



(11) **EP 1 902 161 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
29.08.2012 Patentblatt 2012/35

(51) Int Cl.:
C25D 15/00 ^(2006.01) **C25D 5/08** ^(2006.01)
C25D 17/10 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **06777644.3**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2006/064014

(22) Anmeldetag: **07.07.2006**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2007/006752 (18.01.2007 Gazette 2007/03)

(54) **ELEKTRODENANORDNUNG UND VERFAHREN ZUM ELEKTROCHEMISCHEN BESCHICHTEN EINER WERKSTÜCKOBERFLÄCHE**

ELECTRODE ARRANGEMENT AND METHOD FOR THE ELECTROCHEMICAL COATING OF A WORKPIECE SURFACE

ENSEMBLE D'ELECTRODES ET PROCEDE DE REVETEMENT ELECTROCHIMIQUE DE LA SURFACE D'UNE PIECE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorität: **12.07.2005 DE 102005033857**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
26.03.2008 Patentblatt 2008/13

(73) Patentinhaber: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
• **JENSEN, Jens Dahl**
14050 Berlin (DE)
• **KRÜGER, Ursus**
14089 Berlin (DE)
• **PYRITZ, Uwe**
13599 Berlin (DE)
• **SCHNEIDER, Manuela**
13595 Berlin (DE)
• **WINKLER, Gabriele**
13587 Berlin (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 709 493 EP-A- 0 748 883
EP-A- 1 416 068

EP 1 902 161 B1

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

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum elektrochemischen Beschichten einer Werkstückoberfläche, wobei mikro- oder nanoskalige Partikel in die Beschichtung eingebracht werden. Daneben betrifft die Erfindung eine Gegenelektrodenanordnung zum elektrochemischen Behandeln eines Werkstückes, bei dem das Werkstück eine Arbeitselektrode bildet.

[0002] Derartige Verfahren und Vorrichtungen, die etwa beim Neuoder Wiederbeschichten von Turbinenschaufeln mit einer Schutzschicht gegen Korrosion und/oder Oxidation zur Anwendung kommen können, sind bspw. aus EP 0 748 883 A1 und EP 1 094 134 A1 bekannt.

[0003] Die EP 0 748 883 A1 beschreibt ein Verfahren zum Herstellen von galvanischen Schichten, bei dem das zu beschichtende Bauteil in ein galvanisches Bad eingebracht wird. In das galvanische Bad werden Nanopartikel eingebracht, die beim Galvanisieren in die Beschichtung eingebaut werden. Um eine gleichmäßige Verteilung der Nanopartikel im galvanischen Bad zu erzielen, wird das Bad ständig umgerührt. Nur so kann eine homogene Verteilung der Nanopartikel in der Beschichtung gewährleistet werden.

[0004] In der EP 1 094 134 A1 ist eine elektrochemische Vorrichtung zum Entfernen einer Beschichtung von einem Werkstück beschrieben. Die Vorrichtung umfasst einen Behälter, in den ein Elektrolyt eingeführt werden kann. Das zu bearbeitende Werkstück wird als Arbeitselektrode in Form einer Anode in das elektrolytische Bad eingebracht. Im Elektrolyten ist außerdem eine Anzahl von Kathoden angeordnet, welche Gegenelektroden zur Anode bilden. Beim elektrochemischen Bearbeiten wird eine Spannung zwischen dem Werkstück als Arbeitselektrode und den Gegenelektroden aufgebaut. Die Gegenelektroden können speziell im Hinblick auf das zu bearbeitende Werkstück geformt sein.

[0005] Gemäß der EP 0 709 493 A2 ist ein Verfahren zum galvanischen Herstellen von Schichten bekannt, bei dem das Bauteil mit einer Lösung besprüht wird, in der Nanopartikel dispergiert sind. Dabei wird das zu beschichtende Bauteil mit einem einzelnen Strahl aus einer Düse besprüht. Die Menge an eingebrachten Partikeln kann über den Strahldruck an der Düse beeinflusst werden.

[0006] Gemäß der EP 1 416 068 A2 ist es weiter bekannt, dass ein Verfahren zum galvanischen Herstellen von Schichten verwendet werden kann, bei dem das zu beschichtende Bauteil in einen Elektrolyt eingetaucht wird. In diesem Elektrolyt können Nanopartikel dispergiert werden, so dass diese in die Schicht auf dem zu beschichtenden Bauteil eingebaut werden.

[0007] Außerdem gibt es auch noch andere Beschichtungsverfahren. Gemäß der EP 559 608 A2, der US 4,027,366 und der LU 67358 A1 sind Pulverbeschichtungsverfahren bekannt, bei denen das Beschichtungspulver durch Düsen auf die Oberfläche des Werkstückes aufgebracht wird. Um die Abscheidung der Pulverpartikel

zu verbessern, können die Düsenanordnung sowie das Werkstück mit einer unterschiedlichen Ladung versehen werden. Hierdurch werden auch die aus der Düsenanordnung austretenden Beschichtungspartikel geladen, wodurch eine elektrostatische Anziehung derselben auf der zu beschichtenden Oberfläche erreicht wird.

[0008] Gegenüber diesem Stand der Technik ist es Aufgabe der Erfindung, ein alternatives Verfahren zum elektrochemischen Beschichten eines Werkstückes mit einer mikro- oder nanoskalige Partikel enthaltenden Beschichtung zur Verfügung zu stellen. Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Anordnung zum Beschichten eines Werkstückes mit einer Gegenelektrodenanordnung zur Verfügung zu stellen, die sich mit besonders hoher Flexibilität einsetzen lässt und mit der das erfindungsgemäße Verfahren durchführbar ist.

[0009] Die Aufgabe wird durch ein Verfahren nach Anspruch 1, und durch eine Gegenelektrodenanordnung nach Anspruch 7 gelöst. Die abhängigen Ansprüche enthalten vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

[0010] Im erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt ein elektrochemisches Beschichten einer Werkstückoberfläche, wobei mikro- oder nanoskalige Partikel in die Beschichtung eingebracht werden. Während des Beschichtens werden mehrere Strahlen eines Strahlmediums auf die Werkstückoberfläche gerichtet, wobei das Strahlmedium die einzubringenden mikro- oder nanoskaligen Partikel umfasst. Mit den Strahlen lassen sich die mikro- oder nanoskaligen Partikel gezielt in die Nähe der zu beschichtenden Werkstückoberfläche bringen, ohne dass dazu zuvor ein galvanisches Bad mit den mikro- oder nanoskaligen Partikeln angesetzt werden muss. Die Partikel werden beim Beschichten alleine durch die Strahlen in die Nähe der zu beschichtenden Oberfläche gebracht, wobei auf Grund der Vielzahl der Strahlen auch die homogene Beschichtung größerer Oberflächeninhalte oder komplizierter Geometrien gelingt. Ein ständiges Rühren des galvanischen Bades ist hierbei nicht nötig.

[0011] In einer Ausführungsform des Verfahrens wird das Strahlmedium alleine von den mikro- oder nanoskaligen Partikeln gebildet. In einer alternativen Ausführungsform sind die mikro- oder nanoskaligen Partikel in einer elektrolytischen Behandlungslösung dispergiert. In dieser Ausführungsform wird das Strahlmedium von der Behandlungslösung mit den darin dispergierten Partikeln gebildet.

[0012] Die Menge an in die Beschichtung eingebrachten mikro- oder nanoskaligen Partikeln kann im erfindungsgemäßen Verfahren über den Strahldruck, also der Druck, mit dem das Strahlmedium der Oberfläche zugeführt wird, eingestellt werden. Hierbei kann insbesondere ein kontinuierlicher oder ein pulsierender Druckverlauf zur Anwendung kommen. Über eine geeignete Druckregelung kann so die Anzahl an eingebauten Partikeln erhöht oder verringert werden.

[0013] Wenn der Strahldruck während des elektrochemischen Beschichtens variiert wird, kann ein Gradient der Partikeldichte in der elektrochemisch hergestellten

Beschichtung oder eine Beschichtung mit mehreren Lagen, die sich durch ihre Partikeldichten voneinander unterscheiden, erzeugt werden. Zum Herstellen des Gradienten wird hierbei die Druckamplitude kontinuierlich variiert, während zum Herstellen einer Multilagenbeschichtung die Druckamplitude sprunghaft variiert wird.

[0014] Eine Multilagenbeschichtung lässt sich auch durch Variieren der Zusammensetzung des Strahlmediums während des Beschichtens erzeugen. So ist es beispielsweise möglich, während des Beschichtens von mikro- oder nanoskaligen Partikeln einer Sorte zu mikro- oder nanoskaligen Partikeln einer anderen Sorte überzugehen. Dieser Übergang kann entweder fließend oder sprunghaft erfolgen. Bei einem fließenden Wechsel der Partikelsorte liegt in der fertiggestellten Beschichtung ein fließender Übergang von der einen Partikelsorte zur anderen Partikelsorte vor. Wenn das Umstellen der Strahlzusammensetzung dagegen sprunghaft erfolgt, so lässt sich damit eine Beschichtung mit mehreren Lagen erzeugen, wobei sich die einzelnen Lagen durch die Art der Mikro- oder Nanopartikel voneinander unterscheiden. Die Variation der Strahlzusammensetzung kann auch mit einer Variation des Strahldruckes kombiniert werden, so dass neben der Art der eingebauten Partikel auch deren Dichte in der fertigen Beschichtung variiert.

[0015] Insgesamt erhöht das erfindungsgemäße Verfahren die Flexibilität beim Herstellen von Beschichtungen mit eingelagerten mikro- oder nanoskaligen Partikeln. Die Beschichtungseigenschaften können während des Herstellens der Beschichtung gezielt verändert werden. So sind völlig neuartige Schichtsysteme möglich. Auch lässt sich die Prozessdauer verkürzen, da nicht erst ein neues elektrochemisches Bad angesetzt werden muss, wenn beispielsweise ein Mehrschichtsystem hergestellt werden soll, in dem sich die einzelnen Schichten durch die Art der mikro- oder nanoskaligen Partikel voneinander unterscheiden.

[0016] Eine erfindungsgemäße Anordnung zum Beschichten eines Werkstückes mit einer Gegenelektrodenanordnung zum elektrochemischen Behandeln eines Werkstückes, die das Durchführen des erfindungsgemäßen Verfahrens ermöglicht, umfasst eine Anzahl von Prozesselektroden, wobei das Werkstück eine Arbeitselektrode bildet. Die Gegenelektrodenanordnung umfasst weiterhin eine Prozessmediumzufuhreinrichtung zum Zuführen eines Prozessmediums, welches insbesondere mikro- oder nanoskalige Partikel umfassen kann, zu den Prozesselektroden.

[0017] Die Prozesselektroden sind als rohrartige Elemente mit sich in ihrem Inneren erstreckenden Kanälen ausgebildet. Sie weisen jeweils ein der Prozessmediumzufuhreinrichtung zugewandtes Ende und ein von der Prozessmediumzufuhreinrichtung abgewandtes Ende mit einer darin angeordneten Öffnung auf. Im Bereich der der Prozessmediumzufuhreinrichtung zugewandten Enden der rohrartigen Elemente stehen die Kanäle jeweils mit der Prozessmediumzufuhreinrichtung in Verbindung. Am von der Prozessmediumzufuhreinrichtung

abgewandten Ende der rohrartigen Elemente münden die Kanäle in die Öffnungen der Prozesselektroden.

[0018] Die Ausgestaltung der Prozesselektroden als rohrförmige Elemente und die darin angeordneten Kanäle ermöglichen es, ein Prozessmedium wie etwa mikro- oder nanoskalige Partikel oder ein Gemisch aus einer chemischen Behandlungslösung und darin dispergierten mikro- oder nanoskaligen Partikeln als ein Strahlmedium in Form eines Strahls gezielt in den Bereich zwischen den Prozesselektroden und der Arbeitselektrode als dem Werkstück einzubringen. Auf diese Weise kann ein effektiver Einsatz der mikro- oder nanoskaligen Partikel beim Beschichten erfolgen.

[0019] Da über die Prozessmediumzufuhreinrichtung verschiedene Prozessmedien zugeführt werden können, ohne dass dazu ein Unterbrechen des Beschichtungsprozesses nötig wäre, beispielsweise um die elektrochemische Behandlungslösung zu wechseln, ist der Aufbau von Schichten mit mehreren, sich in den verwendeten Partikeln unterscheidenden Schichten ohne Unterbrechung der elektrochemischen Abscheidung möglich.

[0020] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Gegenelektrodenanordnung verjüngen sich die Kanäle im Bereich vor den Öffnungen. Der sich so verjüngende Öffnungsquerschnitt lässt eine düsenartige Öffnung entstehen, die für eine homogene Durchmischung der mikro- oder nanoskaligen Partikel in der elektrochemischen Behandlungslösung im Bereich der Umgebung der Öffnung sorgt. Die Qualität des Strahls, bspw. die Form des Strahls und/oder die Energie des Strahls und/oder die Menge an austretendem Strahlmedium, kann durch eine geeignete konstruktive Ausgestaltung der Düse gezielt beeinflusst werden, insbesondere durch ein geeignetes Wählen der Form der Kanäle im Bereich der Öffnungen und/oder der Form der Öffnungen selbst im Hinblick auf die zu erzielende Strahlqualität.

[0021] Um die Dichte der in die Beschichtung eingebauten mikro- oder nanoskaligen Partikel erhöhen oder verringern zu können, kann die Gegenelektrodenanordnung eine Einstelleinrichtung zum Einstellen des Drucks des Prozessmediums in der Prozessmediumzufuhreinrichtung umfassen.

[0022] In einer ersten konstruktiven Ausgestaltung der Gegenelektrodenanordnung sind die rohrartigen Elemente der Prozesselektroden durch einen gemeinsamen wachsgefüllten Träger geführt. Sie weisen Sicherungselemente auf, beispielsweise sich in Umfangsrichtung der rohrförmigen Elemente der Prozesselektroden erstreckende Rippen, welche sie gegen ein axiales Verschieben gegenüber dem Wachs im erstarrten Zustand sichern.

[0023] Die beschriebene Ausgestaltung ermöglicht ein vorteilhaftes Verfahren zum Anpassen der Prozesselektrodenanordnung an die Geometrie des zu bearbeitenden Werkstückes. Das Wachs wird verflüssigt und die Prozesselektrodenanordnung bei verflüssigtem Wachs an das Werkstück angedrückt. Dabei werden die Prozesselektroden im Wachs verschoben, sodass sich die

Positionen der freien Enden der Prozesselektroden an die Geometrie der Werkstückoberfläche anpassen. In diesem Zustand wird das Wachs wieder verfestigt, so dass die Prozesselektroden in ihrer Lage fixiert werden. Das Ergebnis ist eine optimal an die Geometrie der Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes angepasste Gegenelektrodenanordnung. Diese Anpassung ist insbesondere bei nicht planaren Werkstücken und im Bereich konkaver und konvexer Ecken von Bedeutung. Insbesondere konkave und konvexe Ecken können besonders gut bearbeitet werden, wenn die rohrartigen Elemente der Prozesselektroden eine Nadelform aufweisen. Daneben kann die Gegenelektrodenanordnung bei nadelförmiger Ausgestaltung der rohrartigen Elemente auch besonders vorteilhaft beim chemischen Behandeln von Löchern im Werkstück eingesetzt werden.

[0024] In einer zweiten konstruktiven Ausgestaltung der Gegenelektrodenanordnung sind die rohrartigen Elemente der Prozesselektroden durch Löcher wenigstens einer gemeinsamen Trägerplatte geführt. Zwischen den Rändern der Löcher und den jeweiligen rohrartigen Elementen ist dabei ein geringes Spiel vorhanden, das so bemessen ist, dass es eine ungestörte axiale Verschiebung der rohrartigen Elemente erlaubt. Weiterhin ist eine Spannvorrichtung vorhanden, mit deren Hilfe sich die rohrartigen Elemente mit einer Kraft derart gegen die Ränder der Löcher drücken lassen, dass sie aufgrund der dabei auftretenden Reibung gegen ein axiales Verschieben gegenüber der Trägerplatte gesichert sind.

[0025] Wie in der ersten konstruktiven Ausführungsform kann auch die Gegenelektrodenanordnung in der zweiten konstruktiven Ausführungsform dadurch an die Geometrie der Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstückes angepasst werden, dass sie an das Werkstück angedrückt wird. Dabei ist die Spannvorrichtung im entspannten Zustand, sodass sich die rohrartigen Elemente der Prozesselektroden innerhalb der Löcher axial verschieben können. Nachdem die Position der freien Elektrodenenden an die Geometrie der Werkstückoberfläche angepasst ist, wird die Spannvorrichtung gespannt, so dass die rohrförmigen Elemente gegen die Ränder der Löcher gedrückt werden, wodurch sie gegen ein weiteres axiales Verschieben gesichert sind. Auch in dieser konstruktiven Ausgestaltung bieten Prozesselektroden in Nadelform die mit Bezug auf die erste Ausgestaltung beschriebenen Vorteile.

[0026] Insgesamt lässt sich die erfindungsgemäße Gegenelektrodenanordnung besonders flexibel beim elektrochemischen Behandeln von Werkstücken einsetzen. Insbesondere in den beiden beschriebenen konstruktiven Ausgestaltungen ist die erfindungsgemäße Gegenelektrodenanordnung besonders variabel für jede Werkstückform einsetzbar. Auf speziell angefertigte Formelektroden für bestimmte Werkstückformen kann daher verzichtet werden.

[0027] Weitere Merkmale, Eigenschaften und Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie der erfindungsgemäßen Gegenelektrodenanordnung ergeben

sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beiliegenden Figuren.

5 Fig. 1 zeigt eine Anordnung zum Durchführen eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens.

10 Fig. 2 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel für die erfindungsgemäße Gegenelektrodenanordnung.

Fig. 3 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel für die erfindungsgemäße Gegenelektrodenanordnung.

15 **[0028]** Nachfolgend wird das erfindungsgemäße Verfahren unter Bezugnahme auf die in Fig. 1 dargestellte Anordnung beschrieben. Fig. 1 zeigt ein Werkstück 1, welches insbesondere als Turbinenschaufel ausgebildet sein kann. Eine Turbinenschaufel ist typischerweise aus einer hochtemperaturfesten Nickel-Basislegierung oder einer Kobalt-Basislegierung hergestellt. Häufig sind auf Turbinenschaufeln sog. MCrAlY-Beschichtungen zum Korrosions- und/oder Oxidationsschutz aufzubringen. In der MCrAlY-Beschichtung steht M für Eisen (Fe), Kobalt (Co) oder Nickel (Ni) und Y für Yttrium (Y) und/oder Silizium (Si) und/oder zumindest ein Element der seltenen Erden bzw. Hafnium. MCrAlY-Zusammensetzungen sind beispielsweise aus EP 0 486 489 B1, EP 0 786 017 B1, EP 0 412 397 B1 oder EP 1 306 454 A1 bekannt. Auf diese Dokumente wird daher bezüglich möglicher Zusammensetzungen der Beschichtung Bezug genommen.

35 **[0029]** Beim Aufbau einer MCrAlY-Beschichtung wird Kobalt oder Nickel elektrochemisch abgeschieden, wohingegen die übrigen Bestandteile der Beschichtung, beispielsweise Cr, Al, Y oder Rhenium (Re) als mikro- oder nanoskalige Partikel in die elektrochemisch abgeschiedene Nickel- oder Kobaltschicht eingebaut werden.

40 **[0030]** Die in Fig. 1 dargestellte Anordnung zum Beschichten des Werkstücks 1 umfasst neben dem Werkstück 1 selbst eine Elektrodenanordnung 9 sowie einen mit einem Elektrolyt 3 gefüllten Behälter 5, in dem sowohl das Werkstück 1 als auch die Elektrodenanordnung 9 angeordnet sind. Zudem umfasst die Anordnung eine Spannungsquelle 7, deren negativer Pol elektrisch leitend mit dem Werkstück 1 verbunden ist, sodass dieses eine Kathode bildet. Die Kathode, also das Werkstück 1, bildet die Arbeitselektrode der Anordnung. Der positive Pol der Spannungsquelle 7 ist dagegen mit der Elektrodenanordnung 9 verbunden, sodass diese zur Anode wird und die Gegenelektrode zur Arbeitselektrode bildet. Aufgrund der zwischen dem Werkstück 1 und der Gegenelektrodenanordnung 9 anliegenden Spannung baut sich zwischen der Gegenelektrodenanordnung und dem Werkstück 1 ein elektrisches Feld auf, welches positiv geladene Ionen zur negativ geladenen Werkstückoberfläche transportiert.

[0031] Im Elektrolyten 3, der eine elektrolytische Behandlungslösung darstellt, sind Ionen des Basismaterials des Werkstücks gelöst. Im Falle einer Turbinenschaufel aus einer Nickel- oder Kobalt-Basislegierung sind also Nickelionen oder Kobaltionen im Elektrolyten 3 gelöst. Die positiv geladenen Metallionen wandern zur Werkstückoberfläche 2 und lagern sich dort zu einer Beschichtung ab.

[0032] Im erfindungsgemäßen Verfahren werden mikro- oder nanoskalige Partikel in die Beschichtung eingebaut. Dies erfolgt, indem zwischen der Gegenelektrodenanordnung 9 und der Oberfläche 2 des Werkstückes 1 eine Dispersion 4 der einzubauenden mikro- oder nanoskaligen Partikel im Elektrolyten 3 herbeigeführt wird. An die Oberfläche 2 des Werkstückes 1 angrenzende Partikel werden dabei während der elektrochemischen Ablagerung der Metallionen in die Beschichtung eingebaut. Die zugeführten Partikel können dabei eine einzige Partikelsorte, beispielsweise Cr-Partikel, Y-Partikel, Al-Partikel, Re-Partikel, etc. oder einem Gemisch aus mehreren Partikelsorten umfassen.

[0033] Das Zuführen der mikro- oder nanoskaligen Partikel in den Bereich zwischen der Gegenelektrodenanordnung 9 und dem Werkstück 1 erfolgt durch die Gegenelektrodenanordnung 9 hindurch. Zu diesem Zweck ist die Gegenelektrodenanordnung 9 mit einer Anzahl rohrförmiger Elemente 11 ausgestattet, welche die Prozesselektroden 12 der Gegenelektrodenanordnung 9 bilden. In Fig. 1 ist der Einfachheit halber lediglich ein rohrförmiges Element 11 dargestellt.

[0034] Die rohrförmigen Elemente 11 weisen einen in Axialrichtung verlaufenden Kanal 13 auf, welcher in einer Öffnung 14 im dem Werkstück 1 zugewandten Ende des rohrförmigen Elementes 11 mündet. Unmittelbar vor der Öffnung 14 verjüngt sich der Querschnitt des Kanals 13. Das andere Ende des rohrförmigen Elementes 11 steht mit einem Verteilertank 17 in Verbindung, dem über einen Zufluss 19, der im vorliegenden Ausführungsbeispiel als Zuflussrohr ausgebildet ist, mikro- und/oder nanoskalige Partikel zugeführt werden können.

[0035] Während des Beschichtens des Werkstücks 1 werden die mikro- oder nanoskaligen Partikel unter Druck über den Zufluss 19 in den Verteilertank 17 eingeleitet. Aufgrund des Druckes strömen die Partikel durch den Kanal 13 zur Öffnung 14 und treten durch diese in den Elektrolyt 3 im Bereich zwischen der Gegenelektrodenanordnung 9 und dem Werkstück 1 aus. Aufgrund der düsenartigen Öffnungen 14 der mit dem Verteilertank 17 in Verbindung stehenden rohrförmigen Elemente 11 kann eine homogene Durchmischung der Partikel im Elektrolyten oder eine gezielte Anstrahlung der Werkstückoberfläche 2 mit den Partikeln während der Abscheidung der gelösten Metallionen erreicht werden. Die mikro- oder nanoskaligen Partikel können dabei mit einem bestimmten Druck durch die düsenartigen Öffnungen 14 zur Werkstückoberfläche 2 transportiert werden.

[0036] Im vorliegenden Ausführungsbeispiel werden die Partikel dem Verteilertank im Elektrolyten dispergiert

zugeführt. Aus der düsenartigen Öffnung 14 tritt daher ein Elektrolytstrahl mit dispergierten mikro- oder nanoskaligen Partikeln als Strahlmedium aus. Alternativ ist es jedoch auch möglich, alleine die mikro- oder nanoskaligen Partikel in den Verteilertank 17 einzuleiten, sodass aus der düsenartigen Öffnung 14 lediglich die Partikel als Strahlmedium austreten.

[0037] Über eine geeignete Steuerung des Druckes im Verteilertank 17 kann die Anzahl der im Bereich zwischen der Gegenelektrodenanordnung 9 und dem Werkstück 1 befindlichen mikro- oder nanoskaligen Partikel gezielt erhöht oder vermindert werden. Auf diese Weise lässt sich die Einbaudichte der Partikel in die Beschichtung gezielt erhöhen und vermindern. Die Druckverhältnisse im Verteilertank 17 können beispielsweise über den Druck im Zufluss 19 eingestellt werden. Es sind sowohl kontinuierliche Drücke als auch pulsierende Drücke möglich. Das Steuern des Druckes kann hierbei sowohl die Druckamplitude als auch die Frequenz bei pulsierenden Drücken umfassen.

[0038] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich auch gradierte Beschichtungen, also solche Beschichtungen, in denen die Dichte an eingebauten mikro- oder nanoskaligen Partikeln mit dem Abstand von der Werkstückoberfläche variiert, erzeugen. Hierzu wird im Verlaufe des Beschichtungsverfahrens der Druck im Verteilertank 17 kontinuierlich verändert, sodass sich die Zahl, d.h. die Dichte, der im Elektrolyten zwischen der Gegenelektrodenanordnung 9 und dem Werkstück 1 dispergierten Partikel verändert.

[0039] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können jedoch auch Mehrschichtsysteme hergestellt werden, wobei sich die einzelnen Schichten des Beschichtungssystems sowohl in der Dichte der eingebauten mikro- oder nanoskaligen Partikel als auch in der Art der Partikel voneinander unterscheiden können. Derartige Schichten können insbesondere hergestellt werden, ohne dass der elektrochemische Beschichtungsprozess unterbrochen werden muss, um das galvanische Bad auszutauschen. Zum Herstellen von Beschichtungen mit mehreren, sich in die Art der Partikel voneinander unterscheidenden Beschichtungen braucht lediglich der Verteilertank 17 während des Verfahrens nacheinander mit mikro- oder nanoskaligen Partikeln unterschiedlicher Art befüllt zu werden. Jedes Mal, wenn eine Lage fertiggestellt ist, wird die nächste Partikelart in den Verteilertank 17 eingefüllt.

[0040] Beschichtungen mit Lagen, die sich durch die Einbaudichte der Partikel voneinander unterscheiden, lassen sich herstellen, indem die Druckverhältnisse im Verteilertank 17 kontinuierlich verändert werden. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren auch durch die Art der Partikel voneinander unterscheidenden Multischichtsysteme hergestellt werden können, die eine gradierte oder sprunghafte Änderung in der Dichte der eingebauten Partikel aufweisen. Dies ist möglich, da die Art der in den Verteilertank 17 eingebrachten Partikel und der Druck

im Verteilertank 17 unabhängig voneinander geregelt werden können.

[0041] Ein erstes Ausführungsbeispiel für die erfindungsgemäße Gegenelektrodenanordnung 9 wird nun mit Bezug auf Fig. 2 beschrieben. Die Gegenelektrodenanordnung 9 umfasst eine Mehrzahl von rohrförmigen Elementen 11a bis 11e, welche rohrförmig Prozesselektroden 12a bis 12e bilden. Die Prozesselektroden 12a bis 12e sind über eine in Fig. 2 nicht dargestellte Leitung mit dem Pol einer Spannungsquelle verbindbar. Alle Prozesselektroden 12a bis 12e stehen mit einem Ende mit dem Verteilertank 17 derart in Verbindung, dass ein Prozessmedium, also beispielsweise ein Elektrolyt mit dispergierten mikro- oder nanoskaligen Partikeln, durch die Kanäle 13 im Inneren der Prozesselektroden 12a bis 12e (vgl. Fig. 1) zu den Austrittsöffnungen 14a bis 14e strömen kann. Die Kanäle 13, die Austrittsöffnungen 14, der Verteilertank 17 sowie der Zufluss 19 wurden bereits mit Bezug auf Fig. 1 beschrieben und werden daher an dieser Stelle nicht noch einmal erläutert. Neben der Prozesselektroden 12a bis 12e umfasst die Gegenelektrodenanordnung 9 auch eine Anzahl von Messelektroden 21, die gegenüber den Prozesselektroden 12a bis 12e elektrisch isoliert sind. Die Messelektroden 21 bilden Referenzelektroden, deren Elektrodenspitzen 22 berührungsfrei zur Oberfläche 2 des Werkstückes 1 weisen und die zum Überwachen der elektrischen Parameter während des elektrochemischen Abscheidungsprozesses dienen. Die Messelektroden 21 können ebenso wie die Prozesselektroden 11 als rohrförmige Elemente ausgebildet sein. Alternativ ist es jedoch auch möglich, die Messelektroden 21 als Vollelektroden, d.h. ohne inneren Kanal auszubilden.

[0042] Die Prozesselektroden 12a bis 12e erstrecken sich in Axialrichtung durch einen mit Wachs 27 gefüllten Träger 29. Der Träger 29 weist eine erste, dem Verteilertank 17 zugewandte Trägerplatte 31 und eine zweite, dem Verteilertank 17 abgewandte Trägerplatte 33 auf. Beide Trägerplatten 31, 33 weisen Löcher auf, die ein axiales Verschieben der Prozesselektroden 12a bis 12e gegen die Trägerplatten 31, 33 zulassen und die gegen einen Austritt flüssigen Wachses 27 aus dem Träger 29 abgedichtet sind. Die einzelnen Prozesselektroden 12a bis 12e sind im Bereich derjenigen Abschnitte, welche sich im Inneren des Trägers 29 befinden, mit flanschartigen Ansätzen 35, 37 und 39 ausgestattet, die die Prozesselektroden 12a bis 12e bei erstarrtem Wachs 27 gegen eine axiale Verschiebung relativ zum Träger 29 sichern.

[0043] Die beschriebene Prozesselektrodenanordnung 9 lässt sich in vorteilhafter Weise an die Geometrie der Werkstückoberfläche 2 anpassen. Dazu wird das Wachs 27 im Träger 29 verflüssigt, beispielsweise über eine im Träger 29 angeordnete Heizung oder über eine Erwärmung des Elektrolyten 3 im Behälter 5, sodass ein axiales Verschieben der Prozesselektroden 12a bis 12e relativ zum Träger 29 möglich wird. In diesem Zustand wird die Gegenelektrodenanordnung 9 mit leichtem

Druck an das Werkstück 1 angedrückt, sodass sich die Position der Öffnungen 14a bis 14e der einzelnen Prozesselektroden 12a bis 12e an die geometrische Form des Werkstücks 1 anpassen. Sodann wird eine Abkühlung des Wachses 27 herbeigeführt, sodass dieses erstarrt und die Prozesselektroden 12a bis 12e gegen ein axiales Verschieben relativ zum Träger 29 sichert. Danach wird die Gegenelektrodenanordnung 9 wieder etwas von der dem Werkstück 1 weggeführt, wobei darauf geachtet wird, dass die relative Orientierung der Gegenelektrodenanordnung 9 zum Werkstück 1 erhalten bleibt.

[0044] Nachdem die Gegenelektrodenanordnung 9 an die geometrische Form des Werkstückes 1 angepasst ist, kann das elektrochemische Abscheiden der Beschichtung erfolgen. Mittels der Messelektroden 21 kann die Einhaltung konstanter elektrischer Parameter überwacht werden.

[0045] Die erfindungsgemäße Elektrodenanordnung 9 lässt sich auf die beschriebene Weise besonders gut an die Geometrie des Werkstückes 1 anpassen, ohne dass hierzu extra eine speziell geformte Elektrode hergestellt werden muss. Aufgrund der gleichen Entfernung der verschiedenen Öffnungen 14a bis 14e der Prozesselektroden 12a bis 12e vom Werkstück 1 lässt sich eine gleichförmige Verteilung der in Richtung auf die Oberfläche gestrahlten mikro- oder nanoskaligen Partikel in der Beschichtung erzielen.

[0046] Ein zweites Ausführungsbeispiel für die erfindungsgemäße Prozesselektrodenanordnung 90 ist in Fig. 3 dargestellt. Die Prozesselektrodenanordnung 90 des zweiten Ausführungsbeispiels unterscheidet sich von der Prozesselektrodenanordnung 9 des ersten Ausführungsbeispiels lediglich durch die Ausgestaltung des Trägers 129. Die übrigen Konstruktionsmerkmale des zweiten Ausführungsbeispiels, wie beispielsweise die Prozesselektroden 12a bis 12e, der Verteilertank 17 oder die Messelektroden 21 sind daher mit denselben Bezugsziffern bezeichnet wie die entsprechenden Konstruktionsmerkmale im ersten Ausführungsbeispiel und werden an dieser Stelle nicht noch einmal erläutert.

[0047] Der Träger 129 umfasst eine erste, dem Verteilertank 17 zugewandte Trägerplatte 131 sowie eine zweite, dem Verteilertank 17 angewandte Trägerplatte 133. Beide Trägerplatten weisen Öffnungen auf, deren Größe so gewählt ist, dass zwischen den Rändern der Öffnungen und den durch die Trägerplatten 131, 133 hindurchgeführten Prozesselektroden 11a bis 11e ein Spiel verbleibt, das ein axiales Verschieben der Prozesselektroden 12a bis 12e relativ zum Träger 129 ermöglicht. Durch das Innere des Trägers 129 erstrecken sich Justageplatten 134, 136, 138, welche ebenfalls Öffnungen aufweisen, die derart dimensioniert sind, dass die Prozesselektroden 12a bis 12e mit Spiel durch sie hindurchgeführt sind. Auch die Justageplatten 134, 136, 138 behindern daher in einem ersten Zustand ein axiales Verschieben der Prozesselektroden 12a bis 12e nicht. Die mögliche axiale Verschiebung der Prozesselektroden 12a bis 12e wird lediglich durch flanschartige Ansätze

135, 137, 139 in demjenigen Bereich der Prozesselektroden 12a bis 12e, der sich im Inneren des Trägers 129 befindet, begrenzt.

[0048] Die Justageplatten 134, 136, 138 werden an zwei Seiten von einem Rahmen 140 gehalten, gegenüber dem die mittlere Justageplatte 136 verschoben werden kann. Die Verschiebung der Justageplatte 136 erfolgt parallel zu den Justageplatten 134 und 138 und senkrecht zur Richtung der axialen Verschiebung der Prozesselektroden 12a bis 12e. Zudem weist der Rahmen 140 eine Fixiereinheit 142, beispielsweise in Form einer oder mehrerer Fixierschrauben, auf, welche ein Fixieren der Position der mittleren Justageplatte 136 relativ zur Position der beiden äußeren Justageplatten 134, 138 ermöglicht.

[0049] Die Prozesselektrodenanordnung 90 des zweiten Ausführungsbeispiels kann an die Geometrie des Werkstücks 1 angepasst werden, indem die mittlere Justageplatte 136 in eine Stellung gebracht wird, in der die Löcher in den einzelnen Justageplatten 134, 136, 138 sowie die Löcher in den beiden Trägerplatten 131, 133 derart relativ zueinander zentriert sind, dass ihre Öffnungen fluchtend zueinander angeordnet sind. In diesem ersten Zustand wird die Gegenelektrodenanordnung 90 mit leichtem Druck derart an das Werkstück 1 angedrückt, dass sie mit den mit den Öffnungen 14a bis 14e versehenen Enden der Prozesselektroden 12a bis 12e an dem Werkstück 1 anliegen. Die Geometrie des Werkstückes 1 sorgt dabei für eine axiale Verschiebung der Prozesselektroden 12a bis 12e, die zu einer Anpassung der Position der Öffnungen 14a bis 14e an die Geometrie des Werkstückes führt. Anschließend wird die mittlere Justageplatte 136 parallel zu den beiden äußeren Justageplatten 134, 138 verschoben, sodass die Öffnungen der Justageplatten 134, 136, 138 nicht mehr miteinander fluchten. In diesem zweiten Zustand der Justageplatten 134, 136, 138 werden die Prozesselektroden 12a bis 12e an eine Seite der Lochränder der äußeren Justageplatten 134, 138 angedrückt. Gleichzeitig werden die Prozesselektroden 12a bis 12e an die Lochränder der mittleren Justageplatte angedrückt. Da die Lochränder der äußeren Justageplatten 134, 138 in der entgegengesetzten Richtung wie die Lochränder der mittleren Justageplatte 136 gegen die Prozesselektroden 12a bis 12e drücken, werden die Prozesselektroden 12a bis 12e zwischen den Lochrändern der äußeren Justageplatten 134, 138 einerseits und den Lochrändern der inneren Justageplatte 136 andererseits eingeklemmt. Die mittlere Justageplatte 136 wird in diesem Zustand mittels der Fixiereinrichtung 142 fixiert. Auf diese Weise sind die Prozesselektroden 12a bis 12e gegen axiale Verschiebung gesichert. Mit der so an die Geometrie des Werkstückes 1 angepassten Gegenelektrodenanordnung 90 wird dann das elektrochemische Beschichtungsverfahren wie mit Bezug auf das erste Ausführungsbeispiel beschrieben durchgeführt.

[0050] In einer Abwandlung des zweiten Ausführungsbeispiels ist es auch möglich, die beiden äußeren Justageplatten 134, 138 verschiebbar auszugestalten und die

mittlere Justageplatte 136 unverschiebbar auszugestalten. Eine weitere Alternative besteht darin, statt der Justageplatten netzartige Konstruktionen zu verwenden, die beispielsweise aus Drähten oder Seilen hergestellt sind und Maschen aufweisen, durch welche die im Inneren des Trägers befindlichen Bereiche der Prozesselektroden hindurchgeführt sind. Durch Verspannen der einzelnen Seile bzw. Drähte gegeneinander lässt sich der Öffnungsquerschnitt der Maschen vermindern, sodass die Drähte bzw. Seile gegen die Außenseite der Prozesselektroden drücken und so eine die axiale Verschiebung der Prozesselektroden verhindernde Reibung bereitstellen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum elektrochemischen Beschichten einer Werkstückoberfläche (2), wobei mikro- oder nanoskalige Partikel in die Beschichtung eingebracht werden,
dadurch gekennzeichnet,
dass während des Beschichtens mehrere Strahlen aus einem die einzubringenden mikro- oder nanoskaligen Partikel umfassenden Strahlmedium auf die Werkstückoberfläche (2) gerichtet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Strahlmedium alleine von den mikro- oder nanoskaligen Partikeln gebildet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die mikro- oder nanoskaligen Partikel in einer elektrolytischen Behandlungslösung dispergiert sind und das Strahlmedium von der elektrochemischen Behandlungslösung mit den darin dispergierten mikro- oder nanoskaligen Partikeln gebildet wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Menge an in die Beschichtung eingebrachten mikro- oder nanoskaligen Partikeln über den Strahlendruck eingestellt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Strahlendruck während des elektrochemischen Beschichtens variiert wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Zusammensetzung des Strahlmediums während des elektrochemischen Beschichtens verändert wird.
7. Anordnung zum Beschichten eines Werkstücks, zur

Durchführung des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 6, aufweisend eine Gegenelektrodenanordnung (9) mit einer Anzahl von Prozesselektroden (12) zum elektrochemischen Behandeln eines Werkstückes (1), bei dem das Werkstück (1) eine Arbeitselektrode bildet, und einen Elektrolytbehälter, in dem die Gegenelektrodenanordnung angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- eine Prozessmediumzufuhreinrichtung (17) zum Zuführen eines Prozessmediums zu den Prozesselektroden (12) vorhanden ist,
- die Prozesselektroden (12) als rohrartige Elemente (11) mit sich in ihrem Inneren erstreckenden Kanälen (13) ausgebildet sind, und jeweils ein der Prozessmediumzufuhreinrichtung (17) zugewandtes Ende und ein von der Prozessmediumzufuhreinrichtung (17) abgewandtes Ende mit einer darin angeordneten Öffnung (14) aufweisen, und
- die Kanäle (13) jeweils im Bereich der der Prozessmediumzufuhreinrichtung (17) zugewandten Enden der rohrartigen Elemente (11) mit der Prozessmediumzufuhreinrichtung (17) in Verbindung stehen und in die Öffnung (14) am von der Prozessmediumzufuhreinrichtung abgewandten Ende der rohrartigen Elemente (11) münden, wobei
- die Prozesselektroden (12) und die darin angeordneten Kanäle (13) das Prozessmedium jeweils in Form eines Strahls gezielt in den Bereich zwischen den Prozesselektroden und der Arbeitselektrode einbringen.

8. Anordnung (9) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich die Kanäle (13) im Bereich vor den Öffnungen (14) verjüngen.
9. Anordnung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Form der Kanäle (13) im Bereich der Öffnungen (14) und/oder die Form der Öffnungen (14) selbst im Hinblick auf die zu erzielende Strahlqualität gewählt ist.
10. Anordnung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Einstelleinrichtung zum Einstellen des Drucks des Prozessmediums in der Prozessmediumzufuhreinrichtung (17) vorhanden ist.
11. Anordnung nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die rohrartigen Elemente (11) der Prozesselektroden (12) eine Nadelform aufweisen.
12. Anordnung nach einem der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet,**

dass die rohrartigen Elemente (11) der Prozesselektroden (12) durch einen gemeinsamen wachsgefüllten Träger (29) geführt sind und Sicherungselemente (35, 37, 39) aufweisen, welche die Prozesselektroden (12) gegen ein axiales Verschieben gegenüber dem Wachs (27) im erstarrten Zustand sichern.

13. Anordnung nach einem der Ansprüche 7 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die rohrartigen Elemente (11) der Prozesselektroden (12) durch Löcher wenigstens einer gemeinsamen Trägerplatte (131, 133) geführt sind, wobei ein geringes Spiel zwischen den Rändern der Löcher und den jeweiligen rohrartigen Elementen (11) vorhanden ist, und dass eine Spannvorrichtung (134, 136, 138) vorhanden ist, mit deren Hilfe sich die rohrartigen Elemente mit einer Kraft derart gegen die Ränder der Löcher drücken lassen, dass sie aufgrund der dabei auftretenden Reibung gegen ein axiales Verschieben gegenüber der Trägerplatte (131, 133) gesichert sind.

Claims

1. Method for electrochemical coating of a workpiece surface (2), with microscale or nanoscale particles being introduced into the coating, **characterized in that**, during the coating process, a plurality of jets composed of a jet medium, which comprises the microscale or nanoscale particles to be introduced, are directed at the workpiece surface (2).
2. Method according to Claim 1, **characterized in that** the jet medium is formed solely by the microscale or nanoscale particles.
3. Method according to Claim 1, **characterized in that** the microscale or nanoscale particles are dispersed in an electrolytic treatment solution, and the jet medium is formed by the electrochemical treatment solution with the microscale or nanoscale particles dispersed in it.
4. Method according to one of Claims 1 to 3, **characterized in that** the quantity of microscale or nanoscale particles introduced into the coating is varied by means of the jet pressure.
5. Method according to Claim 4, **characterized in that** the jet pressure is varied during the electrochemical coating process.

6. Method according to one of Claims 1 to 5, **characterized**
in that the composition of the jet medium is varied during the electrochemical coating process.

7. Arrangement for coating a workpiece, for carrying out the method according to Claims 1 to 6, having an opposing electrode arrangement (9) having a number of process electrodes (12) for electrochemical treatment of a workpiece (1), in which the workpiece (1) forms a working electrode, and an electrolyte container in which the opposing electrode arrangement is arranged,
characterized in that

- a process medium supply device (17) is provided in order to supply a process medium to the process electrodes (12),
- the process electrodes (12) are in the form of tubular elements (11) with channels (13) extending in their interiors, and have in each case one end facing the process medium supply device (17) and one end facing away from the process medium supply device (17), with an opening (14) arranged therein, and
- in the area of these ends of the tubular elements (11) which face the process medium supply device (17), the channels (13) are each connected to the process medium supply device (17), and open into the opening (14) at the end of the tubular elements (11) facing away from the process medium supply device, wherein
- the process electrodes (12) and the channels (13) arranged therein specifically introduce the process medium in each case in the form of a jet into the area between the process electrodes and the working electrode.

8. Arrangement (9) according to Claim 7,
characterized
in that the channels (13) taper in the area in front of the openings (14).

9. Arrangement according to Claim 8,
characterized
in that the shape of the channels (13) in the area of the openings (14) and/or the shape of the openings (14) themselves are/is chosen with respect to the jet quality to be achieved.

10. Arrangement according to one of Claims 7 to 9, **characterized**
in that an adjustment device is provided for adjusting the pressure of the process medium in the process medium supply device (17).

11. Arrangement according to one of Claims 7 to 10, **characterized**

in that the tubular elements (11) of the process electrodes (12) are in the form of needles.

12. Arrangement according to one of Claims 7 to 11, **characterized**

in that the tubular elements (11) of the process electrodes (12) are passed through a common wax-filled mount (29) and have securing elements (35, 37, 39) which secure the process electrodes (12) against axial movement with respect to the wax (27) in the solidified state.

13. Arrangement according to one of Claims 7 to 12, **characterized**

in that the tubular elements (11) of the process electrodes (12) are passed through holes in at least one common mounting plate (131, 133), with a small clearance being provided between the edges of the holes and the respective tubular elements (11), and in that a clamping apparatus (134, 136, 138) is provided, by means of which the tubular elements can be pressed against the edges of the holes with a force such that they are secured against axial movement with respect to the mounting plate (131, 133) because of the friction that occurs in this case.

Revendications

1. Procédé de revêtement électrochimique de la surface (2) d'une pièce, dans lequel on introduit des particules à l'échelle microscopique ou nanoscopique dans le revêtement, **caractérisé**
en ce que, pendant le revêtement, on dirige sur la surface (2) de la pièce plusieurs faisceaux d'un milieu comprenant les particules à l'échelle microscopique ou à l'échelle nanoscopique à introduire.
2. Procédé suivant la revendication 1,
caractérisé
en ce qu'on forme le milieu seulement des particules à l'échelle microscopique ou à l'échelle nanoscopique.
3. Procédé suivant la revendication 1,
caractérisé
en ce que l'on disperse les particules à l'échelle microscopique ou à l'échelle nanoscopique dans une solution électrolytique de traitement et en ce que l'on forme le milieu de la solution électrochimique de traitement au sein de laquelle les particules à l'échelle microscopique ou à l'échelle nanoscopique sont dispersées.
4. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 4,
caractérisé
en ce que l'on règle par la pression du faisceau, la quantité de particules à l'échelle microscopique ou

à l'échelle nanoscopique introduite dans le revêtement.

5. Procédé suivant la revendication 4, **caractérisé en ce qu'on** fait varier la pression du faisceau pendant le revêtement électrochimique.

6. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce qu'on** modifie la composition du milieu pendant le revêtement électrochimique.

7. Agencement de revêtement d'une pièce pour la mise en oeuvre du procédé suivant les revendications 1 à 6, comportant un agencement (9) de contre-électrodes ayant un certain nombre d'électrodes (12) de processus, pour le traitement électrochimique d'une pièce (1), dans lequel la pièce (1) forme une électrode de travail, et une cuve d'électrolyte, dans laquelle l'agencement de contre-électrodes est placé, **caractérisé en ce que**

- il y a un dispositif (17) d'apport d'un milieu de processus pour l'apport d'un milieu de processus aux électrodes (12) de processus,
- les électrodes (12) de processus sont sous la forme d'éléments (11) tubulaires ayant des canaux (13) s'étendant en leur intérieur et ont respectivement une extrémité tournée vers le dispositif (17) d'apport de milieu de processus et une extrémité éloignée du dispositif (17) d'apport de milieu de processus avec une ouverture (14) qui y est disposée, et
- les canaux (13) sont, dans la partie des extrémités, tournés vers le dispositif (17) d'apport du milieu de processus des éléments (11) tubulaires, en liaison avec le dispositif (17) d'apport de milieu de processus et débouchent dans l'ouverture (14) à l'extrémité des éléments (11) tubulaires éloignée du dispositif d'apport de milieu de processus, dans lequel
- les électrodes (12) de processus et les canaux qui y sont disposés introduisent le milieu de processus respectivement sous la forme d'un faisceau, de manière ciblée dans la région comprise entre les électrodes de processus et l'électrode de travail.

8. Agencement (9) suivant la revendication 7, **caractérisé en ce que** les canaux (13) se rétrécissent dans la région avant les ouvertures (14).

9. Procédé suivant la revendication 8, **caractérisé en ce que** la forme des canaux (13) dans la région des ouvertures (14) et/ou la forme des ouvertures

(14) elle-même est choisie en tenant compte de la qualité du faisceau à obtenir.

10. Procédé suivant l'une des revendications 7 à 9, **caractérisé en ce qu'il y a** un dispositif de réglage, pour régler la pression du milieu de processus dans le dispositif (17) d'apport du milieu de processus.

11. Procédé suivant l'une des revendications 7 à 10, **caractérisé en ce que** les éléments (11) tubulaires des électrodes (12) de processus ont une forme en aiguille.

12. Procédé suivant l'une des revendications 7 à 11, **caractérisé en ce que** les éléments (11) tubulaires des électrodes (12) de processus sont guidés par un support (19) commun empli de cire et ont des éléments (35, 37, 39) de sécurité, qui empêchent, à l'état solidifié, les électrodes (12) de processus de se déplacer axialement par rapport à la cire (27).

13. Procédé suivant l'une des revendications 7 à 12, **caractérisé en ce que** les éléments (11) tubulaires des électrodes (12) de processus sont guidés dans des trous d'au moins une plaque (131, 133) de support commune, un petit jeu entre les bords des trous et les éléments (11) tubulaires respectifs étant présent, et en ce qu'un dispositif (134, 136, 138) de serrage est présent, à l'aide duquel les éléments tubulaires peuvent appuyer avec une force telle contre les bords des trous qu'ils sont, en raison du frottement qui se produit, empêchés de se déplacer axialement par rapport à la plaque (131, 133) de support.

FIG 1

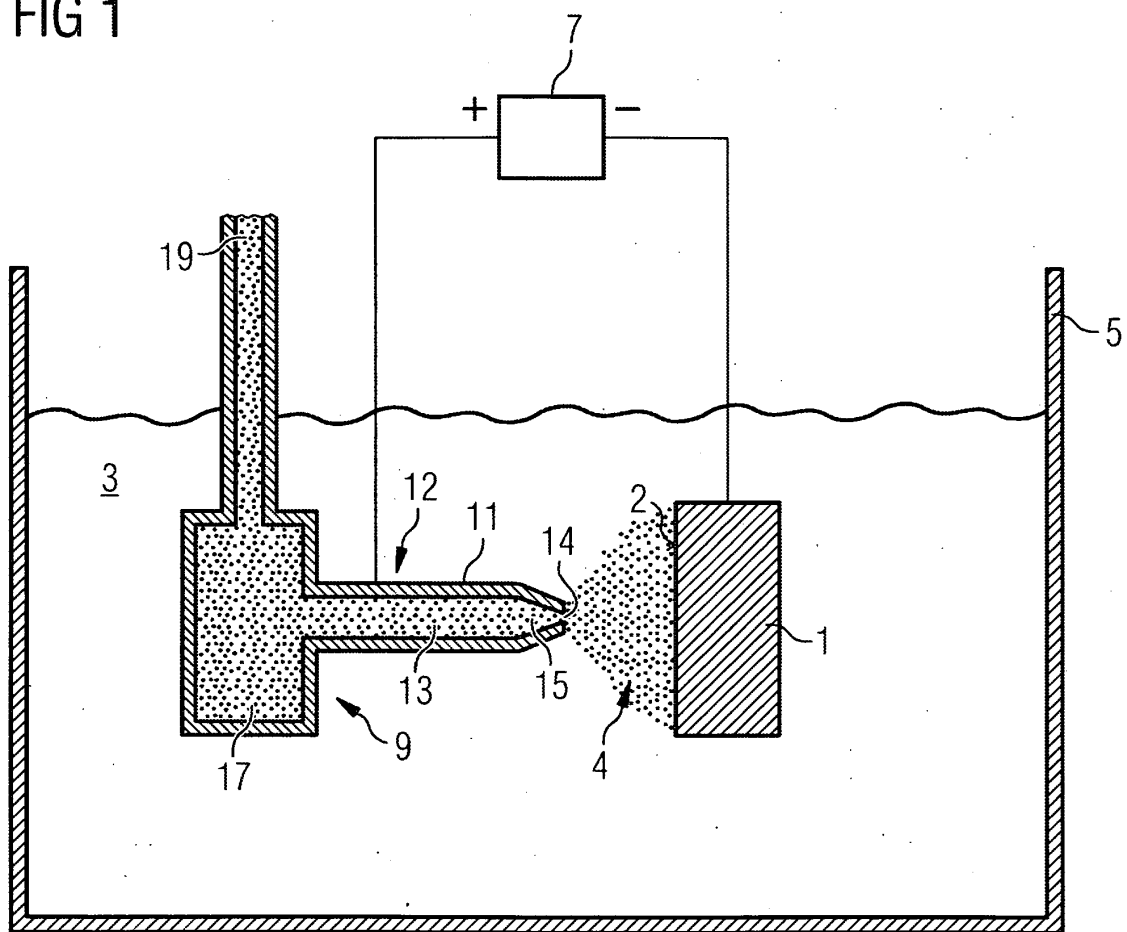


FIG 2

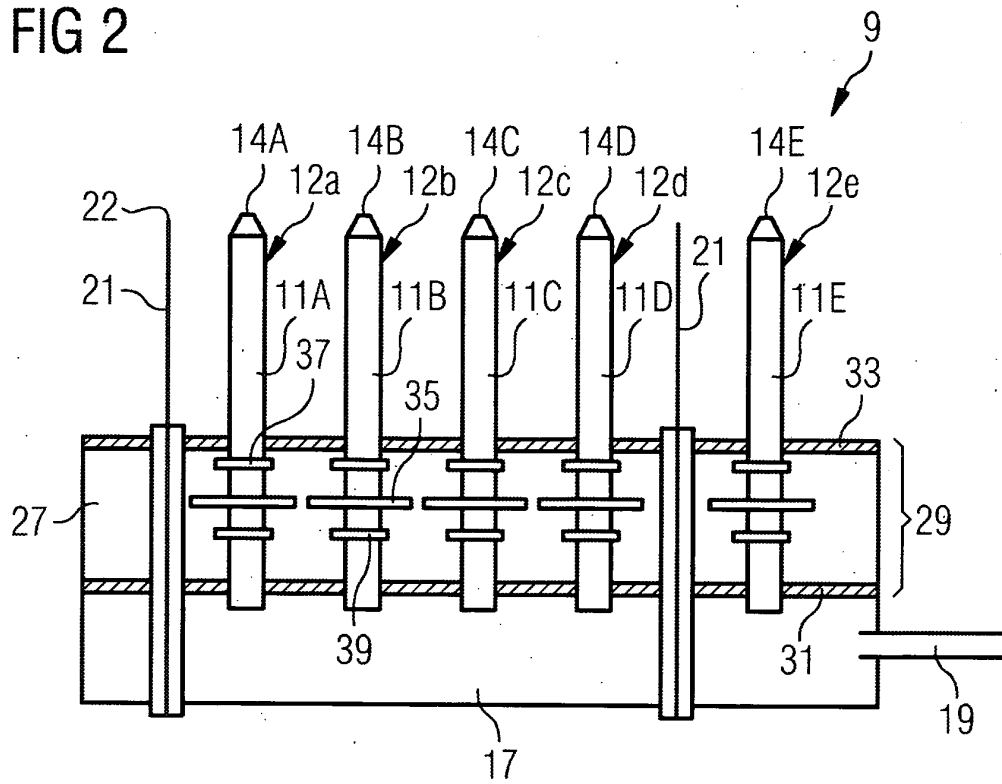
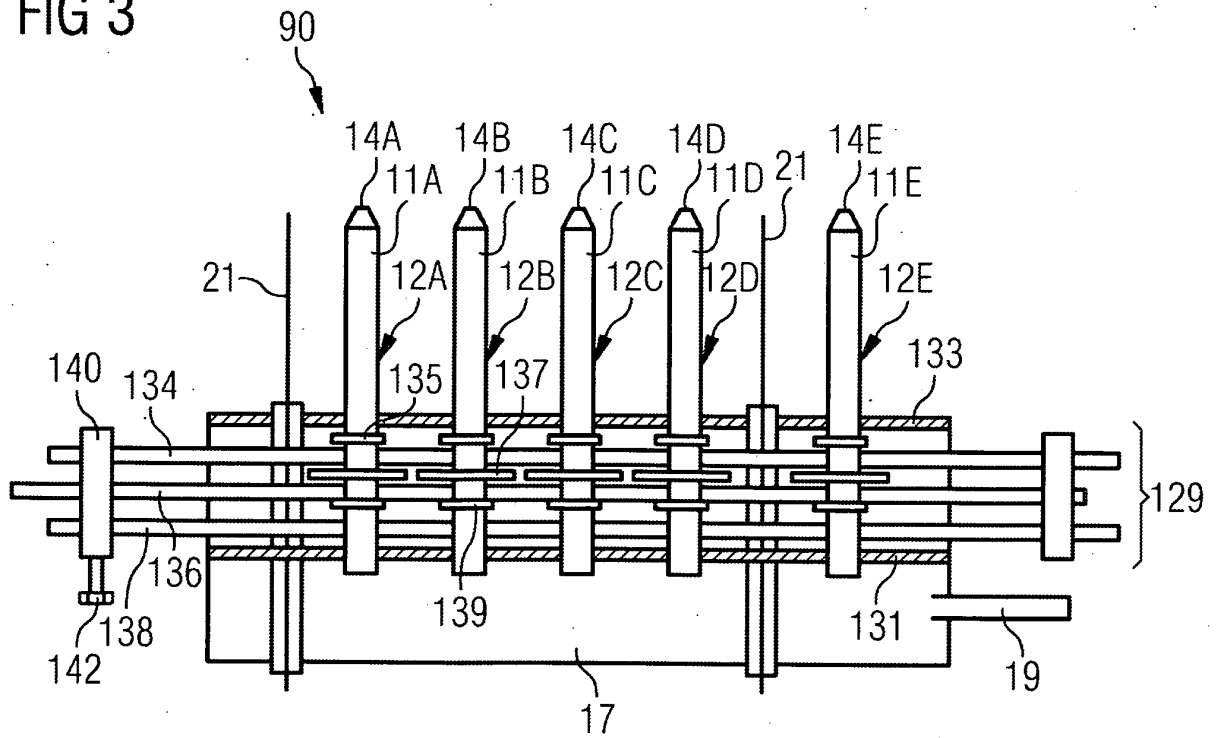


FIG 3



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 0748883 A1 [0002] [0003]
- EP 1094134 A1 [0002] [0004]
- EP 0709493 A2 [0005]
- EP 1416068 A2 [0006]
- EP 559608 A2 [0007]
- US 4027366 A [0007]
- LU 67358 A1 [0007]
- EP 0486489 B1 [0028]
- EP 0786017 B1 [0028]
- EP 0412397 B1 [0028]
- EP 1306454 A1 [0028]