminaren Wasserschleier 12 überspült werden. An der nach unten öffnenden Werkzeugmagazinklappe 16 (Figur 6) wird der Wasserschleier 12 auch während der Werkzeugentnahme aufrechterhalten. Somit ist sichergestellt, dass in der gesamten Spritzkammer 1 Staubablagerungen vermieden werden.

[0121] Auch weitere in der Spritzkammer 1 befindliche Maschinenelemente, wie das Maschinenbett, Schwenk-
krundtisch und die Schlittenführungen, können zusätzlich durch den Wasserschleier 12 oder eine Spülung gereinigt und auf Raumtemperatur gekühlt, so dass eine Aufheizung durch den Wasserdampf vermieden werden kann. Eine Erwärmung des Maschinenbettes und der Schlittenführungen würde sich auch negativ auf die Genauigkeit der Bearbeitungsmaschine auswirken.

[0122] Restliche Staubpartikel, welche in der Spritzkammer atmosphäre schweben, werden über eine Abluftanlage, die für eine ständige Durchströmung des Prozessraums 1 sorgt, abgesaugt und einem Nasswäscher 17 zugeführt. Die Luft wird durch Spalte z.B. am Spindelschlitten aus dem oberen und hinteren Arbeitsraum angesaugt. Die durch die Spalte angesaugte Luft wirkt als Sperrluft, wodurch keine Partikel oder Gase durchdringen können.

[0123] Eine Zentrifuge mit Kühler 18 dient dazu, das Schmutzwasser, welches von dem Wasserschleier 12 und dem Nasswäscher 17 kommt, zu reinigen und zu kühlen. Das Schmutzwasser wird durch einen Hebe-
pumpe in einen Schmutzwasserbehälter 19 geleitet. Von dort wird es durch die Zentrifuge 18, worin die festen Partikel abgeschieden werden, in einen Reinwasserbehälter 20 geleitet. Das Reinwasser wird durch einen Rückkühler im Reinwasserbehälter 20 konstant auf 20°C gehalten. Der Rückkühler besteht aus zwei Wärmetauschern. Der erste Wärmetauscher führt die Abwärme bevorzugt dem Speisewasser des Dampferzeugers 5 zu. Der zweite Wärmetauscher führt die restliche Abwärme in die Umgebung ab.

[0124] Der Beladezustand der Zentrifuge kann dabei indirekt über die aufzubringende Antriebsleistung ermit-

telt werden. Diese Messung erfolgt nach folgenden Schritten:

Erster Schritt:

Die Zentrifuge befindet sich im unbeladenen Zustand. In diesem Zustand wird die benötigte Energie zum Abbremsen der Zentrifuge in Bezug zu einem definierten Zeitintervall ermittelt. Die Messung der benötigten Energie kann dabei zum Beispiel über eine Strommessung an den Bremswiderständen erfolgen. Es wäre aber auch denkbar, dass die Messung über das Bremsmoment des Frequenzumrichters des Antriebsmotors erfolgt.

Zweiter Schritt:

Der so ermittelte Wert dient als Referenzwert für die leere Zentrifuge und wird als Referenzparameter im Speicher der Maschinensteuerung hinterlegt.

Dritter Schritt:

Die Zentrifuge befindet sich im beladenen Zustand. Die Messung im ersten Schritt wird wiederholt und der ermittelte Wert wird mit dem im Speicher abgelegten Referenzwert verglichen. Die Differenz zwischen den beiden Werten ist dann ein Maß für die Beladung der Zentrifuge.

[0125] Falls eine der dem Explosionsschutz dienenden Baugruppen wie Wasserschleier 12, Umluftanlage oder Nasswäscher 17 ausfallen sollte, sorgen entsprechende Sensoren dafür, dass die Bearbeitungsmaschine sofort in einen sicheren Betriebszustand gebracht wird.

[0126] Als zusätzliche Sicherheit gegen die Auswirkungen einer Staubexplosion ist zur Druckentlastung im Dach der Spritzkammer 1 eine Berstscheibe 21 integriert, die zusammen mit dem Nassabscheiderkanal für einen geregelten Abbau der Druckwelle sorgt.

[0127] Besondere Bedeutung hinsichtlich der Betriebssicherheit kommt der Schiebtür 15 zur Spritzkammer 1 zu. Durch sie soll zum einen der Zugang und die Beobachtung des Prozesses ermöglicht, andererseits ein sicherer Schutz des Bedienpersonals vor den Auswirkungen eines Werkzeugbruchs, einer Staubexplosion sowie gegen übermäßige Lärmbelastung erreicht werden. Sie ist daher zum einen in den Wasserschleier 12 integriert und zum anderen aufprallfest nach EN 12417 (Sicherheit von Werkzeugmaschinen - Bearbeitungszentren) ausgebildet.

[0128] Wegen des in der Spritzkammer 1 auftretenden Schalldrucks von ca. 100-140 dB(A), ist die Spritzkammer 1 komplett gekapselt, und auch die Schiebtür 15 ist mit einer schalldämmenden Scheibe 22 ausgeführt. Die seitliche Abdichtung erfolgt durch Dichtungen 23 (Figur 7). Die Schiebtür 15 fährt in ihrer Schließbewegung auf die Dichtungen 23 auf und komprimiert diese. An der oberen und unteren Schnittstelle sitzt jeweils eine Senkdichtung 24. Kurz vor dem Schließpunkt wird ein Auslöser 25 der Senkdichtung 24 durch einen Anschlag betä-

tigt. Eine Gummilippe der Senkdichtung 24 fährt aus und dichtet somit den Zwischenraum ab.

[0129] Die schalldämmende Scheibe 22 ist aus mehreren Scheiben aufgebaut. Spritzkammerseitig wird ein Verbundsicherheitsglas verwendet. Das Glas ist beständig gegen das abrasive Verhalten der Pulverpartikel, jedoch besteht diese Scheibe 22 den Aufpralltest nach EN 12417 nicht. Deshalb ist zusätzlich bedienerseitig eine Polycarbonatscheibe 26 in den Schallschutzverbund eingesetzt.

[0130] Das Werkstück selbst befindet sich auf dem beheizbaren, als Schwenkrundtisch ausgebildeten Substrathalter 8, da das Ausgangssubstrat für den thermischen Spritzprozess temperiert werden muss. Dies geschieht entweder durch Heizpatronen 27, welche in den Substrathalter 8 eingeschraubt sind oder um bzw. durch eine in den Substrathalter 8 integrierte Strahlungsquelle. Alternativ kann der Substrathalter 8 bzw. das Werkstück auch induktiv erwärmt werden. Die Stromversorgung erfolgt mittels eines Schleifringes 28 direkt durch den Schwenkrundtisch.

[0131] Im Schwenkrundtisch muss die Abwärme der Substratheizung abgeführt werden, weil sich eine Erwärmung dieser Baugruppe negativ auf die Genauigkeit auswirken würde.

[0132] Deshalb wird der Substrathalter 8 (Figur 10) durch eine Isolierplatte 29 aus Kunstharz/Glasfaser isoliert. Die restliche Wärme, welche durch die Isolierplatte 29 durch Wärmeleitung transportiert wird, wird über ein System von Kühlkanälen 30 in ein Kühlwassersystem abgeleitet.

[0133] Wesentlicher Bestandteil der Gesamtanlage ist das System zur Erzeugung und Überhitzung des Dampfes, der das Prozessgas des Spritzverfahrens bildet. Die Anlage zur Dampferzeugung muss durch ein schnelles An- und Abfahrverhalten eine zyklische Dampfenahme ohne Zwischenspeicher ermöglichen.

[0134] Der Dampferzeuger 5 besteht aus mehreren spiralförmig gewundenen Rohrschlangen 31 (Figur 11), die ineinander verbunden werden und an den Enden zu einem geschlossenen Strömungskanal verbunden sind. Vorzugsweise wird der Strömungskanal von außen nach innen durchströmt. Dies hat den Vorteil, dass mitgerissene Flüssigkeitstropfen in den engeren Wendeln der inneren Rohrschlange 31 durch die dort höheren Fliehkräfte besser an die Wand gedrückt und dadurch verdampft werden, wodurch ein trockener Dampf ohne Flüssigkeitsanteile erzeugt werden kann. Der Dampferzeuger 5 ist in einen Körper 32 aus Aluminium eingegossen. In diesem Gehäuse 32 werden zur Beheizung elektrische Heizpatronen oder rauchgasführende Rohre mit eingegossen oder nachträglich durch senkrechte Bohrungen eingeführt. Die Beheizung ist ringförmig zwischen den Rohrschlangen 31 angeordnet. Jede der Heizzonen wird durch mehrere, im Gehäuse 32 sitzende Temperatursensoren geregelt. Alternativ können die Rohrschlangen 31 auch mit Heizleitern umwickelt sein und in das Gehäuse 32 eingegossen werden. Als Gießmaterial kommen ne-

ben Aluminium auch andere Legierungen oder Materialien mit hoher Wärmeleitfähigkeit in Frage, wobei der Schmelzpunkt ausreichend unterhalb des Schmelzpunkts der Rohrschlangen 31 und oberhalb der maximalen Betriebstemperatur liegen muss. Die Rohrschlangen 31 selbst können aus konzentrischen Rohren oder Rohren mit gewellter oder berippter Innenoberfläche zur Vergrößerung der Heizfläche bestehen. Um eine bessere Fixierung im Körper 32 zu erreichen, können die Rohre auch eine Außenberippung und/oder eine fest mit den Rohren verbundene Stützkonstruktion aufweisen.

[0135] Da sich das Volumen des verdampfenden Wassers stark ausdehnt, ist es zudem zweckmäßig, den Querschnitt der Rohrschlangen 31 in Strömungsrichtung zu vergrößern, um eine längere Verweilzeit zu erreichen. Zudem können die Verbindungen zwischen den Rohrschlangen 31 als kleine Kammern ausgeführt werden, die eine Trennung zwischen mitgerissenem Wasser und Dampf bewirken.

[0136] Den Außenmantel des Dampferzeugers 5 bildet ein druckfester Behälter, der zweckmäßig isoliert ist. Außerhalb der Isolierung kann ein kreisringförmiger Mantel angebracht werden, der spiralförmig von der einzuspeisenden Flüssigkeit durchströmt wird, wodurch die Wärmebelastung der Umgebung minimiert und das Wasser vorgeheizt wird. Diese Kühlung bzw. Vorheizung kann auch erreicht werden, wenn die äußeren Wendeln nicht unmittelbar beheizt werden. Der Körper wird außen durch die eingespeiste Flüssigkeit gekühlt.

[0137] Die Regelung des Dampferzeugers 5 erfolgt ausschließlich über eine Pumpe 34 sowie den eingestellten Querschnitt eines Auslassventils auf der Dampfseite. Der Dampferzeuger 5 wird dazu auf eine Temperatur vorgeheizt und geregelt, die zwischen der Sättigungstemperatur und der Wiederbenetzungstemperatur (Leidenfrosttemperatur) des Wassers im Betriebszustand liegt. Je nach Anzahl der Rohrschlangen 31 sowie der Temperatur des Körpers wird der Bereich in Richtung der Dampfabströmung von trockenem Dampf durchströmt, der dort durch eine geeignete Temperaturregelung direkt überhitzt werden kann.

[0138] Danach wird diejenige Masse Wasser eingespeist, die dampfförmig bei der am Auslassventil anliegenden Druckdifferenz zwischen Betriebsdruck und statischem Druck nach dem Auslassventil bei dem entsprechenden Öffnungsquerschnitt ausströmen kann. Alternativ kann der Austrittsquerschnitt auch aus einer Düse mit festem Querschnitt bestehen. Der Betriebsdruck und damit der ausfließende Dampfmassenstrom hängen dann von der eingespeisten Wassermenge sowie den Dampftemperaturen im Gesamtsystem ab.

[0139] Die Wassereinspeisung kann entweder kontinuierlich oder pulsierend erfolgen, wobei letzteres zu einer besseren Verdampfung im zweiphasigen Strömungsgebiet führt.

[0140] Mit dieser Betriebsführung wird ein rasches An- und Abfahrverhalten erreicht. Überschreitet das in den Rohrschlangen 31 eingeschlossene Volumen zudem

nicht 2 Liter, so liegt auch bei höchsten Drücken kein Gefährdungspotential für die Umgebung in Folge eines Bruchs der Rohrschlangen 31 vor. Der Druck wird nach dem Ausschalten der Pumpe 34 schlagartig abgebaut. Ein weiterer Vorteil hinsichtlich der Betriebssicherheit liegt darin, dass der Dampferzeuger 5 im Stand-by Betrieb drucklos gehalten wird.

[0141] Aus diesem Dampferzeuger 5 wird der bereits über den Sättigungspunkt überhitzte Dampf dem zweistufigen Nacherhitzer 6 zugeführt. Aufgabe der ersten Stufe ist die reine Überhitzung des Hauptgasstromes, Aufgabe der zweiten Stufe ist die kombinierte Erwärmung von Pulver-/Tränergasstrom und Hauptgasstrom.

[0142] Die Beheizung des Nacherhitzers 6 erfolgt über aus Widerstandsheizdrähten bestehende Heizleiter 35, die elektrisch isoliert in einen Mantel aus Edelstahl oder Inconel eingebettet sind. Dies erlaubt einen direkten Kontakt des elektrisch leitfähigen Wasserdampfes mit den Heizleitern 35. Die Heizleiter 35 sind spiralförmig mit einem Innenrohr 36 und an der Innenseite eines druckfesten Druckrohres 37 dergestalt angelegt, dass sie einen spiralförmigen Strömungskanal bilden. Die Spiralanordnung ist nur einseitig am Druckrohr 37 fixiert, um eine freie Längenausdehnung der inneren Anordnung zu gewährleisten und die mechanische Belastung der heißen Heizleiter 35 zu minimieren.

[0143] Bauartbedingt liegt die minimale Länge des Nacherhitzers 6 bei ca. 20 cm, zweckmäßigerweise sind die Nacherhitzer im vorliegenden Anwendungsfall jedoch ca. 1,2 m lang.

[0144] Der Querschnitt des Strömungskanals kann durch eine Änderung der Steigung der spiralförmigen Heizleiter 35 über der Länge des Nacherhitzers 6 verringert oder vergrößert werden, um die Strömungsgeschwindigkeit und damit den Wärmeübergang an die Temperaturdifferenz zwischen Gas und Heizleiter 35 anzupassen und einen über der Länge gleichmäßigen Austauschwärmestrom zu erzielen.

[0145] Außerdem erlaubt die Steigung der Heizleiter 35 auch eine Optimierung des Druckverlustes im Strömungskanal.

[0146] Eine weitere Möglichkeit, den Wärmefluss anzupassen, besteht darin, die Heizleiter 35 in einzelne Segmente zu unterteilen, die mit unterschiedlichen Spannungen versorgt werden.

[0147] Da insbesondere der zweite Nacherhitzer 6 in einem sehr temperaturempfindlichen Teil der Bearbeitungsmaschine eingebaut (Z-Schlitten) ist, sind die Nacherhitzer 6 von einer keramischen Isolierung 38 umgeben, die zudem über einen spiralförmig von Kühlmittel durchströmten Doppelmantel eines Außenrohres 39 aktiv gekühlt wird.

[0148] Das Innenrohr 36 des Nacherhitzers 6 dient in der ersten Stufe als reiner Verdrängungskörper und Auflage der inneren Heizleiter 35 zur Ausbildung des spiralförmigen Strömungskanals. In der zweiten Stufe wird es vom Pulver-/Tränergasgemisch durchströmt und heizt dieses auf die optimale Mischtemperatur mit dem Haupt-

gasstrom vor. Hierbei ist besonders vorteilhaft, dass das Innenrohr 36 gerade verläuft, damit keine Pulverablagerungen oder unerwünschte Trennungen des Gas-/Pulvergemisches erfolgen können.

[0149] Falls sich dennoch in dem Innenrohr 36 einzelne größere Partikel bilden sollten, ist der untere Ausgang des Nacherhitzers 6 mit einem Sieb 40 (Figur 12) versehen, welches die Partikel zurückhält und ein Verstopfen der nachfolgenden Expansionsdüse 7 verhindert.

[0150] Die Strömung wird anschließend in der Expansionsdüse 7 auf Überschallgeschwindigkeit beschleunigt, wodurch die Partikel mit hoher kinetischer Energie auf das Substrat gespritzt werden. Die Expansionsdüse 7 selbst ist dreiteilig aufgebaut (Figur 13). In einer Mischkammer 41 werden der Hauptgasstrom und der Pulver/Trärgasstrom vermischt. Zusammen werden sie dann in der Expansionsdüse 7, welche auf ihrer Innenseite die Form eines einschaligen Hyperboloiden aufweist, auf Überschallgeschwindigkeit beschleunigt. An die Expansionsdüse 7 kann sich noch ein Vorsatzelement 42 anschließen, das einer weiteren Beschleunigung und - gestützt durch eine zusätzliche Dampfeinspritzung - der Ausbildung eines Parallelstrahls dient. Zusätzlich kann in der Expansionsdüse 7 eine Wassereinspeisung 43 vorgesehen werden. Durch das Wasser können der Hauptgasstrom und die Expansionsdüse 7 selbst gekühlt werden.

[0151] Der Betriebszustand wird durch einen Drucksensor vor der Expansionsdüse 7 oder in der Zuleitung überwacht. Im Normalbetrieb stellt sich vor der Expansionsdüse 7 basierend auf der Wassereinspeisung im Dampferzeuger 5 ein konstanter Druck ein. Falls der Druck bei konstanter Wassereinspeisung steigt, liegt eine Verstopfung der Expansionsdüse 7 vor. Fällt der Druck, ist entweder eine Störung in der Wassereinspeisung oder eine Leckage in der Dampfzuführung die Ursache. Um die Prozesssicherheit zu gewährleisten wird deshalb auch die Dampfmenge gemessen.

[0152] Der pulverförmige Spritzwerkstoff wird über einen Pulverförderer 44 stetig in einen Gasstrom dosiert. Als Trärgas wird bevorzugt Stickstoff verwendet, es kann jedoch nahezu auch ein beliebiges anderes, gasförmiges Medium eingesetzt werden. Den detaillierten Aufbau des Pulverförderers 44 zeigt die Figur 14. Aus einem Pulvervorrat 45 wird über einen Drehteller 46 Metallpulver zu einer Entnahmestelle gefördert. In dem Drehteller 46 ist eine Nut 47 angeordnet, in welcher das zugeführte Pulver liegt. An der Entnahmestelle wird ein Trärgasstrom coaxial an einem Pulverrohr 48 entlang geleitet. Dabei wirbelt der Trärgasstrom das in einer Nut 47 befindliche Metallpulver auf und reißt es in das Pulverrohr 48 mit. Der Trärgas-Metallpulverstrom wird anschließend zur Expansionsdüse 7 geleitet. Um ein Stocken des Pulvers zwischen Pulvervorrat 45 und Drehteller 46 zu vermeiden, ist der Auslass 49 aus dem Pulvervorrat 45 tellerseitig konisch aufgeweitet.

[0153] Zusätzlich ist um die Ansaugstelle ein O-Ring 51 eingelassen, welcher den Saugbereich eingrenzt und

abdichtet.

[0154] Um den homogenen und stetigen Trärgas-Pulverstrom zu gewährleisten, wird der Durchsatz mit einem Coriolis - Massedurchflussmesser bestimmt.

[0155] Eine Pulverschleuse 52 kann auf den Pulvervorrat 45 montiert werden, mit der während des Spritzvorgangs Pulver nachgefüllt werden kann. Sie dichtet den Pulvorrat 45 zur einer Zwischenkammer 53 beim Befüllvorgang ab. So kann die Zwischenkammer 53 während dem Arbeitsprozess mit Pulver gefüllt werden. Nach dem Befüllvorgang wird die Zwischenkammer 53 wieder mit Arbeitsdruck beaufschlagt. Sobald sich der Druck in der Zwischenkammer 53 dem Druck im Pulvorrat 45 angeglichen hat, kann die Pulverschleuse 52 geöffnet werden und das Pulver fällt in den Pulvorrat 45.

[0156] Besondere Aufmerksamkeit gilt der Gestaltung des Abdichtmechanismus zwischen Pulvorrat 45 und Zwischenkammer 53, der auch bei sehr hohen Drücken zuverlässig schließen muss. Hierzu wird ein konischer Verschluss 54 gegen eine Dichtung 55 gedrückt. Diese Anordnung ist so gewählt, dass die Abdichtung allein aufgrund des herrschenden Überdrucks erfolgt. Der notwendige Mechanismus zum Auf- und Abbewegen des konischen Verschlusses 54 ist dann nur noch für die Bewegung selbst zuständig. Für die Bewegung des Verschlusses 54 wird eine translatorische Bewegung benötigt. Entweder wird bereits direkt ein translatorischer Antrieb verwendet (pneum. Antrieb) oder es wird eine Rotationsbewegung in eine Translationsbewegung umgewandelt (Figur 15).

Bezugszeichenliste

[0157]

- | | | |
|----|----|-------------------------------|
| 35 | 1 | Spritzkammer |
| | 2 | Hauptgaserzeuger |
| | 3 | Pulveraufbereiter |
| | 4 | Anlage zur Wasseraufbereitung |
| 40 | 5 | Dampferzeuger |
| | 6 | Nacherhitzer |
| | 7 | Expansionsdüse |
| | 8 | Substrathalter |
| | 9 | Faltenbalg |
| 45 | 10 | Abstreifkante |
| | 11 | Schmutzpartikel |
| | 12 | Wasserschleier |
| | 13 | Verteiler |
| | 14 | Auslauf |
| 50 | 15 | Schiebetür |
| | 16 | Werkzeugmagazinklappe |
| | 17 | Nasswäscher |
| | 18 | Zentrifuge |
| | 19 | Reinwasserbehälter |
| 55 | 20 | Schmutzwasserbehälter |
| | 21 | Berstscheibe |
| | 22 | Scheibe |
| | 23 | Dichtung |

24	Senkdichtung		gekennzeichnet,
25	Auslöser		
26	Polycarbonatscheibe		- dass die Bewegungsachsen aus mindestens
27	Heizpatrone		3 linearen Bewegungsachsen und aus minde-
28	Schleifring	5	stens 2 rotativen Bewegungsachsen bestehen,
29	Isolierplatte		und/oder
30	Kühlkanäle		- dass mindestens 2 rotative Bewegungsach-
31	Rohrschlange		sen in der Bewegungsvorrichtung für das Werk-
32	Gehäuse		stück (8) liegen, und/oder
33	Heizpatrone	10	- dass mindestens 3 lineare Bewegungsachsen
34	Pumpe		in der Bewegungsvorrichtung für die Spritzpis-
35	Heizleiter		trole liegen, und/oder
36	Innenrohr		- dass mindestens 3 lineare Bewegungsachsen
37	Druckrohr		in der Bewegungsvorrichtung für eine Abtrage-
38	Isolierung	15	einrichtung liegen.
39	Außenrohr		
40	Sieb		3. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche
41	Mischkammer		1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,
42	Vorsatzelement		
43	Wassereinspeisung	20	- dass die abtragende Bearbeitung mit der Ab-
44	Pulverförderer		trageinrichtung in der Spritzkammer (1) erfolgt.
45	Pulvervorrat		
46	Drehteller		4. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche
47	Nut		1 bis 3, dadurch gekennzeichnet,
48	Pulverrohr	25	
49	Auslass		- dass die Spritzpistole und die Abtragsvorrich-
51	O-Ring		tung mit ein und derselben Bewegungsvorrich-
52	Pulverschleuse		tung verfahren werden oder
53	Zwischenkammer		- dass die Spritzpistole und die Abtragsvorrich-
54	konischer Verschluss	30	tung mit jeweils einer separaten Bewegungsvor-
55	Dichtung		richtung verfahren werden.

Patentansprüche

1. Bearbeitungsmaschine, welche

- mit einer Verkleidung und innerhalb der Verkleidung
- mit mindestens 5 Bewegungsachsen zum kombinierten Aufbau eines Werkstücks (8) durch thermisches Spritzen und durch abtragende Bearbeitung und
- mit mindestens eine Spritzkammer (1) zum thermischen Spritzen ausgebildet ist,

wobei innerhalb der Verkleidung

- sowohl der Aufbau als auch die abtragende Bearbeitung des Werkstücks (8) der Bearbeitungsmaschine erfolgen und
- ein - einen Dampferzeuger (5) und einen Nacherhitzer (6) umfassender - Hauptgaserzeuger (2) zur Umwandlung von Wasser in Wasserdampf ausgebildet ist.

2. Bearbeitungsmaschine nach Anspruch 1, **dadurch**

5. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Dampferzeuger (5) aus mehreren spiralförmig gewundenen, konzentrisch zueinander angeordneten Rohrschlangen (31) besteht, deren Enden zu einem geschlossenen Strömungskanal verbunden sind,

- wobei insbesondere die einzelnen Rohrschlangen (31) derart untereinander verbunden sind, dass das Wasser die Rohrschlangen (31) von außen nach innen passiert, und
- wobei insbesondere eine ungerade Anzahl von Rohrschlangen (31) vorgesehen ist und das Wasser unten in die äußerste Rohrschlange (31) eintritt und oben aus der innersten Rohrschlange (31) austritt.

6. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Dampferzeuger (5) in ein aus einem Material oder einer Legierung mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit, vorzugsweise Aluminium, bestehendes Gehäuse (32), insbesondere mit Temperatursensoren, eingegossen ist,

- wobei insbesondere in dem Gehäuse (32) Hei-

- zelemente (33) vorgesehen sind,
 - wobei insbesondere die Heizelemente (33) aus elektrischen Heizpatronen oder rauchgasführenden Rohren bestehen,
 - wobei insbesondere die Heizelemente (33) in das Gehäuse (32) eingegossen sind oder in dem Gehäuse (32) Bohrungen zur Aufnahme der Heizelemente (33) vorgesehen sind,
 - wobei insbesondere die Heizelemente (33) ringförmig zwischen den Rohrschlangen (31) angeordnet sind oder die Heizelemente (33) um die Rohrschlangen (31) herumgewickelt und zusammen mit diesen in das Gehäuse (32) eingegossen sind, und
 - wobei insbesondere der Schmelzpunkt des das Gehäuse (32) bildenden Materials ausreichend unterhalb des Schmelzpunktes der Rohrschlangen (31) und oberhalb der maximalen Betriebstemperatur liegt.
7. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rohrschlangen (31) eine gewellte oder gerippte Innenoberfläche haben, und/oder
- die Rohrschlangen (31) auf ihrer Außenseite eine Stützkonstruktion zur, insbesondere aus einer Außenberippung bestehenden, Verankerung in dem Gehäuse (32) aufweisen, und/oder
 - sich der Querschnitt der Rohrschlangen (31) in Strömungsrichtung vergrößert und/oder
 - die Verbindungen zwischen den einzelnen Rohrschlangen (31) als Kammern ausgebildet sind, die eine Trennung zwischen mitgerissem Wasser und Dampf bewirken.
8. Bearbeitungsmaschine nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gehäuse (32) von einem druckfesten Behälter umgeben ist, der nach außen hin mit einer Isolierung versehen ist, wobei insbesondere außerhalb der Isolierung ein kreisringförmiger Mantel angeordnet ist, welcher von dem Wasser durchströmt ist.
9. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem Dampferzeuger (5) eine, insbesondere kontinuierlich oder pulsierend arbeitende, Pumpe (34) zur Zuführung des Wassers vorgeschaltet ist,
- wobei insbesondere dem Dampferzeuger (5) ein Auslassventil nachgeschaltet ist,
 - wobei insbesondere das Gesamtvolumen des Dampferzeugers (5) zwei Liter nicht überschreitet und
 - wobei insbesondere der Dampferzeuger (5) im Stand-By-Betrieb drucklos gehalten ist.
10. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Nacherhitzer (6) ein Innenrohr (36) und ein das Innenrohr (36) umgebendes Druckrohr (37) aufweist, und wobei das Innenrohr (36) von einem, insbesondere das Innenrohr (36) spitalförmig umgebenden, Heizleiter (35) umgeben ist, der einen spiralförmigen Strömungskanal für das Hauptgas bildet,
- wobei insbesondere der Heizleiter (35) mit einer elektrisch nicht leitenden Isolierung umgeben ist,
 - wobei insbesondere der Heizleiter (35) aus einem inneren, am Innenrohr (36) anliegenden und einem äußeren, am Druckrohr (37) anliegenden Widerstandselement besteht,
 - wobei insbesondere der Heizleiter (35) von einem Mantel umgeben ist, welcher aus Edelstahl oder einer Legierung aus Nickel, Chrom und Molybdän, wie z. B. Inconel, besteht,
 - wobei insbesondere das Druckrohr (37) von einer vorzugsweise keramischen, insbesondere in einem Außenrohr (39) angeordneten, Isolierung (38) umgeben ist, wobei insbesondere das Außenrohr (39) doppelwandig ausgebildet ist und in der Wandung ein Kühlmittel geführt ist,
 - wobei insbesondere der Heizleiter (35) in mindestens zwei Abschnitte unterteilt ist, die mit unterschiedlichen Spannungen versorgbar sind, und
 - wobei insbesondere der Heizleiter (35) nur partiell an dem Innenrohr (36) bzw. dem Druckrohr (37) befestigt ist.
11. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Nacherhitzer (6) mindestens ca. 20 cm, vorzugsweise 1 m lang ist.
12. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich der Querschnitt des zwischen Innenrohr (36) und Druckrohr (37) gebildeten Strömungskanals ändert, wobei insbesondere die Änderung des Querschnitts durch eine über der Länge variable Steigung der Heizleiter (35) erreicht wird.
13. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Nacherhitzer (6) zweistufig aufgebaut ist,
- wobei insbesondere in der ersten Stufe des Nacherhitzers (6) das Innenrohr (36) als Auflage des inneren Heizleiters (35) dient und in der zweiten Stufe von einem Pulver-/Wasserdampfgemisch durchströmt wird, um dieses Gemisch aufzuheizen,
 - wobei insbesondere das Innenrohr (36) in bei-

den Stufen gerade verläuft und
- wobei insbesondere am Ende der zweiten Stufe ein Sieb (40) vorgesehen ist.

14. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Anschluss an den Nacherhitzer (6) eine Expansionsdüse (7) angeordnet,

- wobei insbesondere die Expansionsdüse (7) einen konvergenten und einen divergenten Bereich mit einem dazwischen liegenden engsten Querschnitt besitzt und die Kontur die Form eines einschaligen Hyperboloiden aufweist, deren Erzeugende eine Gerade ist,
- wobei insbesondere der konvergente und/oder der divergente Bereich mit einem Vorsatzelement (42) verlängert ist,
- wobei insbesondere die Innenkontur der Expansionsdüse (7) mit einem gasförmigen oder flüssigen wandbenetzenden Film überzogen ist und
- wobei insbesondere vor Expansionsdüse (7) ein Drucksensor angeordnet ist.

15. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** die Spritzkammer (1) in zwei Funktionsbereiche unterteilt ist, von denen der eine diejenigen Bauteile aufnimmt, die dazu dienen, eine explosionsfähige Atmosphäre zu vermeiden und die eingebrachte thermische Energie sowie Verunreinigungen abzuführen, und von denen der andere diejenigen Bauteile aufnimmt, welche zur Durchführung des Spritzprozesses und des Bearbeitungsprozesses erforderlich sind, und/oder
- **dass** in der Spritzkammer (1) Faltenbälge (9) mit Edelstahllamellen zur Vermeidung von Pulveransammlungen und ein die Wände benetzender, laminarer Wasserschleier (12) zur Reinhaltung und Kühlung der Spritzkammer (1) angeordnet sind, wobei insbesondere das den Wasserschleier (12) bildende Wasser aufgefangen und einem Sammelbehälter zugeführt wird, um von dort, vorzugsweise mittels einer Hebe-
pumpe, zu einer Wasseraufbereitungsanlage (4) gefördert zu werden, und/oder
- **dass** die Spritzkammer (1) mit einer Abluftanlage verbunden ist, welche in der Presskammeratmosphäre schwebende Staubpartikel absaugt und einem Nasswäscher (17) zuführt, und/oder
- **dass** in einer Wand der Spritzkammer (1) eine Berstscheibe (21) angeordnet ist.

16. Bearbeitungsmaschine nach Anspruch 15, **dadurch**

gekennzeichnet, dass Sensoren vorgesehen sind, welche die Funktion der Bauteile, die dazu dienen, eine explosionsfähige Atmosphäre zu vermeiden und die eingebrachte thermische Energie sowie Verunreinigungen abzuführen, überwachen und bei einem Ausfall eines dieser Bauteile die Bearbeitungsmaschine abschalten.

17. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 12 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Spritzkammer (1) mittels einer mit einer Scheibe (22) versehenen Schiebetür (15) verschließbar ist, welche in den Wasserschleier (12) integriert ist,

- wobei insbesondere die Spritzkammer (1) vollständig gekapselt ist und die Scheibe (22) der Schiebetür (15) aus schalldämmendem Glas besteht,
- wobei insbesondere das Glas der Schiebetür (15) ein Verbundsicherheitsglas ist, welches aus mehreren Schichten aufgebaut ist, und
- wobei insbesondere das Verbundsicherheitsglas auf der äußeren Seite mit einer Polycarbonatscheibe (26) versehen ist.

18. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Spritzkammer (1) ein beheizbarer Substrathalter (8) angeordnet ist,

- wobei insbesondere die Beheizung des Substrathalters (8) durch in den Substrathalter (8) eingesetzte Heizpatronen (27), eine in den Substrathalter (8) integrierte Strahlungsquelle oder durch induktive Erwärmung erfolgt und
- wobei insbesondere der Substrathalter (8) durch eine Isolierplatte (29), vorzugsweise aus Kunstharz, Glasfaser o. dgl., gegenüber der Bearbeitungsmaschine isoliert ist.

19. Bearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Förderung des Spritzmaterials ein Pulverförderer (44) vorgesehen ist, der das Pulver stetig in einen Gasstrom aus Trägergas, insbesondere Stickstoff, dosiert,

- wobei insbesondere der Pulverförderer (44) einen Drehteller (46) umfasst, der das Pulver zu einer Entnahmestelle fördert, an welcher es von dem Trägergas mitgenommen wird,
- wobei insbesondere ein Coriolis-Massedurchflussmesser vorgesehen ist, um die Homogenität und Stetigkeit des Trägergas-Pulverstroms zu gewährleisten, und
- wobei insbesondere eine Pulvervorrat (45) vorgesehen ist, welcher in zwei Abschnitte unterteilt ist, wobei insbesondere die beiden Ab-

schnitte durch eine Pulverschleuse (52) voneinander getrennt sind, und wobei insbesondere die Pulverschleuse (52) eine Dichtung (55) und einen konischen Verschluss (54) aufweist.

20. Bearbeitungsmaschine nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Beladezustand der Zentrifuge (18) über eine Vergleichsmessung ermittelt wird.

Claims

1. A machining center, comprising

- a casing, and within the casing
- at least 5 movement axes for the combined construction of a workpiece (8) by thermal spraying and by subtractive machining, and
- at least one spraying chamber (1) configured for thermal spraying,

wherein, within the casing,

- both the construction and the subtractive machining of the workpiece (8) of the machining center take place, and
- a main gas generator (2) - including both a steam generator (5) and a post-heater (6) - is configured to convert water into water vapor.

2. The machining center according to claim 1, **characterized in that**

- the movement axes consist of at least 3 linear movement axes and at least 2 rotary movement axes, and/or
- at least 2 rotary movement axes are in the movement device for the workpiece (8), and/or
- at least 3 linear movement axes are in the movement device for the spray gun, and/or
- at least 3 linear movement axes are in the movement device for a subtractive machining device.

3. The machining center according to one of claims 1 or 2, **characterized in that** the subtractive machining with the subtractive machining device takes place in the spraying chamber (1).

4. The machining center according to one of claims 1 to 3, **characterized in that**

- the spray gun and the subtractive machining device are moved with one and the same movement device, or
- the spray gun and the subtractive machining device are each moved with a separate move-

ment device.

5. The machining center according to one of claims 1 to 4, **characterized in that** the steam generator (5) consists of a plurality of spirally wound, concentrically arranged tube coils (31), the ends of which are connected to form a closed flow channel,

- wherein, in particular, the individual tube coils (31) are interconnected such that the water passes through the tube coils (31) from the outside to the inside, and
- wherein, in particular, an odd number of tube coils (31) is provided and the water enters the outermost tube coil (31) at the bottom and exits from the innermost tube coil (31) on the top.

6. The machining center according to one of claims 1 to 5, **characterized in that** the steam generator (5) is molded into a housing (32) consisting of a material or an alloy with a high thermal conductivity, preferably aluminum, in particular with temperature sensors,

- wherein, in particular, heating elements (33) are provided in the housing (32),
- wherein, in particular, the heating elements (33) consist of electric heating cartridges or tubes carrying flue gas,
- wherein, in particular, the heating elements (33) are molded into the housing (32), or holes for receiving the heating elements (33) are provided in the housing (32),
- wherein, in particular, the heating elements (33) are arranged in a ring between the tube coils (31), or the heating elements (33) are wrapped around the tube coils (31) and are molded into the housing (32) together with tube coils (31), and
- wherein, in particular, the melting point of the material forming the housing (32) is sufficiently lower than the melting point of the tube coils (31) and higher than the maximum operating temperature.

7. The machining center according to one of claims 5 or 6, **characterized in that** the tube coils (31) have a corrugated or ribbed inner surface, and/or

- the tube coils (31) have a support structure on the outside, in particular consisting of external ribbing, for anchoring in the housing (32), and/or
- the cross section of the tube coils (31) increases in the flow direction, and/or
- the connections between the individual coils (31) are configured as chambers causing a separation between entrained water and steam.

8. The machining center according to claim 7, **characterized in that** the housing (32) is surrounded by a pressure-resistant container provided with insulation on the outside, wherein, in particular, an annular jacket through which the water flows is arranged outside of the insulation. 5
9. The machining center according to one of claims 1 to 8, **characterized in that** a pump (34), in particular operating in a continuous or pulsating manner, for supplying the water is connected upstream of the steam generator (5) 10
- wherein, in particular, an outlet valve is connected downstream of the steam generator (5), 15
 - wherein, in particular, the total volume of the steam generator (5) does not exceed two liters, and
 - wherein, in particular, the steam generator (5) is kept depressurized in stand-by mode. 20
10. The machining center according to one of claims 1 to 9, **characterized in that** the post-heater (6) includes an inner tube (36) and a pressure tube (37) surrounding the inner tube (36), wherein the inner tube (36) is surrounded by the heating conductor (35) which forms a helical flow channel for the main gas and, in particular, surrounds the inner tube (36) in a helical manner, 25
- wherein, in particular, the heating conductor (35) is surrounded by an electrically non-conductive insulation, 30
 - wherein, in particular, the heating conductor (35) consists of an inner resistance heating element fitting to the inner tube (36) and an outer resistance heating element fitting to the pressure tube (37), 35
 - wherein, in particular, the heating conductor (35) is surrounded by a jacket made of stainless steel or an alloy of nickel, chrome and molybdenum, such as Inconel, 40
 - wherein, in particular, the pressure tube (37) is surrounded by a preferably ceramic insulation (38), in particular arranged in an outer tube (39), wherein, in particular, the outer tube (39) is double-walled and coolant is conducted in the wall, 45
 - wherein, in particular, the heating conductor (35) is divided into at least two portions which can be supplied with different voltages, and 50
 - wherein, in particular, the heating conductor (35) is only partially attached to the inner tube (36) or the pressure tube (37).
11. The machining center according to one of claims 1 to 10, **characterized in that** the length of the post-heater (6) is at least about 20 cm, preferably 1 m. 55
12. The machining center according to one of claims 10 or 11, **characterized in that** the cross section of the flow channel formed between the inner tube (36) and the pressure tube (37) changes, wherein, in particular, the change in cross section is achieved by an increase in the length of the heating conductor (35).
13. The machining center according to one of claims 1 to 12, **characterized in that** the post-heater (6) is configured with two stages,
- wherein, in particular, the inner tube (36) serves as a support for the inner heating conductor (35) in the first stage of the post-heater (6) and a powder/water vapor mixture flows through the inner tube (36) in the second stage in order to heat said mixture,
 - wherein, in particular, the inner tube (36) extends straightly in both stages, and
 - wherein, in particular, a sieve (40) is provided at the end of the second stage.
14. The machining center according to one of claims 1 to 13, **characterized in that** an expansion nozzle (7) is arranged subsequent to the post-heater (6),
- wherein, in particular, the expansion nozzle (7) has a convergent and a divergent region with a narrowest cross section in between and the contour has the shape of a single-sheet hyperboloid, the generator of which is a straight line,
 - wherein, in particular, the convergent and/or the divergent region is extended with an attachment element (42),
 - wherein, in particular, the inner contour of the expansion nozzle (7) is coated with a gaseous or liquid wall-wetting film, and
 - wherein, in particular, a pressure sensor is arranged in front of the expansion nozzle (7).
15. The machining center according to one of claims 1 to 14, **characterized in that**
- the spraying chamber (1) is divided into two functional regions, one of which accommodates components which serve to avoid an explosive atmosphere and to dissipate the introduced thermal energy and contaminants, and the other of which accommodates components necessary for carrying out the spraying process and the machining process, and/or
 - bellows (9) with stainless steel lamellas for avoiding powder accumulation and a laminar water curtain (12) wetting the walls for keeping the spraying chamber (1) clean and cool are arranged in the spraying chamber (1), wherein, in particular, the water forming the water curtain (12) is collected and fed to a collecting container

in order to be transported from there, preferably by means of a lifting pump, to a water treatment system (4), and/or

- the spraying chamber (1) is connected to an exhaust air system for sucking off dust particles floating in the pressing chamber atmosphere and feeding them to a wet scrubber (17), and/or
- a burst disk (21) is arranged in a wall of the spraying chamber (1).

16. The machining center according to claim 15, **characterized in that** sensors are provided, said sensors monitoring the function of the components serving to avoid an explosive atmosphere and to dissipate the introduced thermal energy and contaminants and switching off the machining center in the event of a failure of one of these components.

17. The machining center according to one of claims 12 to 15, **characterized in that** the spraying chamber (1) can be closed by means of a sliding door (15) which is integrated in the water curtain (12) and provided with a pane (22),

- wherein, in particular, the spraying chamber (1) is completely encapsulated and the pane (22) of the sliding door (15) consists of sound-absorbing glass,

- wherein, in particular, the glass of the sliding door (15) is a laminated safety glass composed of several layers, and

- wherein, in particular, the laminated safety glass is provided with a polycarbonate pane (26) on the outside.

18. The machining center according to one of claims 1 to 17, **characterized in that** a heatable substrate holder (8) is arranged in the spraying chamber (1),

- wherein, in particular, the heating of the substrate holder (8) is performed by heating cartridges (27) inserted into the substrate holder (8), a radiation source integrated in the substrate holder (8) or by inductive heating, and

- wherein, in particular, the substrate holder (8) is insulated from the machining center by an insulating plate (29), preferably made of synthetic resin, glass fiber or the like.

19. The machining center according to one of claims 1 to 18, **characterized in that** a powder conveyor (44) for conveying the spray material is provided, said powder conveyor (44) continuously metering the powder into a gas stream of carrier gas, in particular nitrogen,

- wherein, in particular, the powder conveyor (44) has a turntable (46) conveying the powder

to a removal point at which it is entrained by the carrier gas,

- wherein, in particular, a Coriolis mass flow meter is provided to ensure the homogeneity and continuity of the carrier gas powder flow, and

- wherein, in particular, a powder supply (45) is provided, the powder supply (45) being divided into two portions, the two portions in particular being separated from one another by a powder sluice (52), and wherein, in particular, the powder sluice (52) includes a seal (55) and a conical lock (54).

20. The machining center according to claim 15, **characterized in that** the loading state of the centrifuge (18) is determined by means of a comparing measurement.

Revendications

1. Machine de traitement, qui est réalisée

- avec une enveloppe et à l'intérieur de l'enveloppe

- avec au moins 5 axes de déplacement pour la construction combinée d'une pièce (8) par projection thermique et par traitement ablatif et

- avec au moins une chambre de projection (1) pour la projection thermique,

dans laquelle à l'intérieur de l'enveloppe

- non seulement la construction mais aussi le traitement ablatif de la pièce (8) de la machine de traitement sont effectués et

- un générateur de gaz principal (2) - comprenant un générateur de vapeur (5) et un réchauffeur (6) - pour la conversion d'eau en vapeur d'eau est réalisé.

2. Machine de traitement selon la revendication 1, **caractérisée en ce**

- **que** les axes de déplacement se composent d'au moins 3 axes de déplacement linéaires et d'au moins 2 axes de déplacement rotatifs, et/ou
- **qu'**au moins 2 axes de déplacement rotatifs se trouvent dans le dispositif de déplacement pour la pièce (8), et/ou

- **qu'**au moins 3 axes de déplacement linéaires se trouvent dans le dispositif de déplacement pour le pistolet de projection, et/ou

- **qu'**au moins 3 axes de déplacement linéaires se trouvent dans le dispositif de déplacement pour un dispositif de traitement ablatif.

3. Machine de traitement selon l'une des revendica-

tions 1 ou 2, **caractérisée en ce**

- **que** le traitement ablatif est effectué avec le dispositif de traitement ablatif dans la chambre de projection (1).

4. Machine de traitement selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisée en ce**

- **que** le pistolet de projection et le dispositif de traitement ablatif sont déplacés avec un seul et même dispositif de déplacement ou
- **que** le pistolet de projection et le dispositif de traitement ablatif sont déplacés avec respectivement un dispositif de déplacement séparé.

5. Machine de traitement selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisée en ce que** le générateur de vapeur (5) se compose de plusieurs serpentins (31) agencés concentriquement les uns aux autres, enroulés en spirale, dont les extrémités sont reliées à un canal d'écoulement fermé,

- dans laquelle en particulier les serpentins (31) individuels sont reliés entre eux de telle manière que l'eau passe dans les serpentins (31) de l'extérieur vers l'intérieur, et
- dans laquelle en particulier un nombre impair de serpentins (31) est prévu et l'eau entre en bas dans le serpentins (31) extérieur et sort en haut du serpentins (31) intérieur.

6. Machine de traitement selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisée en ce**

- **que** le générateur de vapeur (5) est moulé dans un boîtier (32) se composant d'un matériau ou d'un alliage avec une capacité thermique élevée, de préférence d'aluminium, en particulier avec des capteurs de température,
- dans laquelle en particulier des éléments chauffants (33) sont prévus dans le boîtier (32),
- dans laquelle en particulier les éléments chauffants (33) se composent de cartouches chauffantes électriques ou de tubes acheminant du gaz de combustion,
- dans laquelle en particulier les éléments chauffants (33) sont moulés dans le boîtier (32) ou des perçages sont prévus dans le boîtier (32) pour la réception des éléments chauffants (33),
- dans laquelle en particulier les éléments chauffants (33) sont agencés en anneau entre les serpentins (31) ou les éléments chauffants (33) sont enroulés autour des serpentins (31) et sont moulés conjointement avec ceux-ci dans le boîtier (32), et
- dans laquelle en particulier le point de fusion du matériau formant le boîtier (32) se trouve suf-

fisamment en dessous du point de fusion des serpentins (31) et au-dessus de la température de fonctionnement maximale.

7. Machine de traitement selon l'une des revendications 5 ou 6, **caractérisée en ce que** les serpentins (31) présentent une surface intérieure ondulée ou nervurée, et/ou

- les serpentins (31) présentent sur leur côté extérieur une construction d'appui pour l'ancrage, se composant en particulier d'un nervurage extérieur dans le boîtier (32), et/ou
- la section transversale des serpentins (31) est agrandie dans le sens d'écoulement et/ou
- les liaisons entre les serpentins (31) individuels sont réalisées comme des chambres qui provoquent une séparation entre de l'eau et de la vapeur entraînées.

8. Machine de traitement selon la revendication 7, **caractérisée en ce que** le boîtier (32) est entouré par un récipient résistant à la pression qui est pourvu vers l'extérieur d'une isolation, dans laquelle une enveloppe en forme d'anneau de cercle est agencée en particulier en dehors de l'isolation, laquelle est traversée par de l'eau.

9. Machine de traitement selon l'une des revendications 1 à 8, **caractérisée en ce qu'une** pompe (34) travaillant en particulier en continu ou par pulsation est montée en amont du générateur de vapeur (5) pour l'alimentation de l'eau,

- dans laquelle une soupape de sortie est montée en aval en particulier du générateur de vapeur (5),
- dans laquelle en particulier le volume total du générateur de vapeur (5) ne dépasse pas deux litres et
- dans laquelle en particulier le générateur de vapeur (5) est maintenu sans pression en mode de veille.

10. Machine de traitement selon l'une des revendications 1 à 9, **caractérisée en ce que** le réchauffeur (6) présente un tube intérieur (36) et un tube de pression (37) entourant le tube intérieur (36), et dans laquelle le tube intérieur (36) est entouré par un conducteur chauffant (35) entourant en particulier le tube intérieur (36) en spirale qui forme un canal d'écoulement en spirale pour le gaz principal,

- dans laquelle en particulier le conducteur chauffant (35) est entouré avec une isolation non électroconductrice,
- dans laquelle en particulier le conducteur chauffant (35) se compose d'un élément chauff-

- fant à résistance intérieur, reposant contre le tube intérieur (36) et un élément chauffant à résistance extérieur reposant contre le tube de pression (37),
- dans laquelle en particulier le conducteur chauffant (35) est entouré par une enveloppe qui se compose d'acier spécial ou d'un alliage de nickel, de chrome et de molybdène, tel que du Inconel,
 - dans laquelle en particulier le tube de pression (37) est entouré par une isolation (38) de préférence céramique, agencée en particulier dans un tube extérieur (39), dans laquelle en particulier le tube extérieur (39) est réalisé à double paroi et un réfrigérant est guidé dans la paroi,
 - dans laquelle en particulier le conducteur chauffant (35) est divisé dans au moins deux sections qui peuvent être alimentées en tensions différentes, et
 - dans laquelle en particulier le conducteur chauffant (35) est fixé uniquement partiellement au tube intérieur (36) ou au tube de pression (37).
11. Machine de traitement selon l'une des revendications 1 à 10, **caractérisée en ce que** le réchauffeur (6) présente une longueur d'au moins environ 20 cm, de préférence de 1 m.
12. Machine de traitement selon l'une des revendications 10 ou 11, **caractérisée en ce que** la section transversale du canal d'écoulement formé entre le tube intérieur (36) et le tube de pression (37) se modifie, dans laquelle en particulier la modification de la section transversale est atteinte par une montée variable sur la longueur des conducteurs chauffants
13. Machine de traitement selon l'une des revendications 1 à 12, **caractérisée en ce que** le réchauffeur (6) est structuré à deux étages,
- dans laquelle en particulier dans le premier étage du réchauffeur (6) le tube intérieur (36) sert d'appui du conducteur chauffant (35) intérieur et dans le second étage il est traversé par un mélange de poudre et de vapeur d'eau afin de chauffer ce mélange,
 - dans laquelle en particulier le tube intérieur (36) s'étend en ligne droite dans les deux étages et
 - dans laquelle en particulier à la fin du second étage un tamis (40) est prévu.
14. Machine de traitement selon l'une des revendications 1 à 13, **caractérisée en ce qu'à** la suite du réchauffeur (6) une buse d'expansion (7) est agencée,
- dans laquelle en particulier la buse d'expansion (7) possède une zone convergente et une zone divergente avec une section transversale la plus étroite se trouvant entre elles et le contour présente la forme d'une hyperbole à une nappe, dont la génératrice est une droite,
 - dans laquelle en particulier la zone convergente et/ou la zone divergente est prolongée avec un élément adaptable (42),
 - dans laquelle en particulier le contour intérieur de la buse d'expansion (7) est recouvert avec un film humidifiant les parois gazeux ou liquide et
 - dans laquelle en particulier un capteur de pression est agencé devant la buse d'expansion (7).
15. Machine de traitement selon l'une des revendications 1 à 14, **caractérisée en ce**
- **que** la chambre de projection (1) est divisée en deux zones fonctionnelles dont l'une reçoit les composants qui servent à éviter une atmosphère explosive et à évacuer l'énergie thermique introduite ainsi que des impuretés, et dont l'autre reçoit les composants qui sont nécessaires à la réalisation du processus de projection et du processus de traitement, et/ou
 - **que** dans la chambre de projection (1) des soufflets (9) sont agencés avec des lamelles d'acier spécial pour éviter des accumulations de poudre et un rideau d'eau (12) laminaire humidifiant les parois pour l'épuration et le refroidissement de la chambre de projection (1), dans laquelle en particulier l'eau formant le rideau d'eau (12) est capturée et est fournie à un récipient de collecte afin d'être transportée de là, de préférence au moyen d'une pompe de levage, vers une installation de traitement d'eau (4), et/ou
 - **que** la chambre de projection (1) est reliée à une installation d'évacuation d'air qui aspire des particules de poussières flottant dans l'atmosphère de chambre de pression et les fournit à un épurateur par voie humide (17), et/ou
 - **qu'un** disque à rupture (21) est agencé dans une paroi de la chambre de projection (1).
16. Machine de traitement selon la revendication 15, **caractérisée en ce que** des capteurs sont prévus, lesquels surveillent la fonction des composants qui servent à éviter une atmosphère explosive et à évacuer l'énergie thermique introduite ainsi que des impuretés et arrêtent en cas de panne d'un de ces composants la machine de traitement.
17. Machine de traitement selon l'une des revendications 12 à 15, **caractérisée en ce que** la chambre de projection (1) est refermable au moyen d'une por-

te coulissante (15) pourvue d'une vitre (22) qui est intégrée dans le rideau d'eau (12),

comparative.

- dans laquelle en particulier la chambre de projection (1) est fermée complètement et la vitre (22) de la porte coulissante (15) se compose de verre insonorisant, 5
- dans laquelle en particulier le verre de la porte coulissante (15) est un verre de sécurité composite qui est constitué de plusieurs couches, et 10
- dans laquelle en particulier le verre de sécurité composite est pourvu sur le côté extérieur d'un disque de polycarbonate (26).

18. Machine de traitement selon l'une des revendications 1 à 17, **caractérisée en ce qu'un** support de substrat (8) chauffable est agencé dans la chambre de projection (1), 15

- dans laquelle en particulier le chauffage du support de substrat (8) est effectué par des cartouches chauffantes (27) insérées dans le support de substrat (8), une source de rayonnement intégrée dans le support de substrat (8) ou par chauffage inductif et 20
- dans laquelle en particulier le support de substrat (8) est isolé par une plaque isolante (29), de préférence en résine synthétique, fibre de verre ou similaire, par rapport à la machine de traitement. 25 30

19. Machine de traitement selon l'une des revendications 1 à 18, **caractérisée en ce que** pour le transport du matériau de projection un transporteur de poudre (44) est prévu, lequel dose la poudre en permanence dans un courant de gaz de gaz porteur, en particulier d'azote, 35

- dans laquelle en particulier le transporteur de poudre (44) comporte un plateau tournant (46) qui transporte la poudre vers un point de retrait, au niveau duquel elle est entraînée par le gaz porteur, 40
- dans laquelle en particulier un débitmètre de masse de Coriolis est prévu, afin de garantir l'homogénéité et la permanence du courant de poudre de gaz porteur, et 45
- dans laquelle en particulier une réserve de poudre (45) est prévue, laquelle est divisée en deux sections, dans laquelle en particulier les deux sections sont séparées par un sas de poudre (52) l'une de l'autre, et dans laquelle en particulier le sas de poudre (52) présente une garniture (55) et une fermeture (54) conique. 50

20. Machine de traitement selon la revendication 15, **caractérisée en ce que** l'état de charge de la centrifugeuse (18) est déterminé par le biais d'une mesure 55

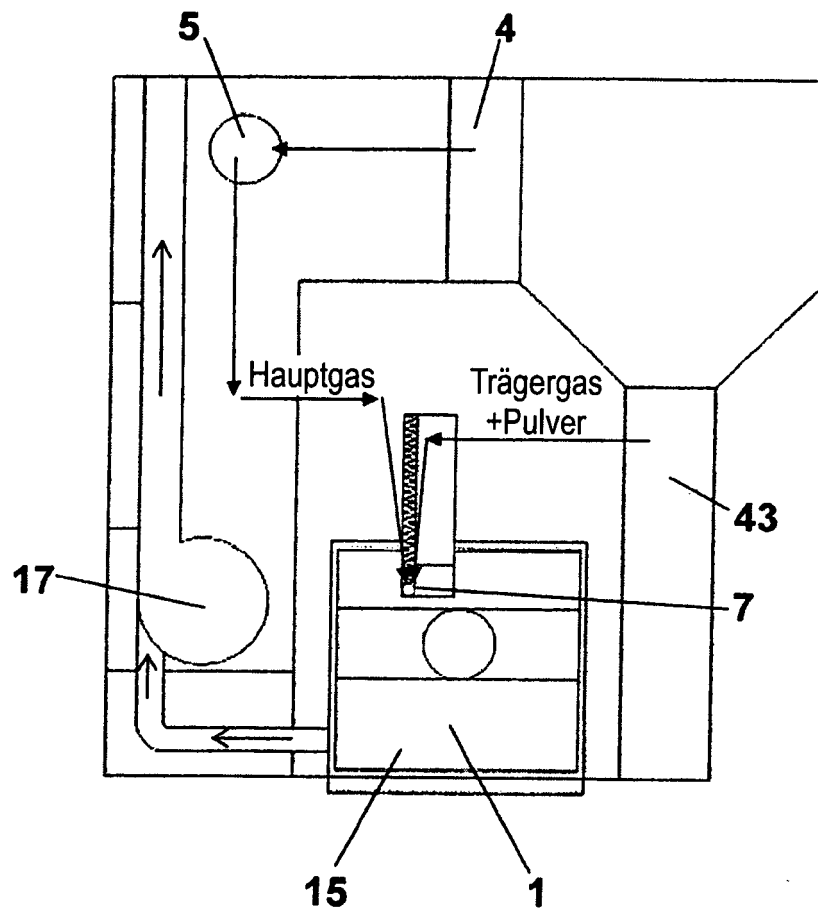


Fig. 1

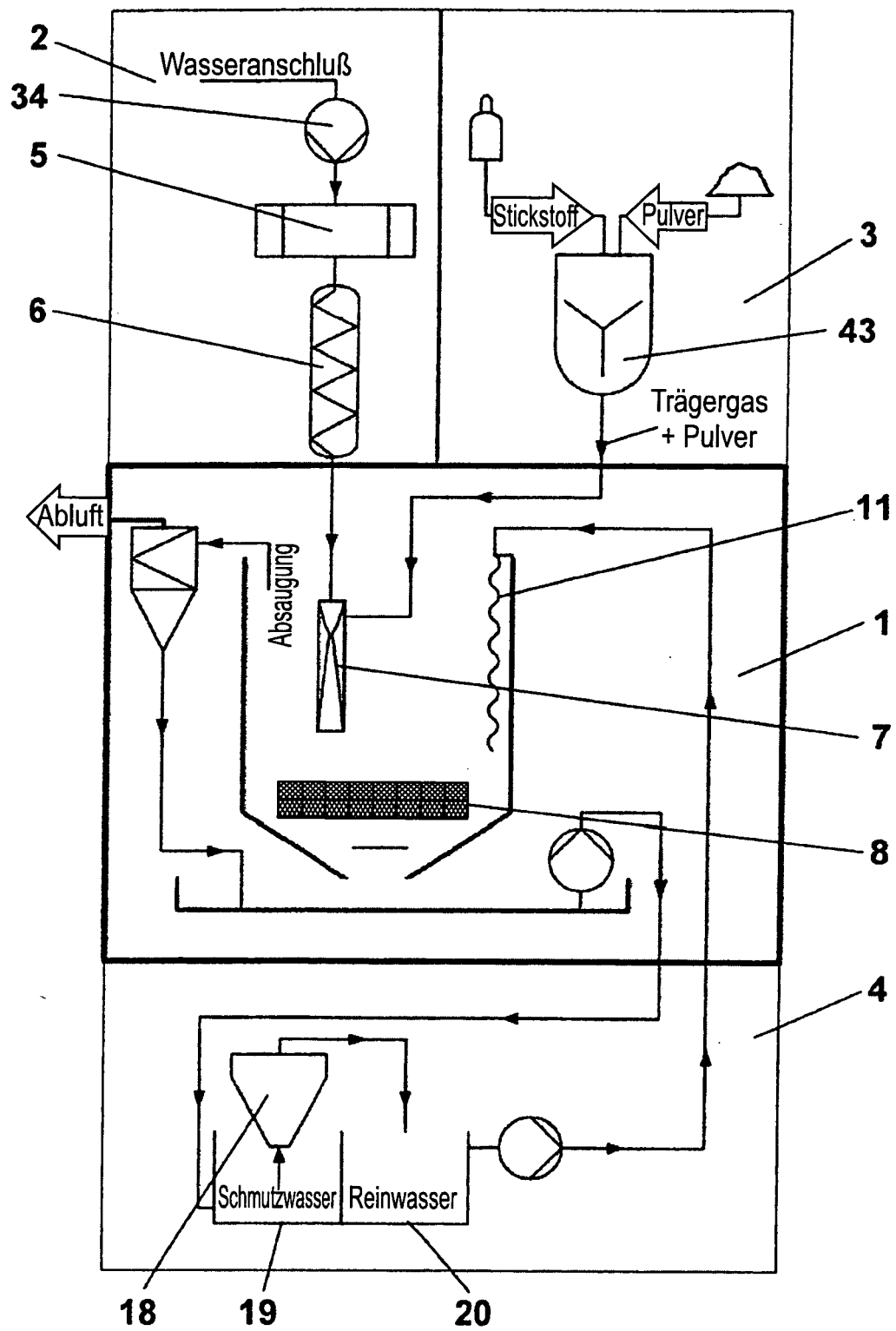


Fig. 2

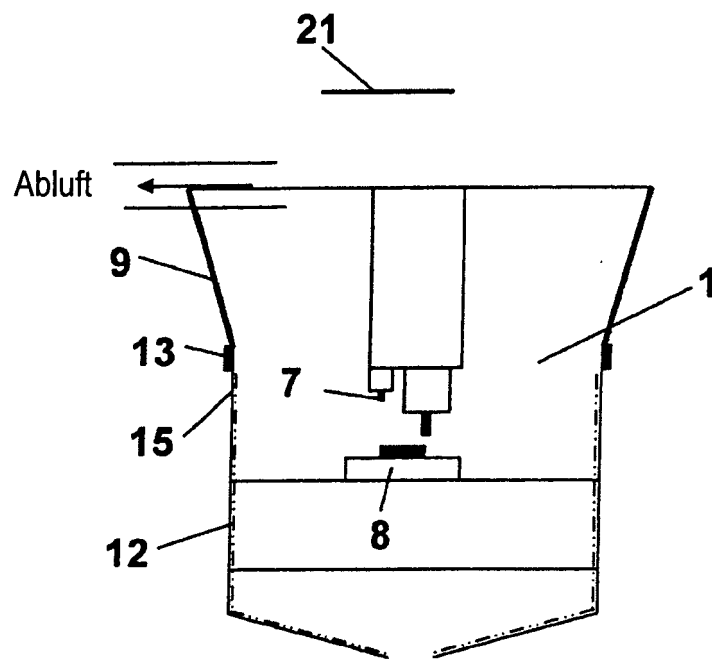


Fig. 3

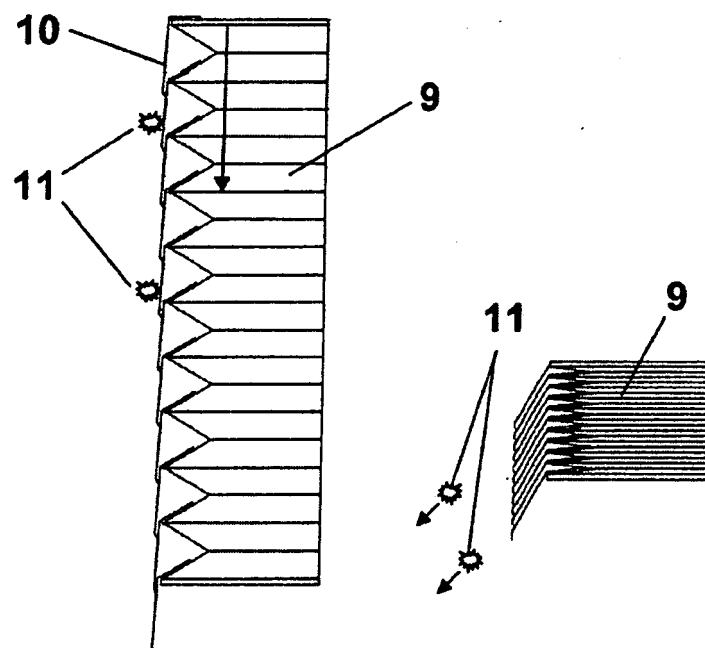


Fig. 4

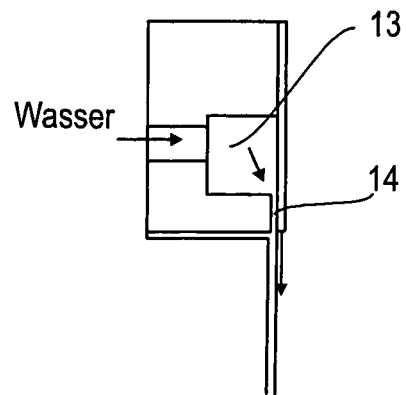


Fig. 5

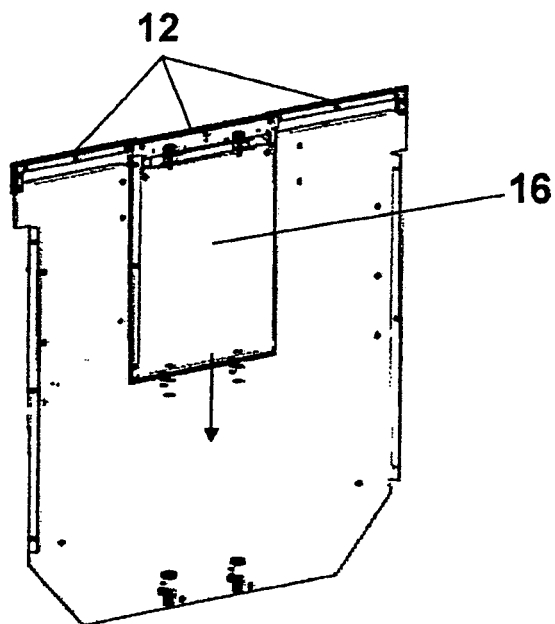


Fig. 6

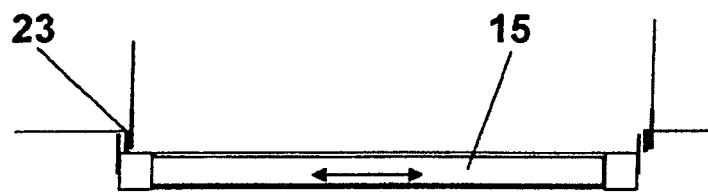


Fig. 7

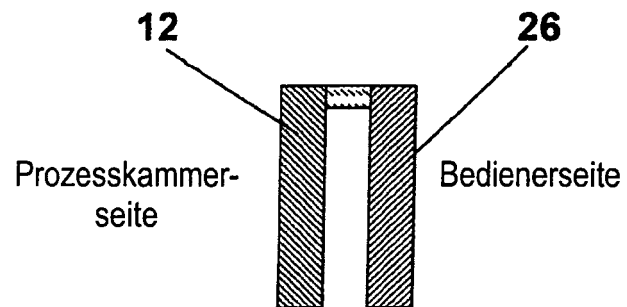


Fig. 8

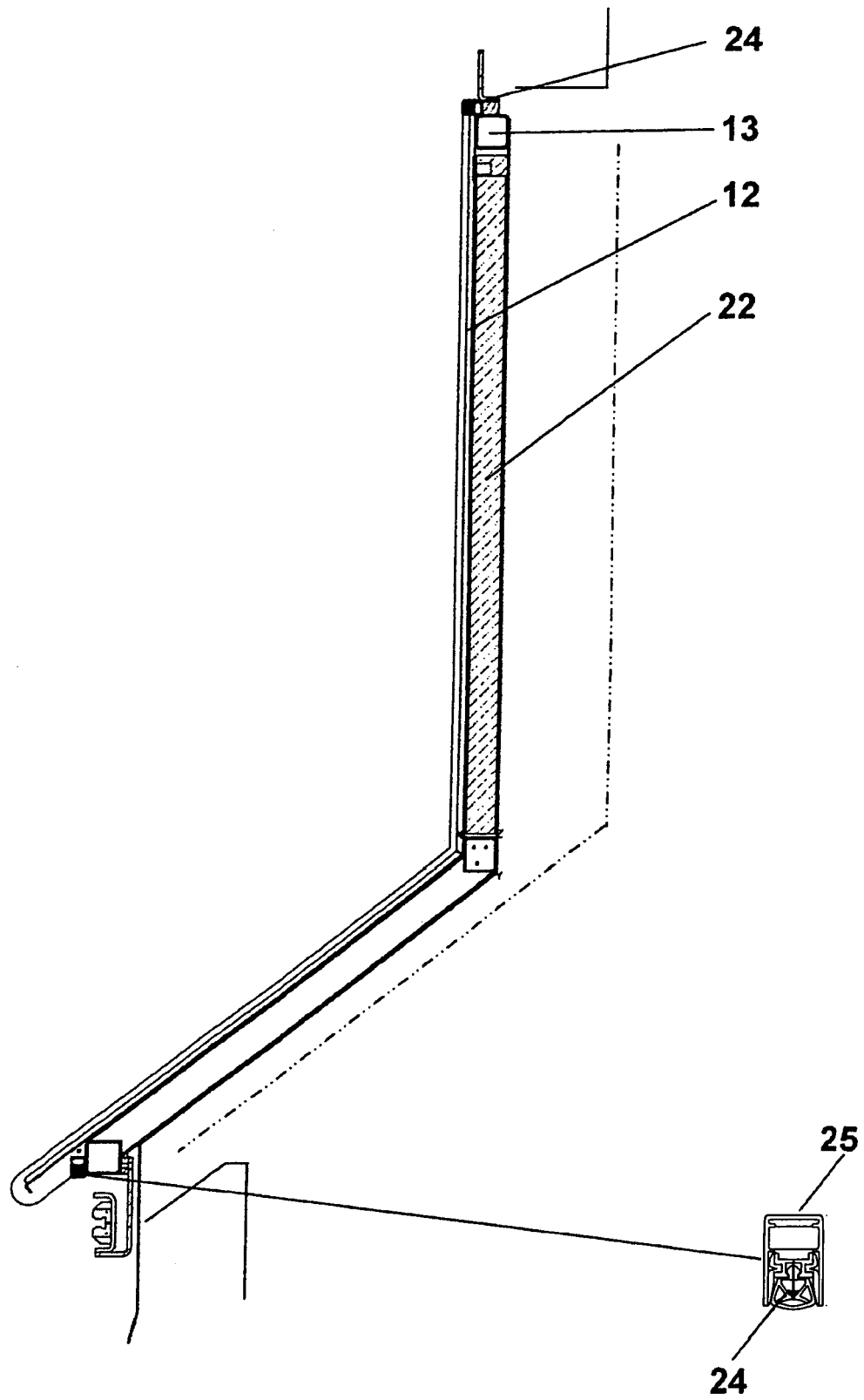


Fig. 9

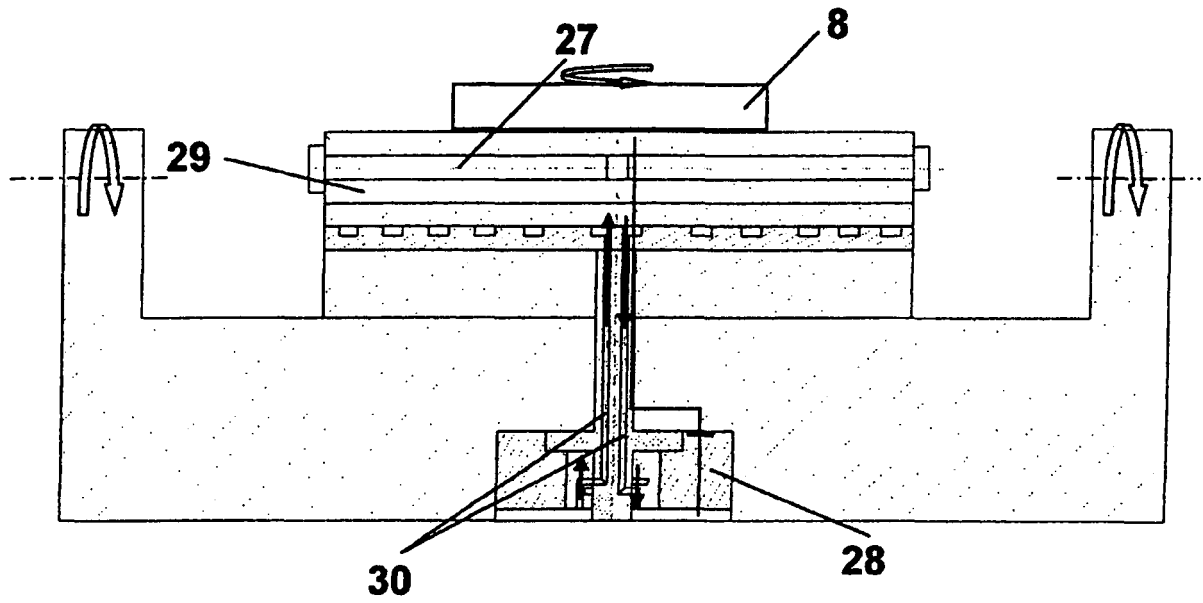


Fig. 10

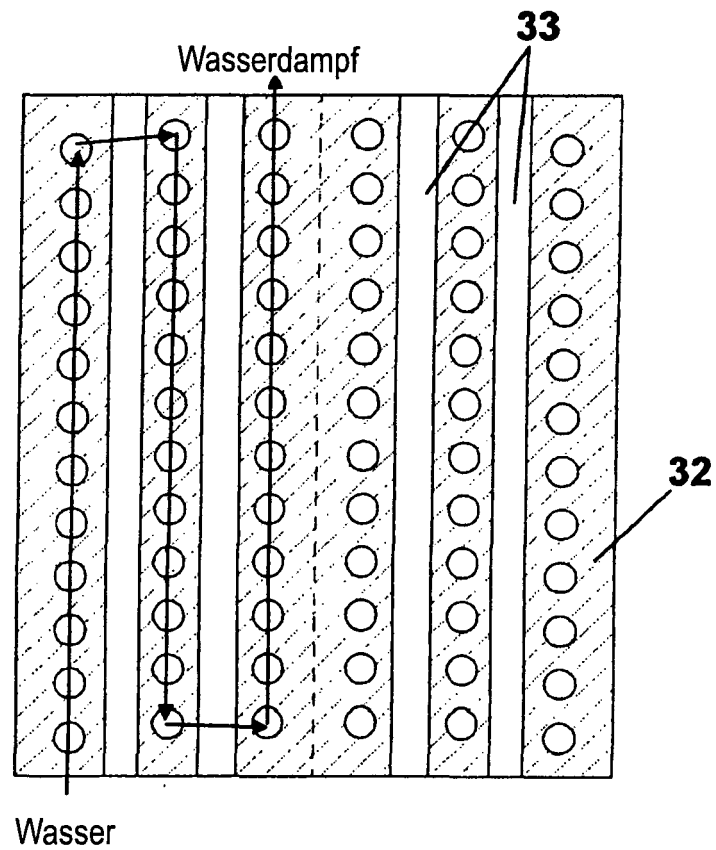


Fig. 11

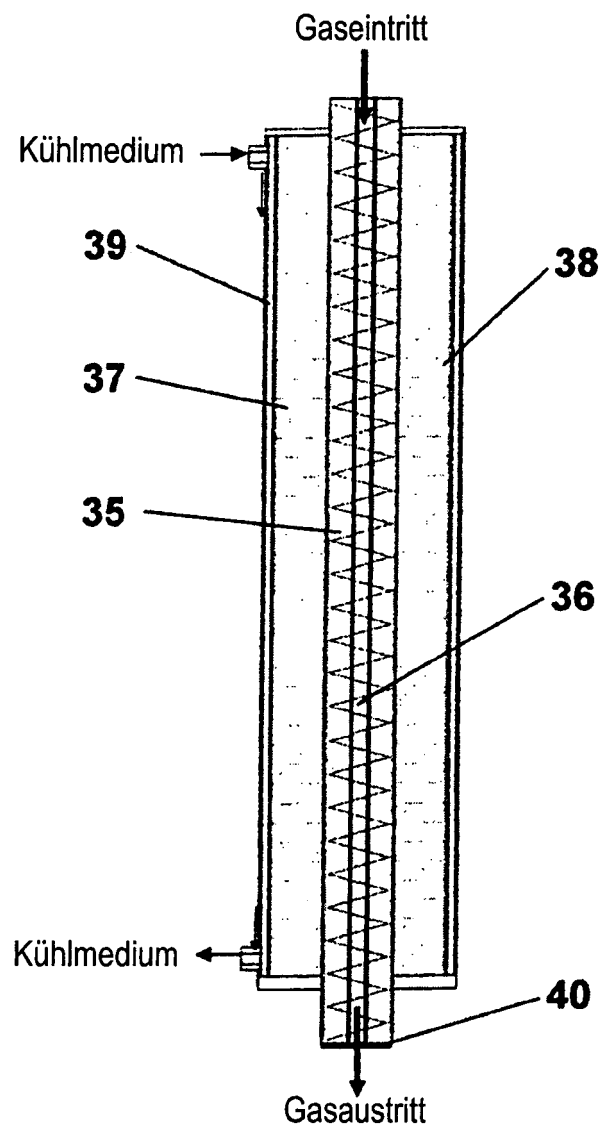


Fig. 12

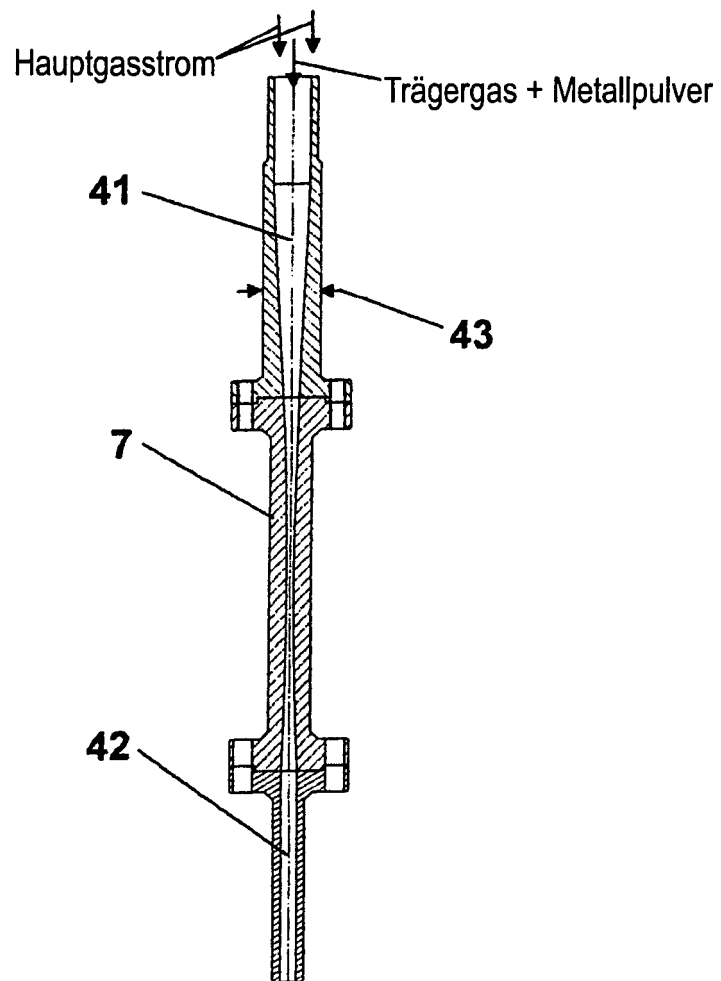


Fig. 13

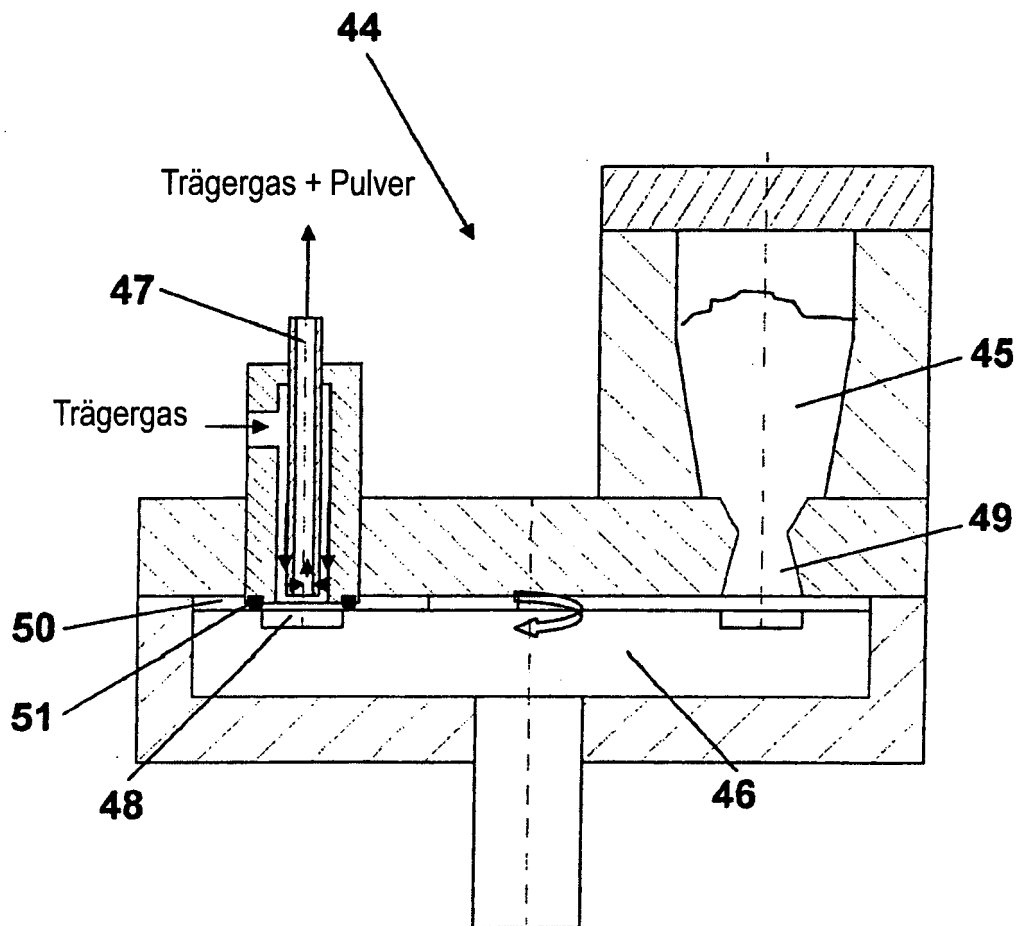


Fig. 14

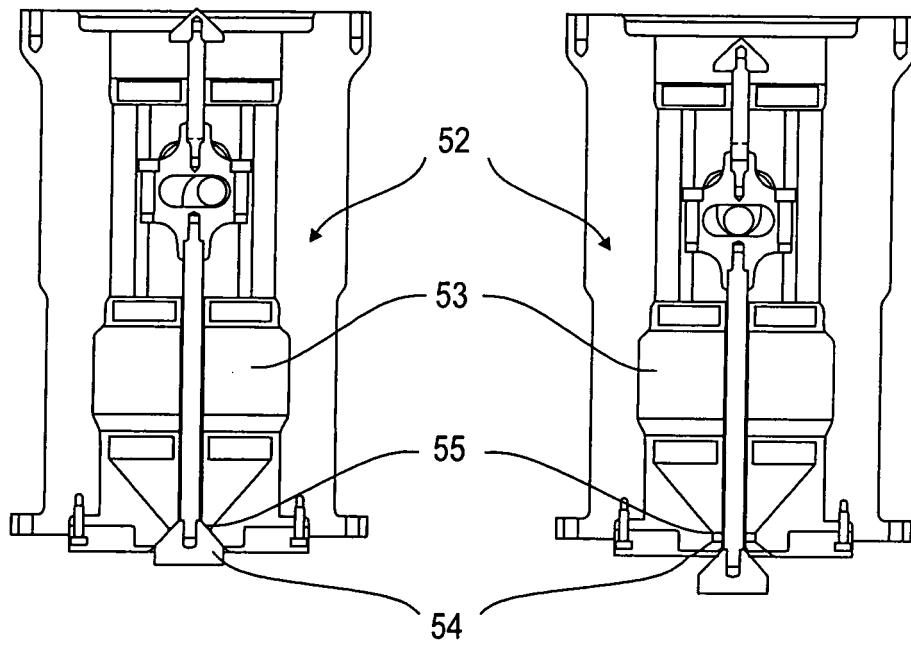


FIG. 15

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 0242056 A [0002]