



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 11 125 T2** 2005.05.25

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 228 267 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 11 125.3**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/GB00/02917**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 949 726.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 01/009410**

(86) PCT-Anmeldetag: **28.07.2000**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **08.02.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **07.08.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **26.05.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **25.05.2005**

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **C25F 1/00**

**C23C 4/00, C25D 5/00**

(30) Unionspriorität:

**99116537 30.07.1999 RU**

(73) Patentinhaber:

**Ryabkov, Danila Vitalievich, Moskau/Moskva, RU;  
Cap Technologies, L.L.C., Baton Rouge, La., US**

(74) Vertreter:

**Patentanwälte von Kreisler, Selting, Werner et col.,  
50667 Köln**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:

**RYABKOV, Danila Vitalievich, Moscow 121609, RU**

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR REINIGUNG UND/ODER BESCHICHTUNG VON METAL-  
LOBERFLÄCHEN MITTELS ELEKTROPLASMA-TECHNOLOGIE**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

### Beschreibung

**[0001]** Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein verbessertes Verfahren und verbesserter Apparat zur Reinigung und/oder Beschichtung von Metalloberflächen unter Verwendung der Elektroplasma-Technologie.

**[0002]** Metalle, insbesondere Stahl in seinen vielen Formen, müssen gewöhnlich gereinigt und/oder vor Korrosion geschützt werden, bevor sie ihrem Endgebrauch übergeben werden. Stahl weist, wie hergestellt, in der Regel einen Film aus Walzsinter (schwarzem Oxid) auf seiner Oberfläche auf, der nicht gleichmäßig haftet und der das darunterliegende Material für galvanische Korrosion anfällig macht. Folglich muss Walzsinter, bevor der Stahl angestrichen, beschichtet oder (z. B. mit Zink) metallisiert werden kann, entfernt werden. Das Metall kann auch andere Kontaminationsformen (die in der Industrie als „Verunreinigung“ bekannt sind), einschließlich Rost, Öl oder Fett, pigmentierte Ziehgemische, Späne und Schneidflüssigkeit und Polier- und Schwabbelverbindungen auf seinen Oberflächen aufweisen. Alle diese müssen in der Regel entfernt werden. Selbst Edelstahl kann auf seiner Oberfläche ein überschüssiges gemischtes Oxid aufweisen, das vor dem sich anschließenden Gebrauch entfernt werden muss.

**[0003]** Das herkömmliche Verfahren zum Reinigen von Metalloberflächen schließt Säurebeize (die aufgrund der Kosten und Umweltprobleme, die durch die Entsorgung der erschöpften Säure verursacht werden, zunehmend unzulässig ist); Strahlreinigung; Nass- und Trockentaumeln; Bürsten; Salzbad-Entzunderung; alkalische Entzunderung und Säurereinigung ein. Ein Mehrstufen-Reinigungsvorgang könnte zum Beispiel Folgendes beinhalten: (i) Abbrennen oder Lösungsmittelentfernung von organischen Materialien, (ii) Sandstrahlen oder Strahlputzen zur Entfernung von Walzsinter und Rost und (iii) elektrolytische Reinigung als eine abschließende Oberflächenvorbereitung. Wenn die gereinigte Oberfläche mit einem Antikorrosionsschutz durch Metallisieren, Anstreichen oder Kunststoffbeschichtung versehen werden soll, muss dies in der Regel zur Verhinderung einer erneuten Oberflächenoxidation schnell durchgeführt werden. Eine Mehrstufenbehandlung ist wirksam, aber sowohl hinsichtlich des Energieverbrauchs als auch der Verfahrenszeit kostspielig. Viele der herkömmlichen Behandlungen sind auch vom Umweltgesichtspunkt her unerwünscht.

**[0004]** Elektrolytische Verfahren zum Reinigen von Metalloberflächen werden häufig in Verarbeitungsstraßen, wie zum Beispiel denen zum Verzinken und Plattieren von Stahlbändern und -blechen inkorporiert. Zu üblichen Beschichtungen zählen Zink, Zinklegierung, Zinn, Kupfer, Nickel und Chrom. Eigenständige elektrolytische Reinigungsstraßen werden auch zum Beschicken mehrfacher, nachgeschalteter Betriebsvorgänge verwendet. Elektrolytische Reinigung (oder „Elektroreinigung“) beinhaltet in der Regel die Verwendung einer alkalischen Reinigungslösung, welche den Elektrolyt bildet, während das Werkstück entweder die Anode oder die Kathode der elektrolytischen Zelle sein kann oder ansonsten die Polarität gewechselt werden kann. Derartige Verfahren arbeiten im Allgemeinen bei niedriger Spannung (in der Regel 3 bis 12 Volt) und Stromdichten von 1 bis 15 Amp/dm<sup>2</sup>. Der Energieverbrauch befindet sich folglich im Bereich von ca. 0,01 bis 0,5 kWh/m<sup>2</sup>. Die Entfernung von Verunreinigungen wird durch die Erzeugung von Gasbläschen bewirkt, welche den Kontaminanten aus der Oberfläche herauslösen. Wenn es sich bei der Oberfläche des Werkstückes um die Kathode handelt, könnte die Oberfläche nicht nur gereinigt, sondern auch „aktiviert“ werden, wodurch jeder sich anschließenden Beschichtung eine verbesserte Haftung verliehen wird. Elektrolytische Reinigung ist in der Regel zur Entfernung eines starken Sinters nicht zweckmäßig, und dies wird in einem getrennten Betriebsvorgang, wie zum Beispiel durch Säurebeizen und/oder Strahlreinigung, durchgeführt.

**[0005]** Herkömmliche elektrolytische Reinigungs- und Plattierverfahren funktionieren bei einem Niederspannungsregime, bei dem der elektrische Strom monoton mit der angelegten Spannung zunimmt. Unter einigen Bedingungen wird mit zunehmender Spannung ein Punkt erreicht, an dem Instabilität auftritt, und der Strom mit zunehmender Spannung abzunehmen beginnt. Das instabile Regime kennzeichnet das Einsetzen elektrischer Entladungen an der Oberfläche der einen oder anderen der Elektroden. Diese Entladungen („Mikrolichtbogen“ oder „Mikroplasmen“) treten über jedwede auf der Oberfläche vorliegende geeignete nicht leitende Schicht, wie zum Beispiel einer Schicht aus Gas oder Dampf, auf. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Potenzialgefälle in diesen Regionen sehr hoch ist.

### STAND DER TECHNIK

**[0006]** GB-A-1399710 lehrt, dass eine Metalloberfläche ohne Überhitzen und ohne übermäßigen Energieverbrauch elektrolytisch gereinigt werden kann, wenn das Verfahren bei einem Regime betrieben wird, das sich knapp jenseits der instabilen Region befindet, wobei „instabile Region“ als eine Region definiert ist, in der der Strom mit zunehmender Spannung abnimmt. Durch den Übergang auf leicht höhere Spannungen, bei denen der Strom mit zunehmender Spannung wieder zunimmt und ein kontinuierlicher Gas-/Dampf Film über der be-

handelten Oberfläche etabliert wird, wird eine wirksame Reinigung erhalten. Der Energieverbrauch dieses Verfahrens ist jedoch im Vergleich zum Energieverbrauch für das Säurebeizen (0,4 bis 1,8 kWh/m<sup>2</sup>) hoch (10 bis 30 kWh/m<sup>2</sup>).

**[0007]** SU-A-1599446 beschreibt ein elektrolytisches Reinigungsverfahren mittels Funkenerosion bei hoher Spannung zum Schweißen von Stäben, für das extrem hohe Stromdichten in der Größenordnung von 1000 A/dm<sup>2</sup> verwendet werden, in einer Phosphorsäurelösung.

**[0008]** SU-A-1244216 beschreibt eine Mikrolichtbogen-Reinigungsbehandlung für Maschinenteile, die bei 100 bis 350 V unter Verwendung einer anodischen Behandlung betrieben wird. Es wird kein bestimmtes Verfahren zur Handhabung des Elektrolyts gelehrt.

**[0009]** Andere elektrolytische Reinigungsverfahren wurden in GB-A-1306337 beschrieben, worin ein Funkenrosionsschritt in Kombination mit einem gesonderten chemischen oder elektrochemischen Reinigungsschritt zur Entfernung des Oxidsinters verwendet wird; in US-A-5232563, worin Kontaminanten bei niedrigen Spannungen von 1,5 bis 2 V aus Halbleiterwafern durch die Bildung von Gasbläschen auf der Waferoberfläche entfernt werden, welche die Kontaminanten herauslösen; in EP-A-0657564, worin gelehrt wird, dass normale elektrolytische Reinigung bei Niederspannung bei der Entfernung von Fett unwirksam ist, dass aber elektrolytisch oxidierbare Metalle, wie zum Beispiel Aluminium unter Hochspannungsbedingungen (Mikrolichtbogen) durch Säureanodisierung erfolgreich entfettet werden können.

**[0010]** Die Verwendung von Elektrolytstrahlen, die sich in elektrolytischen Reinigungsbädern zur Herbeiführung einer turbulenten Strömung bei hoher Geschwindigkeit in der Reinigungszone in der Nähe der Elektroden befinden, wird zum Beispiel in JP-A-08003797 und DE-A-4031234 gelehrt.

**[0011]** Die elektrolytische Reinigung von radioaktiv kontaminierten Gegenständen unter Verwendung eines einzelnen Elektrolytstrahls ohne vollständiges Eintauchen des Gegenstandes wird in EP-A-0037190 gelehrt. Der gereinigte Gegenstand ist anodisch, und die verwendete Spannung liegt zwischen 30 bis 50 V. Kurze Behandlungszeiten in der Größenordnung von 1 sec werden zur Vermeidung von Erosion der Oberfläche empfohlen, und die vollständige Entfernung von Oxid wird für unerwünscht gehalten. Auch in CA-A-1165271, worin der Elektrolyt gepumpt oder durch eine kastenförmige Anode mit einer Reihe von Löchern in ihrem Boden gegossen wird, wird Nichteintauchen gelehrt. Der Zweck dieser Anordnung besteht darin, einem Metallstreifen zu ermöglichen, nur auf einer Seite elektroplattiert zu werden und spezifischer, die Verwendung einer Opferanode zu vermeiden.

**[0012]** DE-A-3715454 beschreibt die Reinigung von Drähten mittels einer bipolaren elektrolytischen Behandlung mittels Durchleiten des Drahtes durch eine erste Kammer, worin der Draht kathodisch ist und eine zweite Kammer, worin der Draht anodisch ist. In der zweiten Kammer wird an der anodischen Oberfläche des Drahtes durch Ionisierung einer Sauerstoff enthaltenden Gasschicht, eine Plasmaschicht gebildet. Der Draht wird während seiner Behandlung durchweg in den Elektrolyt eingetaucht.

**[0013]** EP-A-0406417 beschreibt ein kontinuierliches Verfahren zum Ziehen von Kupferdraht aus einem Kupferstab, worin der Stab vor dem Ziehvorgang in Plasma gereinigt wird. Das „Plasmatron“-Gehäuse ist die Anode, und der Draht ist auch von einer inneren Koaxialanode in der Form einer perforierten U-förmigen Hülse umgeben. Zur Einleitung der Plasmaproduktion wird die Spannung bei einem niedrigen, aber nicht spezifizierten Wert aufrechterhalten, die Elektrolytkonzentration über dem eingetauchten Draht wird gesenkt und die Strömungsrate vermindert, um das Einsetzen einer Entladung an der Drahtoberfläche zu stimulieren.

**[0014]** Während eine elektrolytische Reinigung bei Niederspannung zur Herstellung von Metalloberflächen zum Elektroplattieren oder anderen Beschichtungsbehandlungen verbreitet verwendet wird, kann sie keine dicken Oxidablagerungen, wie zum Beispiel Walzsinter, ohne einen nicht zulässigen hohen Energieaufwand handhaben. Derartige elektrolytische Reinigungsverfahren müssen deshalb in der Regel zusammen mit anderen Reinigungsverfahren in einem Mehrstufenbetrieb verwendet werden.

**[0015]** WO-A-97/35052 beschreibt ein elektrolytisches Verfahren zur Reinigung elektrisch leitfähiger Oberflächen unter Verwendung eines Elektroplasmas (Lichtbogenentladung), worin ein flüssiger Elektrolyt durch ein Loch oder mehrere Löcher in einer Anode strömt, die bei einer hohen Gleichspannung gehalten wird und auf ein Werkstück (die Kathode) auftrifft, wobei folglich eine elektrisch leitfähige Bahn bereitgestellt wird. Das System wird bei einem Regime betrieben, worin der elektrische Strom abnimmt oder mit Zunahme der zwischen der Anode und der Kathode angelegten Spannung und bei einem Regime, worin diskrete Bläschen aus Gas

und/oder Dampf auf der Oberfläche des Werkstückes während der Behandlung vorliegen, weitgehend konstant bleibt.

**[0016]** WO-A-97/35051 beschreibt ein elektrolytisches Verfahren zur Reinigung und Beschichtung elektrisch leitfähiger Oberflächen, das dem in WO-A-97/35052 beschriebenen Verfahren ähnlich ist, außer dass die Anode ein Metall zur Metallbeschichtung der Oberfläche des Werkstücks umfasst.

**[0017]** Beim Ablauf der Verfahren nach WO-A-97/35051 und WO-A-97/35052 wird eine Lichtbogenentladung oder ein Elektroplasma auf der Oberfläche des Werkstückes gebildet und wird in der Bläsenschicht etabliert. Das Plasma weist die Wirkung eines schnell entfernbaren Walzsinters und anderer Kontaminanten von der Oberfläche des Arbeitsstücks auf, wobei eine saubere Metalloberfläche zurückbleibt, die auch passiviert (gegen weitere Oxidation beständig) gemacht werden kann.

**[0018]** Wenn die Anode zusätzlich aus einem nicht inerten Material, wie zum Beispiel einem nicht feuerfesten Metall, hergestellt wird, dann werden die Metallatome von der Anode an die Kathode übertragen, wobei eine Metallbeschichtung auf der gereinigten Oberfläche bereitgestellt wird.

**[0019]** Die Beschichtung kann auch unter dem Regime des vorstehend beschriebenen Betriebs unter Verwendung einer inerten Anode und eines Elektrolyts, enthaltend Ionen des zu beschichtenden Metalls, wie in WO-A-99/15714 beschrieben, erlangt werden. In diesem Fall wird das Verfahren zu einer speziellen Form des Elektroplattierens, weil es aber bei einer hohen Spannung in Gegenwart einer Lichtbogenentladung auftritt, ist die Plattierung schneller als die übliche Elektroplattierung und die Beschichtung weist eine bessere Haftung an dem Substratmetall auf.

**[0020]** WO-A-98/32892 beschreibt ein Verfahren, das weitgehend in der vorstehend beschriebenen Weise betrieben wird, das aber ein leitfähiges Gas-/Dampfgemisch als das leitfähige Medium verwendet. Das Gas-/Dampfgemisch wird in einer Zwei- oder Mehrkammeranode gebildet, bevor es durch Löcher in der Anode in den Arbeitsspalt ausgestoßen wird. Das Gas-/Dampfgemisch wird durch Erhitzen eines wässrigen Elektrolyts in den Anodenkammern bis zum Siedepunkt oder darüber gebildet, und die Anodenkammern können entweder durch den elektrischen Hauptstrom oder durch unabhängige elektrische Heizvorrichtungen erhitzt werden.

**[0021]** EP-A-00955393 offenbart ein Verfahren und einen Apparat zur multifunktionellen Oberflächenbehandlung, das die Reinigung und das Aufbringen einer Beschichtung durch Plasma beinhaltet, dass in der Nähe der Oberflächenzone des Gegenstandes mittels Zuleitung eines Dampf-Gasgemisches auf die behandelte Oberfläche über die Arbeitsoberfläche einer Anodenvorrichtung mit durchgehenden Öffnungen gebildet wird. Ein behandelter Gegenstand, eine Kathoden- und die Anodenvorrichtung befinden sich in einer Kammer. Ein Reaktor ist in der Anodenvorrichtung angeordnet, und ein Behälter für den Elektrolyt ist außerhalb einer Kammer angeordnet und ist mit der Anodenvorrichtung gekoppelt.

**[0022]** Wir haben nun ein verbessertes Verfahren entwickelt, worin ein Elektroplasma (Lichtbogenentladung) zur Reinigung und/oder zum Aufbringen einer Metallbeschichtung auf eine elektrisch leitfähige Oberfläche, zum Beispiel Stahl, eingesetzt wird, worin die elektrisch leitfähige Bahn durch einen schäumenden Elektrolyt, der den Raum zwischen der Anode und der Kathode füllt und Vorteile in Bezug auf einen geringeren Stromverbrauch, eine gleichmäßigere Oberflächenbehandlung und einen größeren Spielraum hinsichtlich der Größe des Spalts zwischen Anode und Arbeitsstück bereitstellt.

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0023]** Gemäß einer ersten erfindungsgemäßen Ausführungsform wird ein Verfahren zur Reinigung einer elektrisch leitfähigen Oberfläche durch Anordnung der Oberfläche zur Bildung der Kathode einer elektrolytischen Zelle bereitgestellt, worin die Anode bei einer Gleichspannung über 30 V aufrechterhalten wird und eine elektrische Lichtbogenentladung (Elektroplasma) an der Oberfläche des Werkstücks durch geeignete Anpassung der Betriebsparameter etabliert wird, dadurch gekennzeichnet, dass der Arbeitsspalt zwischen der Anode und der Kathode mit einem elektrisch leitfähigen Medium gefüllt ist, bestehend aus einem Schaum, umfassend eine Gas-/Dampfphase und eine Flüssigphase.

**[0024]** Das elektrisch leitfähige Medium kann positive Ionen der (einen oder mehrerer) Spezies enthalten, die zur Bildung der Beschichtung erforderlich sind.

**[0025]** In einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform ist ein Apparat zur Reinigung und/oder Beschichtung einer elektrisch leitfähigen Oberfläche vorgesehen, welcher Folgendes umfasst:

- (i) eine abgedichtete Behandlungszone mit einem Anodenaufbau oder mehreren Anodenaufbauten, die in Bezug auf die zu behandelnde Oberfläche oder zu behandelnden Oberflächen geeignet angeordnet ist/sind, wobei der oder jeder Anodenaufbau Folgendes umfasst: eine perforierte Anodenplatte, die sich in Kommunikation mit einer Kammer befindet, die zur Aufnahme eines Stroms eines flüssigen Elektrolyts angepasst ist, Mittel zur Weiterleitung des flüssigen Elektrolyts an die genannte Kammer und Mittel zur Umwandlung des in der genannten Kammer aufgenommenen flüssigen Elektrolyts in einen Schaum;
  - (ii) Mittel zur kontinuierlichen Bewegung eines zu behandelnden Werkstücks durch die Behandlungszone zwischen den Anodenaufbauten;
  - (iii) Mittel zum Öffnen und Schließen der Behandlungszone und
  - (iv) Mittel zur Kontrolle der Zuleitung und Entfernung des Schaums aus der Behandlungszone; und
- worin die Kammer mittels eines perforierten Kammertrennelementes und eines beheizten Siebs, das den Elektrolyt im Gebrauch veranlasst zu kochen und den Elektrolyt dadurch in einen Schaum umwandelt, in zwei Abschnitte unterteilt ist.

## BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

**[0026]** Der Schaum kann geeigneterweise durch Kochen eines wässrigen Elektrolyts hergestellt werden, obwohl andere Verfahren der Schaumherstellung auch verwendet werden können. Wenn der geschäumte Elektrolyt nur Ionen von Metallen enthält, die mit Wasser reagieren, wie zum Beispiel Natrium oder Kalium, wird das Werkstück gereinigt. Wenn andere Metallionen vorliegen, werden sie zusätzlich zur Bildung einer Beschichtung auf dem gereinigten Werkstück abgelagert.

**[0027]** Die Betriebsparameter, die zur Bereitstellung der notwendigen Bedingungen zur Etablierung eines Elektroplasmas angepasst werden können, schließen folgende ein: die Spannung; die chemische Zusammensetzung des Schaums; die Dichte des Schaums; die Temperatur des Schaums; die Rate, bei welcher der Schaum an den Arbeitsspalt geleitet wird und die Breite des Arbeitsspalt (der Abstand zwischen der Anode und der Kathode).

**[0028]** Es wird erfindungsgemäß auch ein Anodenaufbau bereitgestellt, enthaltend eine oder mehrere erhitzte Kammern, in denen ein Elektrolyt in einen Schaum umgewandelt werden kann, bevor er in die Arbeitsspalten gespritzt wird, zusammen mit Mitteln zur Entfernung des Schaums aus dem Arbeitsspalt, Filtrieren, Regenerieren und Rezirkulieren des erschöpften Schaums.

**[0029]** Es ist erfindungsgemäß weiter der Einschluss des Schaums im Arbeitsspalt mittels eines Gehäuses vorgesehen, durch das sich das Werkstück ohne signifikanten Austritt von Schaum bewegen kann.

**[0030]** Die vorliegende Erfindung stellt eine Verbesserung der Verfahren im Stand der Technik zur Reinigung und/oder Beschichtung dar, insoweit, dass das leitfähige Medium zwischen der Anode und der Kathode weder einen flüssigen Elektrolyt noch ein Gas-/Dampfgemisch, sondern einen elektrisch leitfähigen Schaum darstellt, welcher den gesamten Arbeitsspalt füllt. Im Allgemeinen verweist der Begriff „Schaum“ auf ein Medium, das mindestens 20 Vol.-%, bevorzugt 30 Vol.-% Gas und/oder Dampf in der Form von Bläschen oder Zellen enthält, wobei der Rest des Mediums flüssig ist. Bevorzugter stellen mindestens 50 Vol.-% des Schaums Gas und/oder Dampf in der Form von Bläschen oder Zellen dar. Der verwendete erfindungsgemäße Schaum wird im Allgemeinen aus einem wässrigen Elektrolyt gebildet.

**[0031]** Ein derartiger Schaum kann zweckmäßigerweise durch Kochen eines wässrigen Elektrolyts, wie zum Beispiel einer Lösung aus Metallsalzen in Wasser gebildet werden. Schaummittel und -stabilisatoren können zur Optimierung der Eigenschaften des Schaums, hinsichtlich zum Beispiel der Schaumdichte und Bläschen- oder Zellengröße, zugefügt werden.

**[0032]** Andere Verfahren zur Schaumherstellung können jedoch auch eingesetzt werden, wie zum Beispiel die Inkorporation in einen Elektrolyt der thermisch aktivierten Treibmittel; das Ablassen des Drucks aus einem flüssigen Elektrolyt, der mit einer flüchtigen Substanz übersättigt ist (genauso wie beim Schütteln und Öffnen einer Flasche Sekt); die mechanische Einspritzung eines flüssigen Elektrolyts mit Dampf oder einem anderen Dampf oder Gas; das mechanische „Schlagen“ eines relativ viskosen Elektrolyts; oder die Kombination von zwei Flüssigkeitsströmen, die chemisch zusammen reagieren, um ein Gas zu bilden, welches das Gemisch

dazu veranlasst, zu einem Schaum zu „blasen“; oder ein anderes dem Durchschnittsfachmann zur Bildung flüssiger Schäume bekanntes Mittel ist.

**[0033]** Die Verwendung eines Schaums als das leitfähige Medium besitzt im Vergleich zu flüssigen Elektrolyten die folgenden Vorteile.

- a) Der Schaum weist aufgrund seines Gas-/Dampfgehalts eine niedrigere Leitfähigkeit als der entsprechende flüssige Elektrolyt auf. Dies reduziert den Stromdurchfluss während der Reinigung/Beschichtung und reduziert folglich den Stromverbrauch und verbessert die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens.
- b) Da die Bläschengröße und der Gesamtgehalt von Gas/Dampf des Schaums verschieden sein kann, wird ein zusätzliches Mittel zur Kontrolle über den Stromverbrauch des Verfahrens und die Intensität des Verfahrens bereitgestellt. Dies wiederum erlaubt Kontrolle über die Glätte oder Rauigkeit (die Topographie oder das Profil) der gereinigten oder beschichteten Oberfläche.
- c) Da der Schaum den gesamten Arbeitsspalt füllt, beinhaltet die elektrische Leitfähigkeit die gesamte Oberfläche der Anode und die gesamte Oberfläche des Werkstücks unter der Anode. Dies steht im Gegensatz zur Verwendung eines flüssigen Elektrolyts, wenn unabhängige Elektrolytströme auf das Werkstück auftreffen. Die Verwendung von Schaum verbessert folglich die Gleichförmigkeit des Verfahrens, sowohl in Bezug auf die behandelte Oberfläche als auch (wo zutreffend) die Erosion jedweder Opferanode. Der Stromfluss ist auch gleichförmiger, wobei er durch die Unterbrechung der Flüssigströme, die auftreten können, wenn ein flüssiger Elektrolyt verwendet und zum Beispiel Anodenlöcher blockiert werden, unbeeinflusst bleibt.
- d) Wenn Flüssigkeitsströme auf das Werkstück auftreffen, besteht eine Grenze hinsichtlich der Größe des Arbeitsspalt, der bei der praktischen Ausführung verwendet werden kann, weil die Flüssigkeitsströme auseinanderbrechen und die leitfähige Bahn zerstören. Dies tritt nicht auf, wenn der Schaum den Arbeitsspalt gleichmäßig ausfüllt, so dass sowohl kleinere als auch größere Arbeitsspalte verwendet werden können. Dem kommt eine große praktische Bedeutung zu, wie zum Beispiel bei der On-line-Reinigung von Stahlblech, wenn es nicht zweckmäßig ist, einen gleichmäßigen Arbeitsspalt aufrechtzuerhalten. Die größere Toleranz des Schaumverfahrens bezüglich Variationen im Arbeitsspalt stellt einen praktischen Vorteil unter solchen Bedingungen bereit.

**[0034]** Es ist nicht beabsichtigt, dass die vorstehend aufgelisteten Vorteile vollständig sind, sondern sie sollen erläutern, dass die Verwendung von Schaum anstelle von Flüssigkeit oder Gas/Dampf als das leitfähige Medium einen echten Vorteil in der Technologie der Elektropasma-Reinigung und Beschichtung darstellt.

**[0035]** Der Schaum kann zweckmäßigerweise durch Einspritzen eines wässrigen Elektrolyts in den Arbeitsspalt durch Löcher in einer erhitzten Anode dergestalt hergestellt werden, dass der Elektrolyt in dem Verfahren kocht und schäumt. Der Elektrolyt wird bevorzugt bis zu seinem Siedepunkt erhitzt, bevor er in den Arbeitsspalt geleitet wird.

**[0036]** Dieses vorherige Schäumen kann geeignet durch Anordnung des Anodenaufbaus dergestalt erreicht werden, dass er eine oder mehrere erhitzte Kammern enthält, durch welche der Elektrolyt der Reihe nach passiert, wobei die Kammern durch perforierte Platten getrennt sind, um die Passage des Elektrolyts von einer Kammer in eine andere und schließlich in den Arbeitsspalt zu ermöglichen.

**[0037]** Die Kammern selbst können durch den Betriebsstrom, der durch die Anode passiert, aber bevorzugt durch eine oder mehrere Heizvorrichtung(en), die sich in der/den Kammer(n) befinden, erhitzt werden.

**[0038]** In einer alternativen erfindungsgemäßen Ausführungsform wird eine Spannung an die Anode angelegt, und ein Elektrolyt wird an jedem zweckmäßigen Punkt, mit Ausnahme durch Löcher in der Anode, in den Arbeitsspalt gespritzt. Der Elektrolyt wird im Arbeitsspalt in Schaum umgewandelt, wobei er von seinem eigenen Heizwiderstand (oder anderweitig) und Kontakt mit den heißen Oberflächen von Anode und/oder Kathode veranlasst wird, zu kochen. Der Elektrolyt wird jedoch bevorzugt durch geeignete Mittel außerhalb des Arbeitsspalts in Schaum umgewandelt und dann dort hinein gespritzt.

**[0039]** Ungeachtet, ob der Schaum durch Löcher in der Anode oder anderweitig in den Arbeitsspalt eingeführt wird, ist es notwendig, Mittel zur Entfernung des verwendeten Schaums aus dem Arbeitsbereich bereitzustellen. Wenn das System offen ist, tritt dies natürlich auf, da Schaum von dem Werkstück in einen Sammelbehälter abläuft. Wenn der Arbeitsspalt eingeschlossen ist, wird eine Ablassöffnung zum Ablassen des verwendeten Schaums bereitgestellt. In den meisten Fällen kann der verbrauchte Schaum zu einer Flüssigkeit kondensiert, gereinigt, filtriert, regeneriert (z. B. durch Anpassung des pH oder der Salzkonzentration), erneut erhitzt und recycelt werden.

**[0040]** Das erfindungsgemäße Verfahren wird auf eine Weise betrieben, dass eine elektrische Lichtbogenentladung (Elektroplasma) an der Oberfläche des Werkstücks etabliert wird, Dies wird durch geeignete Anpassung der Betriebsparameter, wie zum Beispiel der Spannung, der Interelektrodentrennung, der Elektrolytströmungsrate in die Arbeitszone (ob in der Form von Flüssigkeit oder Schaum) und der Elektrolyttemperatur erreicht. Es kann auch vorteilhaft bei der Initiierung der Plasmaentladung in einer wässrigen Umgebung (Nicht-schaumumgebung) und dann zur Einführung des geschäumten Elektrolyts in den Arbeitsspalt verwendet werden. In einer geschlossenen Arbeitskammer (siehe nachstehend) kann zum Beispiel einem Pool aus flüssigem Elektrolyt ermöglicht werden, sich zwischen der Anode und dem Werkstück (Kathode) zu bilden, wodurch eine leitfähige Brücke zur Initiierung des Verfahrens und der Etablierung des gewünschten Plasmaregimes bereitgestellt wird.

**[0041]** Eine weitere erfindungsgemäße Ausführungsform wird durch Anordnung der Anode und des Bereichs des Werkstücks, die einer Behandlung unterzogen werden, auf eine Weise erreicht, dass sie in einem dicht verschlossenen Gehäuse liegen, welches den Effekt des Zurückhalten des Schaums aufweist. Dies macht die Gewährleistung leichter, dass der Schaum den Arbeitsspalt jederzeit vollkommen füllt und ermöglicht, dass die Schaumeinspritzungsrate reduziert werden kann. Sie ermöglicht auch einen Druck, der etwas höher als der Atmosphärendruck ist, der im Arbeitsbereich aufrechterhalten werden soll. Ein erhöhter Druck weist die Wirkung auf, dass er die Bläschengröße sowohl im Schaum als auch auf der Werkstückoberfläche reduziert und glattere gereinigte oder beschichtete Oberflächen herbeiführen kann.

**[0042]** Da eine wichtige erfindungsgemäße Applikation ihre Verwendung in kontinuierlichen Verfahren darstellt, worin sich das Werkstück kontinuierlich durch die Behandlungszone bewegt, muss das Gehäuse dem Werkstück ermöglichen, sich während der Aufrechterhaltung einer geeigneten Abdichtung zu bewegen. Dies kann unter Verwendung flexibler Gummidichtungen um das sich bewegende Werkstück herum erreicht werden.

**[0043]** Es besteht die Ansicht, dass die anhand des erfindungsgemäßen Verfahrens erreichten Reinigungswirkungen größtenteils (obwohl nicht ausschließlich) durch mikrozonales Schmelzen der Werkstückoberfläche auftritt. Kleine Wasserstoffbläschen und Dampf bilden sich an der Kathode und unterliegen aufgrund des hohen Potenzialgefälles, das sich über sie hinweg entwickelte, elektrischem Zusammenbruch. Während jedes Bläschen dem Zusammenbruch unterliegt, bildet sich kurz ein Mikrolichtbogen, der die Temperatur der Oberfläche in der Mikroregion (einer in Mikron gemessenen Region) anhebt und lokalisiertes Schmelzen der Oberfläche hervorruft. Das heißt, dass das mikrozonale Schmelzen der Oberfläche durch mikroelektrische Plasmaentladungen zwischen positiven Ionen im Schaum auftritt, die in der Nähe der Oberfläche des Werkstückes und der Oberfläche des Werkstückes konzentriert sind. Nachdem Mikroentladung aufgetreten ist, verfestigt sich die Oberfläche rasch wieder.

**[0044]** Das erfindungsgemäße Verfahren kann auf verschiedene Weisen zur Reinigung oder Beschichtung einer Seite oder beider Seiten eines Gegenstandes gleichzeitig durch die Verwendung mehrerer Anoden, die in Bezug auf das Werkstück geeignet positioniert sind, verwendet werden. Jede Gestalt oder Form eines Werkstücks, wie zum Beispiel Blech, Platte, Draht, Stab, Schlauch, Rohr oder komplexe Formen, können gegebenenfalls unter Verwendung geformter Anodenoberflächen zur Bereitstellung eines geeigneten gleichförmigen Arbeitsabstands behandelt werden. Sowohl die statischen als auch die sich bewegenden Werkstücke können erfindungsgemäß behandelt werden.

**[0045]** Die vorliegende Erfindung wird weiter unter Bezugnahme auf [Fig. 1](#) bis [Fig. 4](#) der beiliegenden Zeichnungen beschrieben, worin:

**[0046]** [Fig. 1](#) schematisch einen Anodenaufbau zur Bildung von Schaum erläutert;

**[0047]** [Fig. 2](#) den kontinuierlichen Betrieb des erfindungsgemäßen Verfahrens erläutert;

**[0048]** [Fig. 3](#) die Oberfläche eines gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren behandelten Werkstücks erläutert; und

**[0049]** [Fig. 4](#) eine weitere Ausführungsform des kontinuierlichen Betriebs des erfindungsgemäßen Verfahrens erläutert.

**[0050]** Unter Bezugnahme auf [Fig. 1](#) der Zeichnungen umfasst ein Anodenaufbau **1** eine perforierte Anodenplatte **2**, die auf eine Oberfläche eines als die Kathode fungierenden Werkstücks **3** sieht. Der Anodenaufbau **1**

weist eine erste Kammer **4** auf, enthaltend einen flüssigen Elektrolyt, der von einer zweiten Kammer **5**, enthaltend Schaum, mittels eines perforierten Kammertrennelementes **6** und einem beheizten Sieb mit einem Temperaturregler **7** getrennt ist. Der flüssige Elektrolyt wird über ein Einlassverteilungsrohr **8** an die erste Kammer **4** gespeist. Der flüssige Elektrolyt wird mittels des beheizten Siebs **7** erhitzt und veranlasst zu kochen und schäumen. Der Schaum, der sich in der zweiten Kammer **5** ansammelt, passiert durch die Löcher in der perforierten Anodenplatte **2**, um den Spalt **9** zwischen der Anodenplatte **2** und dem Werkstück **3** zu füllen. Das Werkstück **3** ist auf Rollen **10** positioniert, so dass es, wenn es behandelt wird, von unter der Anodenplatte **2** bewegt werden kann. Die Rollen **10** wirken auch zum Erden des Systems.

**[0051]** Unter Bezugnahme auf [Fig. 2](#) der Zeichnungen ist ein System zur kontinuierlichen Behandlung beider Seiten eines sich bewegenden Werkstücks ersichtlich. Das System funktioniert in vertikaler Richtung. Ein Werkstück **11**, das als eine Kathode wirkt, wird anhand von zwei Rollensets **12** und **13**, die das Werkstück nicht nur führen, sondern auch zum Erden des Systems wirken, in vertikaler Richtung geführt. Das Werkstück **11** wird anhand von Rollen **12** durch flexible Gummidichtungen **14** in eine Behandlungszone geführt, die mit Anodenaufbauten **15** auf beiden Seiten des Werkstücks vorgesehen ist. Die Anodenaufbauten **15** sind im Wesentlichen gemäß der in [Fig. 1](#) gezeigten Anordnung konstruiert, außer dass sie vertikal positioniert sind. Elektrolyt wird durch die Einlässe **16** in die Anodenaufbauten **15** geleitet und wird veranlasst, darin zu schäumen. Der Schaum wird aus den Aufbauten **15** in der wie gezeigten Richtung in die Arbeitsspalten **17** auf beiden Seiten des Werkstücks geleitet. Das Werkstück wird während der Behandlung (durch Spulen oder ein anderes geeignetes Mittel) über die Führungsrollen **13** via Gummidichtungen **18** bewegt, die den Schaum in der Behandlungszone enthalten, während sich das Werkstück **11** bewegt.

**[0052]** [Fig. 3](#) erläutert die charakteristisch narbige Oberfläche eines Werkstücks, das erfindungsgemäß behandelt wurde. Die Oberfläche weist eine charakteristische narbige Oberfläche auf, bestehend aus kleinen Kratern, die der Größe der Mikrozonen entsprechen, die während des Reinigungsverfahrens geschmolzen werden.

**[0053]** Unter Bezugnahme auf [Fig. 4](#) der Zeichnungen, umfasst der Apparat ein zu behandelndes Werkstück **20**, eine elektrische Stromquelle **21**, eine Reaktionskammer **22**, einen Behälter für Elektrolyt **23** und eine Zuleitungsrohrleitung **24**. Die Reaktionskammer **22** ist an den positiven Pol der elektrischen Stromquelle **21** angeschlossen und ist mit Kammern **25** zur Herstellung des Schaums konstruiert. Die Kammern **25** besitzen Öffnungen **26** im Boden **27**. Die Öffnungen **26** stehen in Kommunikation mit den Behandlungsabschnitten **28**. Der Apparat schließt elektrisch isolierte Rollen **29** ein, welche den Behandlungsabschnitt **28** schließen, Vorrichtungen **30** für den Druckablass durch die Bypässe, die mit Ventilen ausgerüstet sind, in den Behälter **23**, geerdete Metallrollen **31**, eine Isolierummantelung **32**, eine Schutzkammer **33** und eine Auslassrohrleitung **34**. Das zu behandelnde Werkstück **20** ist an den negativen Pol der elektrischen Stromquelle **21** angeschlossen und wird durch die Behandlungszone **28** gezogen. Der Elektrolyt wird aus dem Behälter **23** und die Zuleitungsrohrleitung **24**, die mit einer Pumpe (nicht gezeigt) ausgerüstet ist, an Kammern **25** der Reaktionskammer **22** geleitet. Aus dem Elektrolyt wird Schaum hergestellt, der dann durch Öffnungen **26** in der Platte **27** in die Behandlungszone **28** passiert, wo eine Oberflächenmodifikation des Werkstücks mittels mikrozonalen Umschmelzens der Oberflächenschicht durch die Applikation von Mikroelektroplasmaentladungen zwischen den in der Nähe der Oberfläche des Werkstücks **20** unter Behandlung konzentrierten Ionen stattfindet. Der Schaum wird in der Behandlungszone **28** mittels eines durch elektrisch isolierte Rollen **29** gebildeten Verschlusses zurückgehalten. Überschüssiger Schaum wird abgeleitet, und der Druck wird durch Öffnungen **30** via Bypässe, die mit Ventilen ausgerüstet sind, in den Elektrolytbehälter **23** abgelassen. Um den negativen Pol der Stromquelle **21** an das Werkstück unter Behandlung **20** anschließen zu können, werden geerdete Metallrollen **31** verwendet. Um die Reaktionskammer **22** elektrisch zu isolieren, wird sie in eine Isolierummantelung **32** gegeben. Die Reaktionskammer **22** mit der Ummantelung **32** wird zum Schutz gegen Auslaufen von Elektrolyt und Schaum und um bei der Verbesserung des Rezyklierens des Elektrolyts zu helfen, in eine Schutzkammer **33** gegeben. Der Elektrolyt, der sich in der Schutzkammer **33** akkumuliert, wird über Ablassrohrleitung **34** in den Behälter **23** abgeleitet.

**[0054]** Die vorliegende Erfindung wird weiter unter Bezugnahme auf die folgenden Beispiele beschrieben.

#### Beispiel 1

**[0055]** Ein kontinuierliches kohlenstoffarmes Stahlband, das auf beiden Seiten mit einer Schicht von schwarzem Walzsinter bedeckt war, wurde bei einer beständigen Geschwindigkeit von ca. 1 cm/sec vertikal durch den in [Fig. 2](#) gezeigten geschlossenen Apparat geleitet. Die Breite des Bandes betrug 10 cm und die Arbeitsfläche von jeder Anode betrug 10 cm × 10 cm.



**[0056]** Ein Elektrolyt, bestehend aus einer 10%igen Lösung aus Natriumbicarbonat in Wasser wurde auf 90 °C vorerhitzt und veranlasst, durch Löcher in den Anodenplatten, die sich auf beiden Seiten des Bandes befinden, in den Arbeitsspalt (Abstand von Anode zu Werkstück) von 10 cm zu fließen.

**[0057]** Initial wurde der Elektrolyt am Boden der Kammer gepoolt, wobei er teilweise durch die Gummidichtungen zurückgehalten wurde. Es wurde eine Gleichspannung an der Anode angelegt (wobei das Band geerdet wurde) und aufgrund des hohen Stromflusses von über 40 Amp automatisch auf ca. 10 V begrenzt wurde.

**[0058]** Die Strömungsrate des Elektrolyts wurde schrittweise gesenkt, bis ihn eine Widerstandserhitzung des gepoolten flüssigen Elektrolyts am Boden der Kammer zum Kochen und Schäumen veranlasste, wobei die Arbeitsspalten auf beiden Seiten des Bandes von oben bis unten mit Schaum gefüllt wurden.

**[0059]** Zur gleichen Zeit nahm der Stromfluss (unter dem Einfluss der intelligenten Stromversorgung) abrupt ab, wobei die Gleichspannung automatisch auf einen voreingestellten Maximalwert von 150 V anstieg. Auf den Oberflächen des Stahlbandes bildete sich Plasma (wobei Sicht durch Plexiglas-Seitenfenster in der Kammer bereitgestellt wurde).

**[0060]** Das Verfahren stabilisierte sich unter dieser Bedingung mit einem Stromfluss von ca. 20 Amp durch jede Anode. Folglich lag der Energieverbrauch bei ca. 30 Watt/cm<sup>2</sup> der behandelten Oberfläche. Dies ließ sich mit einem Energieverbrauch von ca. 50 Watt/cm<sup>2</sup> für ein Verfahren vergleichen, das in einem Apparat, wie zum Beispiel dem in [Fig. 1](#) veranschaulichten, aber unter Verwendung von Strömen aus flüssigem Elektrolyt ohne Schäumen durchgeführt wurde.

**[0061]** Die Oberfläche des Stahlbandes wurde auf beiden Seiten gereinigt, wobei der Walzsinter vollkommen entfernt und unter Verwendung von sauberem heißem Wasser frei von Elektrolytkontamination gewaschen wurde.

**[0062]** Die Oberfläche bestand aus einer dünnen Schicht (einige Mikron dick) aus  $\alpha$ -Eisen, von dem der Kohlenstoff entfernt worden war, wobei eine passivierte (oxidationsbeständige) Oberfläche geschaffen wurde.

#### Beispiel 2

**[0063]** Ein kontinuierliches kohlenstoffarmes Stahlband wie in Beispiel 1 wurde horizontal durch einen Apparat wie in [Fig. 1](#) gezeigt, bei einer Geschwindigkeit von ca. 1 cm/sec geleitet. Ein Elektrolyt, wie in Beispiel 1 beschrieben, wurde veranlasst, durch Löcher in der Anodenplatte in den Arbeitsspalt über dem Streifen zu fließen, der bei 10 mm eingestellt war. Eine Gleichspannung von 200 V wird an der Anode angelegt. Initial bestand der Elektrolyt aus Flüssigströmen, und es wurde auf der Oberfläche des Bandes durch schrittweises Reduzieren der Strömungsrate des Elektrolyts ein stabiles Plasma etabliert.

**[0064]** Die interne Heizvorrichtung im Anodenaufbau wurde eingeschaltet, wobei die Temperatur des Elektrolyts angehoben wurde und ihn dazu veranlasste, den Arbeitsspalt weitgehend in der Form eines Schaums zu füllen. Während des Verfahrensablaufs wurde der Arbeitsspalt, ohne das Plasma zu zerstören oder das Reinigungsverfahren zu unterbrechen, auf 20 mm erhöht.

**[0065]** Ohne einen schäumenden Elektrolyt (das heißt, unter Verwendung von lediglich flüssigen Elektrolytströmen) veranlasst eine derartige Vergrößerung des Arbeitsspalts, dass das Plasma gequenchet wird. Folglich können mit einem schäumenden Elektrolyt größere Arbeitsabstände als mit einem flüssigen Elektrolyt verwendet werden.

**[0066]** Die Oberfläche des Stahlbandes wurde auf einer Seite gereinigt, wobei der Walzsinter vollkommen entfernt wurde.

#### Beispiel 3

**[0067]** Ein stationäres Kupferblech wurde in einem Apparat, wie in [Fig. 2](#) gezeigt, durch Reinigen von Oxid befreit. Bei dem Verfahren handelte es sich weitgehend um das wie in Beispiel 1 beschriebene, außer dass der Elektrolyt aus einer gesättigten Lösung aus auf 90 °C erhitztem Natriumchlorid bestand. In diesem Fall war das Elektrolytablassrohr durch eine Klemme eingeschränkt, um einen leicht erhöhten Druck in der eingeschlossenen Arbeitskammer von schätzungsweise bei 112 kPa zu erzeugen.

**[0068]** Das Kupferblech wurde gereinigt und die resultierende Oberfläche war glatter als die unter Verwendung eines flüssigen Elektrolyts bei Atmosphärendruck und ohne Schäumen in einem Apparat hergestellte, wie zum Beispiel dem in [Fig. 1](#) gezeigten.

#### Beispiel 4

**[0069]** Ein kohlenstoffreicher Stahldraht mit einem Durchmesser von 3 mm mit „Patentsinter“ wurde in einem Apparat ähnlich dem in [Fig. 2](#) hiervon, aber horizontal angeordnet, gereinigt, wobei das Werkstück (Draht) auch horizontal lief.

**[0070]** Zum Bilden von „Patentsinter“ wurde ein Draht, wie gezogen, über 900 °C erhitzt und dann in geschmolzenem Blei bei 510 °C gequenchet. Das „Patentverfahren“ produzierte einen dünnen, fest anhaftenden Sinter, der hauptsächlich aus  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  bestand und in Schwefelsäure nicht löslich war. Diese Behandlung produzierte folglich einen viel zäheren Sinter als üblich und stellt eine besondere Herausforderung an jedes Verfahren dar, das zu seiner Entfernung bestimmt ist.

**[0071]** Der Draht wurde statisch unter den folgenden Bedingungen zur Entfernung des Sinters gereinigt.

Elektrolyttemperatur:	90 °C (Temperatur der Flüssigkeit vor dem Schäumen)
Elektrolytzusammensetzung:	10%iges wässriges $\text{NaHCO}_3$ (pH 7,64)
Elektrolytströmungsrate:	0,25 g/min
Arbeitskammer-Druck:	17,2 bis 62,0 kPa

(2,5 psi bis 9,0 psi)

**[0072]** Die beiden Anoden wurden aus Edelstahl hergestellt. Die Anodenplatte war 53 mm und 228 mm lang, wobei sie eine Arbeitsoberfläche von ca. 12000 mm<sup>2</sup> ergab. Der Abstand von jeder Anodenfläche zum Draht betrug 22,0 mm.

**[0073]** Der Elektrolyt trat durch eine 6,0 mm große Öffnung am Boden in der Mitte der Arbeitskammer in die Arbeitskammer ein. Ein einzelner 6,0 mm großer Auslass wurde in dem oberen linken Teil des Arbeitsraumes bereitgestellt. Dieser Ausgang wies einen Druckmesser und ein Kontrollventil auf.

**[0074]** Im Bodenteil der Arbeitskammer wurden zwei Keramikheizvorrichtungen von 500 Watt untergebracht, die zum Kochen des (initial) flüssigen Elektrolyts verwendet wurden, um auf diese Weise die Arbeitskammer mit Schaum zu füllen. Ein Sichtglas wurde zur Ermittlung des Flüssigkeitsspiegels über den Heizvorrichtungen und unter dem Draht verwendet.

**[0075]** Das Plasma wurde bei 140 V Gleichstrom durch Anpassung der Strömungsrate des Elektrolyts begonnen. Das Schäumen wurde begonnen. Die Betriebsspannung wurde dann in Stufen von 10 Volt reduziert, bis die Spannung 80V erreichte, an welchem Punkt das Plasma gelöscht wurde. Der Strom reichte von 5 Amp bei 140 V bis zu maximal 13 Amp bei 80 V. Das Verfahren funktionierte bei der erhöhten Spannung genauso gut wie bei der niedrigeren Spannung. Bei erhöhter Spannung war der Druck in der Arbeitskammer größer als bei niedrigerer Spannung.

**[0076]** Der Draht war ursprünglich mit einem glatten, gleichmäßigen schwarzen Sinter bedeckt. Nach Exposition gegenüber dem Plasma für ca. 1 Sekunde wies der Draht eine reine, mattweiße Oberfläche auf, und der gesamte Sinter wurde entfernt.

#### Beispiel 5

**[0077]** Ein kohlenstoffarmes Stahlband wurde, wie in Beispiel 1, auf beiden Seiten mit Zink im in [Fig. 2](#) gezeigten Apparat beschichtet. Das Band wurde stationär gehalten und für eine Zeitdauer von 10 Sekunden behandelt. Der Elektrolyt war eine 80%ige gesättigte Lösung aus Zinksulfat in Wasser, und die Betriebsbedingungen waren weitgehend wie in Beispiel 1 beschrieben. Die resultierende beschichtete Probe wurde der Untersuchung mittels REM zur Ansicht im Querschnitt und mittels EDAX der beschichteten Oberfläche unterzogen.

**[0078]** Die Zinkbeschichtung war fest und variierte von einer Dicke von 4 bis 7 Mikron. Die beschichtete Oberfläche ergab ein klares Diffraktionsmuster, das nur die Peaks von  $\alpha$ -Eisen und Zink enthielt (es wurden keine

Anzeichen von Zinkoxid nachgewiesen). Es wurde ermittelt, dass die metallurgische Zusammensetzung der Zinkbeschichtung (in Masse-%) bei 96 % Zink und 4,0 % Fe lag.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Reinigung einer elektrisch leitfähigen Oberfläche durch Anordnung der Oberfläche dergestalt, dass sie die Kathode einer Elektrolysenzelle bildet, worin die Anode bei einer Gleichspannung über 30 V aufrechterhalten wird und eine elektrische Lichtbogenentladung (Elektroplasma) an der Oberfläche des Werkstücks durch geeignete Anpassung der Betriebsparameter etabliert wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Arbeitsspalt zwischen der Anode und der Kathode mit einem elektrisch leitfähigen Medium gefüllt ist, bestehend aus einem Schaum, umfassend eine Gas-/Dampfphase und eine Flüssigphase.
2. Verfahren nach Anspruch 1, worin das elektrisch leitfähige Medium positive Ionen der einen oder mehrerer Spezies enthält, die zur Bildung der Beschichtung erforderlich sind.
3. Verfahren nach Anspruch 2, worin sich die positiven Ionen zur Bildung einer Beschichtung auf dem Werkstück von einer oder mehreren Opferanode(n) herleiten.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, worin sich die zur Bildung einer Beschichtung auf dem Werkstück verwendeten positiven Ionen sowohl von einer oder mehreren Opferanode(n) als auch einer Ausgangszusammensetzung des elektrisch leitfähigen Mediums herleiten.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, worin der Schaum mindestens 30 Gew.-% Gas/Dampf umfasst.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, worin der Schaum durch ein Loch oder mehrere Löcher in der Arbeitsoberfläche der Anode in den Arbeitsspalt eingeführt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, worin der Schaum in den Arbeitsspalt mit Ausnahme durch die Anode eingeführt wird.
8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, worin der elektrisch leitfähige Schaum durch Kochen eines wässrigen, elektrisch leitfähigen Elektrolyts gebildet wird.
9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, worin der Schaum durch mechanische Mittel gebildet wird.
10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, worin die Schaumbildung, Eigenschaften und Stabilität durch Zufügen eines oder mehrerer Schaummittel(s), oberflächenaktiven Mittel(s), Viskositätsmodifikationsmittel(s) oder eines anderen Zusatzstoffs zum elektrisch leitfähigen Medium kontrolliert werden.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, worin die Anode einen Aufbau mit einer oder mehreren beheizten Kammer(n) umfasst, worin der Schaum gebildet wird und worin der Schaum durch ein Loch oder mehrere Löcher in der Anodenoberfläche in den Arbeitsspalt gespritzt wird.
12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, worin der Arbeitsspalt zum Zurückhalten des Schaums eingeschlossen ist.
13. Verfahren nach Anspruch 12, worin der Druck im Arbeitsspalt über dem Atmosphärendruck aufrechterhalten wird.
14. Apparat zum Reinigen und/oder Beschichten einer elektrisch leitfähigen Oberfläche, welcher Folgendes umfasst:
  - (i) eine abgedichtete Behandlungszone mit einem Anodenaufbau oder mehreren Anodenaufbauten, die in Bezug auf die zu behandelnde Oberfläche oder zu behandelnden Oberflächen geeignet angeordnet ist/sind, wobei der oder jeder Anodenaufbau Folgendes umfasst: eine perforierte Anodenplatte, die sich in Kommunikation mit einer Kammer befindet, die zur Aufnahme eines Stroms eines flüssigen Elektrolyts angepasst ist, Mittel zur Weiterleitung des flüssigen Elektrolyts an die genannte Kammer und Mittel zur Umwandlung des in der genannten Kammer aufgenommenen flüssigen Elektrolyts in einen Schaum;
  - (ii) Mittel zur kontinuierlichen Bewegung eines zu behandelnden Werkstücks durch die Behandlungszone zwi-

schen den Anodenaufbauten;

(iii) Mittel zum Öffnen und Schließen der Behandlungszone und

(iv) Mittel zur Kontrolle der Zuleitung und Entfernung von Schaum aus der Behandlungszone; und  
worin die Kammer mittels eines perforierten Kammertrennelementes und eines beheizten Siebs, das im Betrieb den Elektrolyt veranlasst zu kochen und den Elektrolyt dadurch in einen Schaum umwandelt, in zwei Abschnitte unterteilt ist.

15. Apparat nach einem der Ansprüche 14, weiter umfassend ein Mittel zur kontinuierlichen Bewegung eines zu behandelnden Werkstücks unter die perforierte Anodenplatte des Anodenaufbaus.

16. Apparat nach Anspruch 14 oder 15, worin die Behandlungszone mittels flexibler Dichtungen abgedichtet ist.

17. Apparat nach einem der Ansprüche 14 bis 16, worin die Behandlungszone mit mindestens einem Einlass zum Einspritzen des Schaums in die Behandlungszone und mindestens einem Auslass zur Entfernung des Schaums aus der Behandlungszone vorgesehen ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

FIG. 1.

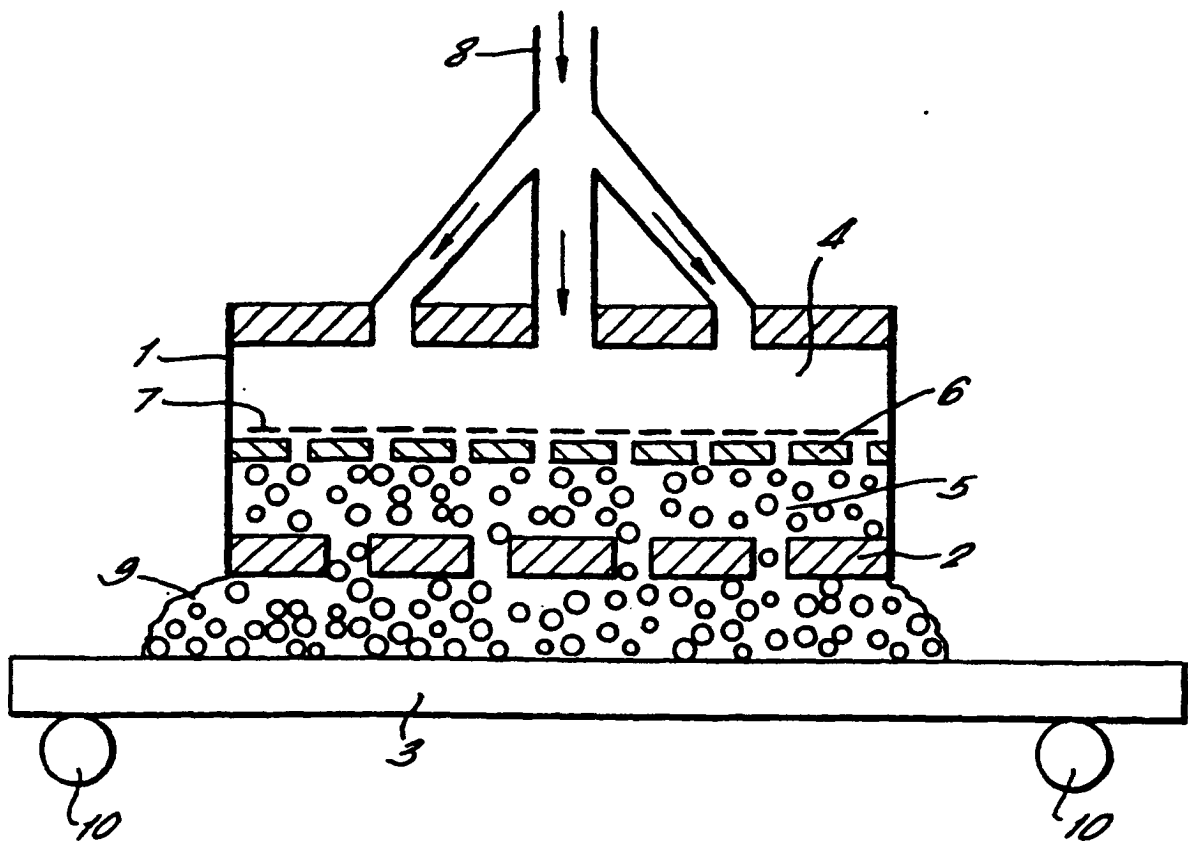


FIG. 2.

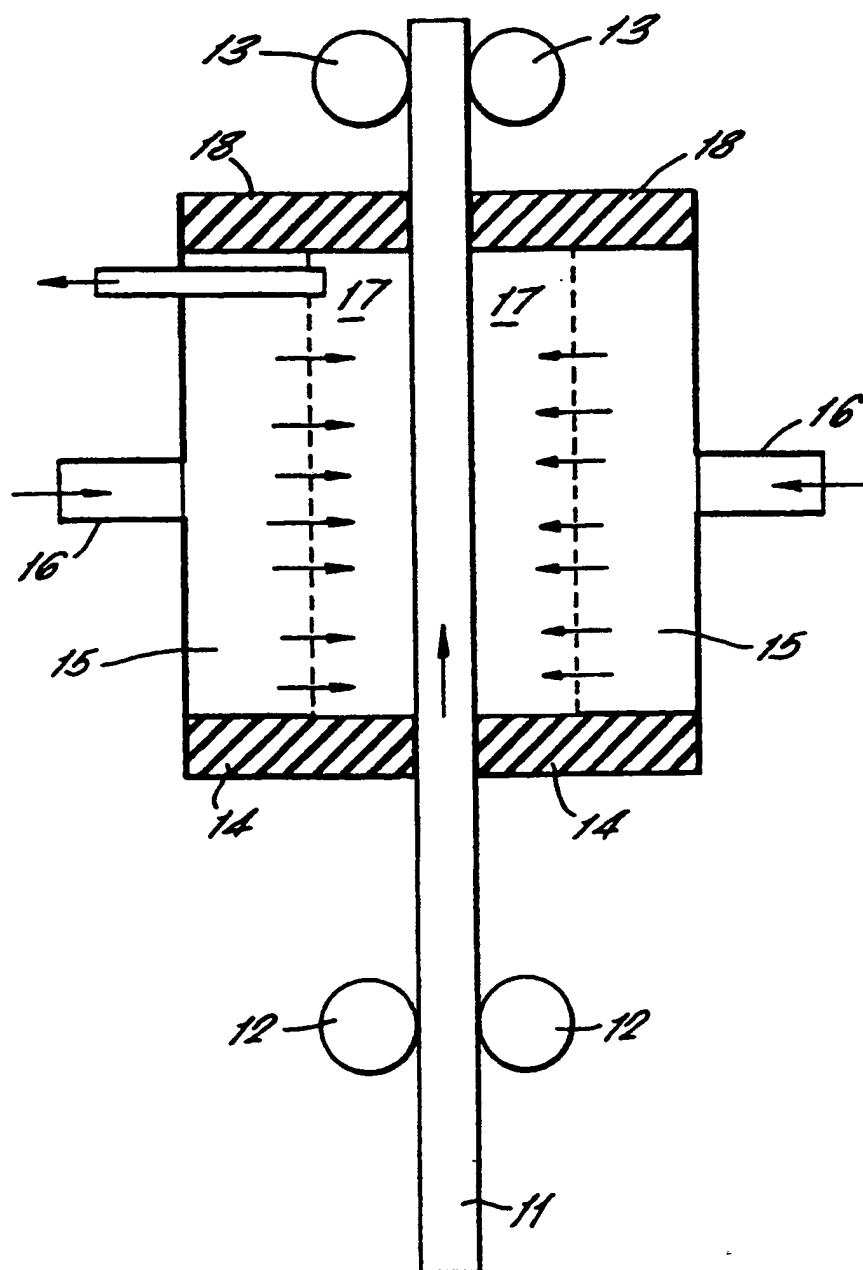


FIG. 3.

