

(19)



(11)

EP 2 516 698 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
02.04.2014 Patentblatt 2014/14

(51) Int Cl.:
C25D 5/34 (2006.01) **C25D 5/10** (2006.01)
C23C 4/12 (2006.01) **C23C 4/18** (2006.01)
C23C 4/02 (2006.01) **C25D 3/66** (2006.01)
C25D 5/06 (2006.01) **C25D 7/04** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10784289.0**

(22) Anmeldetag: **19.11.2010**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2010/067830

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2011/076499 (30.06.2011 Gazette 2011/26)

(54) **VERFAHREN ZUM BESCHICHTEN DURCH THERMISCHEN SPRITZEN UND GALVANISCHE PLATTIERUNG**

PROCESS FOR COATING USING THERMAL SPRAYING AND ELECTROPLATING

PROCÉDÉ DE REVÊTEMENT PAR PULVÉRISATION THERMIQUE ET PLACAGE ÉLECTROCHIMIQUE

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

(30) Priorität: **22.12.2009 DE 102009060937**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
31.10.2012 Patentblatt 2012/44

(73) Patentinhaber: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
• **JENSEN, Jens Dahl**
14050 Berlin (DE)
• **STIER, Oliver**
12163 Berlin (DE)
• **WINKLER, Gabriele**
13587 Berlin (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A2- 1 029 951 WO-A1-02/12595
WO-A1-2006/089519 US-A1- 2005 029 109
US-A1- 2008 299 247

EP 2 516 698 B1

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

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Beschichten eines Werkstücks, auf dem elektrochemisch eine Schicht hergestellt wird.

[0002] Ein Verfahren der eingangs genannten Art ist beispielsweise gemäß der DE 602 25 352 T2 beschrieben. Es ist gemäß diesem Verfahren möglich, die Oberfläche eines Werkstücks elektrochemisch beispielsweise mittels Brush Plating zu beschichten. Hierbei wird ein Fließ, offenporiger Schwamm oder eine Bürste als Überträger verwendet, um ein Elektrolyt auf die zu beschichtende Oberfläche zu übertragen. Dort wird durch Anlegen einer Spannung zwischen dem Substrat und einer im Bereich des Überträgers für den Elektrolyten angeordneten Elektrode aus dem Elektrolyt ein metallischer Werkstoff auf der Oberfläche abgeschieden.

[0003] Gemäß der WO 2006/061081 A2 ist es außerdem bekannt, dass eine elektrochemische Abscheidung von Metall auch mit ionischen Flüssigkeiten vorgenommen werden kann, die einen wässrigen Elektrolyten ersetzen. Der Einsatz ionischer Flüssigkeiten, also Salzschnmelzen, die im Bereich von unter 100°C, vorzugsweise sogar bei Raumtemperatur flüssig vorliegen, hat den Vorteil, dass sich bei deren Verwendung größere Prozessfenster für die Abscheidung von Metallen ergeben, die sich mittels wässriger Elektrolyte aufgrund ihrer Position in der Spannungsreihe der Metalle nicht oder nur schwer abscheiden lassen. Ein Beispiel für ein solches Metall ist Ta. Es ist zu beachten, dass die aus der Salzschnmelze auf der zu beschichtenden Oberfläche abgeschiedenen Metallionen durch neue in die Salzschnmelze eingebrachte Metallionen ersetzt werden müssen, damit der Abscheidungsprozess nicht zum Erliegen kommt. Ein Verfahren für das Konstanthalten der Konzentration an Metallionen ist beispielsweise in der DE 43 44 387 A1 beschrieben.

[0004] Gemäß der WO 2006/089519 A1 ist ein Verfahren zum Beschichten eines Werkstücks beschrieben. Dieses beinhaltet die Beschichtung des Werkstücks mit einer Metallschicht, wobei dies durch Plasmaspritzen oder Flamm-spritzen erfolgt. Darauf wird eine weitere Schicht aufgebracht, wobei dies beispielsweise galvanisch erfolgen kann. Die beiden Schichten haben einen unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten.

[0005] Gemäß der US 2008/299247 A1 ist ein Verfahren beschrieben, bei dem ein Werkstück mittels Plasmaspritzen oder Flamm-spritzen mit einer ersten Schicht versehen werden kann. Darauf wird eine zweite Beschichtung beispielsweise galvanisch hergestellt, wobei diese Schichten einen unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten haben.

[0006] Gemäß der WO 02/12595 A1 ist ein Verfahren offenbart, bei dem ein Werkstück mit einer Metallschicht durch Plasmaspritzen oder Flamm-spritzen beschichtet werden kann. Neben dieser Schicht kann eine weitere Beschichtung beispielsweise galvanisch hergestellt werden.

den. Weiterhin ist es bekannt, dass mehrere Schichten hergestellt werden können, bei denen Unterschiede des thermischen Ausdehnungskoeffizienten durch konstruktive Merkmale ausgeglichen werden können. Hierzu werden beispielsweise Leerstellen in den Schichten vorgeschlagen. Solche technische Lösungen lassen sich beispielsweise der US 2005/029109 A1 und der EP 1 029 951 A2 entnehmen.

[0007] Die Aufgabe der Erfindung liegt darin, ein elektrochemisches Beschichtungsverfahren dahingehend zu verbessern, dass die elektrochemisch abgeschiedenen Schichten ein inhomogenes Ausdehnungsverhalten zeigen.

[0008] Diese Aufgabe wird mit dem eingangs genannten Verfahren erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass ein Teil des ersten Werkstoffes durch elektrochemisches Beschichten auf das Werkstück aufgetragen wird, Zonen eines zweiten Werkstoffes mit einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten α , welcher von demjenigen des ersten Werkstoffes abweicht, unter Anwendung eines thermischen Spritzverfahrens auf den ersten Werkstoff aufgebracht werden und diese Zonen anschließend durch das elektrochemische Beschichten in die Schicht eingebettet werden. Diese Einbettung kann derart erfolgen, dass die Zonen noch einen Teil der entstehenden Oberfläche des beschichteten Bauteils bilden, so dass die Einbettung nur an den seitlichen Flanken der Zonen erfolgt. Alternativ ist es auch möglich, die Zonen in die Schicht derart einzubetten, dass diese durch den ersten Werkstoff vollständig umschlossen sind. Als Zonen im Sinne der Erfindung sind Teilvolumina der Schicht zu verstehen, deren laterale Ausdehnung (d. h. Ausdehnung gesehen in Richtung parallel zur zu beschichtenden Oberfläche) größer ist als deren Dickenausdehnung (d. h. Ausdehnung, gemessen senkrecht zur zu beschichtenden Oberfläche). Dies führt dazu, dass sich das thermische Ausdehnungsverhalten der Zonen in lateraler Richtung der Schicht stärker bemerkbar macht als senkrecht zu dieser Richtung. Hierdurch wird erfindungsgemäß das inhomogene Ausdehnungsverhalten der erzeugten Schicht hervorgerufen.

[0009] Beispielsweise kann vorgesehen werden, dass der zweite Werkstoff einen größeren thermischen Ausdehnungskoeffizienten α aufweist als der erste Werkstoff. In diesem Falle führt die Ausdehnung der Zonen dazu, dass sich in den an die Zonen benachbarten Schichtbereichen zusätzliche Druckspannungen ausbilden. Diese können zur Stabilisierung des Schichtgefüges verwendet werden, wenn dieses auf Zugspannungen beispielsweise durch Ausbildung von Rissen reagieren würde.

[0010] Vorteilhaft lässt sich durch eine geeignete Kombination des ersten und des zweiten Werkstoffes und durch geeignete geometrische Gestaltung der Zonen ein inhomogenes Ausdehnungsverhalten der Schicht erzeugen, welches an unterschiedliche konstruktive Erfordernisse für das zu beschichtende Bauteil angepasst werden kann. Die Zonen können auch aus einem Werkstoff

hergestellt werden, welcher einen geringeren thermischen Ausdehnungskoeffizienten α aufweist als der erste Werkstoff. In diesem Falle würden in dem ersten Werkstoff der Schicht zusätzliche Druckspannungen erzeugt werden, wenn das Bauteil mit der Schicht abgekühlt wird. Dies könnte beispielsweise von Vorteil sein, wenn das erste Material der Schicht zur Kaltversprödung neigt und deshalb bei tiefen Temperaturen vor dem Auftreten von Zugspannungen geschützt werden muss.

[0011] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass als thermisches Spritzverfahren ein Kaltgasspritzen angewendet wird. Hierbei handelt es sich um ein Verfahren, bei dem die Beschichtungspartikel vorrangig aufgrund ihrer hohen kinetischen Energie auf der Oberfläche haften bleiben. Es wird daher auch als kinetisches Spritzen bezeichnet. Die kinetische Energie wird mittels einer Kaltgasspritzdüse, einer konvergent-divergenten Düse, in einem Gasstrahl erzeugt, wobei eine Erwärmung der Partikel nicht oder nur in geringem Maße erfolgt. In jedem Fall reicht die Erwärmung nicht aus, um, wie bei anderen thermischen Spritzverfahren, die Partikel aufzuschmelzen. Der Vorteil bei der Anwendung des Kaltgasspritzens ist daher, dass die Integrität des Gefüges der verwendeten Partikel durch das Kaltgasspritzen nicht beeinträchtigt wird. Außerdem hat dieses Verfahren den Vorteil, dass insbesondere bei einer weichen elektrochemisch hergestellten Schichtmatrix der vorangehenden Lage die Partikel in die Schicht eindringen, wodurch eine bessere Verteilung der Partikel in der ausgebildeten Schicht erreicht wird.

[0012] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung ist vorgesehen, dass die Schicht in mehreren Lagen hergestellt wird, indem das thermische Spritzverfahren und das elektrochemische Beschichten abwechselnd mehrfach durchgeführt werden. Hierdurch kann, wie bereits eingangs erläutert, ein Schichtaufbau erzeugt werden, bei dem die Zonen vollständig in die Schicht eingebettet werden, d. h. keinen Anteil an der Oberfläche bilden. Dies ist dann besonders vorteilhaft, wenn das Material der Zonen beispielsweise vor einem Korrosionsangriff geschützt werden muss. Außerdem ermöglicht die vollständige Einbettung der Zonen eine besonders effektive Einleitung von Zug- oder Druckspannungen in die umgebende Gefügematrix des ersten Werkstoffs.

[0013] Gemäß einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass das thermische Spritzen und das elektrochemische Beschichten gleichzeitig, jedoch jeweils an unterschiedlichen Stellen des Werkstückes durchgeführt wird. Hierdurch lässt sich vorteilhaft eine besonders hohe Effizienz bei der Beschichtung des Werkstückes erreichen. Voraussetzung ist, dass das Werkstück mit beiden Beschichtungsverfahren jeweils nur partiell und dafür gleichzeitig (an unterschiedlichen Stellen) beschichtet wird. Beim thermischen Spritzen ist dies ohnehin erforderlich, weil immer gerade nur der Punkt des Auftreffens des Beschichtungsstrahls beschichtet wird. Beim elektrochemischen Beschichten muss ein Beschichtungsverfahren gewählt werden, bei

dem eine partielle Beschichtung des Bauteils möglich ist, d. h. bei dem nicht das ganze Bauteil in den Elektrolyten eintaucht. Dies ist bevorzugt beim Anwenden des sogenannten Brush Platings möglich, wobei hier lediglich der Teilbereich des Werkstücks aktuell elektrochemisch beschichtet wird, welcher mit dem Überträger des Elektrolyten in Kontakt steht.

[0014] Besonders bevorzugt lässt sich das gleichzeitige Beschichten des Werkstückes mit beiden Beschichtungsverfahren anwenden, wenn als Werkstück ein zylindrischer Körper, insbesondere eine Arbeitswalze für Walzwerke, beschichtet wird, wobei dieser in Rotation um seine Mittelachse versetzt wird und an einer Stelle seines Umfangs das elektrochemische Beschichten und an einer anderen Stelle seines Umfangs das thermische Spritzen vorgenommen wird. Dies lässt sich beispielsweise bewerkstelligen, indem das zylindrische Werkstück nur mit einem Teil seiner Umfangsfläche in den Elektrolyten eingetaucht wird. Für ein gleichmäßiges Beschichten sorgt dann die gleichmäßige Drehung des zylindrischen Werkstückes, durch die nach und nach die gesamte Mantelfläche beschichtet werden kann. In dem Bereich, welcher nicht in den Elektrolyten eintaucht, kann das thermische Beschichten vorgenommen werden. Auch unter Anwendung des Brush Platings ist die Drehung der Walze sehr vorteilhaft. Der Überträger für das Brush Plating muss dann lediglich an das Werkstück herangeführt werden, wobei eine Relativbewegung zwischen dem Werkstück und dem Überträger durch die ständige Drehung des zylindrischen Werkstückes zustande kommt.

[0015] Gemäß einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass als Elektrolyt für das elektrochemische Beschichten eine ionische Flüssigkeit verwendet wird. Dies hat den Vorteil, dass auch unedlere Metalle aus einem nicht wässrigen Medium, nämlich der Salzsäure des ionischen Beschichtens, abgeschieden werden können. Bei ionischen Flüssigkeiten handelt es sich um organische Flüssigkeiten, die aus einem Kation wie einem alkylierten Imidazolium, Pyridinium-, Ammonium- oder Phosphoniumion und einem Anion, wie z. B. einfachen Halogeniden, Tetrafluoroboraten oder Hexafluorophosphaten, Bi(trifluormethylsulfonyl)imiden oder Tri(pentafluorethyl)-Trifluorophosphaten bestehen.

[0016] Da ionische Flüssigkeiten auch eine hohe elektrochemische Stabilität besitzen, können vorteilhaft unter anderem Ti, Ta, Al und Si abgeschieden werden, die sich aus wässrigen Elektrolyten aufgrund der starken Wasserstoffentwicklung nicht abscheiden lassen. Geeignete Metallsalze, die auch in der eingangs erwähnten WO 2006/061081 A2 genannt werden, sind beispielsweise Halogenide, Imide, Amide, Alkoholate und Salze von ein-, zwei- oder mehrwertigen organischen Säuren, wie Acetate, Oxalate oder Tartrate. Die Metalle, die elektrochemisch abgeschieden werden sollen, werden durch anodische Auflösung in die geeignete ionische Flüssigkeit gebracht. Als Gegenelektrode zum zu beschichtenden Bauteil wird eine lösliche Elektrode verwendet. Diese

besteht aus dem Metall, das beschichtet werden soll. Alternativ kann das abzuscheidende Metall auch als Salz der ionischen Flüssigkeit zugefügt werden. Als Gegenelektrode zum Substrat kann dann beispielsweise eine Platinelektrode verwendet werden. In diesem Fall muss dafür gesorgt werden, dass die Konzentration der abzuscheidenden Metallionen in der ionischen Flüssigkeit aufrechterhalten wird, was beispielsweise in der eingangs bereits erwähnten DE 43 44 387 A1 näher beschrieben wird. Außerdem können die Metalle bei Verwendung von ionischen Flüssigkeiten auch als nanokristalline Schichten abgeschieden werden. Hierzu sind der ionischen Flüssigkeit geeignete Kationen, wie z. B. Pyroliumionen, hinzuzufügen, die grenzflächenaktiv sind und daher als Kornverfeinerer beim elektrochemischen Abscheiden wirken. Vorteilhaft ist es, dass unter diesen Bedingungen häufig auf die Zugabe von Netzmitteln oder Glanzmitteln verzichtet werden kann.

[0017] Im Folgenden wird näher ausgeführt, wie die Zonen im Einzelnen geometrisch ausgebildet werden können.

[0018] Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung können die Zonen als inselartige Depots in einem regelmäßigen Muster auf dem Werkstück verteilt werden. Diese inselartigen Depots sind in ihrer Größe nach unten nur dadurch begrenzt, dass der Gasstrahl des angewendeten Kaltgasspritzverfahrens eine Auftreffstelle auf dem zu beschichtenden Bauteil erzeugt, welche gewisse Abmessungen aufweist. Hierdurch ergibt sich die kleinstmögliche Ausdehnung des Depots. Soll das Depot größer werden, muss der Kaltgasstrahl bei der Erzeugung desselben in geeigneter Weise geführt werden. Vorteilhaft ist dabei die Erzeugung von Depots mit runder Grundfläche, jedoch können auch andere Geometrien verwirklicht werden. Durch die Herstellung von vergleichsweise kleinen Depots wird vorteilhaft erreicht, dass ein dichter Wechsel zwischen dem ersten Werkstoff und dem zweiten Werkstoff in der Schicht realisiert werden kann. Hierdurch können Spannungsspitzen in den Gefügen des ersten Werkstoffes und des zweiten Werkstoffes gering gehalten werden, sobald diese aufgrund des inhomogenen Ausdehnungsverhaltens der Schicht entstehen.

[0019] Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Zonen als Streifen auf dem Werkstück anzuordnen. Hierdurch lässt sich ein inhomogenes Ausdehnungsverhalten erzeugen, welches nicht nur bezüglich des Ausdehnungsverhaltens der Schicht senkrecht zur Oberfläche des Werkstückes, sondern auch bezüglich des lateralen Ausdehnungsverhaltens in unterschiedliche Richtungen der Schicht unterschiedlich ausfällt.

[0020] Alternativ ist es auch möglich, dass die Zonen als Rechtecke in einem zweidimensionalen Array auf dem Werkstück angeordnet sind.

[0021] Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Schicht im Bereich zumindest einer Zone auf einem Opfermaterial, z. B. Wachs, hergestellt wird, welches nach der Fertigstellung der Schicht unter Ausbilden eines Hohlraums

beispielsweise durch Aufschmelzen entfernt wird. Hierdurch lassen sich vorteilhaft mit den Zonen aus dem zweiten Werkstoff und dem diese Zonen umgebenden Schichtverbund aus dem ersten Werkstoff freitragende Strukturen erzeugen, die aufgrund ihres inhomogenen Ausdehnungsverhaltens als mechanische Stellelemente Verwendung finden können. Die treibende Kraft für die Betätigung der Stellelemente sind demzufolge Temperaturdifferenzen während des Betriebs des beschichteten Bauteils.

[0022] Beispielsweise ist es möglich, dass die Zone aus dem zweiten Werkstoff zusammen mit dem ersten Werkstoff der restlichen Schicht zu einem mehrlagigen, frei tragenden Biegebalken ausgebildet wird. An seinem einen Ende ist der Biegebalken dann mit dem restlichen Schichtverbund verbunden. Unterhalb des Biegebalkens entsteht der bereits genannte Hohlraum, wobei das andere Ende des Biegebalkens frei beweglich ist. Durch das unterschiedliche Ausdehnungsverhalten der beiden Werkstoffe, die vorzugsweise in zwei aneinandergrenzenden Schichten angeordnet sind, biegt sich der Balken nach dem Mechanismus, der beispielsweise von Bimetallstreifen bekannt ist. Auf diese Weise ist das Stellelement verwirklicht.

[0023] Ein so gebildeter Biegebalken kann mit seinem frei tragenden Ende beispielsweise oberhalb einer Öffnung in der Oberfläche des Werkstücks hergestellt werden. Diese Öffnung kann beispielsweise der Zuführung eines Kühlmediums dienen. Der Biegebalken kann so ausgebildet sein, dass die Öffnung erst freigegeben wird, wenn eine bestimmte Temperatur überschritten wird, so dass das Kühlmittel nur bei einer drohenden Überhitzung des Bauteils gefördert wird. Damit ist vorteilhaft ein temperaturgesteuertes Ventil verwirklicht. Auch eine Drosselung des Kühlmittelflusses kann gewährleistet werden.

[0024] Gemäß einer anderen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Zone als frei tragender Balken aus dem zweiten Werkstoff hergestellt wird. Dieser weist einen größeren thermischen Ausdehnungskoeffizienten α auf als der erste Werkstoff. Der Biegebalken wird an seinem einen Ende mit dem restlichen Schichtverbund verbunden und an seinem anderen Ende mit einem definierten Abstand zum restlichen Schichtverbund ausgeführt. Vorzugsweise weist der so gebildete Balken keine Komponente aus dem ersten Werkstoff auf. Diese Struktur kann beispielsweise als thermischer Schalter verwendet werden. Bei einer Erwärmung des Bauteils dehnt sich der Balken aufgrund des größeren thermischen Ausdehnungskoeffizienten α des Balkens aus und überbrückt bei einer bestimmten Temperatur den definierten Abstand zum restlichen Schichtverbund. Hierbei entsteht ein Kontakt, der eine elektrische Leitfähigkeit zumindest des zweiten Werkstoffes voraussetzt und zu einer Änderung des elektrischen Verhaltens der Schicht führt. Diese kann gemessen werden und als Schaltsignal verwendet werden. Ist der erste Werkstoff ein elektrischer Isolator, so lässt sich durch eine geeignete Ausführung von Zuleitungen beispielsweise aus

dem ersten Werkstoff auch ein elektrischer Schalter mit dem Balken realisieren.

[0025] Bei Bauteilen mit einer Drehachse, die vorzugsweise zylindersymmetrisch sind, ist es besonders vorteilhaft, wenn die mit Zonen versehenen Teile der Schicht in Umfangsrichtung bezüglich der Drehachse gesehen mit Teilen der Schicht ohne diese Zonen einander abwechseln. Hierdurch ist es, wie bereits erläutert, vorteilhaft möglich, aufgrund des inhomogenen Ausdehnungsverhaltens in dem Bauteil in Umfangsrichtung Druckspannung zu erzeugen. Dies kann von besonderem Vorteil sein, wenn das Bauteil beispielsweise wegen hoher Drehzahlen und den dabei auftretenden Fliehkräften ohne Vorsehen der Zonen im Randbereich auf Zug beansprucht würde.

[0026] Das Verfahren kann besonders vorteilhaft für Arbeitswalzen eines Walzwerks angewendet werden. Diese dienen u. a. dem Transport des zu walzenden Gutes, z. B. einem Blech, welches durch die Führung zwischen den Arbeitswalzen beispielsweise in seiner Wandstärke verringert wird. Daher unterliegen die Arbeitswalzen eines Walzwerks einem enormen Verschleiß. Dieser kann durch die erfindungsgemäß aufgetragenen Beschichtungen verringert werden, wenn in die Zonen bevorzugt Partikel eines Hartstoffs eingebettet werden. Dies können beispielsweise Oxide von Al, Co, Mg, Ti, Si oder Zr, Nitride von Al, B oder Si oder Carbide von B, Cr, Ti, Si oder W oder auch Carbonitride sein. Weiterhin können Kohlenstoff als Graphit, Diamant, DLC (Diamant like Carbon) oder Glassy-Carbon oder Gemische aus allen genannten Stoffen zum Einsatz kommen. Besonders bevorzugte Hartstoffe sind die Folgenden: TiC, B₄C, Cr₃C₂, SiC, WC, TiN, MoB, TiB₂, Al₂O₃, Cr₂O₃, TiO₂. Auch Partikel aus Hartmetallen (WC, TiC oder TiN mit einem Anteil von ≥ 80 Gew.-% in einer Matrix aus Co, Ni, Cr, Fe) können verwendet werden.

[0027] Die genannten Hartstoffe können zusammen mit Partikeln eines Matrixwerkstoffes als zweiter Werkstoff in den Zonen abgeschieden werden. Der erste Werkstoff kann mit einem kleineren thermischen Ausdehnungskoeffizienten als der zweite Werkstoff ausgewählt werden, um bei einer Erwärmung der Walzenoberfläche Druckspannungen in den Zonen zu erzeugen, welche wegen des Anteils an Hartstoffen vor dem Auftreten von Zugspannungen im Gefüge bewahrt werden müssen. In den Zonen können dann vergleichsweise hohe Konzentrationen an Hartstoffpartikeln verwirklicht werden.

[0028] Die verwendeten Hartstoffe in den Zonen der hergestellten Schicht verringern zum einen vorteilhaft deren Abrieb, so dass deren Verschleißfestigkeit steigt. Weiterhin erfüllen die Hartstoffe jedoch auch den Zweck, die Oberflächenrauigkeit der Schicht zu vergrößern, welche erforderlich ist, damit das Drehmoment der Arbeitswalzen auf das zu walzende Blech übertragen werden kann. Werden die Hartstoffe durch den mehrlagigen Aufbau der Walze über die gesamte Schichtdicke vorgesehen, so wird weiterhin vorteilhaft sichergestellt, dass

auch bei einem Abrieb der Schicht mit fortlaufendem Verschleiß durch Freilegen immer neuer Hartstoffpartikel die Oberflächenrauigkeit der Walze erhalten bleibt. Dies bedeutet, dass vorteilhaft ein Bauteil geschaffen wird, welches über seine gesamte vorgesehene Lebensdauer die Anforderungen an die Oberflächenrauigkeit in vollem Maß erfüllt.

[0029] Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens sollen an dieser Stelle noch einmal zusammengefasst werden. Es ist eine galvanische Abscheidung auch von elektrochemisch unedlen Metallen, wie Ti, Ta, Si, Al oder Mg, möglich, wenn eine ionische Flüssigkeit als Elektrolyt ausgewählt wird. Eine kostengünstige Abscheidung ist insbesondere durch Auswahl des Brush Plating-Verfahrens möglich, da hierbei ein vergleichsweise schnelles Schichtwachstum erreicht werden kann. Ein Partikeleintrag in die sich ausbildende Zonen aus dem zweiten Werkstoff ist möglich und es können hohe Partikelkonzentrationen in der Schicht erreicht werden. Das Verfahren ist auch partiell an großen Werkstücken ausführbar, da dieses beim Brush Plating nicht in einen Elektrolyten eingetaucht werden müssen. Insbesondere kann das Verfahren auch zu Reparaturzwecken angewendet werden, wobei das Beschichtungssystem (bestehend aus einer Kaltgasspritzpistole und einem Überträger für das Brush Plating) transportabel ist und daher auch z. B. am Einsatzort des zu reparierenden Werkstücks eingesetzt werden kann.

Erstes Ausführungsbeispiel:

[0030] Zunächst wird an dem zu beschichtenden Werkstück eine Oberflächenreinigung und -aktivierung vorgenommen. Dies kann beispielsweise durch ein sogenanntes Brush Cleaning mittels eines alkalischen und/oder zyanidischen Elektrolyten und Brush Etching mittels eines sauren Elektrolyten, wie z. B. Salz- oder Schwefelsäure, erfolgen. Dann erfolgt der erste Beschichtungsschritt, bei dem ein duktiles Basismaterial, wie z. B. Nickel oder Nickel-Kobalt, als erster Werkstoff abgeschieden wird. Dieser Prozess wird mittels Brush Plating durchgeführt. Als Elektrolyt kann beispielsweise ein Watts-Elektrolyt verwendet werden. Der Überträger des Brush Platings, der ein mit dem Elektrolyt getränkter Filz oder Schwamm sein kann, wird dabei über die zu beschichtende Fläche bewegt. In dem Überträger kann eine Anode in Form eines Stabes, Drahtgeflechtes oder aus Kugeln enthalten sein. Das Material der Anode ist entweder der Grundwerkstoff der abzuscheidenden Schicht, wobei diese sich dann auflöst und regelmäßig ersetzt werden muss, oder eine inerte Anode, beispielsweise aus Platin.

[0031] Je nach Werkstückgeometrie kann anschließend an das elektrochemische Beschichten bzw. gleichzeitig an einer anderen Stelle der weitere Beschichtungsschritt erfolgen. Hierbei werden Zonen eines zweiten Werkstoffes mit anderem thermischen Ausdehnungskoeffizienten mittels thermischen Spritzens, bevorzugt

Kaltgasspritzen aufgetragen, wobei die Partikel mechanisch mit der Oberfläche verkrallen und daher haften bleiben. Beim Kaltgasspritzen wird die Oberfläche dabei vorteilhaft kaum thermisch beansprucht. Daher kann diese sofort wieder dem elektrochemischen Beschichtungsschritt zugeführt werden. Es kann eine dichte Folge von elektrochemischen und thermischen Beschichtungsschritten realisiert werden. Hierdurch ist ein schneller Schichtaufbau möglich, was vorteilhaft einer höheren Wirtschaftlichkeit der hergestellten Teile zugute kommt.

Zweites Ausführungsbeispiel:

[0032] Zunächst erfolgt die Beschichtung in einem nicht wässrigen Elektrolyten. Die Oberflächenreinigung und -aktivierung des zu beschichtenden Werkstücks erfolgt in der bereits beschriebenen Weise durch Brush Cleaning und Brush Etching. Nach einer Trocknung bei 100°C erfolgt der erste Beschichtungsschritt, wobei eine Metallschicht beispielsweise aus Titan abgeschieden wird. Dieser Prozess wird mittels Brush Plating durchgeführt. Der benutzte Elektrolyt zur Abscheidung von Titan als erstem Werkstoff ist 1-Butyl-3-Methylimidazolium-tetrafluoroborat, in dem als Ionenträger Titantetrafluoroborat gelöst wird. Ein Filz oder Schwamm wird mit diesem Elektrolyten getränkt und über die zu beschichtende Fläche des Bauteils bewegt. Der durch den Filz oder Schwamm gebildete Überträger ist in der bereits beschriebenen Weise mit einer Elektrode ausgestattet. Diese kann aus Titan oder einem inerten Material, wie Platin, bestehen.

[0033] Je nach Werkstückgeometrie kann im Wechsel mit dem elektrochemischen Beschichten oder auch gleichzeitig an einer Stelle, an der das elektrochemische Beschichten aktuell nicht durchgeführt wird, der zweite Beschichtungsschritt vorgenommen werden. Hier werden Zonen beispielsweise aus Aluminium als zweiten Werkstoff mit dem genannten Kaltgasspritzen hergestellt. Im nachfolgenden elektrochemischen Behandlungsschritt werden die Zonen dann in der bereits beschriebenen Weise in die Metallmatrix eingebaut, indem wieder Titan elektrochemisch abgeschieden wird.

[0034] Weitere Einzelheiten der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung beschrieben. Gleiche oder sich entsprechende Zeichnungselemente sind jeweils mit den gleichen Bezugszeichen versehen und werden nur insoweit mehrfach erläutert, wie sich Unterschiede zwischen den einzelnen Figuren ergeben. Es zeigen:

Figur 1 ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Beschichtung eines Werkstücks,

Figur 2 und 3 ein Bewegungsmuster, wie die Kaltgasspritzdüse gemäß Figur 1 geführt werden kann und

Figur 4 bis 11 Schichtaufbauten, die sich mit Ausführungsbeispielen des erfindungsgemäßen Verfahrens herstellen lassen.

[0035] Bei dem Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß Figur 1 wird ein walzenförmiges Werkstück 11 mit einer Verschleißschuttschicht versehen. Das Werkstück 11 ist mit seiner Mittelachse 12 drehbar gelagert, wobei die Drehachse 13 mit der Mittelachse 12 identisch ist. Eine Lagerung 14 ist schematisch dargestellt, wobei während des Beschichtens das Werkstück 11 mittels eines nicht dargestellten Antriebs mit konstanter Geschwindigkeit gedreht wird.

[0036] In Figur 1 ist eine Aufsicht auf das Werkstück 11 von oben nach senkrecht unten dargestellt. Während des Beschichtens wird von der einen Seite ein Überträger 15 an das Werkstück herangeführt, der aus einem Schwamm mit offenen Poren 16 besteht. Durch diese wird in nicht näher dargestellter Weise über ein Zuführsystem 17 ein Elektrolyt auf die Oberfläche 18 des Werkstücks aufgetragen, welches sich unter dem Überträger hinweg bewegt. Dabei findet ein elektrochemisches Beschichten statt, wobei zu diesem Zweck das Werkstück 11 und der Überträger an eine Spannungsquelle 19 angeschlossen wird.

[0037] Gleichzeitig findet auf der gegenüberliegenden Seite des Werkstücks ein Kaltgasspritzen statt. Eine Kaltgasspritzdüse 20 wird hierzu auf die Oberfläche 18 des Werkstückes gerichtet und schrittweise ungefähr in Richtung der Drehachse 13 über die Oberfläche geführt. An den Verweilstellen 26 (dargestellt in Figur 3) des Kaltgasstrahls entstehen kleine Depots 27 (dargestellt in Figur 4) eines Werkstoffes mit anderem Ausdehnungskoeffizienten als dem des durch das elektrochemische Beschichten aufgetragenen Schichtwerkstoffes. Beim Führen des Kaltgasstrahls zwischen den Verweilstellen bleiben einzelne Partikel aus dem Kaltgasstrahl 21 an der Oberfläche haften und werden aufgrund der Drehung des Werkstücks anschließend in die sich danach ausbildende Schicht am Überträger 15 in die Schichtmatrix eingebaut. Dies entfalten aber im Vergleich zu den Depots 27 wegen ihrer geringen Ausdehnung eine vernachlässigbare Wirkung.

[0038] Zu erkennen ist in Figur 1 auch, dass ein Bewegungsbereich 22 der Kaltspritzdüse 20 etwas geringer ausfällt als die Länge des Werkstückes, da beispielsweise bei Arbeitswalzen von Walzwerken als zu beschichtende Werkstücke der jeweils stirnseitige Bereich am Walzprozess nicht beteiligt ist und daher auch nicht der starken Verschleißbeanspruchung ausgesetzt ist. Wird der Bewegungsbereich 22 der Kaltgasspritzdüse 20 so gewählt, dass dieser nicht bis zum Rand des zu beschichtenden Werkstückes reicht, hat dies Vorteile für die Verfahrensführung. Das Bewegungsmuster der Kaltspritzdüse ist in Figur 2 dargestellt. Dieser nimmt einen Verlauf, der einer Acht entspricht, wobei hierbei die ständige Bewegung 24 des Werkstückes aufgrund der Drehung berücksichtigt wird. Durch den acht-förmigen Verlauf wird

auf der Oberfläche 18 des Werkstückes 11 nämlich eine Linie 25 gemäß Figur 3 beschrieben, so dass es zu einer gleichmäßigen Beladung der Oberfläche mit Partikeln kommt. In Figur 3 sind auch die Verweilstellen 26 des Kaltgasstrahls dargestellt, die zu einem Aufbau von Depots 27 im Schichtwerkstoff 28 gemäß Figur 4 mit einer schachbrett-artigen Schichtstruktur führt.

[0039] In Figur 4 ist eine Aufsicht auf die Schichtoberfläche darstellt. Zu erkennen ist, dass die Depots 27 so in den ersten Werkstoff 28 der Schicht eingebettet sind, dass diese einen Teil der Schichtoberfläche bilden. In Figur 5 hingegen sind die Depots 27 vollständig vom Werkstoff 28 der Schicht umgeben. Dies lässt sich dadurch erreichen, dass nach dem Aufbringen der Depots 27 ein elektrochemischer Beschichtungsschritt mit dem ersten Werkstoff 28 der Schicht durchgeführt wird, ohne ein weiteres Mal das zweite Material aufzubringen. Eine so gebildete Schicht 29 weist damit drei Lagen 30 auf, von denen nur die mittlere mit den Depots 27 ausgestattet ist.

[0040] In Figur 6 ist wiederum die Schichtoberfläche mit frei liegenden Streifen 31 des zweiten Werkstoffes dargestellt, die an den Seitenflanken in den ersten Werkstoff 28 eingebettet sind. Eine andere Ausführungsform ergibt sich, wenn statt der Streifen 31 Rechtecke 32 hergestellt werden, wie dies in Figur 7 dargestellt ist. Auch diese liegen oben frei, so dass sie in der Schichtoberfläche zu erkennen sind, während sie mit ihren Seiten durch den ersten Werkstoff eingebettet sind.

[0041] In Figur 8 ist dargestellt, wie in die Schicht 29 auf dem Bauteil 11 ein Biegebalken 33 integriert werden kann. Um zu gewährleisten, dass dieser frei tragend hergestellt werden kann, wird als Opfermaterial 34 Wachs in einer vorgegebenen Form auf das Bauteil 11 aufgebracht, wobei das Opfermaterial auch eine Öffnung 35 im Bauteil 11 verschließt und so verhindert, dass diese durch den Beschichtungsvorgang verschlossen wird. Oberhalb des Opfermaterials 34 wird zunächst der erste Werkstoff 28 elektrochemisch abgeschieden, wobei das Opfermaterial zu diesem Zweck mit einer elektrisch leitfähigen Startschicht versehen werden muss. Anschließend wird auf den ersten Werkstoff eine Zone 36 durch Kaltgasspritzen hergestellt und anschließend an deren Flanken 36a in den ersten Werkstoff 28 eingebettet. Damit die Zone 36 selbst nicht durch den ersten Werkstoff 28 beschichtet wird, wird diese elektrisch isoliert (beispielsweise mittels eines Schutzlackes). Auf diese Weise entsteht zumindest im mittleren Teil des Biegebalkens 33 ein zweilagiger Verbund, der sich bei Temperaturänderungen aufgrund des inhomogenen Ausdehnungsverhaltens biegt und auf diese Weise auch die Öffnung 35 verschließen kann. Um diese Funktion zu gewährleisten, wird nach erfolgter Herstellung des Biegebalkens 33 das Opfermaterial 34 beispielsweise durch Aufschmelzen entfernt.

[0042] Ein anderes Ausführungsbeispiel ist in den Figuren 9 und 10 zu sehen, wobei die Schnittebenen der jeweils anderen Figuren entsprechend eingezeichnet

sind (Schnitt X-X entspricht der Schnittebene in Figur 10 und Schnitt IX-IX der Schnittebene in Figur 9). In Figur 9 ist ein Balken 37 dargestellt, der in die Schicht 29 integriert ist. An seinem einen Ende ist der Balken 37, der vollständig aus dem zweiten Werkstoff besteht, in den ersten Werkstoff 28 eingebettet (vgl. Figur 10) und damit im Bereich der Schicht 29 fixiert. Durch das Opfermaterial 34 ist ein Hohlraum definiert, welcher dazu führt, dass der Balken 37 frei tragend in der Schicht angeordnet ist.

[0043] Durch eine Erwärmung dehnt sich der Balken 37 aus, wobei bei einer genügenden Längenausdehnung ein Abstand a überbrückt wird, so dass der Balken 37 an eine aus dem ersten Werkstoff 28 gebildete Querstrebe 38 stößt. Diese überspannt ebenfalls frei tragend eine Ausgleichsöffnung 39, so dass sich bei einer weiteren Erwärmung und Ausdehnung des Balkens 37 die Querstrebe 38 elastisch verformen kann. In Figur 10 ist zu erkennen, dass das Opfermaterial auch unterhalb des Balkens 37 und der Querstrebe 38 dafür sorgt, dass eine Verbindung zum Bauteil 11 unterbleibt. Nach erfolgter Herstellung der Schicht 29 muss das Opfermaterial entfernt werden.

[0044] In Figur 9 ist zudem zu erkennen, an welchen Stellen 40 Elektroden an der Oberfläche angreifen könnten, um eine Änderung des elektrischen Widerstandes im Falle eines Kontaktes des Balkens 37 mit der Querstrebe 38 zu detektieren. Dieser lässt sich insbesondere dann messen, wenn der Balken 37 einen geringeren elektrischen Widerstand aufweist, als der erste Werkstoff 28.

[0045] In Figur 11 ist ein Bauteil 11 dargestellt, welches als Welle ausgeführt ist und im Querschnitt dargestellt ist. Die Schicht besteht aus dem ersten Werkstoff 28, wobei axial verlaufende Streifen 31 in der Schicht vorgesehen sind. Von außen betrachtet ergibt das Bauteil 11 damit ein Schichtbild, wie dieses in Figur 6 dargestellt ist.

40 Patentansprüche

1. Verfahren zum Beschichten eines Werkstücks (11), auf dem elektrochemisch eine Schicht (26) aus einem ersten Werkstoff hergestellt wird,
dadurch gekennzeichnet,
dass
 - ein Teil des ersten Werkstoffs durch elektrochemisches Beschichten auf das Werkstück (11) aufgetragen wird,
 - Zonen eines zweiten Werkstoffes mit einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten α , welcher von demjenigen des ersten Werkstoffes abweicht, unter Anwendung eines thermischen Spritzverfahrens auf den ersten Werkstoff aufgebracht werden und
 - anschließend die Zonen aus dem zweiten Werkstoff durch das elektrochemische Beschichten

- in die Schicht (26) eingebettet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass der zweite Werkstoff einen größeren thermischen Ausdehnungskoeffizienten α aufweist, als der erste Werkstoff. 5
 3. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass als thermisches Spritzverfahren ein Kaltgas-spritzen angewendet wird. 10
 4. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Schicht (26) in mehreren Lagen (28) hergestellt wird, indem das thermische Spritzverfahren und das elektrochemische Beschichten mehrfach durchgeführt werden. 20
 5. Verfahren nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass das thermische Spritzen und das elektrochemische Beschichten gleichzeitig, jedoch jeweils an unterschiedlichen Stellen des Werkstückes (11) durchgeführt wird. 25
 6. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass als Elektrolyt für das elektrochemische Beschichten eine ionische Flüssigkeit verwendet wird. 30
 7. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Zonen als inselartige Depots (27) in einem regelmäßigen Muster auf dem Werkstück verteilt werden. 35
 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Zonen als Streifen (31) auf dem Werkstück (11) angeordnet sind. 40
 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Zonen als Rechtecke (32) in einem zweidimensionalen Array auf dem Werkstück angeordnet sind. 45
 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Schicht (26) im Bereich zumindest einer Zone auf einem Opfermaterial (34) hergestellt wird, welches nach der Fertigstellung der Schicht (26) unter Ausbilden eines Hohlraumes entfernt wird. 50

11. Verfahren nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Zone zusammen mit dem ersten Werkstoff zu einem mehrlagigen, freitragenden Biegebalken (33) ausgebildet wird, der an seinem einen Ende mit dem restlichen Schichtverbund verbunden ist.
12. Verfahren nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Biegebalken (33) mit seinem freitragenden Ende oberhalb einer Öffnung (35) in der Oberfläche des Werkstückes (11) hergestellt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Zone als freitragender Balken (37) aus dem zweiten Werkstoff hergestellt wird,
 - der einen größeren thermischen Ausdehnungskoeffizienten α hat, als das erste Material,
 - der an seinem einen Ende mit dem restlichen Schichtverbund verbunden ist und
 - der an seinem anderen Ende mit einem definierten Abstand zum restlichen Schichtverbund hergestellt wird.
14. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Bauteil (11) eine Drehachse (13) aufweist, und die mit Zonen versehenen Teile der Schicht in Umfangsrichtung bezüglich der Drehachse (13) gesehen mit Teilen der Schicht ohne diese Zonen einander abwechseln.

Claims

1. Process for coating a workpiece (11) on which a layer (26) of a first material is produced electrochemically,
characterized in that
 - a part of the first material is applied to the workpiece (11) by electrochemical coating,
 - zones of a second material having a coefficient of thermal expansion α which differs from that of the first material are applied to the first material using a thermal spraying process and
 - the zones of the second material are subsequently embedded in the layer (26) by electrochemical coating.
2. Process according to Claim 1, **characterized in that** the second material has a greater coefficient of thermal expansion α than the first material.
3. Process according to either of the preceding claims, **characterized in that** cold gas spraying is employed

as thermal spraying process.

4. Process according to any of the preceding claims, **characterized in that** the layer (26) is produced in a plurality of coats (28) by carrying out the thermal spraying process and electrochemical coating a plurality of times. 5
5. Process according to Claim 4, **characterized in that** thermal spraying and electrochemical coating are carried out simultaneously but each at different places on the workpiece (11). 10
6. Process according to Claim 5, **characterized in that** an ionic liquid is used as electrolyte for electrochemical coating. 15
7. Process according to any of the preceding claims, **characterized in that** the zones are distributed as island-like depots (27) in a regular pattern on the workpiece. 20
8. Process according to any of Claims 1 to 6, **characterized in that** the zones are arranged as strips (31) on the workpiece (11). 25
9. Process according to any of Claims 1 to 6, **characterized in that** the zones are arranged as rectangles (32) in a two-dimensional array on the workpiece. 30
10. Process according to any of Claims 1 to 6, **characterized in that** the layer (26) is produced in the region of at least one zone on a sacrificial material (34) which is removed to form a hollow space after production of the layer (26). 35
11. Process according to Claim 10, **characterized in that** the zone together with the first material is configured so as to give a multilayer, cantilevered bending beam (33) which is joined at its one end to the remaining layer composite. 40
12. Process according to Claim 11, **characterized in that** the bending beam (33) is produced with its free end above an orifice (35) in the surface of the workpiece (11). 45
13. Process according to Claim 10, **characterized in that** the zone as cantilevered beam (37) is produced from the second material 50
 - which has a greater coefficient of thermal expansion α than the first material,
 - which is joined at its one end to the remaining layer composite and 55
 - which is produced with its other end at a defined spacing from the remaining layer composite.

14. Process according to any of the preceding claims, **characterized in that** the component (11) has an axis of rotation (13) and the parts of the layer provided with zones alternate with parts of the layer without these zones in the circumferential direction relative to the axis of rotation (13).

Revendications

1. Procédé de revêtement d'une pièce (11), sur laquelle est produite électrochimiquement une couche (26), en un premier matériau, **caractérisé en ce que**
 - une partie du premier matériau est déposée sur la pièce (11) par revêtement électrochimique,
 - des zones d'un deuxième matériau ayant un coefficient α de dilatation thermique, qui s'écarte de celui du premier matériau, sont déposées sur le premier matériau, en appliquant un procédé de pulvérisation thermique et
 - ensuite les zones en le deuxième matériau sont incorporées dans la couche (26) par le revêtement électrochimique.
2. Procédé suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** le deuxième matériau a un coefficient α de dilatation thermique plus grand que le premier matériau.
3. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'on applique une pulvérisation par gaz froid comme procédé de pulvérisation thermique.
4. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'on produit la couche (26) en plusieurs strates (28), en effectuant le procédé de pulvérisation thermique et le revêtement électrochimique plusieurs fois.
5. Procédé suivant la revendication 4, **caractérisé en ce que** l'on effectue la pulvérisation thermique et le revêtement électrochimique en même temps, mais en des endroits différents respectivement de la pièce (11).
6. Procédé suivant la revendication 5, **caractérisé en ce que** l'on utilise un liquide ionique comme élec-

trolyte pour le revêtement électrochimique.

7. Procédé suivant l'une des revendications précédentes,
caractérisé 5
en ce que l'on répartit les zones sous la forme de dépôts (27) de type en îlot suivant un modèle régulier sur la pièce.

8. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 6, 10
caractérisé
en ce que les zones sont disposées sous la forme de bandes (31) sur la pièce (11) .

9. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 6, 15
caractérisé
en ce que les zones sont disposées sous la forme de rectangles (32) suivant un réseau en deux dimensions sur la pièce. 20

10. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 6, **caractérisé**
en ce que l'on produit la couche (26) dans la région d'au moins une zone, sur un matériau (34) sacrificiel, qui est éliminé avec formation d'une cavité, 25
 après que la production de la couche (26) est finie.

11. Procédé suivant la revendication 10, **caractérisé**
en ce que l'on forme la zone, ensemble avec le premier matériau, en une poutre (33) de flexion en porte à faux à plusieurs strates, qui est reliée à l'une de ses extrémités aux composites de couches restants. 30

12. Procédé suivant la revendication 11, 35
caractérisé
en ce que l'on produit la couche (33) de flexion avec son extrémité en porte à faux au dessus d'une ouverture (35) de la surface de la pièce (11). 40

13. Procédé suivant la revendication 10, **caractérisé**
en ce que l'on produit la zone, sous la forme d'une poutre (37) en porte à faux, en le deuxième matériau, 45
 - qui a un coefficient α de dilatation thermique plus grand que le premier matériau,
 - qui est reliée, par l'une de ses extrémités, aux composites de couches restants et 50
 - qui est produite, à son autre extrémité, à une distance définie du composite de couches restant.

14. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, 55
caractérisé
en ce que le composant (11) a un axe (13) de

rotation et les parties de la couche, pourvues de zones, alternent, dans la direction périphérique considérée par rapport à l'axe (13) de rotation, avec des parties de la couche sans ces zones.

FIG 1

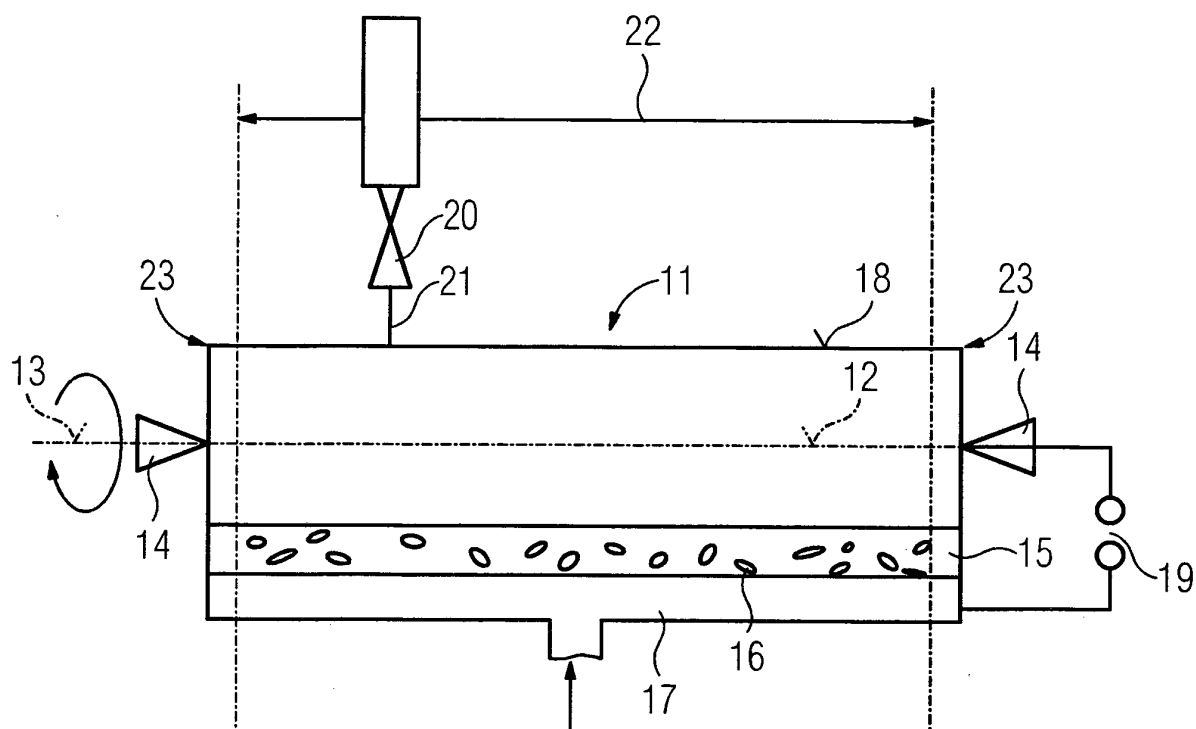


FIG 2

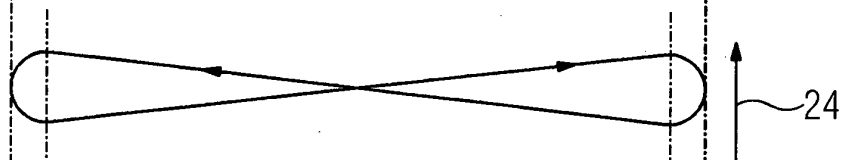


FIG 3

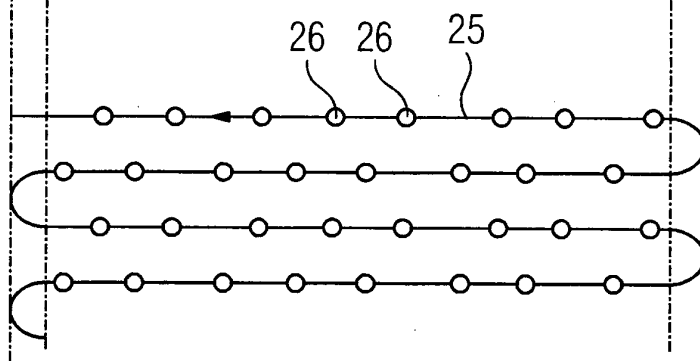


FIG 4

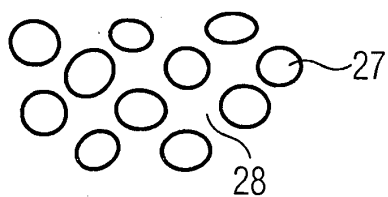


FIG 5

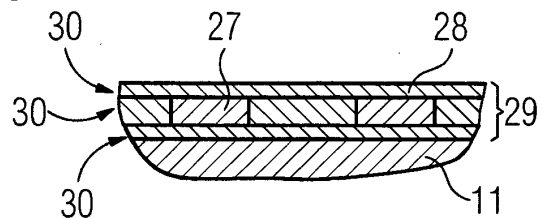


FIG 6

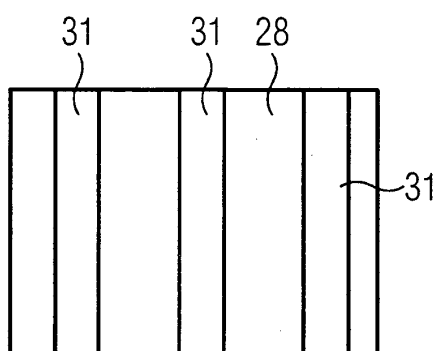


FIG 7

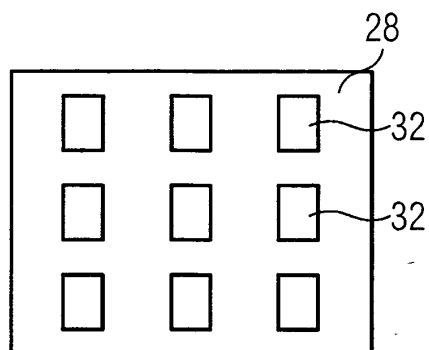


FIG 8

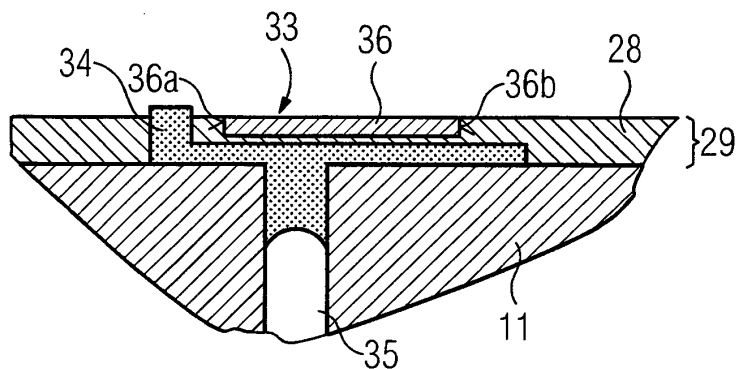


FIG 9

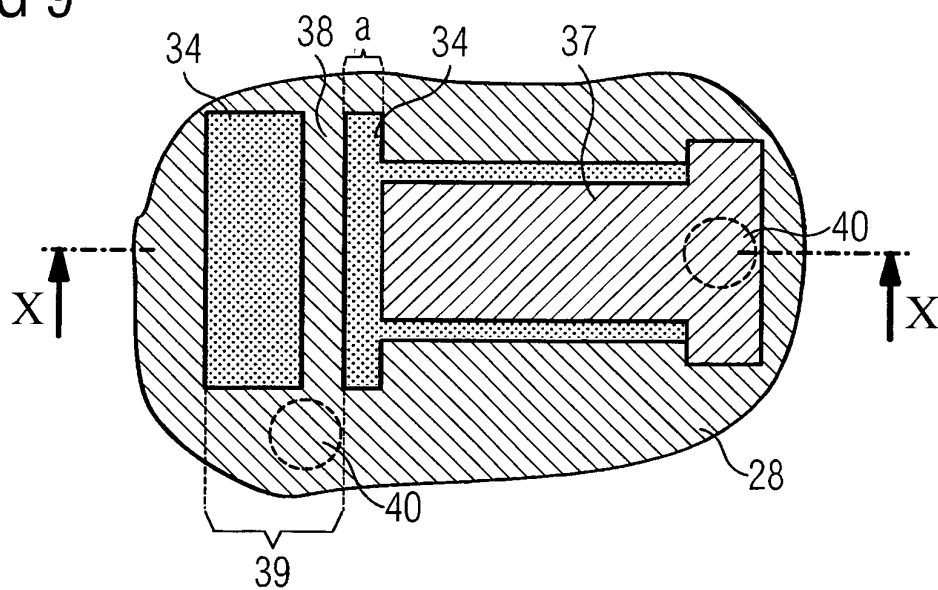


FIG 10

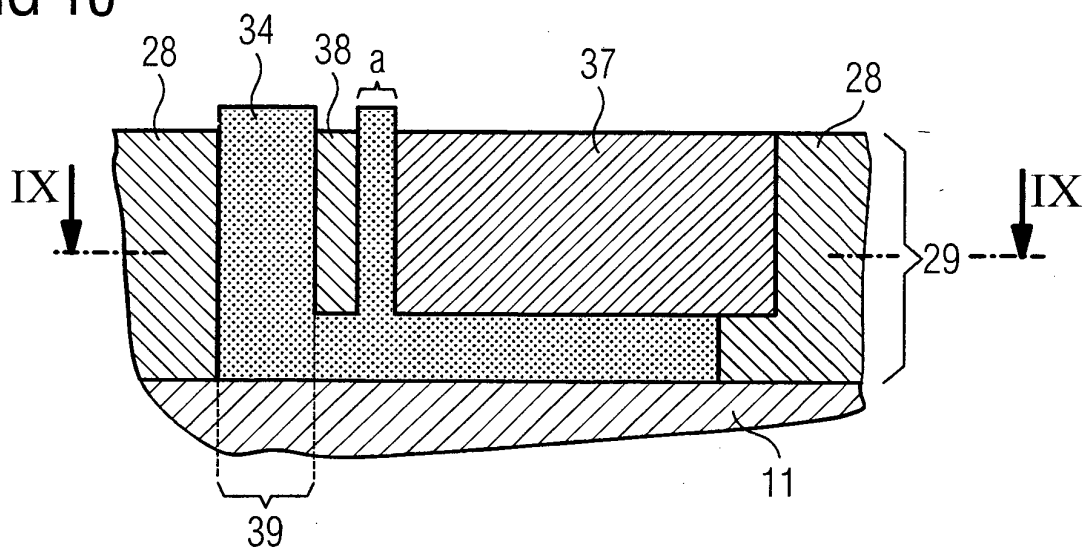
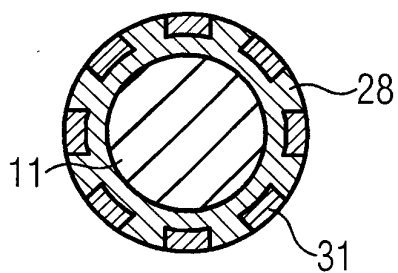


FIG 11



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

- DE 60225352 T2 [0002]
- WO 2006061081 A2 [0003] [0016]
- DE 4344387 A1 [0003] [0016]
- WO 2006089519 A1 [0004]
- US 2008299247 A1 [0005]
- WO 0212595 A1 [0006]
- US 2005029109 A1 [0006]
- EP 1029951 A2 [0006]