

(19)



(11)

EP 3 805 433 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
14.04.2021 Patentblatt 2021/15

(51) Int Cl.:
C25D 17/02 (2006.01) **C25D 21/04** (2006.01)
C25D 21/12 (2006.01) **C25D 11/00** (2006.01)
C25D 11/02 (2006.01) **C25D 11/08** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **19201938.8**

(22) Anmeldetag: **08.10.2019**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
 GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
 PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
 Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
 Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(72) Erfinder: **GRAMM, Gerhard**
88637 Leibertingen (DE)

(74) Vertreter: **Jeck, Anton**
Jeck, Fleck & Partner mbB
Patentanwälte
Klingengasse 2
71665 Vaihingen/Enz (DE)

(71) Anmelder: **Gramm Technik GmbH**
71254 Ditzingen-Heimerdingen (DE)

(54) HOCHGESCHWINDIGKEITSBESCHICHTUNGSVORRICHTUNG UND VERFAHREN

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft eine elektrochemische Hochgeschwindigkeitsbeschichtungsvorrichtung und ein entsprechendes Verfahren mit einer Beschichtungszelle, welche eine Anode, eine Kathode, einen Elektrolyten, mindestens einen Eingang und einen Ausgang für den Elektrolyten aufweist, einem Vorratsbehälter, in welchem der Elektrolyt bevorratet ist und über mindestens eine Zuleitung mit dem Eingang der Be-

schichtungszelle verbunden ist, und einer Pumpe, welche über eine Ableitung mit dem Ausgang der Beschichtungszelle verbunden ist und ausgebildet ist, den Elektrolyten aus der Beschichtungszelle abzuführen, wobei die Pumpe in einer Flussrichtung des Elektrolyten nach dem Ausgang der Beschichtungszelle angeordnet ist und dass zumindest die Beschichtungszelle im Betriebszustand als gasphasenfreier Raum ausgebildet ist.

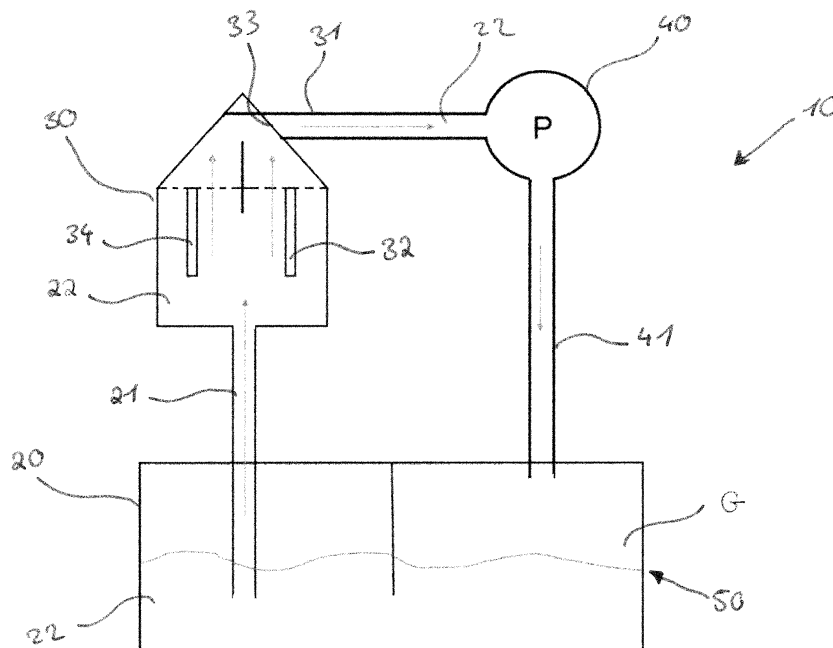


Fig. 1

EP 3 805 433 A1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine elektrochemische Hochgeschwindigkeitsbeschichtungsvorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie ein elektrochemisches Hochgeschwindigkeitsbeschichtungsverfahren gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 6. Mit einer solchen Vorrichtung beziehungsweise einem solchen Verfahren können beispielsweise in einem Anodisierungsprozess Oxidschichten beziehungsweise Eloxalschichten an Oberflächen von metallenen Werkstücken erzeugt sowie Galvanisierungen und andere elektrochemische Beschichtungsprozesse durchgeführt werden.

[0002] In einer gattungsgemäßen Vorrichtung ist eine Beschichtungszelle vorgesehen, welche eine Anode, eine Kathode, einen Elektrolyten sowie mindestens einen Eingang und einen Ausgang für den Elektrolyten aufweist. Es ist ein Vorratsbehälter vorgesehen, in welchem der Elektrolyt bevorratet ist und über welchen mindestens eine Zuleitung mit dem Eingang der Beschichtungszelle verbunden ist, und eine Pumpe, welche über eine Ableitung mit dem Ausgang der Beschichtungszelle verbunden ist und ausgebildet ist, den Elektrolyten aus der Beschichtungszelle abzuführen.

[0003] Bei einem gattungsgemäßen Verfahren wird ein zu beschichtendes Werkstück in einer Beschichtungszelle vorgesehen, in welcher das Werkstück in einen Elektrolyten eingetaucht wird. Während des Beschichtens wird die Beschichtungszelle mit frischem Elektrolyten aus einem Vorratsbehälter versorgt, wobei das Werkstück eine erste Elektrode der Beschichtungszelle bildet und wobei zwischen dem Werkstück und einer Gegenelektrode der Beschichtungszelle ein elektrischer Strom geleitet wird.

[0004] Gattungsgemäße Beschichtungsvorrichtungen, welche mittels Strom eine Abscheidung von Material, insbesondere von Metallen oder Metalloxiden, auf einer Oberfläche bewirken, sind in der Regel so aufgebaut, dass ein erster Kreislauf bereitgestellt ist, mittels welchem Elektrolyt der Beschichtungsvorrichtung zugestellt wird, wodurch in einer Beschichtungszelle kontinuierlich frischer Elektrolyt zur Beschichtung bereitgestellt ist. Hierzu ist eine erste Pumpe erforderlich, welche den Elektrolyten in die Beschichtungszelle hineinpumpt. Zusätzlich ist ein Gasraum in einem oberen Bereich der Beschichtungszelle vorgesehen, in welchen Gase, welche beispielsweise bei der Elektrolyseabscheidung von Metall an einer Werkstückoberfläche entstehen, insbesondere Sauerstoff und Wasserstoff, abwandern können. Die Gasentwicklung von Sauerstoff und Wasserstoff kann insbesondere bei angelegten hohen Spannungen in der Beschichtungszelle vermehrt auftreten.

[0005] Aus diesem Gasraum oberhalb des Elektrolytbades ist es erforderlich, das Sauerstoff-Wasserstoff-Gemisch zügig abzuführen, um eine kritische Konzentration dieses Knallgases in der Beschichtungszelle zu vermeiden. Die teilweise sehr hohen in der Beschichtungszelle angelegten Spannungen, beziehungsweise Ströme, zur Beschichtung eines darin vorgesehenen Werkstücks, können zu explosionsartigen Reaktionen zwischen dem gebildeten Wasserstoff und dem gebildeten Sauerstoff führen. Zum Abführen des Knallgasgemisches ist eine weitere Pumpe vorgesehen, welche das entstandene Knallgasgemisch aus dem Gasraum oberhalb der Elektrolytflüssigkeit aus der Beschichtungszelle abführt.

[0006] Diese Ausführungsform ist dahingehend nachteilig, als dass ein Ausfall der Pumpe für den Gasraum unmittelbar die Wahrscheinlichkeit einer Explosion enorm ansteigen lässt.

[0007] Ausgehend von diesem Stand der Technik stellt sich die vorliegende Erfindung die **Aufgabe**, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur elektrochemischen Hochgeschwindigkeitsbeschichtung von Werkstücken, welche die entstehenden Gase in besonders sicherer Weise abführt.

[0008] Die Aufgabe wird nach der vorliegenden Erfindung durch eine elektrochemische Hochgeschwindigkeitsbeschichtungsvorrichtung sowie ein entsprechendes Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2 gelöst.

[0009] Bevorzugte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0010] Erfindungsgemäß ist es vorgesehen, dass zwischen der Beschichtungszelle und der Pumpe ein Gastopf vorgesehen ist, welcher ausgebildet ist, Elektrolysegase aus dem Elektrolyten abzutrennen, wobei eine Absaugeinrichtung zum Entfernen von gesammeltem Gas (oberhalb des Elektrolyten) aus dem Gastopf vorgesehen ist.

[0011] Ein erster Grundgedanke der vorliegenden Erfindung besteht darin, das Sammeln von Gas aus der Elektrolyse in einem gesonderten Bereich entfernt von der Beschichtungszelle vorzunehmen. Ein weiterer Grundgedanke der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass die Pumpe, welche den Elektrolyten durch die Beschichtungszelle saugt, in Flussrichtung des Elektrolyten hinter der Beschichtungszelle angeordnet sein kann, wodurch die Abscheidung von entstehendem Sauerstoff und/oder Wasserstoff an Oberflächen in der Beschichtungszelle, insbesondere von der Oberfläche des Werkstücks, begünstigt ist. Durch den dabei gebildeten Unterdruck ist ein gezieltes Unterdrücken von Gas-sammelbereichen in der Beschichtungszelle ermöglicht.

[0012] Die Beschichtungszelle kann insbesondere eine Galvanisierungszelle oder eine Anodisierungszelle sein.

[0013] Insbesondere kann eine Rekombination von einzelnen Gasbläschen auf der Oberfläche des zu beschichtenden Werkstücks zu größeren Gasbläschen begünstigt sein, wodurch ein Austrag der Gasbläschen aus der Beschichtungszelle erhöht und die Verweildauer der gebildeten Gase an den entsprechenden Elektroden reduziert ist. Die Rekombination kann insbesondere durch eine Saugwirkung der Pumpe auf den Elektrolyten in der Beschichtungszelle begünstigt sein, was sich positiv auf eine geringe Verweildauer des Gases an den Elektroden auswirken kann. Die Saugwirkung

der Pumpe kann eine Druck- und/oder eine Strömungskomponente aufweisen, welche den Abtransport der Gase von den Elektroden beeinflusst.

[0014] Erfindungsgemäß kann ein gasphasenfreier Raum in der Beschichtungszelle beziehungsweise zwischen Beschichtungszelle und Pumpe bereits dann verwirklicht sein, wenn eine räumliche Trennung von Beschichtungszelle und einem Bereich bereitgestellt ist, in welchem das in dem Elektrolyten vorgesehene Gas den Elektrolyten verlassen kann.

[0015] Das Verlassen des Elektrolyten ist erfindungsgemäß ein Abtransport des Gases von dem Elektrolyten. Der bloße Transport von gebildeten Gasbläschen durch beziehungsweise mittels des Elektrolyten ist durch die erfindungsgemäß definierte Trennung beziehungsweise den Abtransport nicht erfasst.

[0016] Vorzugsweise kann diese räumliche Trennung von Elektrolyten und den darin enthaltenen Gasen in einem Bereich nach der Pumpe und/oder in einem Sammel- oder Vorratsbehälter für Elektrolyten durchführbar sein.

[0017] Nach einer Weiterbildung der vorliegenden Erfindung ist es vorgesehen, dass in Flussrichtung des Elektrolyten nach der Pumpe eine Senke, vorzugsweise als Teil des Vorratsbehälters, angeordnet ist, in welcher eine Gasphase oberhalb des Elektrolyten vorgesehen ist, die vorzugsweise einen höheren Druck aufweist als der Elektrolyt in der Spannungszelle. Der Bereich der Senke beziehungsweise des Vorratsbehälters kann gegenüber der Atmosphäre offen und/oder mit einer Entlüftung ausgebildet sein, welche das Ausgasen des Knallgases und/oder anderer Gase erlaubt beziehungsweise unterstützt. In der Senke beziehungsweise dem Vorratsbehälter kann hierfür oberhalb des Elektrolyten ein Freiraum gebildet sein, in welchem das Gas ausperlen kann.

[0018] Besonders bevorzugt ist es nach einer Weiterbildung der Erfindung, dass die Beschichtungszelle ausgebildet ist, mehr als ein Werkstück gleichzeitig zu beschichten und/oder, dass die einzelnen Werkstücke jeweils eine erste Elektrode bilden, wobei zwischen den Werkstücken und einer Gegenelektrode ein elektrischer Strom geleitet wird und/oder, dass jedem Werkstück ein eigener Gleichrichter zur Stromversorgung zugeordnet ist. Grundsätzlich können ein oder mehrere Werkstücke gleichzeitig in der Beschichtungszelle beschichtet werden. Hierbei kann es vorteilhaft sein, die Stromstärke an jedem der Werkstücke individuell einzustellen und/oder zu überwachen. Da die Schichtdicke einer elektrochemischen Beschichtung grundsätzlich sowohl von der Stromstärke als auch von der Zeit abhängen kann, kann es vorteilhaft sein, mindestens eine der beiden Größen, besonders bevorzugt beide, zu überwachen. Hierbei lässt sich ein Rückschluss auf die gebildete Schichtdicke anhand der Stromstärke und/oder der vergangenen Zeit während der Beschichtung ziehen. Besonders bevorzugt ist die Beschichtungsvorrichtung mit einer Alarmanlagevorrichtung ausgebildet, welche ein Alarmsignal aussendet, wenn beispielsweise in einer voreingestellten Zeit eine Mindeststromstärke für ein individuelles Werkstück nicht erreicht wurde. Es kann auch eine automatische Abschaltung nach Bereitstellung eines vordefinierten elektrischen Stroms ($I = dQ/dt$; Q = Ladungsmenge, t = Zeit) bereitgestellt sein. Als Gegenelektrode, insbesondere Kathode, kann jeweils eine Gegenelektrode pro Werkstück oder auch eine für mehrere Werkstücke oder für alle Werkstücke die zu einem Zeitpunkt beschichtet werden, vorgesehen sein.

[0019] Eine besonders genaue Einstellung der Stromstärke an einzelnen Werkstücken kann insbesondere mittels individueller Gleichrichter an den jeweiligen Werkstücken erreicht werden. So kann ein Qualitätsmanagement beziehungsweise eine Überwachung der Qualität der Beschichtung an den einzelnen Werkstücken bereits während der Beschichtung durchgeführt werden und ein Resultat der Beschichtung direkt auch ohne weitere Messungen am Werkstück nach der Beschichtung ausgelesen werden. Grundsätzlich können die einzelnen Gleichrichter mit einer computergesteuerten Recheneinheit verbunden sein, über welche eine Stromstärke für das mindestens ein Werkstück, vorzugsweise individuell, einstellbar ist und/oder nach Beendigung der Beschichtung die tatsächlichen Ist-Werte der Stromstärke, die durch das jeweilige Werkstück geflossen ist, auslesbar sein können.

[0020] Nach einer bevorzugten Weiterbildung der vorliegenden Erfindung ist es vorgesehen, dass jeweils ein Werkstück in einer Beschichtungszelle vorgesehen ist, wobei mehrere Beschichtungszellen parallel vorgesehen sind. Grundsätzlich kann eine räumliche Trennung einzelner Werkstücke voneinander vorteilhaft sein. Insbesondere kann so eine individuelle Strömungsgeschwindigkeit für den Elektrolyten durch die Beschichtungszelle und/oder Stromstärke einstellbar sein. Hierfür können individuelle Pumpen für jeweils eine Beschichtungszelle vorgesehen sein.

[0021] Grundsätzlich können die einzelnen Beschichtungszellen mit einer einheitlichen Elektrolytversorgung, also einer gemeinsamen nachgeschalteten Pumpe und/oder einem gemeinsamen Vorratsbehälter für den Elektrolyten ausgebildet sein. Eine individuelle Ausgestaltung der Strömungsgeschwindigkeit kann beispielsweise über Drosseln und/oder eine Durchmesseranpassung der Zuleitung von Elektrolyten in die Beschichtungszelle erfolgen. Die einzelnen Beschichtungszellen können individuell mit dem Vorratsbehälter verbunden sein oder über eine gemeinsame sich aufteilende Zuleitung mit dem Vorratsbehälter verbunden sein.

[0022] Insbesondere können die einzelnen Beschichtungszellen unabhängig voneinander von einer Zuleitung von einem weiteren Elektrolyten, also insbesondere von dem Vorratsbehälter, abtrennbar sein. So kann beispielsweise in einer ersten Beschichtungszelle eine Beschichtung durchgeführt werden, während in einer weiteren Beschichtungszelle ein zu beschichtendes Werkstück oder die ganze Beschichtungszelle austauschbar ist.

[0023] Besonders zweckmäßig ist es nach einer Weiterbildung der Erfindung, dass der Elektrolyt, welcher gebildetes Wasserstoffgas enthält, und der Elektrolyt, welcher gebildetes Sauerstoffgas enthält, zumindest innerhalb der Beschichtungszelle voneinander getrennt gefördert werden. Insbesondere im Bereich der Beschichtungszelle ist aufgrund der

vorhandenen elektrischen Ströme ein erhöhtes Gefährdungspotenzial für eine Knallgasexplosion gegeben. Erfindungsgemäß kann der entstehende Wasserstoff und der entstehende Sauerstoff von den einzelnen Elektroden im Grunde vermischungsfrei abgeführt werden. Dies kann insbesondere dadurch erreicht werden, dass die Elektrolytströmung von dem Vorratsbehälter durch die Beschichtungszelle turbulenzarm oder frei von Turbulenzen bereitgestellt ist. Ergänzend

oder alternativ hierzu kann auch bereichsweise eine Trennwand zwischen Kathode und Anode zumindest in einem oberen Bereich der Beschichtungszelle vorgesehen sein, welche die Separierung der einzelnen Gase innerhalb der Beschichtungszelle unterstützt. Vorzugsweise strömt der Elektrolyt innerhalb der Beschichtungszelle entlang einer Längsseite des zu beschichtenden Werkstücks und/oder von unten nach oben durch die Beschichtungszelle.

[0024] Sobald die in dem Elektrolyten vorhandenen Gase die Beschichtungszelle verlassen, kann das Explosionsrisiko verringert sein, da die Ableitung in Richtung Pumpe von den Strom- beziehungsweise Spannungsquellen der Beschichtungszelle entfernt ist. Besonders bevorzugt ist es nach einer Weiterbildung der Erfindung, dass zwischen Beschichtungszelle und Pumpe eine Entlüftungseinheit angeordnet ist, über welche entstehende Gase ableitbar sind. Ergänzend oder alternativ zu der Senke, in welcher das entstehende Gas beziehungsweise Gasgemisch den Elektrolyten verlassen kann, kann eine Einrichtung vorgesehen sein, die es den entstehenden Gasen erlaubt, den Elektrolyten zu verlassen, also von diesem abgetrennt zu werden. Eine solche Einrichtung kann auch als Entgasungseinrichtung bezeichnet werden. Besonders bevorzugt ist hierzu ein Gastopf oder eine anderweitig ausgebildete Einrichtung zur Entgasung vorgesehen, in welcher die entstehenden Gase, insbesondere das entstehende Knallgasgemisch, aus dem Elektrolyten ausperlen kann und/oder sich in einem Gasraum innerhalb der Entgasungseinrichtung sammeln kann. Da sich diese Einrichtung räumlich getrennt von der Beschichtungszelle befindet, ist eine Explosionsgefahr des entstehenden Knallgasgemisches, also von Wasserstoff und Sauerstoff, in der Beschichtungszelle deutlich herabgesetzt.

[0025] Gas und Elektrolyt können in dem Gastopf zwar grundsätzlich über unterschiedliche Wege, jedoch mittels derselben Pumpe abgesaugt werden.

[0026] Im Gastopf kann zumindest eine Trennwand vorgesehen sein, welche den Eingang für Elektrolyten in den Gastopf, insbesondere von der Beschichtungszelle, und den Ausgang für Elektrolyten aus dem Gastopf, insbesondere in Richtung der Saugpumpe, vorzugsweise in einem unteren Bereich des Gastopfs voneinander trennt. Dadurch kann ein direktes, ebenes (hürdenfreies) Fließen von Elektrolyt zwischen Eingang und Ausgang verhindert sein.

[0027] So können zwei Bereiche/Teile im Gastopf gebildet sein, einer im Bereich des Eingangs und einer im Bereich des Ausgangs, welche in fluidischer Kommunikation miteinander stehen (oberhalb der Trennwand, welche vorzugsweise eine Überlaufkante zwischen den beiden Bereichen aufweist). Insbesondere oberhalb der Trennwand (oberhalb der Überlaufkante) kann ein dritter Bereich vorgesehen sein, in welchem Gas aus dem Elektrolyten, welches von der Beschichtungszelle in den Gastopf eingeleitet wird, ausgasen kann.

[0028] Der Flüssigkeitsstand in dem Teil des Gastopfs (erster Teil), in welchen der Elektrolyt mündet (Eingang), fällt demnach im betriebsgemäßen Zustand nicht tiefer als die Höhe der Trennwand selbst, da ständig Elektrolyt aus der Beschichtungszelle nachgesaugt wird.

[0029] Der Flüssigkeitsstand in dem Teil des Gastopfs, aus welchem der Elektrolyt dem Ausgang zugeführt wird (zweiter Teil) kann einen variablen Flüssigkeitspegel aufweisen, da aus diesem Elektrolyt abgesaugt wird und sich nach und nach, mehr und mehr Gas unter anderem in dem dritten Teil des Gastopfs (oberhalb der flüssigen Phase) sammelt, also der Druck im Gastopf steigt. Je mehr Gas in dem Gastopf gesammelt ist, desto geringer kann der Flüssigkeitsstand in dem zweiten Teil des Gastopfs fallen, da der Gasdruck auf die Flüssigkeitsoberfläche drückt und so das Absaugen von Elektrolyten aus dem Ausgang des Gastopfs begünstigt. Der Anteil im Gastopf, in welchem sich ausgegaste Gase des Elektrolyten sammeln dehnt sich demnach aus und kann auch in den zweiten Teil des Gastopfs hineinragen.

[0030] Um das Ansaugen von ausgegasten Gasen über den (unteren) Ausgang des Gastopfs zu verhindern, also ein Ansaugen der reinen Gasphase, insbesondere aus dem sich ausdehnenden dritten Teil des Gastopfs, kann ein Sensor in einem Bereich des Ausgangs, vorzugsweise oberhalb des Ausgangs vorgesehen sein, welcher einen Flüssigkeitspegel des Elektrolyten detektiert. Bevorzugt ist es vorgesehen, dass der Sensor detektiert, wenn der Flüssigkeitspegel einen minimalen Pegelstand erreicht hat. Dies kann vorzugsweise dann der Fall sein wenn der Flüssigkeitspegel den Sensor erreicht hat, also bevor der Flüssigkeitspegel im zweiten Teil so weit sinkt, dass Gas nach unten angesaugt würde (Sensor ist vorzugsweise oberhalb des Ausgangs angeordnet).

[0031] Absaugmittel, welche zum Absaugen von Gas aus dem Gastopf, insbesondere aus einem oberen Bereich des Gastopfs, vorgesehen sind, können insbesondere beim Erreichen des besagten minimalen Pegelstands ein separates Absaugen des Gases aus dem Gastopf über den oberen Bereich des Gastopfs initiieren. Der entsprechende Sensor kann dazu mit den Absaugmitteln wirkverbunden sein.

[0032] Dadurch erhöht sich der Pegel in dem zweiten Teil des Gastopfs in Abhängigkeit von der abgesaugten Gasmenge, beziehungsweise dem im Gastopf herrschenden Gasdruck der Gasphase auf die Flüssigkeitsoberfläche.

[0033] In dem Gastopf, vorzugsweise in dem zweiten Teil des Gastopfs, in welchem sich der Ausgang von Elektrolyt zu der Pumpe befindet, oder oberhalb davon kann vorzugsweise ein zweiter Sensor vorgesehen sein, welcher einen maximalen Elektrolytpegel in dem Gastopf, beziehungsweise in dem zweiten Teil des Gastopfs detektiert. Die Detektion des Bestimmungsgemäßen maximalen Füllstands kann beispielsweise dann erfolgen, wenn der Flüssigkeitspegel des

Elektrolyten den zweiten Sensor erreicht.

[0034] Der zweite Sensor kann ebenfalls mit dem Mitteln zum Absaugen von Gas aus dem oberen Bereich des Gastopfs wirkverbunden sein und (der zweite Sensor) ein Signal an diese senden, das weitere Absaugen von Gasphase aus dem Gastopf zu unterbrechen. Hierdurch kann es ermöglicht sein, dass eine Elektrolytepegel grundsätzlich zwischen einer minimalen und einem maximalen Pegel hin und her schwankt, wobei der Flüssigkeitspegel bevorzugt niemals so weit sinkt, dass der Elektrolyt vollständig aus dem zweiten Teil des Gastopf abgesaugt wird oder soweit ansteigt, dass beim Entfernen von Gas aus dem Gastopf auch Elektrolyt aus dem oberen Bereich des Gastopf mit entfernt wird.

[0035] Die Trennwand kann eine beliebige Form aufweisen und auch beispielsweise als Steigrohr in dem Gastopf mit z.B. runder Trennwand ausgebildet sein. Das Steigrohr kann in einer Seitenwand oder in einem Bodenbereich des Gastopfs vorgesehen sein. Dabei ist dann das innere des Rohrs der erste Bereich und der zweite Bereich außerhalb davon, also vorzugsweise der eigentliche Inhalt des Gastopfs.

[0036] Der Gastopf kann ein angepasstes Material, insbesondere Edelstahl, Titan oder Plastik aufweisen, je nachdem, welcher Elektrolyt für die Beschichtung des Werkstücks in der Beschichtungszelle verwendet wird.

[0037] Der Gastopf oder die anderweitig ausgebildete Einrichtung kann in einem Bereich angeordnet sein, in welchem sich das Gas, vorzugsweise oberhalb des Elektrolyten und/oder getrennt von diesem, sammeln kann. Vorzugsweise ist die Einrichtung dabei in sich geschlossen abgesehen von jeweils mindestens einem Zulauf und einem Ablauf für den Elektrolyten aus der Beschichtungszelle (Zulauf) hin zu der Pumpe (Ablauf). Die Entgasungseinrichtung wird somit vorzugsweise kontinuierlich vom Elektrolyten durchströmt, wobei Gasbläschen innerhalb des Elektrolyten sowie gelöstes Gas in dem Elektrolyten diesen verlassen können.

[0038] Besonders bevorzugt wird das entstandene Gas diskontinuierlich aus der Entgasungseinrichtung entfernt, wobei im Bereich der Gasphase, vorzugsweise in einem oberen Bereich, die Entgasungseinrichtung mit einem Ventil ausgebildet ist, über welches Gas aus dem Inneren der Entgasungseinrichtung abgeleitet werden kann. Zur Überwachung der gesammelten Gasmenge in der Entgasungseinrichtung kann insbesondere eine Sensoranordnung vorgesehen sein, welche einen Elektrolytepegel in der Entgasungseinrichtung überwacht. Je mehr Gas in der Entgasungseinrichtung gesammelt wird, desto niedriger wird der Pegelstand des durch die Entgasungseinrichtung strömenden Elektrolyten, da dieser durch die gesammelten Gase aus der Entgasungseinrichtung, insbesondere aus dem Ablauf heraus, verdrängt wird. Wird eine Mindestfüllmenge der Entgasungseinrichtung mit Elektrolyten erreicht, also ein besonders niedriger Pegelstand an Elektrolyten, kann eine Entlüftung der Entgasungseinrichtung automatisch oder manuell, insbesondere über das vorgesehene Ventil, erfolgen.

[0039] Nach einer zweckmäßigen Weiterbildung der vorliegenden Erfindung ist es vorgesehen, dass der Gasbereich innerhalb der Entgasungseinrichtung einen verminderten Druck gegenüber dem atmosphärischen Druck aufweist. Hierdurch kann eine Unterstützung der Separierung von Gas und Elektrolyten in der Entgasungseinrichtung bereitgestellt sein. Der verminderte Druck in der Entgasungseinrichtung kann beispielsweise über die bereits vorhandene Elektrolytpumpe oder über eine weitere Pumpe, welche vorzugsweise mit dem Ventil der Entgasungseinrichtung verbunden ist, bereitgestellt werden.

[0040] Das erfindungsgemäße Verfahren zur elektrochemischen Hochgeschwindigkeitsbeschichtung ist dadurch gekennzeichnet, dass der Elektrolyt mittels einer Pumpe während des Beschichtens des Werkstücks, vorzugsweise kontinuierlich, aus der Beschichtungszelle gesaugt wird, wobei frischer Elektrolyt aus dem Vorratsbehälter in die Beschichtungszelle nachgeführt wird, dass während des Beschichtens zumindest die Beschichtungszelle als ein gasphasenfreier Raum bereitgestellt wird.

[0041] Ein Grundgedanke der vorliegenden Erfindung besteht darin, Elektrolyten durch eine Beschichtungszelle zu saugen, wobei die dabei auftretende Sogwirkung den Abtransport von an den Elektroden entstehenden Gasen unterstützt. Die Unterstützung kann sowohl in Form einer abtragenden Strömung als auch durch eine erhöhte Rekombination von Gasperlen auf der Oberfläche der Elektroden zu größeren, insbesondere abtragfähigen Gasperlen, bestehen. Durch die gasphasenfreie Ausgestaltung innerhalb der Beschichtungszelle kann die Sogwirkung einer Pumpe unmittelbar auf den Elektrolyten wirken, was sich vorteilhaft auf den Austrag von Gasen aus der Beschichtungszelle auswirken kann. Im Vergleich zu einer Pumpe, welche in Flussrichtung vor der Beschichtungszelle angeordnet ist und damit den Elektrolyten schiebend in die Beschichtungszelle fördert, kann bei einer saugenden Pumpe von einer Reduzierung von sogenannten Brennern an dem zu beschichtenden Werkstück aufgrund von hohen Spannungen in der Beschichtungszelle profitiert werden. Dies kann letztlich zu einer besonders gleichmäßigen Beschichtung von besonders hoher Qualität führen. Vorzugsweise wird während eines Beschichtungsvorgangs zwischen Beschichtungszelle und Pumpe, vorzugsweise mindestens eine dieser Einrichtungen mit einschließend, in Strömungsrichtung des Elektrolyten ein gasphasenfreier Raum bereitgestellt.

[0042] Die gasphasenfreie Verfahrensführung im Bereich der Beschichtungszelle kann insbesondere einer Gefahr durch Knallgasexplosionen vorbeugen.

[0043] Aufgrund des bei einer elektrochemischen Beschichtung an der Anode entstehenden Sauerstoffs ist es nicht möglich, sehr hohe Stromdichten in offenen Bädern einzusetzen, da bei der Anodisation, Galvanisierung oder ähnlichen Verfahren entstehende "Brenner" das zu beschichtende Bauteil/Werkstück und die Kontakte am Gestell, an die das zu

anodisierende Bauteil geklemmt ist, zerstören.

[0044] Diese "Brenner" sind mit bloßem Auge wahrnehmbar und sind im Beschichtungsprozess, insbesondere im Anodisierungsprozess, sehr gefürchtet. Bei diesen Brennern handelt es sich insbesondere um einen Plasmazustand von Sauerstoff an der Anode. Durch diese Brenner wird das Metall der Anode oxidiert, also verbrannt, und extrem hohe Energiemengen werden in Form von Wärmeenergie frei.

[0045] Das Nachführen von Elektrolyt kann insbesondere passiv durch das Abführen von Elektrolyten aus der Beschichtungszelle erfolgen. Ein aktives Nachführen ist jedoch grundsätzlich ebenfalls denkbar, soweit dadurch die erfindungsgemäß erforderliche Sogwirkung der Pumpe im Bereich der Beschichtungszelle auf den Elektrolyten nicht aufgehoben wird.

[0046] Deshalb werden Stromdichten bei der Beschichtung in offenen Bädern eingestellt, die $< 10 \text{ A/qdm}$ (Ampere pro Quadratzentimeter) sind. Die Bildungsgeschwindigkeit der Oxidschicht liegt bei offenen Bädern je nach zu anodisierender Al-Legierung bei $1 \mu\text{m/min}$ bis $3 \mu\text{m/min}$.

[0047] Niedrige Bildungsgeschwindigkeiten der Oxidschicht treten beispielsweise bei 2000er Al-Legierungen und Al-Druckguss, höhere bei 5000er und 6000er Al-Legierungen auf.

[0048] Trotz aller eingesetzten vorher ausgeführten Maßnahmen wird für die Anodisation in offenen Bädern eine lange Beschichtungszeit benötigt.

[0049] Die in offenen Bädern mit beispielsweise dem Eloxal- oder Harteloxal-Verfahren hergestellten Aluminium-Oxidschichten und anderen Metalloxidschichten haben folgende Nachteile:

- Scharfe Kanten an den zu anodisierenden Werkstücken werden nicht mit einer Aluminiumoxidschicht überzogen, da die Schichtbildung senkrecht zur Aluminium-Oberfläche erfolgt [siehe dazu: Keller, F.; Hunter, M.S.; Robinson, D.L. "J. Electrochem. Soc." 100, 411 -419 (1953)]. Das daraus resultierende Modell wird auch als KHR-Modell bezeichnet.
- Die Schichtdickentoleranz der Aluminiumoxidschicht ist sehr groß, bei $50 \mu\text{m}$ Schichtdicke beispielsweise $\pm 5 \mu\text{m}$ und höher.
- Die Rauheit der Aluminiumoxidschicht ist bei höheren Schichtdicken $>15 \mu\text{m}$ sehr groß aufgrund von Rücklösung und liegt bei $R_a > 1 \mu\text{m}$ bei den gebräuchlich verwendeten Elektrolyten wie Schwefel- und/oder Oxalsäure.
- Die Schichtdicken sind typisch je nach Legierung auf $10 - 70 \mu\text{m}$ begrenzt.

[0050] Die vorliegende Erfindung räumt diese Nachteile aus.

[0051] Nach einer Weiterbildung der vorliegenden Erfindung ist es vorgesehen, dass die Beschichtungszelle mit einer Stromdichte von 1 bis 2000 A/qdm und einer Spannung von 1 bis zu 1000 Volt betrieben wird. Grundsätzlich können das erfindungsgemäße Verfahren sowie die erfindungsgemäße Vorrichtung bei jeder Betriebsart von der Sogwirkung der nachgeschalteten Pumpe und dem damit einhergehenden verminderten Druck im Elektrolyten profitieren. Besonders wird jedoch dann von dem erfindungsgemäßen Verfahren beziehungsweise der erfindungsgemäßen Vorrichtung profitiert, wenn besonders hohe Spannungen beziehungsweise besonders hohe Stromdichten (A/qdm)/Stromstärken (A) vorliegen. Je höher die angelegte Spannung beziehungsweise Stromstärke/Stromdichte, desto größer ist die Möglichkeit des Auftretens der sogenannten Brenner, welche die Oberflächenbeschichtung, die mittels der vorliegenden Erfindung erzeugt werden soll, beschädigen können. Durch das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung können elektrische Ströme verwendet werden, die unter bisherigen Bedingungen nicht erreichbar sind. Dies erlaubt besonders kurze Beschichtungszeiten und einen damit verbundenen hohen Werkstückdurchsatz.

[0052] Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren können auch besonders hohe Stromdichten beziehungsweise Stromstärken beim Beschichten des Werkstücks in der Elektrolytlösung eingesetzt werden, ohne dass es zu einer signifikanten Ausbildung von Brennern beziehungsweise, dass es zu einem Ausbleiben vom Brenner, kommt. Diese bevorzugte Ausführungsform ist daher nicht lediglich durch einen Wertebereich definiert, sondern bringt auch zum Ausdruck, dass das erfindungsgemäße Verfahren unabhängig von der verwendeten Stromstärke/Stromdichte brennerrarm beziehungsweise brennerfrei durchführbar ist.

[0053] Nach einer besonders zweckmäßigen Weiterbildung der vorliegenden Erfindung ist es vorgesehen, dass der Elektrolyt mit einer Strömungsgeschwindigkeit von $0,01 \text{ Liter/min}$ bis $100.000 \text{ Liter/min}$, vorzugsweise 1 Liter/min bis 100 Liter/min durch die Beschichtungszelle strömt. Bei gleichbleibender Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zu einer elektrochemischen Hochgeschwindigkeitsbeschichtung kann durch bedarfsgerechtes Anpassen der Strömungsgeschwindigkeit des Elektrolyten in der Vorrichtung eine Sogwirkung individuell einstellbar sein. Hierbei kann insbesondere ein Zusammenhang zwischen der Höhe der verwendeten Stromdichte oder Stromstärke und der Strömungsgeschwindigkeit des Elektrolyten durch die Beschichtungszelle bestehen. Vorzugsweise ist eine höhere Stromdichte/Stromstärke mit einer höheren Strömungsgeschwindigkeit gekoppelt, wodurch einer erhöhten Sauerstoffproduktion an der Anode beziehungsweise einer erhöhten Gasproduktion an den Elektroden in der Beschichtungszelle Rechnung getragen wird. So kann das entstehende Gas in ausreichender Menge aus der Beschichtungszelle abgeführt werden beziehungsweise kann eine ausreichende Sogwirkung bereitgestellt werden, wodurch den voranstehend ge-

nannten Brennern ausreichend vorgebeugt wird.

[0054] Besonders bevorzugt ist es nach einer Weiterbildung der Erfindung, dass das elektrochemische Beschichtungsverfahren als Anodisation, insbesondere als Plasma-Elektrolytische-Oxidation (PEO), durchgeführt wird.

[0055] Besonders zweckmäßig ist es nach einer Weiterbildung der Erfindung, dass die Bildungsgeschwindigkeit der Oxidschicht, insbesondere mittels einer Anpassung der Stromdichte, vorzugsweise an dem Werkstück, auf zwischen 0,001 $\mu\text{m}/\text{min}$ bis 1000 $\mu\text{m}/\text{min}$, vorzugsweise zwischen 0,1 $\mu\text{m}/\text{min}$ bis 100 $\mu\text{m}/\text{min}$ eingestellt wird.

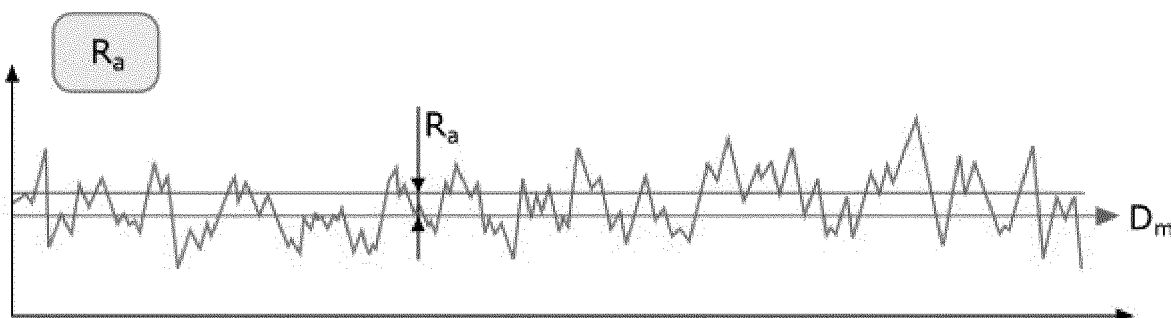
[0056] Eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass Ecken und Kanten des Werkstücks mit denselben Schichtdicken homogen beschichtet werden wie die ebenen Bereiche des Werkstücks. Eine Verfahrensführung, welche die gleichmäßige Beschichtung von Ecken und Kanten wie auch die flachen Bereiche des Werkstücks ermöglicht, ist nach herkömmlichen, vorangehend beschriebenen Verfahrensweisen nicht möglich. Insbesondere die Sogwirkung der Pumpe auf den Elektrolyten in der Beschichtungszelle und/oder die erhöhte Strömungsgeschwindigkeit des Elektrolyten durch die Beschichtungszelle können sich positiv auf den homogenen Aufbau der Beschichtung auswirken.

[0057] Vorzugsweise ist es vorgesehen, dass die Beschichtung des Werkstücks mit einer Schichtdicke von 0,001 μm bis 100 μm , vorzugsweise 0,1 μm bis 50 μm und einer Rauheit von $R_a = 0,3$ bis max 3 μm gebildet wird.

[0058] Beim Mittenrauwert R_a handelt es sich um den rechnerischen Mittelwert aller Abweichungen eines Rauheitsprofils von der mittleren Linie entlang der Bezugsstrecke (D_m). Das bedeutet, dass der Mittenrauwert R_a theoretisch dem Abstand mehrerer Linien entspricht, die entstehen würden, wenn die Berge und die Täler um die Mittellinie in gleich große Rechtecke umgewandelt werden würden.

[0059] Berechnung des Mittenrauwerths R_a :

$$R_a = \frac{1}{L_r} \int_0^{L_r} |z(x)| dx$$



(<http://www.technisches-zeichnen.net/technischeszeichnen/diverses/rauheitswerte.php>)

[0060] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen näher beschrieben. Es zeigen:

Figur 1 eine einfache Ausführungsform einer elektrochemischen Hochgeschwindigkeitsbeschichtungsvorrichtung,

Figur 2 eine elektrochemische Hochgeschwindigkeitsbeschichtungsvorrichtung mit Entgasungseinrichtung,

Figur 3 eine erfindungsgemäße Entgasungseinrichtung und

Figur 4 eine alternative oder ergänzende rohrförmige Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Beschichtungszelle.

[0061] Figur 1 zeigt eine einfache Ausführungsform der erfindungsgemäßen elektrochemischen Hochgeschwindigkeitsbeschichtungsvorrichtung 10 mit einem Vorratsbehälter 20, einer Beschichtungszelle 30 und einer Pumpe 40. Der Vorratsbehälter 20 ist mit der mindestens einen Beschichtungszelle 30 über mindestens eine Zuführleitung 21 elektrolytleitend verbunden. In dem Vorratsbehälter 20 ist der Elektrolyt 22 bevorratet, welcher beispielsweise in dem Vorratsbehälter 20 oder in einer separaten Einrichtung gekühlt werden kann. Der Elektrolyt wird von dem Vorratsbehälter 20 mittels der Pumpe 40 in die Beschichtungszelle 30 befördert und über die Abführleitung 31 aus der Beschichtungszelle 30 mittels der Pumpe 40 abgesaugt.

[0062] In der Beschichtungszelle ist mindestens ein Werkstück 32 angeordnet, welches gegenüber einer Gegenelektrode, vorzugsweise einem Gehäuse der Beschichtungszelle, ein Potenzial aufweist, so dass Strom zwischen der Gegenelektrode 34 und dem Werkstück fließen kann. Mittels dieses Stroms ist eine elektrochemische Abscheidung von Material an der Oberfläche des Werkstücks ermöglicht.

[0063] Das abgeschiedene Material kann in Form von Metallen, Legierungen oder Metalloxiden eine Oberfläche auf dem Werkstück bilden, wodurch dieses veredelt wird. In Abhängigkeit von der angelegten Stromstärke, insbesondere bei höheren Stromstärken von > 10 A, kann eine Gasentwicklung an den Elektroden auftreten, welche aufgrund der Elektrolyse eines Wasseranteils in dem Elektrolyten auftreten kann. Der so beispielsweise an der Anode gebildete Sauerstoff und an der Kathode gebildete Wasserstoff entsteht in einem Oberflächenbereich des Werkstücks 32 und seiner Gegenelektrode. Die Elektrolytflüssigkeit kann besonders turbulenzarm durch die Beschichtungszelle geleitet werden, wodurch ein separater Austrag von Sauerstoff und Wasserstoff beziehungsweise eine separate Bewegung der Gase innerhalb der Beschichtungszelle ermöglicht sind. Alternativ oder ergänzend hierzu kann eine Trennwand zwischen Anode und Kathode, vorzugsweise in einem Bereich der Austrittsöffnung 33 vorgesehen sein, welche die beiden Ströme von transportiertem Wasserstoff und Sauerstoff, zumindest innerhalb der Beschichtungszelle 30, voneinander trennt. Besonders bevorzugt werden die separierten Ströme erst am Ausgang der Beschichtungszelle zusammengeführt und über eine gemeinsame Ableitung in Richtung Pumpe gesaugt.

[0064] Die Abführleitung 31 leitet den Elektrolyten aus der Beschichtungszelle hinaus und in den Vorratsbehälter 20 zurück. In dem Vorratsbehälter 20 kann ein Bereich 50 beispielsweise in Form einer Senke vorgesehen sein, in welchem das abtransportierte Gas, insbesondere die Knallgasmischung aus Wasserstoff und Sauerstoff, von dem Elektrolyten abtrennbar ist. Dies kann beispielsweise durch ein Ausperlen der Gase in einen Gasbereich/eine Atmosphäre oberhalb des Elektrolyten in dem Vorratsbehälter 20 ermöglicht sein. Bevorzugt kann der Bereich 50 gegenüber der Atmosphäre offen sein. In dem Vorratsbehälter kann eine Entlüftung vorgesehen sein, welche einen Austausch der Atmosphäre oberhalb des Elektrolyten 22 in dem Vorratsbehälter 20 kontinuierlich oder diskontinuierlich ermöglicht. Alternativ oder ergänzend hierzu kann eine Pumpe vorgesehen sein, welche bedarfsgerecht Gase aus dem Bereich oberhalb des Elektrolyten 22 in dem Vorratsbehälter 20 saugt.

[0065] Grundsätzlich kann die Gasphase oberhalb des Elektrolyten 22 in dem Vorratsbehälter 20 einen höheren Druck aufweisen, als der Druck des Elektrolyten 22 in der Beschichtungszelle 30 ist. Dieser kann insbesondere aufgrund der Sogwirkung der Pumpe 40 vermindert sein.

[0066] Die Sogwirkung beziehungsweise der an den Elektrolyten 22 durch die Pumpe 40 angelegte verminderte Druck können sich positiv auf die Rekombination von gebildeten Gasbläschen auf der Oberfläche des Werkstücks 32 auswirken, wodurch ein zügiger Abtransport von rekombinierten (zusammengefügt), beziehungsweise Gasperlen transportierbarer Größe auf dem Werkstück und/oder seiner Gegenelektrode ermöglicht ist.

[0067] Der Bereich der Beschichtungszelle ist bevorzugt gasphasenfrei ausgebildet. Dem Fachmann ist klar, dass in dem Elektrolyten transportierte Gasbläschen sowie gelöste Gase vorhanden sind. Dies ist hier jedoch nicht als Gasphase zu verstehen. Demnach ist insbesondere im Bereich der Beschichtungszelle ein Bereich vermieden, in welchem sich ein Knallgasgemisch von Sauerstoff und Wasserstoff sammeln könnte, wodurch die Gefahr einer Explosion innerhalb der Beschichtungszelle gegeben wäre (Gasphase).

[0068] Vielmehr kann die Beschichtungszelle zumindest nach einer Ausführungsform als ausgeweiteter Bereich einer Leitung ausgebildet sein und/oder bevorzugt vollständig mit dem Elektrolyten befüllt sein.

[0069] Im Hinblick auf eine optimierte Separierung der im Bereich der Elektroden gebildeten Gase (Wasserstoff, Sauerstoff) kann es von Vorteil sein, die Flussrichtung des Elektrolyten und/oder Ein- und Ausgang der Beschichtungszelle vertikal auszugestalten, so dass der Ausgang oberhalb des Eingangs in die Beschichtungszelle für Elektrolytlösung liegt beziehungsweise dass eine in etwa vertikale Flussrichtung des Elektrolyten durch die Beschichtungszelle bereitgestellt ist. Hierdurch können Gasperlen und Elektrolyt dieselbe Bewegungsrichtung aufweisen, was einer Durchmischung der Gase der einzelnen Elektroden vorbeugen kann.

[0070] Unabhängig von diesen Optimierungen kann die Beschichtungszelle auch als Leitungssegment zwischen Vorratsbehälter 20 und Pumpe 40 ausgebildet sein, wie insbesondere mit Bezug zu Figur 3 genauer beschrieben wird.

[0071] Figur 2 zeigt eine besondere Ausführungsform 60 der erfindungsgemäßen elektrochemischen Hochgeschwindigkeitsbeschichtungsvorrichtung, welche dem Grunde nach dem Aufbau gemäß der Ausführungsform nach Figur 1 entspricht. Zwischen Pumpe 40 und Beschichtungszelle 30 kann jedoch eine Entgasungseinrichtung 70 vorgesehen sein, welche ausgebildet ist, Gas und Elektrolyten voneinander zu trennen. Dem Grunde nach kann die Entgasungseinrichtung 70 in ähnlicher Weise funktionieren wie die Senke 50 im Vorratsbehälter 20, aus welcher die Gase in einen Gasraum G oberhalb des Elektrolyten 22 entweichen können. Die Entgasungseinrichtung 70 kann, insbesondere in dem Ausführungsbeispiel nach Figur 1, ergänzend oder alternativ zu der Senke 50 vorgesehen sein. Die Beschichtungszelle kann über mindestens eine Leitung 31 mit der Entgasungseinrichtung 70 verbunden und/oder die Entgasungseinrichtung 70 über mindestens eine Leitung 41 mit der Pumpe 40 und/oder die Pumpe 40 mit dem Vorratsbehälter 20, insbesondere mit dessen Senke 50.

[0072] Figur 3 zeigt eine vergrößerte Darstellung der Entgasungseinrichtung 70 mit einem Zulauf 71 und einem Ablauf

72 für den Elektrolyten. Vorzugsweise ist der Ablauf mit der Pumpe gemäß Figur 2 verbunden. An der Entgasungseinrichtung 70 können eine oder mehrere Sensoren 73, 75 angeordnet sein, welche mindestens zwei Flüssigkeitsstände an Elektrolyten 22 in der Entgasungseinrichtung 70 detektieren können. Die Entgasungseinrichtung 70 kann mit mindestens einem Ventil 74 ausgebildet sein, über welches Gas aus der Entgasungseinrichtung 70 ableitbar ist. Vorzugsweise ist das Ventil 74 mit einer Pumpe verbunden, welche unterstützend die Entfernung des Gases 80 aus der Entgasungseinrichtung 70 unterstützt. Besonders bevorzugt ist das Ventil in einem oberen Bereich der Entgasungseinrichtung 70 im Bereich der Gasphase 80 angeordnet.

[0073] Besonders vorteilhaft ist es vorgesehen, dass das Ventil 74 mit dem mindestens einen ersten Sensor 73 gekoppelt ist und dann für ein Entweichen des Gases 80 aus der Entgasungseinrichtung 70 geöffnet wird, wenn ein bestimmter Pegel an Elektrolyten 22 unterschritten wird, was durch den Sensor 73 detektiert wird. Mittels eines mindestens zweiten Sensors 75, welcher näher am Ventil 74 angeordnet ist als der erste Sensor 73, kann nach dem Öffnen festgestellt werden, wenn ein gewünschter Höchstpegel oder zumindest erhöhter Pegel an Elektrolyten 22 in der Entgasungsvorrichtung 70 erreicht ist, wodurch ein Signal an das Ventil 74 bereitgestellt werden kann, dieses wieder zu verschließen. Das dafür notwendige Signal kann der mindestens zweite Sensor 75 beispielsweise dann senden, wenn der Pegel an Elektrolyten 22 in der Einrichtung 70 den mindestens zweiten Sensor 75 erreicht. Vorzugsweise ist das Ventil 74 auch mit dem zweiten Sensor 75 gekoppelt.

[0074] Nach einer Ausführungsvariante kann im Betrieb der Entgasungseinrichtung 70 folgendes Vorgehen vorgesehen sein:

Als Grundeinstellung kann beispielsweise ein erster Pegel I an Elektrolyten 22 als gewünschte höchste Elektrolytbefüllung der Entgasungseinrichtung 70 ausgewählt sein. In diesem Zustand kann das Ventil 74 verschlossen sein, wobei die Gasphase 80 oberhalb des Elektrolyten 22 vorzugsweise mit einem Druck zur Verfügung gestellt ist, welcher geringer ist als der atmosphärische Druck. Die Vorrichtung funktioniert jedoch grundsätzlich auch dann, wenn ein Druck in der Entgasungseinrichtung 70 vorgesehen ist, welcher höher ist als der atmosphärische Druck. Die Verminderung des Drucks in der Gasphase 80 dient lediglich der Unterstützung der Entgasung des Elektrolyten 22 von den im Bereich der Beschichtungszelle (Wasserstoff und Sauerstoff) gebildeten Gasen an den Elektroden.

[0075] Unter der Saugwirkung der Pumpe 40 strömt durch den Zulauf 71 Elektrolyt 22 aus der Beschichtungszelle 30 in die Entgasungseinrichtung 70 hinein und über den Ablauf 72 in Richtung Pumpe 40 hinaus. Da in der Entgasungseinrichtung 70 eine Gasphase 80 bereitgestellt ist, kann zumindest ein Teil des Knallgasgemisches aus dem Elektrolyten 22 in diese entweichen. Vorzugsweise wird dieser Vorgang durch einen Unterdruck in der Gasphase gegenüber einem atmosphärischen Druck unterstützt. Durch die in die Entgasungseinrichtung 70 entweichenden Gasanteile des Elektrolyten 22 wird der Pegel I des Elektrolyten in Richtung Pegel II verdrängt. Dieser ist ebenfalls frei wählbar und liegt niedriger als der Pegel I. Wird der Pegel II erreicht, kann dies durch mindesten einen ersten Sensor 73 erkannt werden. Durch ein entsprechendes Signal an das Ventil 74 kann dieses geöffnet werden, und die Gase können aus der Gasphase 80 über das Ventil aus der Entgasungseinrichtung 70 abgeführt werden. Für die Übertragung und Verarbeitung von Signalen von den Sensoren kann eine Steuereinrichtung vorgesehen sein, welche aufgrund der Signale von den Sensoren 73, 75 das Ventil 74 ansteuert und so eine Verbindung zwischen Sensoren und Ventil schafft.

[0076] Sollte die Gasphase 80 gegenüber dem atmosphärischen Druck einen Unterdruck aufweisen kann es zweckmäßig sein, dass eine Pumpe die Gase aus dem Gasraum 80 über das Ventil 74 abführt. Sollte die Entgasungseinrichtung in der Gasphase 80 gegenüber dem atmosphärischen Druck mit einem Überdruck vorgesehen sein, kann durch bloßes Öffnen des Ventils 74 ein Entweichen der Knallgas Mischung aus der Entgasungseinrichtung 70 bewirkt werden. Der Übergang von Unterdruck zu Überdruck in der Gasphase 80 gegenüber einem atmosphärischen Druck kann in Abhängigkeit von den darin gesammelten Gasen ein fließender/wechselnder sein.

[0077] Durch das Entweichen wird der Druck der Gasphase 80 auf den Elektrolyten 22 vermindert, wodurch der Pegel II wieder ansteigt, bis er den Pegel I erreicht. Wird der Pegel I erreicht, wird dies durch mindesten einen zweiten Sensor 75 erkannt, was zu einem Signal führen kann, welches das Ventil 74 verschließt. Der mindestens zweite Sensor 73 kann hierbei gegenüber dem ersten Sensor 73 näher an dem Ventil oder einer anderen verschließbaren Öffnung angeordnet sein, so dass dieser einen erhöhten Elektrolytpegel in der Einrichtung 70 detektieren kann. Vorzugsweise ist der Sensor 74 oberhalb des Sensors 73 in der Entgasungseinrichtung angeordnet. Durch Wiederholung dieses Vorgangs kann in verlässlicher Weise das Abführen der Gasphase 80 getrennt von der Beschichtungszelle 30 verwirklicht werden, wodurch mit besonderem Vorteil die Bildung von Knallgasphasen im Bereich der Beschichtungszelle 30 vermieden wird.

[0078] Figur 4 zeigt eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Beschichtungszelle 90, welche als Rohrleitungssegment ausgebildet sein kann. Hierbei durchströmt der Elektrolyt die Beschichtungszelle 90 mit einer vorgegebenen Strömungsgeschwindigkeit, wobei die Pumpe 40 in Flussrichtung ebenfalls hinter der Beschichtungszelle/dem Rohrleitungssegment 90 angeordnet ist. In dieser Ausführungsform ist die Wandung der Beschichtungszelle vorzugsweise als Kathode und das Werkstück als Anode ausgebildet.

[0079] Grundsätzlich können in allen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung mehrere Beschichtungszellen nebeneinander, also bevorzugt parallel geschaltet, mit dem Vorratsbehälter 20 und der Pumpe 40, vorzugsweise auch mit der Entgasungseinrichtung 70, verbunden sein. Hierbei ist es besonders bevorzugt, dass jede der einzelnen Be-

schichtungszellen 30, 90 mit einer Leitung 21 mit dem Vorratsbehälter 20 und mit einer Leitung 31 mit der Pumpe 40 verbunden ist. Hierdurch können mehrere Werkstücke gleichzeitig beschichtet werden, wobei jederzeit einzelne Beschichtungszellen 30, 90 von dem Zufluss von Elektrolyten 22 über die Leitung 21 abgeschnitten werden können, wodurch eine unterbrechungsfreie Beschichtung anderer Werkstücke gewährleistet ist. Sind zwei oder mehrere Beschichtungszellen vorgesehen, kann beispielsweise in einer ersten oder weiteren Beschichtungszelle 30 eine Beschichtung durchgeführt werden, während in einer zusätzlichen Beschichtungszelle 30 ein beschichtetes Werkstück 32 gegen ein unbeschichtetes Werkstück 32 austauschbar ist.

[0080] Besonders bevorzugt ist jedes Werkstück 32 mit einem separaten Gleichrichter verbunden, über welchen der Strom zwischen Gegenelektrode und Werkstück 32 fließt. Hierdurch kann die tatsächliche zwischen Werkstück und Gegenelektrode geflossene Stromstärke, Stromdichte und/oder die Beschichtungszeit für jedes Werkstück einzeln eingestellt und überprüft werden. Aus dem Stand der Technik sind Anordnungen bekannt, in welchen Werkstücke 32 in Serie über dieselbe Strom-/Spannungsquelle versorgt werden, wodurch die einzelnen Werkstücke mit unterschiedlicher Stromdichte beschichtet werden. Hierdurch kann eine Varianz der Schichtdicke zwischen den einzelnen Werkstücken auftreten. Durch Parallelschaltung kann diesem Phänomen vorgebeugt sein, wobei die einem jeden Werkstück einzeln zugeordneten Gleichrichter eine Abschaltung des Stromflusses durch das Werkstück nach dem Erreichen einer Soll-Stromstärke oder Soll-Stromdichte bewirken können. Dies kann bereits bei einem einzelnen Werkstück in einer einzelnen Beschichtungszelle in einer erfindungsgemäßen Hochgeschwindigkeitsbeschichtungsvorrichtung 10 zu einem qualitativ hochwertigen und eindeutig bestimmbar Beschichtungsergebnis mit klar definierbaren Schichtdicken führen. Vorzugsweise ist der Gleichrichter mit der Steuerungseinheit verbunden, welche die Stromabschaltung nach einer vorgegebenen Zeit oder einer vorgegebenen Stromstärke bewirkt.

[0081] Nachstehend ist ein Vergleichstest angeführt, welcher die Vorteile der vorliegenden Erfindung gegenüber einer Beschichtungsvorrichtung beziehungsweise ein Beschichtungsverfahren angibt, bei welchem oberhalb des Elektrolyten eine Gasphase vorgesehen ist, beziehungsweise bei welchem die Vorteile der Sogwirkung der Pumpe auf den Elektrolyten in der Beschichtungszelle gemäß der vorliegenden Erfindung nicht bestehen:

Die obere Ringnut eines Motorkolbens der Legierung G-AlSi₁₂MgCuNi wird in einem geschlossenen Reaktor (Beschichtungszelle mit Eingang und Ausgang für Elektrolyten) mit schwefelsäurehaltigem Elektrolyten hartanodisiert.

[0082] Die Elektrolyttemperatur beträgt 15°C und die Strömungsgeschwindigkeit des Elektrolyten 10 Liter/sec. Die Stromdichte ist auf 20 A/qdm bei 50 - 100 Volt eingestellt. Der Elektrodenabstand betrug 3 mm.

[0083] In einer Minute Prozesslaufzeit wurde eine Schichtdicke von $20 \pm 2 \mu\text{m}$ erhalten. Es entsteht eine homogene Aluminiumoxidschicht mit einer Rauheit von $R_a < 1,0 \mu\text{m}$ an der Kante und in der Vertiefung der Ringnut.

[0084] Zum Vergleich ein herkömmliches Normaldruck-Anodisierungsverfahren:

In einem Hartanodisationsbad mit gleicher Konzentration an Schwefelsäure wie im voranstehenden Beispiel wird bei 0°C ein gleicher Kolben wie bei dem Ausführungsbeispiel 1 anodisiert. Die Stromdichte beträgt 2 A/qdm. Die Beschichtungszeit ist 12 min. Die Schichtdicke beträgt $20 \pm 5 \mu\text{m}$, und die Rauheit ist $R_a > 3,0 \mu\text{m}$. Mit analogem Elektrolyten und angepassten Prozessparametern wurde unter Normaldruckbedingungen bei ansonsten gleichen Bedingungen, wie Elektrodenabstand und Werkstoffwahl, die Anodisierung durchgeführt. Es war jedoch nicht möglich, mit so hohen Stromdichten zu arbeiten wie unter den erfindungsgemäßen Bedingungen der Sogwirkung der Pumpe auf eine Beschichtungszelle, welche gasphasenfrei ausgebildet ist, da ansonsten sofort ein Abbrennen der Legierung und ein sehr starker Anstieg der Rauheit bis $R_z = 15 \mu\text{m}$ oder höher erfolgen würden.

Patentansprüche

1. Elektrochemische Hochgeschwindigkeitsbeschichtungsvorrichtung mit

- einem Kreislaufsystem, aufweisend
- eine Beschichtungszelle, welche die folgenden Einrichtungen umfasst: - eine Anode, eine Kathode, einen Elektrolyten, mindestens einen Eingang und einen Ausgang für den Elektrolyten,
- wobei das Kreislaufsystem weiterhin einen Vorratsbehälter, in welchem der Elektrolyt bevorratet ist und über mindestens eine Zuleitung mit dem Eingang der Beschichtungszelle verbunden ist, und
- eine Pumpe umfasst, welche über eine Ableitung mit dem Ausgang der Beschichtungszelle verbunden ist und ausgebildet ist, den Elektrolyten aus der Beschichtungszelle zu saugen und
- wobei die Pumpe in dem Kreislaufsystem in einer Flussrichtung des absaugbaren Elektrolyten, also nach dem Ausgang der Beschichtungszelle angeordnet ist

dadurch gekennzeichnet,

dass zwischen der Beschichtungszelle und der Pumpe ein Gastopf vorgesehen ist, welcher ausgebildet ist, Elektrolysegase aus dem Elektrolyten abzutrennen, wobei eine Absaugeinrichtung zum Entfernen von gesammeltem

Gas aus dem Gastopf vorgesehen ist.

2. Elektrochemisches Hochgeschwindigkeitsbeschichtungsverfahren, bei welchem

- 5 - mindestens ein zu beschichtendes Werkstück in einer Beschichtungszelle vorgesehen wird,
 - in welcher das Werkstück in einen Elektrolyten eingetaucht wird,
 - während des Beschichtens die Beschichtungszelle in einem Kreislaufprozess mit frischem Elektrolyten aus
 einem Vorratsbehältnis versorgt wird,
10 - das Werkstück eine erste Elektrode der Beschichtungszelle bildet, wobei zwischen dem Werkstück und einer
 Gegenelektrode der Beschichtungszelle ein elektrischer Strom geleitet wird,
 - wobei der Elektrolyt mittels einer Pumpe während des Beschichtens des Werkstücks aus der Beschichtungs-
 zelle gesaugt wird, wobei frischer Elektrolyt aus dem Vorratsbehältnis in die Beschichtungszelle nachgeführt
 wird, und

15 **dadurch gekennzeichnet,**
 dass mittels der Pumpe der Elektrolyt aus der Beschichtungszelle in einen zwischen Pumpe und Beschichtungszelle
 liegenden Gastopf gesaugt wird, in welchem Gasen aus dem Elektrolyseprozess von dem Elektrolyt getrennt werden.

- 20 3. Gastopf für eine elektrochemische Hochgeschwindigkeitsbeschichtungsvorrichtung nach Anspruch 1,
 mit einem Eingang und einem Ausgang für Elektrolyten, einem oberen Bereich und einem unteren Bereich, wobei
 im oberen Bereich eine Einrichtung zum Entfernen von Gas aus dem Gastopf vorgesehen ist.

25

30

35

40

45

50

55

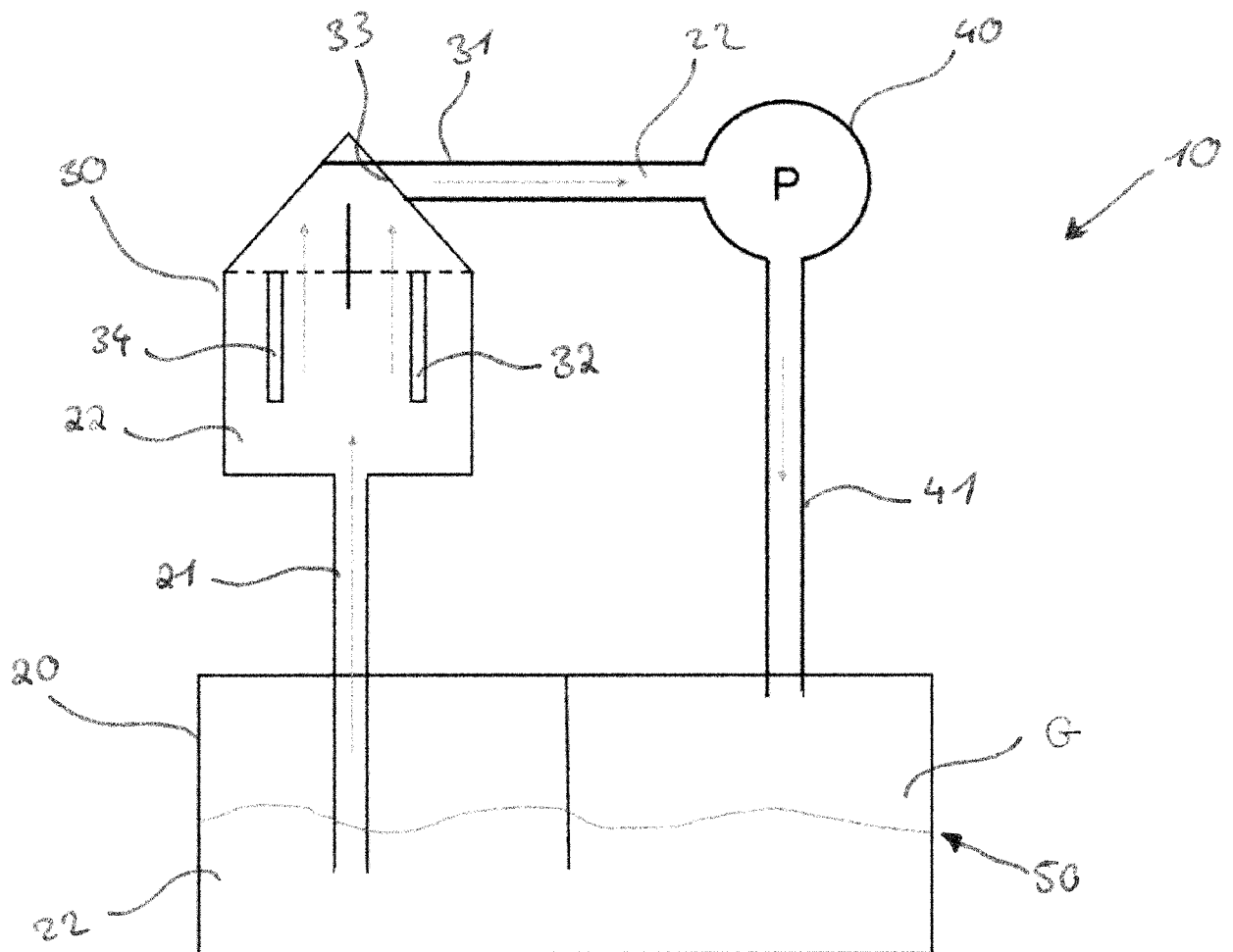


Fig. 1

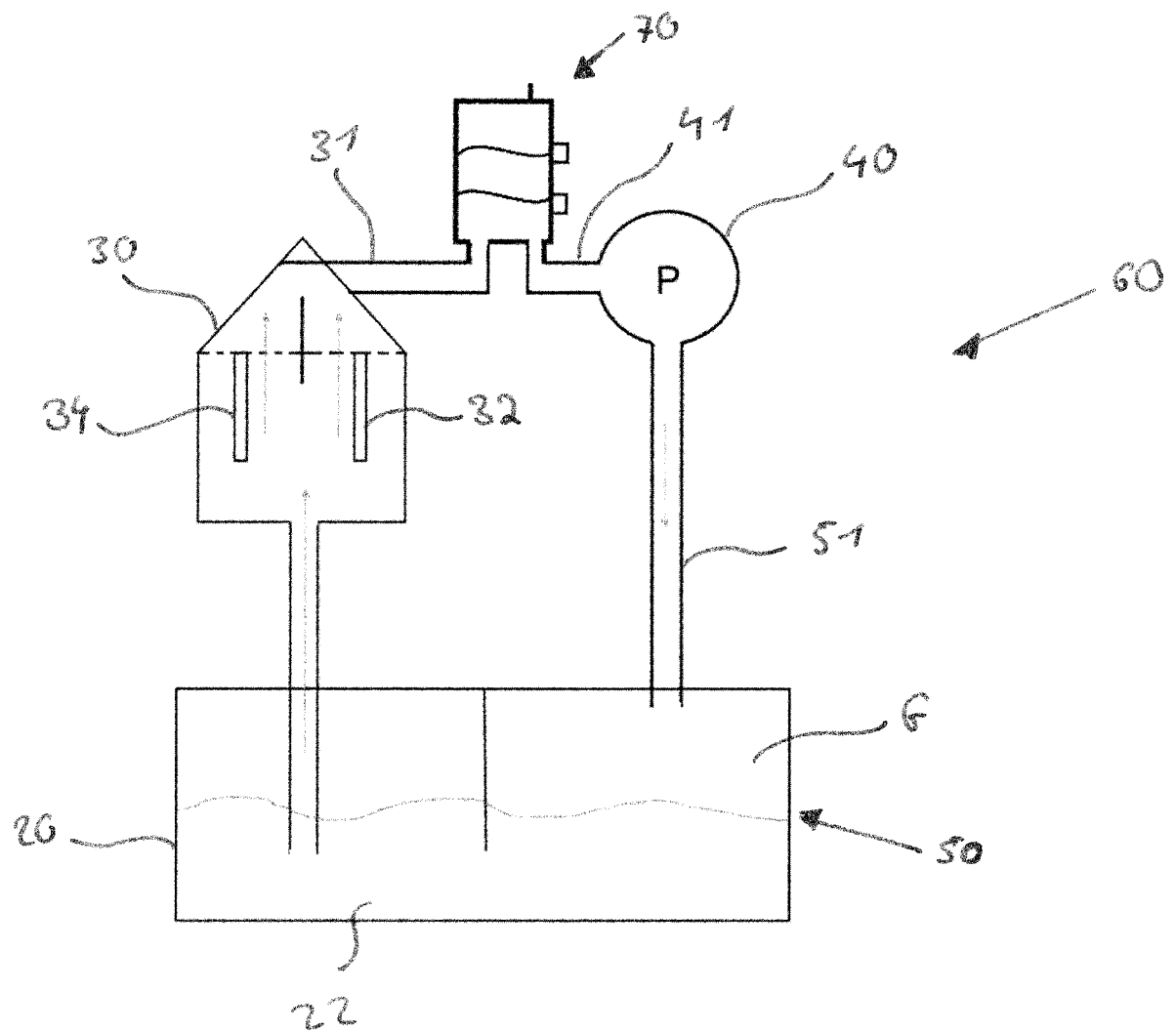


Fig. 2

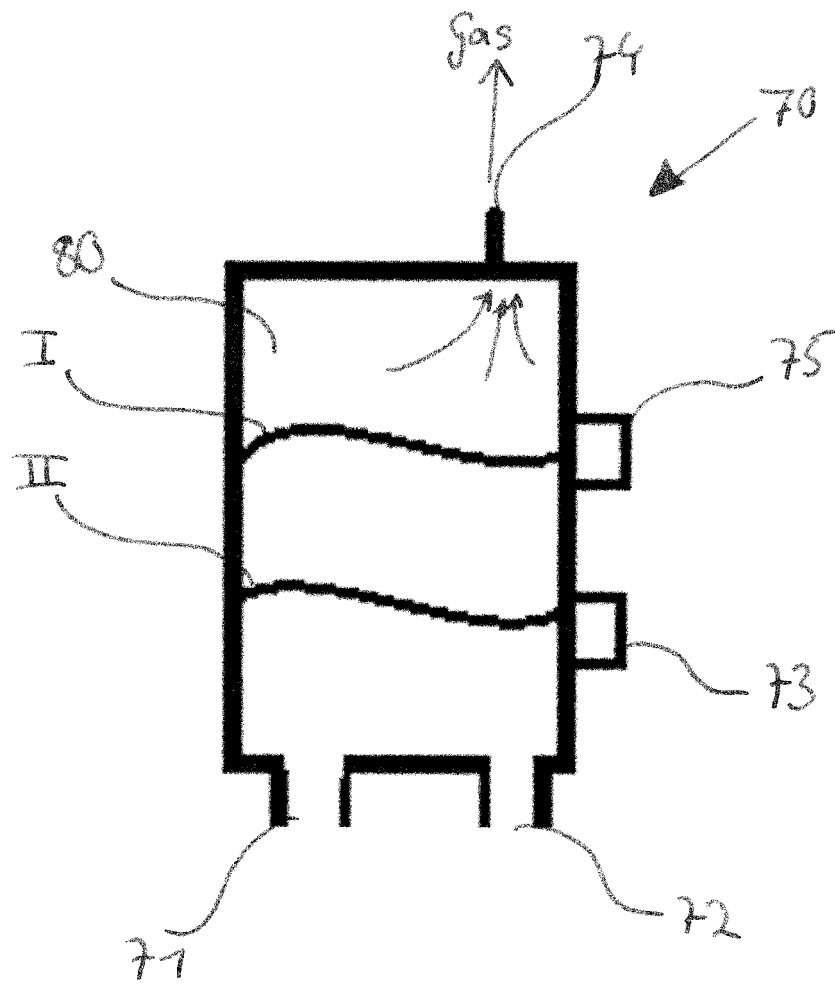


Fig. 3

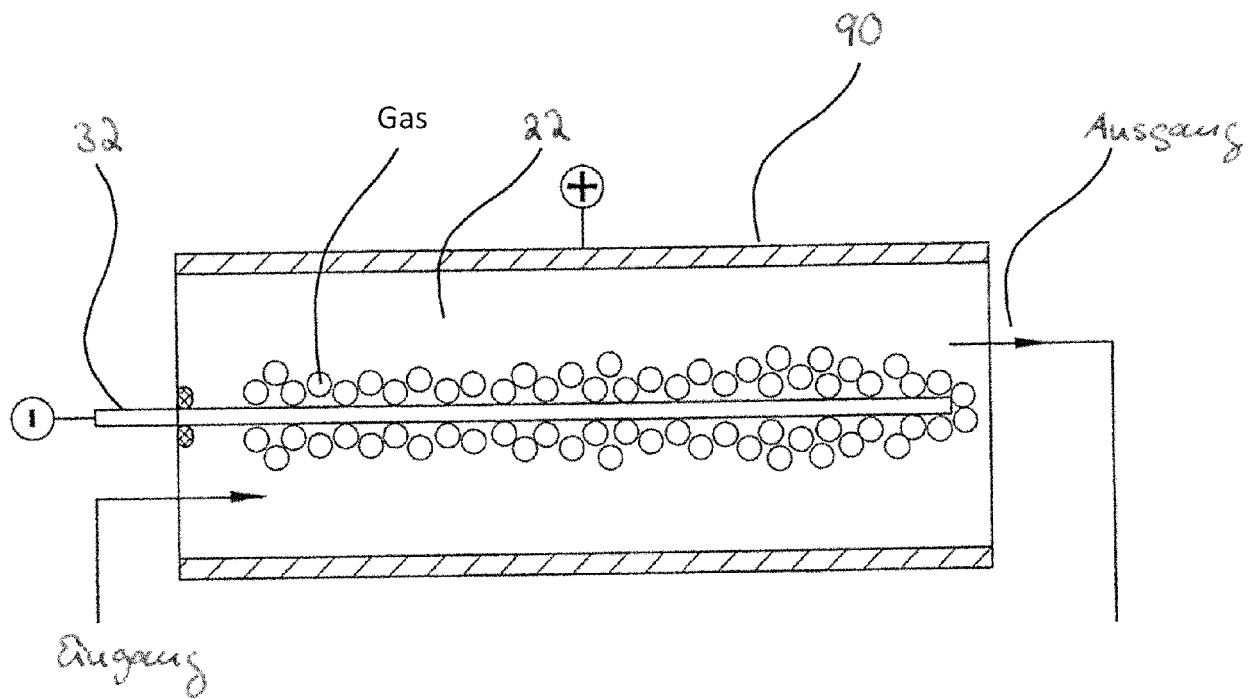


Fig. 4



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 19 20 1938

5

10

15

20

25

30

35

40

45

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 10 2013 112302 A1 (GRAMM TECHNIK GMBH [DE]) 13. Mai 2015 (2015-05-13) * Zusammenfassung * * Abbildung 1 * * Absätze [0002], [0050], [0071], [0075] - [0079], [0084] - [0091] * -----	1-3	INV. C25D17/02 C25D21/04 C25D21/12 C25D11/00 C25D11/02
X	WO 90/05801 A1 (GRAMM GERHARD [DE]) 31. Mai 1990 (1990-05-31) * Zusammenfassung * * Abbildung 1 * * Anspruch 8 * * Seite 7, Zeilen 12-28 * -----	1-3	ADD. C25D11/08
X	DE 103 41 998 A1 (GRAMM GMBH & CO KG [DE]) 31. März 2005 (2005-03-31) * Zusammenfassung * * Abbildung 1 * * Absätze [0013], [0071], [0072] * -----	1-3	
X	EP 3 272 907 A1 (FUELSAVE GMBH [DE]) 24. Januar 2018 (2018-01-24) * Zusammenfassung * * Abbildung 1 * * Absätze [0010] - [0012], [0071] - [0075] * -----	1-3	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) C25D
X	DE 17 71 703 A1 (SIEMENS AG) 9. März 1972 (1972-03-09) * Abbildung 1 * * Ansprüche 1, 6 * * Seite 3, Zeilen 6-15 * -----	1-3	
X	US 6 630 060 B1 (VAEAERNI MARKKU [DE] ET AL) 7. Oktober 2003 (2003-10-07) * Zusammenfassung * * Abbildung 2 * * Spalte 4, Zeilen 1-11 * * Spalte 9, Zeilen 14-64 * -----	1-3	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 18. März 2020	Prüfer Lange, Ronny
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

50

55

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 19 20 1938

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

18-03-2020

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	DE 102013112302 A1	13-05-2015	KEINE	
15	WO 9005801 A1	31-05-1990	AT 127865 T EP 0445120 A1 JP H03505348 A US 5173161 A WO 9005801 A1	15-09-1995 11-09-1991 21-11-1991 22-12-1992 31-05-1990
20	DE 10341998 A1	31-03-2005	KEINE	
	EP 3272907 A1	24-01-2018	EP 3272907 A1 WO 2018015369 A1	24-01-2018 25-01-2018
25	DE 1771703 A1	09-03-1972	KEINE	
30	US 6630060 B1	07-10-2003	BR 0003323 A CH 694619 A5 IT MI20001555 A1 JP 3400780 B2 JP 2001158997 A US 6630060 B1	13-03-2001 29-04-2005 11-01-2002 28-04-2003 12-06-2001 07-10-2003
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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 Nicht-Patentliteratur

- **KELLER, F. ; HUNTER, M.S. ; ROBINSON, D.L. J.**
Electrochem. Soc., 1953, vol. 100, 411-419 [0049]