

(19)



(11)

EP 3 463 678 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
15.07.2020 Patentblatt 2020/29

(51) Int Cl.:
B05B 7/22 (2006.01) **B05B 13/06** (2006.01)
B05B 12/08 (2006.01) **C23C 4/08** (2016.01)
C23C 4/11 (2016.01) **C23C 4/134** (2016.01)

(21) Anmeldenummer: **17724095.9**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2017/062422

(22) Anmeldetag: **23.05.2017**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2017/202852 (30.11.2017 Gazette 2017/48)

(54) BESCHICHTUNGSVERFAHREN

COATING METHOD

PROCEDE DE REVETEMENT

(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: **27.05.2016 EP 16171839**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
10.04.2019 Patentblatt 2019/15

(73) Patentinhaber: **Oerlikon Metco AG, Wohlen
5610 Wohlen (CH)**

(72) Erfinder:
• **ERNST, Peter
8174 Stadel b. Niederglatt (CH)**

- **LÜTHY, Peter
5610 Wohlen AG (CH)**
- **BOHNHEIO, Christian
5610 Wohlen AG (CH)**
- **STÖCKLI, Martin
5623 Boswil (CH)**
- **MICHLA, Alexander
79801 Hohentengen (DE)**

(74) Vertreter: **Intellectual Property Services GmbH
Langfeldstrasse 88
8500 Frauenfeld (CH)**

(56) Entgegenhaltungen:
**EP-A1- 2 052 785 GB-A- 432 269
JP-A- 2012 062 535**

EP 3 463 678 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 Beschichtungsverfahren zur Beschichtung einer gekrümmten Oberfläche, insbesondere konkave innere Oberfläche einer Bohrungs- oder Zylinderwand. Thermische Spritzverfahren wie z.B. Plasmaspritzverfahren oder Hochgeschwindigkeits-spritzverfahren (HWOFF) sowie die entsprechenden thermischen Spritzgeräte, wie z.B. Plasmaspritzgeräte, sogenannte Plasmabrenner, werden im allgemeinen zum Beschichten von thermisch oder mechanisch hoch beanspruchten Teilen verwendet, indem ein geeignetes Material, beispielsweise eine Keramik oder eine Metalllegierung, durch den im Plasmabrenner erzeugten Lichtbogen geschmolzen und mittels Unterstützung einer Gasströmung auf die zu beschichtende Fläche aufgetragen wird. Solange die zu beschichtende Fläche leicht von aussen her zugänglich ist bzw. keine gekrümmten Oberflächen hat, kann diese mit einem herkömmlichen thermischen Spritzgerät beschichtet werden. Sollen jedoch z.B. Innenwandungen von Bohrungen oder rohrartige Geometrien innenbeschichtet werden, so stellen sich gewisse Probleme. Wird eine Wandung einer solchen Geometrie durch ein herkömmliches thermisches Spritzgerät, beispielsweise mit einem Plasmaspritzgerät mit einem in Bezug auf seine Längsachse hauptsächlich axial austretendem Plasmastrahl beschichtet, so ist dies höchst ineffizient, da nur ein verschwindend geringer Teil des geschmolzenen Beschichtungsmaterials effektiv auf die sich radial in Bezug auf die Längsachse des Plasmaspritzgeräts befindende Wandung aufgetragen wird.

[0002] Diese Problematik tritt in der technischen Anwendung insbesondere beim thermischen Beschichten von Zylinderlaufflächen von Verbrennungsmotoren auf, wobei entsprechende Beschichtungen durch verschiedene thermische Spritzverfahren im Stand der Technik aufgebracht werden. Dies ist heutzutage insbesondere, aber nicht nur, bei Motoren für Kraftfahrzeuge, Flugzeuge, Boote und Schiffe aller Art in weit verbreiteter Anwendung.

[0003] Dabei ist es heute üblich, Plasmaspritzvorrichtungen mit einem rotierenden Plasmabrenner zur Beschichtung der konkaven Innenflächen der Zylinder zu verwenden oder es ist auch möglich den Liner selbst zu rotieren. Bei diesen speziellen Plasmaspritzvorrichtungen tritt ein Beschichtungsstrahl entweder senkrecht zur Rotationsachse des Plasmabrenners oder unter einem bestimmten Neigungswinkel zur Rotationsachse aus dem Plasmabrenner aus und wird zum Beispiel unter zu Hilfenahme eines Druck beaufschlagten Gasstroms, der häufig von einem Edelgas, oder einem Inertgas wie Stickstoff, oder auch einfach durch Luft gebildet sein kann, zur Bildung der gewünschten Oberflächenschicht auf die zylindrische konkave Oberfläche geschleudert. Dabei haben sich Beschichtungsverfahren bzw. Plasmaspritzvorrichtungen in der Praxis ganz besonders bewährt, die als Ausgangsmaterial für die Beschichtung ein thermisches Spritzpulver benützen. Ein solche rotierende Plas-

maspritzvorrichtung sowie entsprechende Plasmaspritzverfahren sind z.B. bereits in der EP0601968 A1 offenbart. Hochmoderne Geräte, wie z.B. die Brenner SM-F210 der Firma Oerlikon Metco sind seit langem sehr erfolgreich in Gebrauch und fest im Markt etabliert. Aber auch Lösungen, die Spritzdrähte in rotierenden Brenner verwenden sind bekannt, wie beispielsweise in der WO 2008/037514 gezeigt.

[0004] Dabei werden gewöhnlich die entsprechenden Zylinderlaufflächen durch verschiedene Verfahren vor dem thermischen Beschichten aktiviert, z.B. durch Korundstrahlen, Hartgussstrahlen, Hochdruckwasserstrahlen, diverse Laserverfahren oder durch andere an sich bekannte Aktivierungsverfahren. Am häufigsten werden dabei Substrate aus leichtmetallischen Legierungen auf Al oder Mg, aber auch solche auf Eisen- bzw. Stahlbasis vorbehandelt und anschliessend beschichtet. Die Aktivierung der Oberflächen garantiert dabei insbesondere eine bessere Haftung der thermisch aufgespritzten Beschichtungen.

[0005] Dabei gibt es durchaus auch spezielle Anwendungsbeispiele, wo Mehrschichtsysteme vorteilhaft erscheinen, die nacheinander aus verschiedenen Beschichtungsmaterialien aufgespritzt werden, oder die zwar aus dem gleichen Material bestehen aber unter Verwendung von unterschiedlichen Spritzparametern aufgebracht werden, so dass die aufgebrachte Schicht ganz spezielle chemische, physikalische, topologische oder andere Eigenschaften erhalten, die sich zum Beispiel über die Schichtdicke ändern können.

[0006] Durch solche und eine Vielzahl weiterer innovativer Massnahmen, die dem Fachmann inzwischen wohlbekannt sind, konnten die Schichteigenschaften, insbesondere auch von Zylinderinnenbeschichtungen, bis heute sukzessive immer weiter verbessert werden.

[0007] Dabei hat sich aber gezeigt, dass unterschiedliche Laufflächenmaterialien durchaus auch unterschiedliche Anforderungen an die Verfahren stellen, mit denen die Beschichtungen aufgebracht werden.

[0008] So hat sich herausgestellt, dass z.B. keramische Schichtwerkstoffe, wie beispielsweise der bewährte Schichtwerkstoff F6399 (Cr_2O_3) der Anmelderin, im Vergleich zu einem metallischen Schichtwerkstoff wie z.B. XPT512 (ein niedrig legierter Kohlenstoff Stahl) prozesstechnisch viel anspruchsvoller zu verarbeiten sind. Dies spiegelt sich insbesondere in einer oft niedrigeren Schichtauftragsrate und in der daraus resultierenden längeren Prozesszeit wieder.

[0009] Daher ist es im Stand der Technik zumindest für das Plasmabeschichten mit pulverförmigen Beschichtungsmaterialien üblich, die Rotation des Brenners auf einen maximalen Wert zu begrenzen, wobei gleichzeitig auch die maximale Förderrate des Pulvers entsprechend begrenzt werden muss. Die vorgenannte Begrenzung der Rotationsfrequenz der Plasmabrennereinheit gilt natürlich auch für die RotaPlasma™ Einheit der Anmelderin, die ein Werkzeugmanipulator ist, mit welchem ein APS-Innenbrenner in Rotation versetzt

wird, um das pulverförmige Material im Inneren einer Zylinderbohrung aufzubringen. Die Begrenzung der Rotationsfrequenz auf rund 200 U/min gilt dabei nicht nur für die RotaPlasma™ Einheit, sondern ist grössenordnungsmässig eine Begrenzung der Rotationsfrequenz, wie sie im Stand der Technik auch bei der Verwendung anderer rotierender Plasmabrenner, die mit pulverförmigen Materialien arbeiten, eingehalten wird.

[0010] Diese Begrenzung der Rotationsfrequenz wurde bisher als notwendig erachtet, um zu hohe Eigenspannungen in den gespritzten Schichten zu verhindern, die zu schädlichen Rissen oder sonstigen Schäden an der gespritzten Schicht führen können. Was beispielsweise im Falle einer Beschichtung eines Zylinderliners eines Verbrennungsmotors zu fatalen Folgen führen kann, was dem Fachmann natürlich wohlbekannt ist.

[0011] Dabei hat sich gezeigt, dass diese Gefahr nicht nur, aber in besonderem Masse bei der Verwendung von keramischen Beschichtungswerkstoffen gegeben ist und daher dazu führt, dass vor allem solche keramischen Beschichtungswerkstoffe nur mit sehr niedrigen Förderraten und damit zusammenhängend verhältnismässig niedrigen Rotationsraten des Plasmabrenners aufgetragen werden können, wenn Beschichtungen von genügender Qualität hergestellt werden sollen. Allein dieser Umstand hat zur Folge, dass sich vor allem im industriellen Massstab keramische Beschichtungen auf Zylinderinnenflächen nicht ausreichend wirtschaftlich herstellen lassen.

[0012] Aber selbst wenn die Beschichtungen mit sehr niedrigen Rotationsraten des Plasmabrenners und mit entsprechend niedrigen Pulverförderraten aufgetragen werden, können trotzdem noch so hohe Eigenspannungen entstehen, dass immer noch Risse oder andere Schädigungen der aufgetragenen Schichten entstehen, die zwar in gewissen Grenzen tolerierbar, aber selbstverständlich nicht wünschenswert sind, da auch z.B. nur wenig ausgeprägte Risse natürlich die Qualität der Beschichtungen letztlich negativ beeinflussen. Was insbesondere im Fall von Zylinderbeschichtungen für Verbrennungsmotoren eine entscheidende Rolle spielt, da nicht zuletzt durch den Gesetzgeber auch immer höhere Ansprüche bezüglich Umweltstandards und Treibstoffverbrauch gestellt werden, die mit Beschichtungen höherer Qualität grundsätzlich einfacher zu erreichen sind. Auch führen Beschichtungen von minderer Qualität natürlich auch zu kürzeren Standzeiten im Betrieb, verkürzen damit die Wartungsintervalle und führen insgesamt zu einer geringeren Lebensdauer und letztlich zu höheren Betriebskosten der damit ausgerüsteten Motoren.

[0013] Die Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Plasmabeschichtungsverfahren zur Beschichtung einer gekrümmten Oberfläche, insbesondere einer konkaven inneren Oberfläche einer Bohrungs- oder Rohrwand, im speziellen einer Innenwand einer Lauffläche einer Zylinderbohrung bzw. eines Zylinderliners für Verbrennungsmotoren zur Verfügung zu stellen, mit welchem die aus dem Stand der Technik bekannten Nachteile vermieden

werden und insbesondere das Aufbringen von Plasmabeschichtungen mittels eines pulverförmigen Spritzmaterials deutlich verbessert wird, so dass die erzeugten Schichten im Vergleich zum Stand der Technik massiv reduzierte Eigenspannungen haben, damit deutlich weniger bzw. keine Risse oder sonstige Schädigungen mehr aufweisen, und die Beschichtungen gleichzeitig effizienter, schneller und kostengünstiger als mit den aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren aufgebracht werden können.

[0014] Der diese Aufgaben lösende Gegenstand der Erfindung ist durch die Merkmale des unabhängigen Anspruchs 1 gekennzeichnet. Die jeweiligen abhängigen Ansprüche beziehen sich auf besonders vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung.

[0015] Die Erfindung betrifft somit ein Beschichtungsverfahren zum Beschichten einer gekrümmten Oberfläche, insbesondere konkave innere Oberfläche einer Bohrungs- oder Zylinderwand, mittels eines pulverförmigen Beschichtungsmaterials unter Verwendung eines thermischen Spritzgeräts, in Form eines Plasmaspritzgeräts oder eines HVOF Spritzgeräts. Dabei ist an einem Brennerschaft des thermischen Spritzgeräts ein Brenner, insbesondere Plasmabrenner zur Erzeugung eines Beschichtungsstrahls aus dem pulverförmigen Beschichtungsmaterial im Speziellen mittels eines Lichtbogens vorgesehen und der Brenner wird um eine Schaftachse des Brennerschafts mit einer vorgegebenen Rotationsfrequenz rotiert, wobei der Beschichtungsstrahl zum Aufbringen einer Beschichtung auf die gekrümmte Oberfläche zumindest teilweise radial von der Schaftachse weg zur gekrümmten Oberfläche hin gerichtet wird. Erfindungsgemäss wird eine in Bezug auf eine Basis-Rotationsfrequenz des Brenners höhere Rotationsfrequenz des Brenners gewählt und die Förderrate des pulverförmigen Beschichtungsmaterials wird gemäss einem vorgegebenen Schema derart geändert, dass die Förderrate an die höhere Rotationsfrequenz des Brenners angepasst wird.

[0016] Wie bereits eingangs erwähnt, zeichnen sich Laufflächenmaterialien, wie z.B. das am Markt bekannte F6399 (Cr₂O₃) der Anmelderin, durch ihre keramischen Werkstoffeigenschaften aus. Im Vergleich zu metallischen Schichtwerkstoffen, wie z.B. XPT512 (niedrig legierter C-Stahl) sind in der Regel die keramischen Werkstoffe prozesstechnisch anspruchsvoller zu verarbeiten. Dies spiegelt sich insbesondere in einer oft niedrigeren Schichtauftragsrate und in der daraus resultierenden, längeren Prozesszeit wieder.

[0017] Insbesondere diese Problematik wurde durch die vorliegende Erfindung erstmals ernsthaft adressiert und letztlich gelöst. Bisher war die maximale Drehzahl der Plasmabrenner, wie z.B. der einer RotaPlasma™ Einheit auf ca. 200 U/min begrenzt, was auch die maximale Förderrate der pulverförmigen Beschichtungsmaterialien begrenzte. Die Begrenzung war notwendig, wollte man nicht riskieren, dass hohe Eigenspannungen in den Schichten entstehen. Diese Gefahr ist insbeson-

dere bei keramischen Werkstoffen gegeben und führt dazu, dass diese in der Regel nur mit sehr niedrigen Förderraten aufgetragen werden können, was die Wirtschaftlichkeit von solchen keramischen Beschichtungen in Frage stellt.

[0018] Entgegen aller bisherigen Annahme der Fachleute wurde durch die vorliegende Erfindung jetzt erstmals erkannt, dass eine Erhöhung der Rotationsfrequenz des Plasmabrenners, z.B. auf bis zu 800 U/min oder sogar noch höher, bei gleichzeitiger geeigneter Steigerung der Förderrate des pulverförmigen Beschichtungsmaterials im Beschichtungsprozess sich die Schichteigenschaften drastisch verbessern lassen. Die wesentliche Erkenntnis der Erfindung ist es also, dass entgegen aller bisherigen Annahmen eine Erhöhung der Rotationsfrequenz des Plasmabrenners nicht automatisch zu einer Verschlechterung der Schichteigenschaften führen muss, wenn nur die Förderrate des pulverförmigen Schichtmaterials geeignet angepasst wird. Die durch die Erfinder durchgeführten Spritzversuche haben dabei eindeutig gezeigt, dass die Erhöhung der Relativgeschwindigkeit zwischen Pulverstrahl und der zu beschichtenden Oberfläche (als Resultat der höheren Drehzahl) einen positiven Einfluss auf die Schichtqualität hat. Dies ist insbesondere bei den keramischen Schichten zu beobachten. Dadurch können natürlich zusätzlich zu verbesserten Schichteigenschaften auch die Beschichtungszeiten drastisch reduziert werden. Eine Reduktion der Beschichtungszeiten für die Beschichtung einer Zylinderlauffläche eines Zylinders um einen Faktor 2 bis 3 oder sogar noch mehr ist mit dem erfindungsgemässen Verfahren problemlos erreichbar.

[0019] Darüber hinaus sind die nach dem erfindungsgemässen Verfahren aufgetragenen Beschichtungen insbesondere in den oberen und unteren Randbereichen eines innen beschichteten Zylinders von deutlich besserer Qualität, als die aus dem Stand der Technik bekannten Beschichtungen. Diesbezüglich gab es zum Beispiel bei Zylinderlaufflächen von Zylindern für Verbrennungsmotoren immer wieder an den oberen und unteren Enden der Zylinder Probleme mit der Qualität der aufgetragenen Beschichtung. Da an diesen Randbereichen beim thermischen Spritzen z.B. vermehrt Turbulenzen im Beschichtungsstrahl und / oder andere negative Effekte auftreten können, waren diese Randbereiche oft von deutlich schlechterer Qualität, z.B. in Bezug auf die Porosität, Härte, Haftfestigkeit usw., als der Rest der Zylinderlauffläche weiter im Inneren der Zylinder. Auch dieser Mangel wird die durch die vorliegende Erfindung im wesentlichen vollständig beseitigt, so dass mit der Erfindung Beschichtungen von durchgehend gleich hoher Qualität, auch an den Randbereichen eines Zylinders erzeugt werden können.

[0020] Bei einem für die Praxis besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel wird das pulverförmige Beschichtungsmaterials derart mit einer vorgegebenen Förderrate zum Plasmabrenner gefördert und die Förderrate so an die Rotationsfrequenz des Plasmabrenners ange-

passt, dass bei einer grösseren Rotationsfrequenz des Plasmabrenners auch eine höhere Förderrate des pulverförmigen Beschichtungsmaterials gewählt wird. Das heisst, bevorzugt wird die Förderrate des pulverförmigen Beschichtungsmaterials ebenfalls erhöht, wenn die Rotationsgeschwindigkeit des Plasmabrenners erhöht wird. Dadurch können z.B. trotz einer kürzeren Bearbeitungszeit durch den Plasmabrenner, also trotz einer schnelleren Rotation des Plasmabrenners ähnlich oder gleiche Schichtdicken erzeugt werden, wie bei einer kleineren Rotationsfrequenz des Plasmabrenners. Die Wahl der höheren Rotationsfrequenz und/oder die Anpassung der Förderrate an die höhere Rotationsfrequenz kann vor Beginn eines Beschichtungsdurchgangs erfolgen, also beispielsweise bevor das pulverförmige Beschichtungsmaterial zugeführt wird, sodass während eines Beschichtungsdurchgangs keine Anpassung der Rotationsfrequenz und/oder Förderrate notwendig wird. Unter einem Beschichtungsdurchgang kann hierbei das Aufbringen einer Schicht mit einer oder mehrere Lagen des pulverförmigen Beschichtungsmaterials und/oder eines weiteren pulverförmigen Beschichtungsmaterials verstanden werden.

[0021] In der Praxis ist häufig durch einen zu verwendenden Plasmabrenner, wie etwa der RotaPlasma™ Einheit eine aus technischen Gründen eine Basis-Rotationsfrequenz des Plasmabrenners, sowie eine mit der Basis-Rotationsfrequenz korrespondierende Basis-Förderrate zur Förderung des pulverförmigen Beschichtungsmaterials definiert und damit vorgegeben. Dabei ist die Basis-Rotationsfrequenz eines Plasmabrenners und die mit der Basis-Rotationsfrequenz korrespondierende Basis-Förderrate in der Praxis sehr häufig nicht nur von der konkret verwendeten Plasmabrennereinheit abhängig, sondern wird zusätzlich auch vom verwendeten Beschichtungsmaterial oder auch von der Geometrie der Bohrung mit bestimmt. Daher sind die Basis-Rotationsfrequenz und die Basis-Förderrate für einen konkreten Beschichtungsprozess zusätzlich in vielen Fällen auch in Abhängigkeit vom Spritzwerkstoff zu wählen.

[0022] Die Basis-Rotationsfrequenz und die Basis-Förderrate sind somit nichts anderes als diejenige Rotationsfrequenz und diejenige Förderrate, mit der im Stand der Technik bisher standardmässig gearbeitet wird.

[0023] In der Praxis wird die Rotationsfrequenz meist um einen vorgegebenen Rotationsfaktor gemäss $N = FM_N \times N_0$ grösser als die Basis-Rotationsfrequenz gewählt wird, um zu einer besseren Beschichtung und zu einer kürzeren Beschichtungszeit zu gelangen, wobei besonders bevorzugt die gleichzeitig die Förderrate um einen vorgegebenen Förderfaktor gemäss $F = FM_F \times F_0$ grösser als die Basis-Förderrate gewählt wird.

[0024] Insbesondere dann, wenn trotz schnellerer Rotation des Plasmabrenners eine unveränderte Schichtdicke der Beschichtung erreicht werden soll, kann der Förderfaktor gleich dem Rotationsfaktor gewählt werden. Dabei versteht der Fachmann, dass eine Schichtdicke der Beschichtung durch eine geeignete Wahl eines Fak-

torverhältnisses gemäss $FV = FM_N / FM_F$ die Schichtdicke, aber auch eine andere Schichteigenschaft der Beschichtung, insbesondere eine Härte, eine Mikrohärt, eine Porosität, eine Streckgrenze, eine Elastizität, Haftfestigkeit oder eine andere Schichteigenschaft der Beschichtung durch eine geeignete Wahl des Rotationsfaktors und / oder durch eine geeignete Wahl des Förderfaktors, insbesondere durch eine geeignete Wahl des Faktorverhältnisses gemäss $FV = FM_N / FM_F$ nach Bedarf festlegen kann. Das Faktorverhältnis FV kann im Bereich $0.5 \leq FV \leq 10$, bevorzugt im Bereich $0.75 \leq FV \leq 8$, besonders bevorzugt im Bereich $1 \leq FV \leq 4$ liegen. Das Faktorverhältnis FV kann aber auch $FV = 4$ oder $FV = 3$ oder $FV = 2$ oder $FV = 1$ betragen.

[0025] In der Praxis ist unter einer erhöhten Rotationsfrequenz eines Pulver Plasmabrenners z.B. eine Rotationsfrequenz grösser als 200 U/min, bevorzugt grösser als 400 U/min oder grösser als 600 U/min, im Speziellen gleich oder grösser als 800 U/min zu verstehen. Unter einer erhöhten Förderrate ist z.B. eine Förderrate von grösser als 25 g/min, bevorzugt grösser als 50 g/min oder grösser als 100 g/min, im Speziellen gleich oder grösser als 100 g/min zu verstehen. Die vorgenannten erhöhten Rotationsfrequenzen und Förderraten sind insbesondere für Plasmabrennereinheiten vom Typ RotaPlasma™ typisch. Sind aber durchaus universell auch für andere Pulver Plasmabrennereinheiten zu verstehen, da technisch sinnvolle Auftragsraten hauptsächlich durch Eigenschaften des Substrats und die verwendeten Spritzmaterialien, insbesondere keramische oder metallische bzw. nicht keramische Spritzmaterialien bestimmt sind und erst in zweiter Linie vom speziellen Typ des rotierenden Plasmabrenners wesentlich abhängen.

[0026] Insbesondere bei der Beschichtung von Zylinderlaufflächen für Zylinder von Verbrennungsmotoren wird als Beschichtungsmaterial bevorzugt ein keramisches Beschichtungsmaterial, insbesondere TiO_2 oder Cr_2O_3 und / oder wobei als Beschichtungsmaterial aber auch ein metallisches Beschichtungsmaterial, insbesondere ein niedrig legierter Stahl, im Speziellen Fe-1.4Cr-1.4Mn1.2C oder ein anderes Beschichtungsmaterial vorteilhaft verwendet.

[0027] Dabei kann je nach Bedarf oder Anwendung eine nach dem erfindungsgemässen Verfahren aufgetragene Beschichtung auch in an sich bekannter Weise in Form einer mehrlagigen Beschichtung aufgetragen werden, die aus gleichen oder unterschiedlichem Beschichtungsmaterial bestehen kann, wobei die mehrlagige Beschichtung dann gleiche oder unterschiedliche Schichteigenschaften, insbesondere Härte, Mikrohärt, Porosität, Streckgrenze, Elastizität oder Haftfestigkeit aufweisen kann.

[0028] Die Erfindung betrifft weiter eine thermische Beschichtung auf einer inneren Oberfläche einer Zylinderwand, insbesondere auf einer Zylinderlauffläche eines Zylinders eines Verbrennungsmotors, aufgebracht nach einem erfindungsgemässen Beschichtungsverfahren, sowie einen Zylinder für einen Verbrennungsmotor mit

einer mittels eines erfindungsgemässen Beschichtungsverfahrens aufgetragenen thermischen Beschichtung.

[0029] Im Folgenden wird die Erfindung an Hand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen in schematischer Darstellung:

Fig. 1 schematisch ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemässen Beschichtungsverfahrens am Beispiel einer Zylinderlauffläche;

Fig. 2 ein schematisches Diagramm zur Erläuterung des Zusammenhangs zwischen Rotationsfrequenz und Förderrate;

Fig. 3a zeichnerische Darstellung eines Schnittes durch eine Beschichtung aus TiO_2 gespritzt bei 200 U/min;

Fig. 3b zeichnerische Darstellung eines Schnittes durch eine Beschichtung aus TiO_2 gespritzt bei 400 U/min;

Fig. 3c zeichnerische Darstellung eines Schnittes durch eine Beschichtung aus TiO_2 gespritzt bei 600 U/min;

Fig. 3d zeichnerische Darstellung eines Schnittes durch eine Beschichtung aus TiO_2 gespritzt bei 800 U/min;

[0030] Im Folgenden wird die Erfindung exemplarisch anhand von Plasmaspritzverfahren erläutert. Es versteht sich von selbst, dass die Erfindung nicht auf Plasmaspritzverfahren beschränkt, sondern mit jedem geeigneten thermischen Spritzverfahren, z.B. mit einem HVOF Verfahren durchgeführt werden kann.

[0031] Die Fig. 1 zeigt in einer schematischen Darstellung die Durchführung eines einfachen Ausführungsbeispiels des erfindungsgemässen Verfahrens am Beispiel des Beschichtens einer Zylinderlauffläche eines Zylinders eines PKW Motors.

[0032] Bei dem erfindungsgemässen Verfahren dargestellt anhand der Fig. 1 wird gerade eine Beschichtung 8 auf eine gekrümmte Oberfläche 1, die hier die konkave Zylinderlauffläche eines Zylinders eines Personenkraftwagens ist, aufgebracht.

[0033] In an sich bekannter Weise ist an einem Brennerschaft 5 des Plasmaspritzgeräts 4 gem. Fig. 1 ein Plasmabrenner 6 zur Erzeugung eines Beschichtungsstrahls 7 aus einem pulverförmigen Beschichtungsmaterial 3 mittels eines Lichtbogens vorgesehen, wobei der Plasmabrenner 6 zur Beschichtung der gekrümmten Oberfläche 1 um eine Schaftachse A des Brennerschafts 5 rotierbar angeordnet ist. Im speziellen Beispiel der Fig. 1 rotiert dabei der Brennerschaft 3 mit der Rotationsfrequenz N, wie durch den Pfeil N angedeutet ist. Dabei ist der Beschichtungsstrahl 7 zum Aufbringen der Beschichtung 8 auf die gekrümmte Oberfläche 1, also hier auf die

Zylinderlauffläche des Zylinders, im wesentlichen radial von der Schaftachse A weg zur gekrümmten Oberfläche 1 hin gerichtet, so dass die Oberfläche 1 möglichst effektiv mit dem Beschichtungsmaterial 3 beaufschlagt wird. Dabei wurde in Bezug auf eine Basis-Rotationsfrequenz N_0 (siehe Fig. 2) des Plasmabrenners 6 eine höhere Rotationsfrequenz N des Plasmabrenners 6 gewählt und die Förderrate F des pulverförmigen Beschichtungsmaterials 3 ist gemäss einem in Fig. 1 nicht dargestellten vorgegebenen Schema derart geändert worden, dass die Förderrate F an die höhere Rotationsfrequenz N des Plasmabrenners 6 geeignet angepasst ist. Die Basis-Rotationsfrequenz des Plasmabrenners 6 beträgt dabei ca. 200 U/min bei dem in Fig. 1 verwendeten speziellen Plasmaspritzgerät 4, das hier zum Beispiel eine RotaPlasma™ Einheit umfasst.

[0034] Im Speziellen wird bei dem Verfahren gemäss Fig. 1 das pulverförmige Beschichtungsmaterials 3 derart mit einer vorgegebenen Förderrate F zum Plasmabrenner 6 gefördert und die Förderrate F ist so an die Rotationsfrequenz N des Plasmabrenners 6 angepasst, dass passend zur Rotationsfrequenz N des Plasmabrenners 6, die grösser ist als seine Basis-Rotationsfrequenz N_0 ist, auch eine höhere Förderrate F des pulverförmigen Beschichtungsmaterials 3 gewählt wird. D.h., die Förderrate F ist höher als die Basis-Förderrate F_0 .

[0035] Anhand der Fig. 2 ist ein schematisches Diagramm zur Erläuterung des Zusammenhangs zwischen Rotationsfrequenz N und Förderrate F illustriert. Auf der vertikalen Ordinatenachse ist die Förderrate F aufgetragen und auf der horizontalen Abszisse die Rotationsfrequenz N. Die eingezeichnete Kurve zeigt ein spezielles Beispiel, wie bei einem gegebenen Plasmaspritzgerät 4 und einem zu verwendenden pulverförmigen Beschichtungsmaterial 3 das Parameterpaar (Förderrate F / Rotationsfrequenz N) geeignet gewählt werden könnte. Die eingezeichnete Koordinate (F_0/N_0) entspricht dabei einem Parameterpaar, wie es bisher im Stand der Technik benutzt wurde, während das Parameter ($FM_F \times F_0 / FM_N \times N_0$) einem speziellen Parameterpaar (F_1 / N_1) entspricht, mit welchem bei einem erfindungsgemässen Spritzverfahren, wie z.B. bei Fig. 1 beschrieben, beschichtet wird.

[0036] Dabei versteht sich, dass der Verlauf der Kurve in Fig. 2 rein schematisch zu verstehen ist. Sehr häufig wird die Kurve gemäss Fig. 2 in der Praxis z.B. eine Gerade sein, so dass die Rotationsfrequenz N und die Förderrate F immer mit dem selben Faktor geändert werden, so dass auch bei verschiedenen Rotationsfrequenzen N immer gleiche Schichtdicken D der Beschichtung 8 erreicht werden.

[0037] Auch ist es selbstverständlich prinzipiell möglich, ein Parameterpaar (N / F) zu wählen, das oberhalb oder unterhalb einer Kurve gemäss Fig. 2 liegt. Dadurch kann z.B. erreicht werden, dass bei einer anderen Rotationsfrequenz F eine kleine oder grössere Schichtdicke D erreicht wird und / oder andere Parameter der Beschichtung 8, wie z.B. insbesondere eine Härte, eine Mi-

krohärt, eine Porosität, eine Streckgrenze, eine Elastizität, Haftfestigkeit oder eine andere Schichteigenschaft der Beschichtung 8 durch eine geeignete Wahl des Rotationsfaktors FM_N und / oder durch eine geeignete Wahl des Förderfaktors FM_F , insbesondere durch eine geeignete Wahl des Faktorverhältnisses FV gemäss $FV = FM_N / FM_F$ festgelegt wird.

[0038] Die Fig. 3a bis 3d zeigen schliesslich jeweils eine zeichnerische Darstellung eines Schnittes durch vier Beschichtungen aus TiO_2 , die jeweils bei verschiedenen Rotationsfrequenzen N und entsprechend angepassten unterschiedlichen Förderraten F gespritzt wurden.

[0039] Fig. 3a zeigt eine Beschichtung 8, die mit einem Verfahren aus dem Stand der Technik unter Verwendung eines RotaPlasma™ Plasmaspritzgeräts 4 auf eine Zylinderwand 2 gespritzt wurde. Hier wurden die herkömmlichen Parameter mit einer Rotationsfrequenz von $N = 200$ U/min und einer Förderrate von $F = 25$ g/min gewählt. Wie deutlich zu sehen ist, hat die Beschichtung 8 feine Risse R, die bisher als tolerierbar, jedoch grundsätzlich als nicht wünschenswert angesehen wurden. Neben den Rissen R sind in allen Beschichtungen der Fig. 3a bis 3d auch feine Poren P zu sehen, die meist gewünscht sind oder sogar gezielt mit einer vorgegeben Porosität eingebracht werden.

[0040] Die Beschichtung 8 gemäss Fig. 3b wurde mit einer im Vergleich zum Stand der Technik gemäss Fig. 3a doppelten Rotationsfrequenz von $N = 400$ U/min und einer doppelten Förderrate von $F = 50$ g/min gespritzt. Wie deutlich zu sehen ist, hat sich die Bildung der Risse R in der Beschichtung 8 reduziert. Die Qualität der Beschichtung hat sich somit schon deutlich verbessert.

[0041] Die Beschichtung 8 gemäss Fig. 3c wurde mit einer im Vergleich zum Stand der Technik gemäss Fig. 3a mit der dreifachen Rotationsfrequenz von $N = 600$ U/min und einer dreifachen Förderrate von $F = 75$ g/min gespritzt. Hier sind praktische keine Risse R mehr in der Beschichtung 8 zu finden. Die Qualität der Beschichtung hat sich somit noch weiter verbessert.

[0042] Die Beschichtung 8 gemäss Fig. 3d wurde schliesslich im Vergleich zum Stand der Technik gemäss Fig. 3a mit der vierfachen Rotationsfrequenz von $N = 800$ U/min und einer vierfachen Förderrate von $F = 100$ g/min gespritzt. Hier sind überhaupt keine Risse R mehr in der Beschichtung 8 zu finden. Die Qualität der Beschichtung hat sich somit noch weiter verbessert und ist als ideal für die Praxis zu betrachten.

[0043] Es versteht sich, dass die Erfindung nicht auf die beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt ist, sondern durch die beigefügten Ansprüche definiert wird.

Patentansprüche

1. Beschichtungsverfahren zum Beschichten einer gekrümmten Oberfläche (1), insbesondere konkave innere Oberfläche (1) einer Bohrungs- oder Zylinder-

- wand (2), mittels eines pulverförmigen Beschichtungsmaterials (3) unter Verwendung eines thermischen Spritzgeräts (4), in Form eines Plasmaspritzgeräts (4) oder eines HVOF Spritzgeräts, wobei an einem Brennerschaft (5) des thermischen Spritzgeräts (4) ein Brenner (6) zur Erzeugung eines Beschichtungsstrahls (7) aus dem pulverförmigen Beschichtungsmaterial (3) mittels eines Lichtbogens vorgesehen ist, und der Brenner (6) um eine Schaftachse (A) des Brennerschafts (5) mit einer vorgegebenen Rotationsfrequenz (N) rotiert wird, wobei der Beschichtungsstrahl (7) zum Aufbringen einer Beschichtung (8) auf der gekrümmten Oberfläche (1) zumindest teilweise radial von der Schaftachse (A) weg zur gekrümmten Oberfläche (1) hin gerichtet wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine in Bezug auf eine Basis-Rotationsfrequenz (N_0) des Brenners (6) höhere Rotationsfrequenz (N) des Brenners (6) gewählt wird und die Förderrate (F) des pulverförmigen Beschichtungsmaterials (3) gemäss einem vorgegebenen Schema derart geändert wird, dass die Förderrate (F) an die höhere Rotationsfrequenz (N) des Brenners (6) angepasst wird.
2. Beschichtungsverfahren nach Anspruch 1, wobei das pulverförmige Beschichtungsmaterials (3) derart mit einer vorgegebenen Förderrate (F) zum Brenner (6) gefördert wird und die Förderrate (F) so an die Rotationsfrequenz (N) des Brenners (6) angepasst wird, dass bei einer grösseren Rotationsfrequenz (N) des Brenners (6) auch eine höhere Förderrate (F) des pulverförmigen Beschichtungsmaterials (3) gewählt wird.
 3. Beschichtungsverfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Basis-Rotationsfrequenz (N_0) des Brenners (6) und eine mit der Basis-Rotationsfrequenz (N_0) korrespondierende Basis-Förderrate (F_0) zur Förderung des pulverförmigen Beschichtungsmaterials (3) vorgegeben wird.
 4. Beschichtungsverfahren nach Anspruch 3, wobei die Basis-Rotationsfrequenz (N_0) und die mit der Basis-Rotationsfrequenz (N_0) korrespondierende Basis-Förderrate (F_0) in Abhängigkeit vom verwendeten Beschichtungsmaterial (3) gewählt wird.
 5. Beschichtungsverfahren nach einem der Ansprüche 3 oder 4, wobei die Rotationsfrequenz (N) um einen vorgegebenen Rotationsfaktor (FM_N) gemäss $N = FM_N \times N_0$ grösser als die Basis-Rotationsfrequenz (N_0) gewählt wird und gleichzeitig die Förderrate (F) um einen vorgegebenen Förderfaktor (FM_F) gemäss $F = FM_F \times F_0$ grösser als die Basis-Förderrate (F_0) gewählt wird.
 6. Beschichtungsverfahren nach Anspruch 5, wobei der Förderfaktor (FM_F) gleich dem Rotationsfaktor (FM_N) gewählt wird.
 7. Beschichtungsverfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, wobei eine Schichtdicke (D) der Beschichtung (8) durch die Wahl eines Faktorverhältnisses (FV) gemäss $FV = FM_N / FM_F$ festgelegt wird.
 8. Beschichtungsverfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, wobei eine Schichteigenschaft der Beschichtung (8), insbesondere eine Härte, eine Mikrohärt, eine Porosität, eine Streckgrenze, eine Elastizität, Haftfestigkeit oder eine andere Schichteigenschaft der Beschichtung (8) durch eine geeignete Wahl des Rotationsfaktors (FM_N) und / oder durch eine geeignete Wahl des Förderfaktor (FM_F), insbesondere durch eine geeignete Wahl des Faktorverhältnisses (FV) gemäss $FV = FM_N / FM_F$ festgelegt wird.
 9. Beschichtungsverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Rotationsfrequenz (N) grösser als 200 U/min, bevorzugt grösser als 400 U/min oder grösser als 600 U/min, im Speziellen gleich oder grösser als 800 U/min ist.
 10. Beschichtungsverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Förderrate (F) grösser als 25 g/min, bevorzugt grösser als 50 g/min oder grösser als 50 g/min, im Speziellen gleich oder grösser als 100 g/min ist.
 11. Beschichtungsverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Beschichtungsmaterial (3) ein keramisches Beschichtungsmaterial (3), insbesondere TiO_2 oder CrO_3 ist und / oder wobei das Beschichtungsmaterial (3) ein metallisches Beschichtungsmaterial (3), insbesondere ein niedrig legierter Stahl, im Speziellen Fe-1.4Cr-1.4Mn1.2C ist.
 12. Beschichtungsverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei, die eine mehrlagige Beschichtung (8) aufgetragen wird, die aus gleichen oder unterschiedlichem Beschichtungsmaterial (3) besteht und / oder wobei die mehrlagige Beschichtung (8) gleiche oder unterschiedliche Schichteigenschaften, insbesondere Härte, Mikrohärt, Porosität, Streckgrenze, Elastizität oder Haftfestigkeit hat.

Claims

1. A coating method for coating a curved surface (1), in particular a concave inner surface (1) of a bore wall or cylinder wall (2), by means of a powdery coating material (3) by using a thermal spraying device (4), in the form of a plasma spraying device (4) or a HVOF spraying device, wherein a gun (6) is provided on a gun shaft (5) of the thermal spraying device (4)

- for generating a coating jet (7) from the powdery coating material (3) by means of an arc, and the gun (6) is rotated about a shaft axis (A) of the gun shaft (5) at a predetermined rotation frequency (N), wherein the coating jet (7) for applying a coating (8) to the curved surface (1) is directed at least partially radially away from the shaft axis (A) towards the curved surface (1), **characterized in that** a higher rotation frequency (N) of the gun (6) is selected with respect to a base rotation frequency (N0) of the gun (6) and the conveying rate (F) of the powdery coating material (3) is changed according to a predetermined scheme in such a way that the conveying rate (F) is adapted to the higher rotation frequency (N) of the gun (6).
2. A coating method according to claim 1, wherein the powdery coating material (3) is conveyed to the gun (6) at a predetermined conveying rate (F) in such a way and the conveying rate (F) is adapted to the rotation frequency (N) of the gun (6) such that at a higher rotation frequency (N) of the gun (6), a higher conveying rate (F) of the powdery coating material (3) is also selected.
 3. A coating method according to claim 1 or 2, wherein the base rotation frequency (N0) of the gun (6) and a base conveying rate (F0) corresponding to the base rotation frequency (N0) is predetermined for conveying the powdery coating material (3).
 4. A coating method according to claim 3, wherein the base rotation frequency (N0) and the base conveying rate (F0) corresponding to the base rotation frequency (N0) is selected depending on the coating material used (3).
 5. A coating method according to anyone of the claims 3 or 4, wherein the rotation frequency (N) is selected to be greater than the base rotation frequency (N0) by a predetermined rotation factor (FMN) according to $N = FMN \times N0$ and at the same time the conveying rate (F) is selected to be greater than the base conveying rate (F0) by a predetermined conveying factor (FMF) according to $F = FMF \times F0$.
 6. A coating method according to claim 5, wherein the conveying factor (FMF) is selected equal to the rotation factor (FMN).
 7. A coating method according to anyone of the claims 5 or 6, wherein a layer thickness (D) of the coating (8) is determined by the selection of a factor ratio (FV) according to $FV = FMN / FMF$.
 8. A coating method according to anyone of the claims 5 to 7, wherein a layer characteristic of the coating (8), in particular a hardness, a microhardness, a porosity, a yield strength, an elasticity, an adhesive strength or another layer characteristic of the coating (8), is determined by a suitable selection of the rotation factor (FMN) and / or by a suitable selection of the conveying factor (FMF), in particular by a suitable selection of the factor ratio (FV) according to $FV = FMN / FMF$.
 9. A coating method according to anyone of the preceding claims, wherein the rotation frequency (N) is greater than 200 rpm, preferably greater than 400 rpm or greater than 600 rpm, especially equal to or greater than 800 rpm.
 10. A coating method according to anyone of the preceding claims, wherein the conveying rate (F) is greater than 25 g/min, preferably greater than 50 g/min or greater than 50 g/min, especially equal to or greater than 100 g/min.
 11. A coating method according to anyone of the preceding claims, wherein the coating material (3) is a ceramic coating material (3), in particular TiO_2 or CrO_3 and / or wherein the coating material (3) is a metallic coating material (3), in particular a low-alloy steel, especially Fe-1.4Cr-1.4Mn1.2C.
 12. A coating method according to anyone of the preceding claims, wherein said multilayer coating (8) consisting of the same or different coating material (3) is applied and / or wherein the multilayer coating (8) has the same or different layer characteristics, in particular hardness, microhardness, porosity, yield strength, elasticity or adhesive strength.

Revendications

1. Un procédé de revêtement pour revêtir une surface courbe (1), en particulier une surface intérieure concave (1) d'une paroi d'alésage ou d'une paroi de cylindre (2), au moyen d'un matériau de revêtement pulvérulent (3) en utilisant un dispositif de pulvérisation thermique (4), sous la forme d'un dispositif de pulvérisation au plasma (4) ou d'un dispositif de pulvérisation HVOF, dans lequel une torche (6) est prévue sur une tige de torche (5) du dispositif de pulvérisation thermique (4) pour produire un faisceau de revêtement (7) à partir du matériau de revêtement pulvérulent (3) au moyen d'un arc, et la torche (6) est mis en rotation autour d'un axe de la tige (A) de la tige de torche (5) à une fréquence de rotation prédéterminée (N), dans lequel le faisceau de revêtement (7) pour appliquer un revêtement (8) sur la surface courbe (1) est dirigé au moins partiellement radialement à l'écart de l'axe de la tige (A) vers la surface courbe (1), **caractérisé en ce qu'**une fréquence de rotation (N) plus élevée de la torche (6) est choisie par rapport à une fréquence de rotation de

- base (N_0) de la torche (6) et le débit d'alimentation (F) du matériau de revêtement pulvérulent (3) est modifié selon un schéma prédéterminé de telle sorte que le débit d'alimentation (F) est adapté à la fréquence de rotation (N) plus élevée de la torche (6).
2. Un procédé de revêtement selon la revendication 1, dans lequel le matériau de revêtement pulvérulent (3) est alimenté vers la torche (6) à un débit d'alimentation (F) prédéterminée et le débit d'alimentation (F) est adapté à la fréquence de rotation (N) de la torche (6) de telle sorte qu'à une fréquence de rotation (N) plus élevée de la torche (6), un débit d'alimentation plus élevé (F) du matériau de revêtement pulvérulent (3) est également choisi.
 3. Un procédé de revêtement selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la fréquence de rotation de base (N_0) de la torche (6) et un débit d'alimentation de base (F_0) correspondant à la fréquence de rotation de base (N_0) sont prédéterminés pour l'alimentation du matériau de revêtement pulvérulent (3).
 4. Un procédé de revêtement selon la revendication 3, dans lequel la fréquence de rotation de base (N_0) et le débit d'alimentation de base (F_0) correspondant à la fréquence de rotation de base (N_0) sont choisis en dépendance du matériau de revêtement (3) utilisé.
 5. Un procédé de revêtement selon l'une des revendications 3 ou 4, dans lequel la fréquence de rotation (N) est choisie pour être supérieure à la fréquence de rotation de base (N_0) d'un facteur de rotation prédéterminé (FM_N) selon $N = FM_N \times N_0$ et en même temps le débit d'alimentation (F) est choisi pour être supérieure au débit d'alimentation de base (F_0) d'un facteur d'alimentation prédéterminé (FM_F) selon $F = FM_F \times F_0$.
 6. Un procédé de revêtement selon la revendication 5, dans lequel le facteur d'alimentation (FM_F) est choisi égal au facteur de rotation (FM_N).
 7. Un procédé de revêtement selon l'une des revendications 5 ou 6, dans lequel une épaisseur de couche (D) du revêtement (8) est déterminée par le choix d'un rapport de facteur (FV) selon $FV = FM_N / FM_F$.
 8. Un procédé de revêtement selon l'une des revendications 5 à 7, dans lequel une propriété de couche du revêtement (8), en particulier une dureté, une micro-dureté, une porosité, une limite d'élasticité, une élasticité, une force d'adhérence ou une autre propriété de couche du revêtement (8) est déterminée par un choix approprié du facteur de rotation (FM_N) et/ou par un choix approprié du facteur d'alimentation (FM_F), en particulier par un choix approprié du rapport de facteur (FV) selon $FV = FM_N / FM_F$.
 9. Un procédé de revêtement selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la fréquence de rotation (N) est supérieure à 200 tours/minute, de préférence supérieure à 400 tours/minute ou supérieure à 600 tours/minute, plus particulièrement égale ou supérieure à 800 tours/minute.
 10. Un procédé de revêtement selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le débit d'alimentation (F) est supérieur à 25 g/min, de préférence supérieur à 50 g/min ou supérieure à 50 g/min, plus particulièrement égale ou supérieure à 100 g/min.
 11. Un procédé de revêtement selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le matériau de revêtement (3) est un matériau de revêtement céramique (3), en particulier TiO_2 ou CrO_3 et/ou dans lequel le matériau de revêtement (3) est un matériau de revêtement métallique (3), en particulier un acier faiblement allié, plus particulièrement Fe-1.4Cr-1.4Mn1.2C.
 12. Un procédé de revêtement selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'un revêtement multicouche (8) est appliqué, consistant en un matériau de revêtement identique ou différent (3) et/ou dans lequel le revêtement multicouche (8) présente des propriétés de couche identiques ou différentes, en particulier la dureté, la micro-dureté, la porosité, la limite d'élasticité, l'élasticité ou la force d'adhérence.

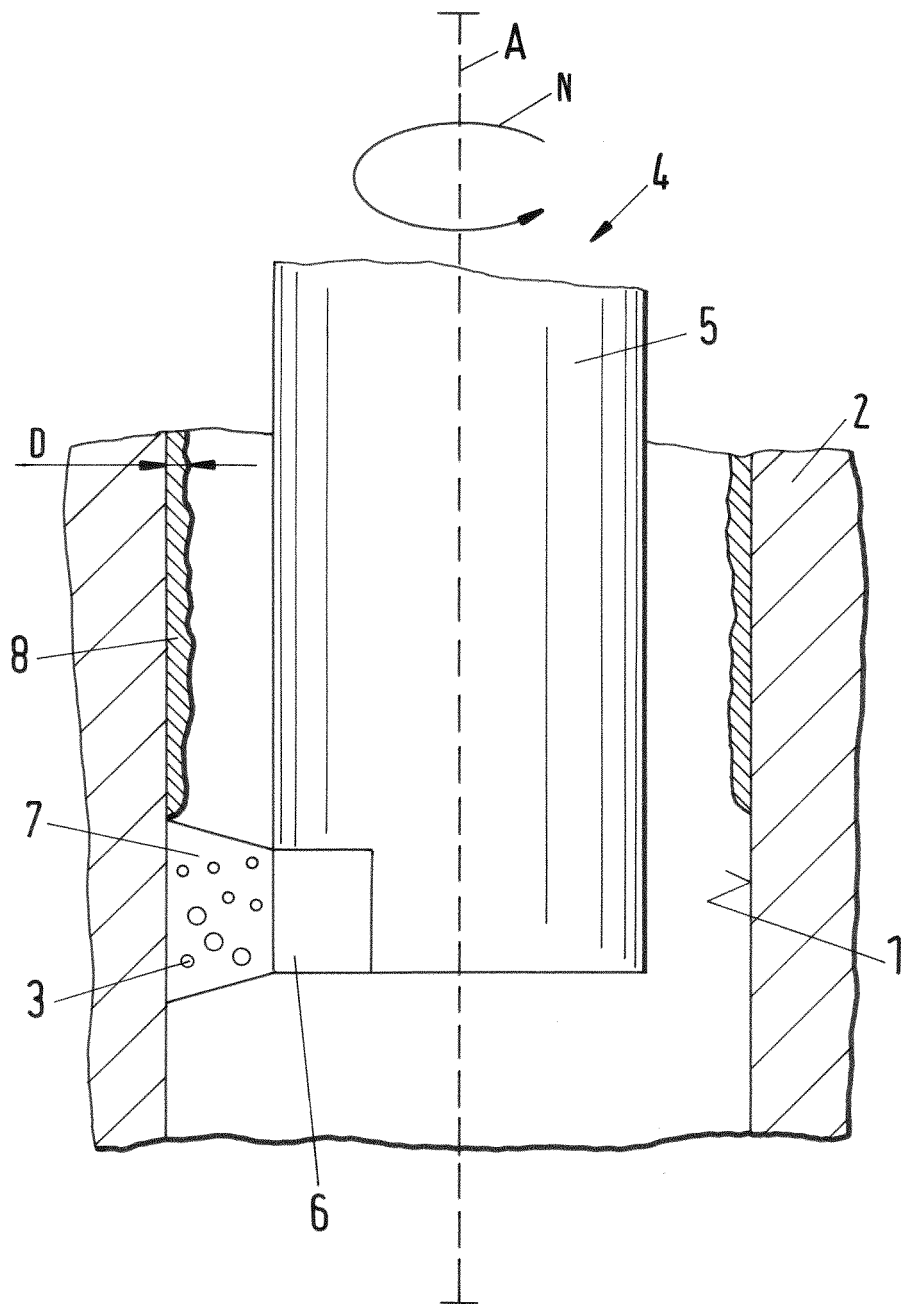


Fig.1

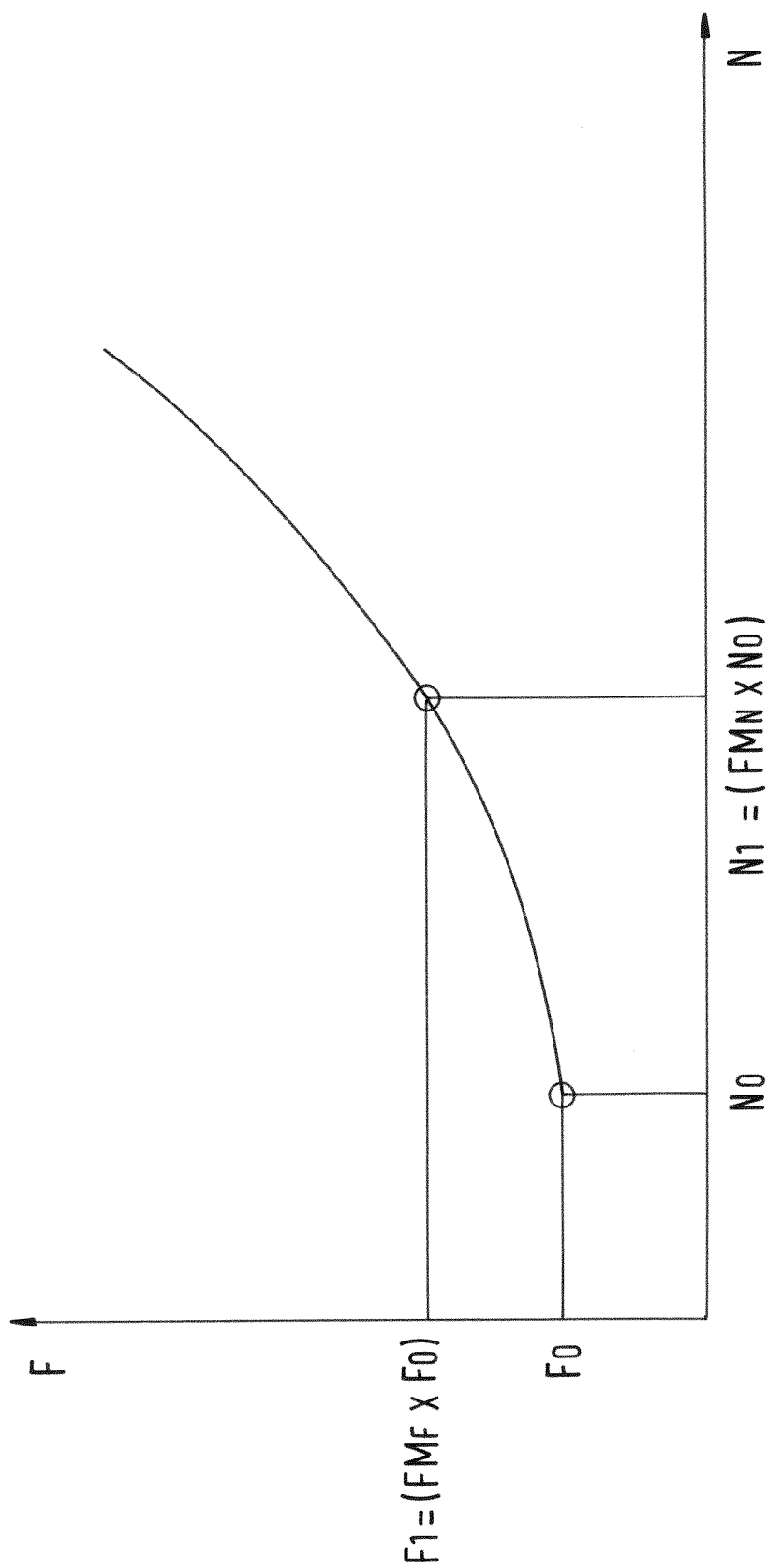


Fig.2

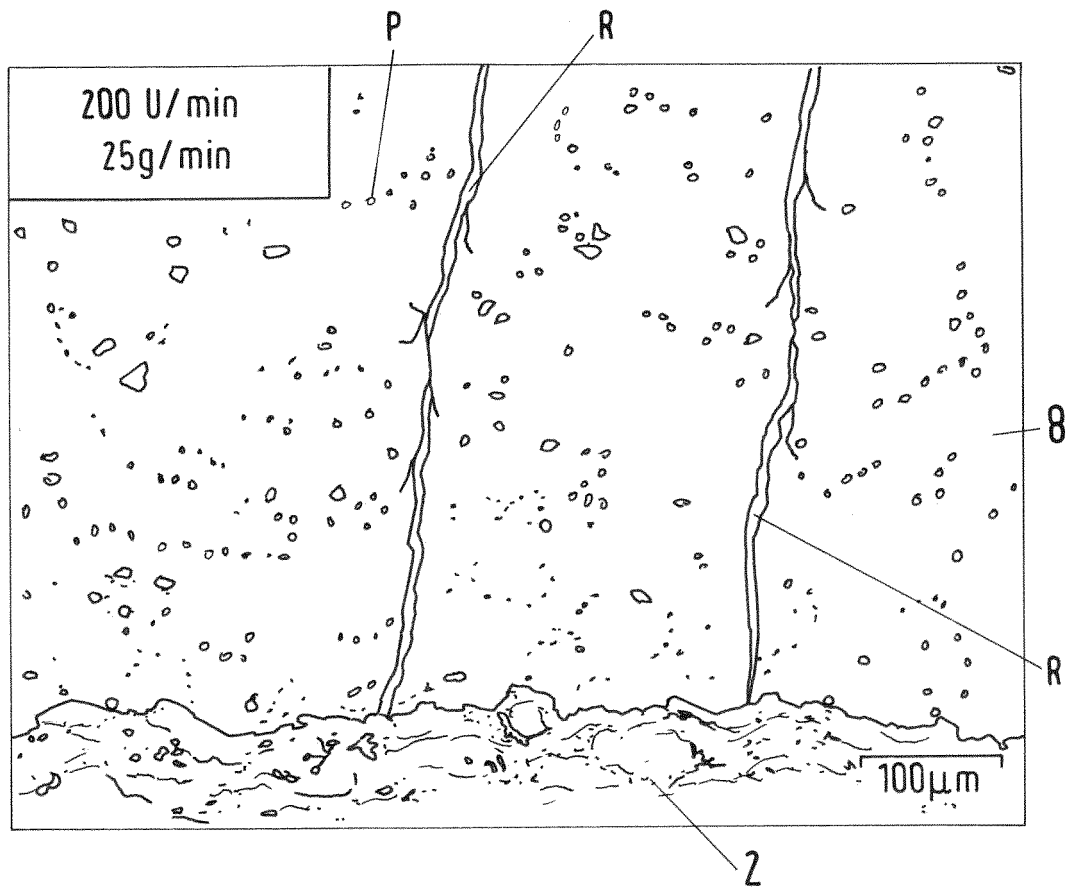


Fig.3a

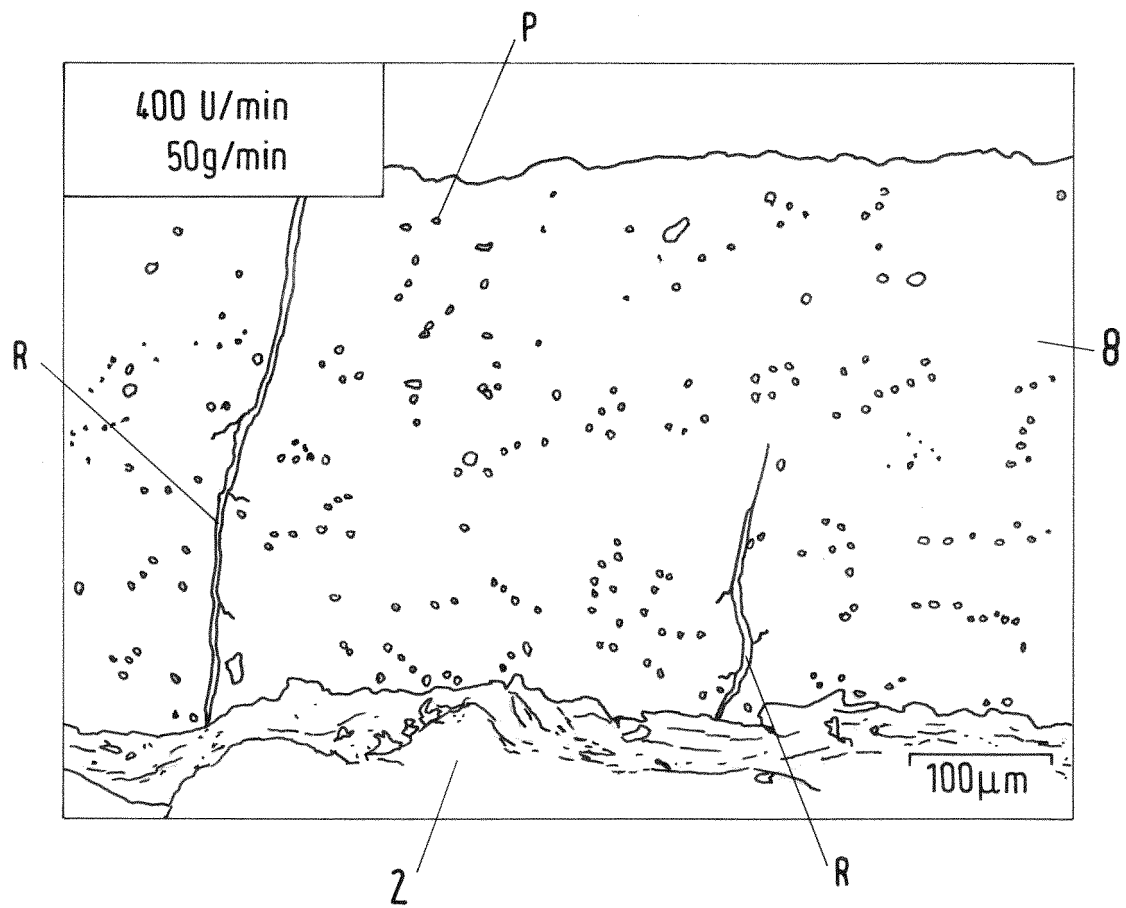


Fig.3b

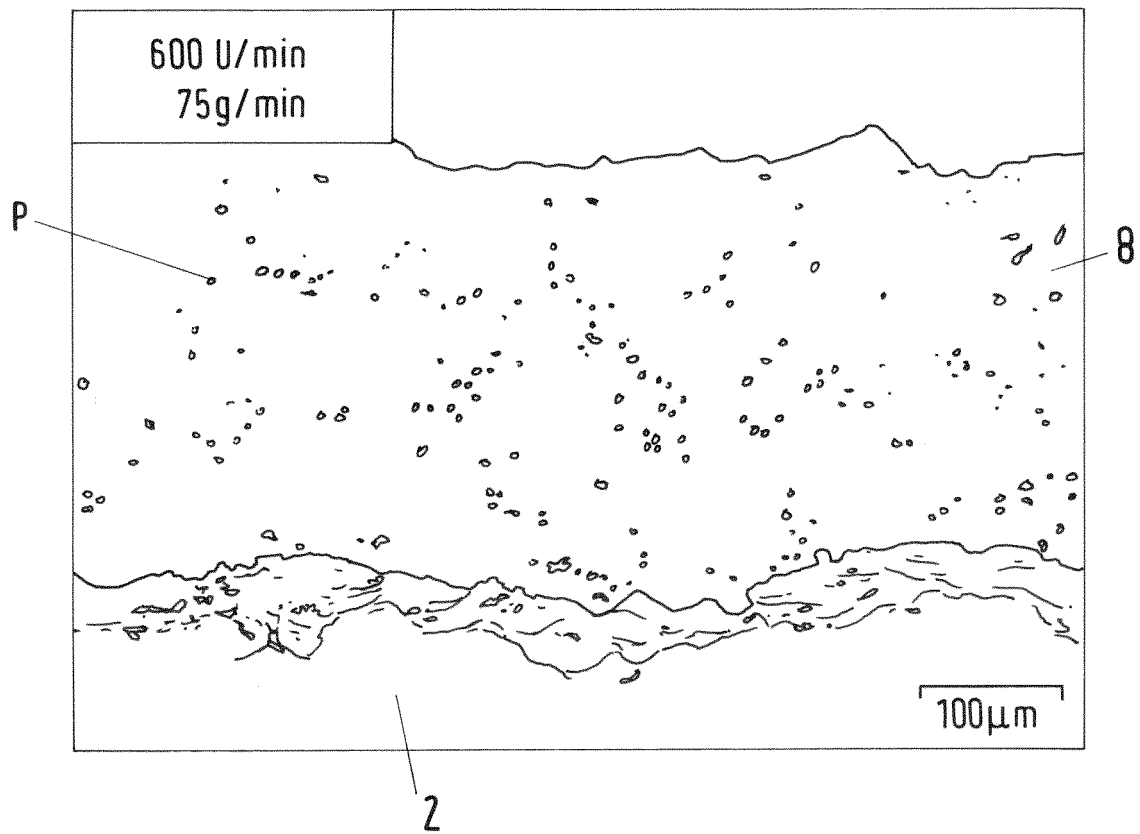


Fig.3c

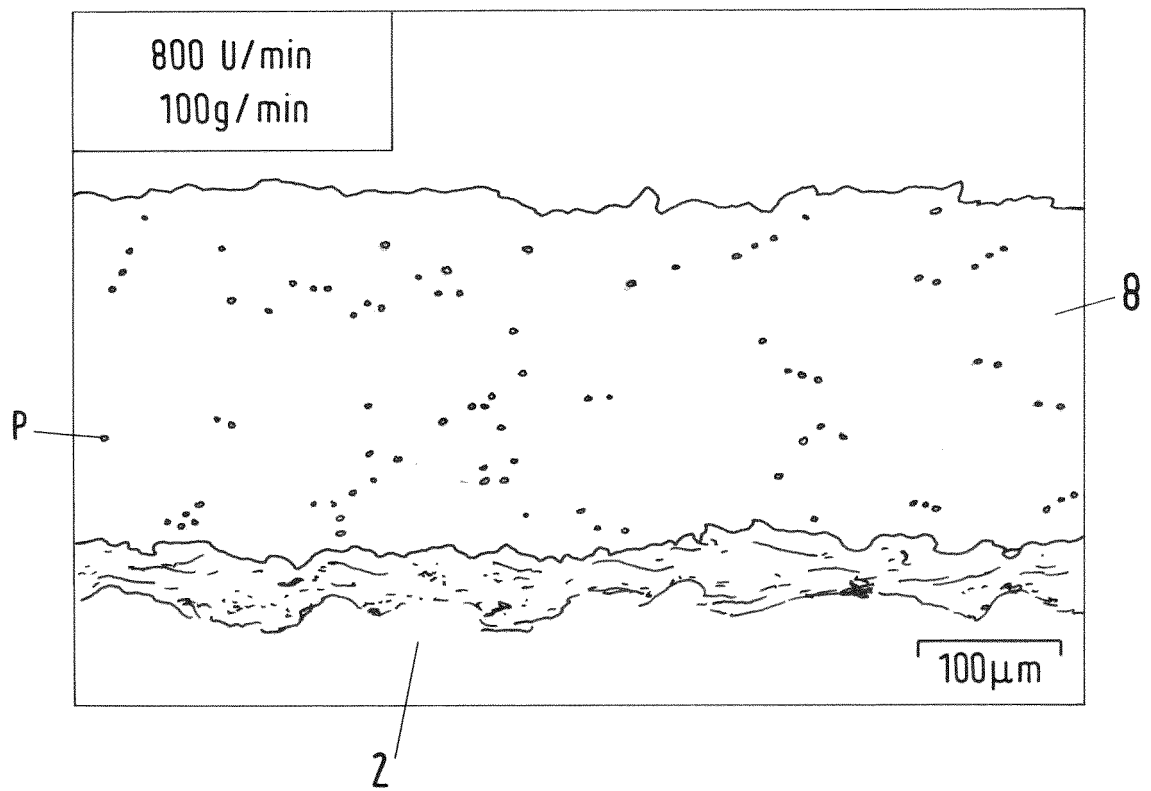


Fig.3d

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 0601968 A1 [0003]
- WO 2008037514 A [0003]