

(19)



(11)

EP 4 023 347 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

18.09.2024 Patentblatt 2024/38

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

B05D 3/06 ^(2006.01) **B05D 3/02** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **22151781.6**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

B05D 3/06; B05D 3/0209; B05D 3/0263; B05D 3/067

(22) Anmeldetag: **29.10.2018**

(54) **VORRICHTUNG ZUM BESCHICHTEN EINES WERKSTÜCKS MIT MINDESTENS EINEM HOCHLEISTUNGSPOLYMER; BESCHICHTUNGSVERFAHREN**

DEVICE FOR COATING WORKPIECES WITH AT LEAST ONE HIGH PERFORMANCE POLYMER; COATING METHOD

DISPOSITIF DE REVÊTEMENT D'UNE PIÈCE D'AU MOINS UN POLYMÈRE HAUTE PERFORMANCE ET PROCÉDÉ DE REVÊTEMENT

(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: **15.12.2017 DE 102017130241**

22.02.2018 DE 102018103967

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

06.07.2022 Patentblatt 2022/27

(62) Dokumentnummer(n) der früheren Anmeldung(en) nach Art. 76 EPÜ:

18020564.3 / 3 498 383

(73) Patentinhaber:

- **Eloxalwerk Ludwigsburg Helmut Zerrer GmbH**
71642 Ludwigsburg-Neckarweiningen (DE)
- **Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.**
80686 München (DE)

(72) Erfinder:

- **Sändker, Hendrik**
52066 Aachen (DE)
- **Stollenwerk, Jochen**
6291 AV Yaals (NL)
- **Zerrer, Jörg**
71642 Ludwigsburg (DE)
- **Buling, Anna**
49076 Osnabrück (DE)

(74) Vertreter: **Jeck, Jonathan**

JECK, FLECK & Partner mbB
Klingengasse 2
P.O.Box 14 69
71665 Vaihingen/Enz (DE)

(56) Entgegenhaltungen:

EP-A2- 0 209 131 **WO-A1-2008/070559**
WO-A1-91/16146 **WO-A2-91/05885**
DE-A1- 10 020 679 **US-A1- 2010 067 886**
US-B1- 9 090 114

EP 4 023 347 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

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung geht aus von einer Vorrichtung zum Beschichten eines Werkstücks mit mindestens einem Hochleistungspolymer nach der Gattung des Oberbegriffs des Anspruchs 1 und einem Beschichtungsverfahren nach der Gattung des Oberbegriffs des Anspruchs 4.

[0002] Ein vielversprechender Ansatz für die Beschichtung metallischer Komponenten, an die eine Kombination von funktionalen Anforderungen gestellt wird, besteht in der Verwendung von Hochleistungspolymeren als Beschichtungswerkstoff. Die wesentlichen mit diesen Beschichtungen adressierten funktionalen Anforderungen umfassen Verschleiß- und Korrosionsschutz, Reibungsreduzierung, Temperaturbeständigkeit und elektrische Isolation. Insbesondere das Hochleistungspolymer Polyetheretherketon (PEEK) ist aufgrund seiner Materialeigenschaften exzellent für die Erfüllung der genannten Anforderungen geeignet und wird bereits industriell verwendet (E. Spyrou.: Powder coatings. Chemistry and technology 3., rev. ed. Hanover 2012).

[0003] Konventionelle Beschichtungsverfahren umfassen für diesen Werkstoff primär die pulverbasierte Schichtapplikation mit anschließendem Aufschmelzen der applizierten Schicht mittels Ofenverfahren sowie das Pulverflammspritzen.

[0004] Für das ofenbasierte Beschichtungsverfahren wird das Polymer in Pulverform mittels elektrostatischer Beschichtung oder als Dispersion respektive Sprühauftrag auf das Werkstück appliziert. Weitere, industriell weniger relevante Methoden des Materialauftrags sind elektrophoretische Beschichtung (I. Corni, N. Neumann, D. Eifler, A. R. Boccaccini: Polyetheretherketone (PEEK) Coatings on Stainless Steel by Electrophoretic Deposition. In: Advanced Engineering Materials 10 (2008) 6, S. 559-64.) oder Druckverfahren (z.B. Siebdruck). Im Anschluss an den Materialauftrag wird das Werkstück in einem Ofen auf Temperaturen von typischerweise 380 bis 420 °C erhitzt, sodass die PEEK-Schicht vollständig aufgeschmolzen wird. Typischerweise verwendete Aufheizraten liegen in der Größenordnung 10 K/min und Haltezeiten in der Größenordnung von 30 min bis zu einigen Stunden. Anschließend wird das beschichtete Werkstück kontrolliert abgekühlt. Die dafür gewählten Abkühlraten hängen von dem verwendeten Material sowie der Masse des Werkstückes ab.

[0005] Beim Pulverflammspritzen wird das Beschichtungsmaterial mittels thermischen Spritzens auf das Werkstück aufgebracht. Dabei wird das Pulver zum Aufschmelzen in einem Gasstrom durch eine Flamme geführt und schichtweise in schmelzflüssiger Phase auf das Bauteil appliziert. Eine Vorwärmung des zu beschichtenden Werkstückes ist nicht zwingend erforderlich, kann aber zu einer Verbesserung der Schichteigenschaften beitragen. Gemäß des Pulverherstellers Victrex Europa

GmbH (Victrex Europa GmbH: Produktbroschüre Vicote Flame Spray 702/705 Coatings. Quick 10 Step Guide For Optimum Results 2016) ist für die Beschichtung von Aluminium mit PEEK eine Vorwärmung des zu beschichtenden Werkstückes auf 230 °C erforderlich, um optimale Haftung und Fließeigenschaften zu erzielen. Für Stahl wird eine Vorwärmung von bis zu 370 °C empfohlen (Victrex Europa GmbH: Produktbroschüre Vicote Flame Spray 702/705 Coatings. Quick 10 Step Guide For Optimum Results 2016; P. Vuoristo: Thermal Spray Coating Processes. In: S. Hashmi, G. F. Batalha, C. J. Van Tyne, B. S. Yilbas (Hrsg.): Comprehensive materials processing. Oxford, Walltham, MA 2014).

[0006] Beide genannten Verfahren sind nicht für die Herstellung dichter und haffester Beschichtungen auf temperaturempfindlichen Grundmaterialien geeignet, bei denen eine Erwärmung über die Schmelztemperatur des Polymers (ca. 340 °C für PEEK) zu einer funktionsrelevanten Veränderung der Eigenschaften führt. Neben der durch den Einsatz von Ofenverfahren geringen Energieeffizienz sind darüber hinaus ortsselektive Beschichtungen oftmals mit einem großen technischen und wirtschaftlichen Aufwand verbunden. Eine gezielte Einstellung der Porosität, insbesondere in Ortsabhängigkeit ist prozessbedingt nicht möglich.

[0007] Auch laserbasierte Beschichtungsverfahren, wie z. B. das in der Druckschrift DE 693 00 501 T2 offenbarte Laserauftragschweißen, oder das in der Druckschrift EP 1 932 928 B1 offenbarte Laser-Peening, gehören zum Stand der Technik. Hierbei wird das Beschichtungsmaterial auf ein Werkstück appliziert, wobei mittels gleichzeitiger Bestrahlung eines einzigen Lasers das Werkstück beschichtet wird bzw. die Beschichtung verdichtet wird.

[0008] Die Druckschrift EP 2 969 256 B1 offenbart ein Verfahren zum Auftragen einer Gleitbeschichtung auf eine Kolbenanordnung, wobei Hochleistungspolymere wie PEEK als Beschichtungsmaterial beschrieben werden. Dabei wird das Beschichtungsmaterial in zwei nachfolgenden Schritten mittels IR-, UV- oder Induktionsstrahlung ausgehärtet. Der Charakter der Strahlung hinsichtlich Monochromie, Kohärenz bzw. Erzeugungsmethode wird dabei nicht näher definiert.

[0009] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zum Beschichten eines Werkstücks mit mindestens einem Hochleistungspolymer und ein Beschichtungsverfahren zur Verfügung zu stellen, die die oben beschriebenen Nachteile ausräumen.

[0010] Die Aufgabe wird durch die Vorrichtung zum Beschichten eines Werkstücks mit mindestens einem Hochleistungspolymer mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und das Beschichtungsverfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 4 gelöst.

[0011] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mittels einer Vorrichtung zum Beschichten eines Werkstücks mit mindestens einem Hochleistungspolymer gelöst, welche mindestens zwei Strahlungsquellen aufweist.

[0012] Diese ist vorzugsweise eine Vorrichtung zum

Beschichten eines Werkstücks mit mindestens einem vorzugsweise Verschleiß- und Korrosionsschutz, Reibungsreduzierung, Temperaturbeständigkeit und/oder elektrische Isolation bereitstellendem Hochleistungspolymer, welche mindestens zwei Strahlungsquellen aufweist. Erfindungsgemäß ist es vorgesehen, dass die erste Strahlungsquelle angepasst ist, Strahlung einer ersten Wellenlänge abzugeben, welche zur vorrangigen Absorption durch das Werkstück angepasst ist und/oder, dass die zweite Strahlungsquelle angepasst ist, Strahlung einer zweiten Wellenlänge abzugeben, welche zur vorrangigen Absorption durch das Hochleistungspolymer angepasst ist und/oder, dass eine Messvorrichtung zur kontaktlosen Messung von Wärmestrahlung des Werkstücks und des mindestens einen Hochleistungspolymers bereitgestellt ist, wobei die Messeinrichtung vorzugsweise ausgebildet ist, die Leistung der zwei Strahlungsquellen auf einen konstanten Wert emittierter Wärmestrahlung von Werkstück und Hochleistungspolymer zu regeln oder zu steuern.

[0013] Weiterhin wird die Aufgabe mittels eines Verfahrens gelöst, bei welchem die für das Beschichten eines Werkstücks mit mindestens einem Hochleistungspolymer benötigte Prozessenergie zumindest teilweise von mindestens zwei Strahlungsquellen erzeugt wird.

[0014] Vorzugsweise ist ein Beschichtungsverfahren vorgesehen, insbesondere mittels einer Beschichtungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei welchem die für das Beschichten eines Werkstücks mit mindestens einem vorzugsweise Verschleiß- und Korrosionsschutz, Reibungsreduzierung, Temperaturbeständigkeit und/oder elektrische Isolation bereitstellendem Hochleistungspolymer benötigte Prozessenergie zumindest teilweise von mindestens zwei Strahlungsquellen erzeugt wird. Erfindungsgemäß ist es vorgesehen, dass die erste Strahlungsquelle Strahlung einer ersten Wellenlänge abgibt, welche zur vorrangigen Absorption durch das Werkstück angepasst wird und/oder, dass die zweite Strahlungsquelle Strahlung einer zweiten Wellenlänge abgibt, welche zur vorrangigen Absorption durch das Hochleistungspolymer angepasst wird, und/oder, dass eine Messvorrichtung zur kontaktlosen Messung von Wärmestrahlung des Werkstücks und des mindestens einen Hochleistungspolymers eine solche Messung durchführt, wobei die Messvorrichtung vorzugsweise die Messung kontaktlos ausführt und/oder die Leistung der zwei Strahlungsquellen auf einen konstanten Wert emittierter Wärmestrahlung von Werkstück und Hochleistungspolymer regelt oder steuert.

Die Erfindung und ihre Vorteile

[0015] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Beschichten eines Werkstücks mit mindestens einem Hochleistungspolymer mit den Merkmalen des Anspruchs 1 hat demgegenüber den Vorteil, dass die Vorrichtung mindestens zwei Strahlungsquellen aufweist. Diese können beim Beschichten zeitgleich oder zeitver-

setzt nacheinander eingesetzt werden.

[0016] Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist die Strahlung mindestens einer Strahlungsquelle zumindest teilweise kohärent.

[0017] Nach einer bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist mindestens eine Strahlungsquelle ein Laser. In diesem Fall ist die Strahlung der Strahlungsquelle vollständig kohärent. Es ist aber auch denkbar, dass eine andere Strahlungsquelle verwendet wird, die beispielsweise Infrarotstrahlung, ultraviolette Strahlung, Induktionsstrahlung, Mikrowellenstrahlung oder Teilchenstrahlung (Röntgen- oder Gammastrahlung) erzeugt.

[0018] Nach einer bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung liegt die Wellenlänge der Strahlung mindestens einer Strahlungsquelle im Wellenlängenbereich von 400 bis 3000 nm.

[0019] Nach einer bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung liegt die Wellenlänge der Strahlung mindestens einer Strahlungsquelle im Wellenlängenbereich von 4000 bis 12000 nm.

[0020] Nach einer bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist die Strahlung mindestens einer Strahlungsquelle kontinuierlich oder gepulst. So kann das Hochleistungspolymer vollständig aufgeschmolzen werden, um eine homogene oder eine poröse Beschichtung zu erreichen.

[0021] Nach einer bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann die Strahlung mindestens einer Strahlungsquelle in ihrer Intensität reguliert werden. Somit kann auch die Leistung mindestens einer Strahlungsquelle den Erfordernissen angepasst werden.

[0022] Nach einer bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist die Strahlung mindestens einer Strahlungsquelle eine Wellenlänge auf, bei der der Absorptionsgrad mindestens eines Hochleistungspolymers möglichst groß ist. Somit wird die Strahlung vorrangig nur von dem Hochleistungspolymer absorbiert, wodurch ein gezieltes Einstellen bzw. eine gezielte Regulierung der Temperatur des Hochleistungspolymers möglich ist.

[0023] Nach einer bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist die Strahlung mindestens einer Strahlungsquelle eine Wellenlänge auf, bei der der Absorptionsgrad des Werkstücks möglichst groß ist. Somit wird die Strahlung vorrangig nur von dem Werkstück absorbiert, wodurch ein gezieltes Einstellen bzw. eine gezielte Regulierung der Temperatur des Werkstücks möglich ist.

[0024] Nach einer bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist die Vorrichtung mindestens eine Festoptik auf. Die Strahlung mindestens einer Strahlungsquelle wird zumindest teilweise durch eine Festoptik auf das Werkstück geführt. Eine Festoptik hat den Vorteil, dass die Genauigkeit der Strahlführung optimiert werden kann.

[0025] Nach einer bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist die Vorrichtung mindestens ein Scannersystem zum Führen der Strahlung auf. Die Strahlung mindestens einer Strahlungsquelle wird zumindest teilweise durch ein Scannersystem über das Werkstück geführt. Damit ist ein Abscannen des Werkstücks mit der Strahlung und somit ein Bestrahlen von möglichst allen gewünschten Stellen des Werkstücks möglich, auch wenn dieses eine komplexe Geometrie aufweist.

[0026] Nach einer bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist die Vorrichtung mindestens eine Messvorrichtung zur Messung von Wärmestrahlung und/oder Temperatur auf. Bevorzugt wird die Temperatur bzw. die Wärmestrahlung kontaktlos, beispielsweise mittels eines Pyrometers oder einer Infrarot-Kamera, gemessen.

[0027] Nach einer bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist die Vorrichtung mindestens eine Positioniervorrichtung auf. Damit kann das Werkstück vor der Bearbeitung in die erforderliche Position positioniert bzw. während der Bearbeitung bewegt werden.

[0028] Nach einer bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist die Vorrichtung mindestens eine Auftragvorrichtung zum Applizieren mindestens eines Hochleistungspolymers auf das Werkstück auf. Somit kann das Applizieren des Hochleistungspolymers auf das Werkstück und das anschließende Aufschmelzen des Hochleistungspolymers von derselben Maschine bewerkstelligt werden.

[0029] Das erfindungsgemäße Beschichtungsverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 4 hat demgegenüber den Vorteil, dass die für das Beschichten eines Werkstücks mit mindestens einem Hochleistungspolymer benötigte Prozessenergie zumindest teilweise von mindestens zwei Strahlungsquellen erzeugt wird. Dabei werden mindestens zwei Strahlungsquellen zeitgleich oder zeitversetzt hintereinander eingesetzt.

[0030] Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens wird in einem vorangegangenen Verfahrensschritt mindestens ein Hochleistungspolymer auf das Werkstück appliziert. Das Hochleistungspolymer, das bevorzugt ein Polymerpulver ist, wird beispielsweise als pulverbasierte Dispersion mittels elektrostatischem Sprühen oder als vorzugsweise wasserbasierte Dispersion mittels Sprüh-, Druck-, Tauch-, oder Rakelverfahren auf das Werkstück appliziert.

[0031] Nach einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens strahlt mindestens eine Strahlungsquelle zumindest teilweise kohärent.

[0032] Nach einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens wird ein Laser als mindestens eine Strahlungsquelle verwendet. In diesem Fall ist die Strahlung der Strahlungsquelle vollständig kohärent. Es ist aber auch denkbar, dass eine

andere Strahlungsquelle verwendet wird, die beispielsweise Infrarotstrahlung, ultraviolette Strahlung, Induktionsstrahlung, Mikrowellenstrahlung oder Teilchenstrahlung (Röntgen- oder Gammastrahlung) erzeugt.

5 **[0033]** Nach einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens strahlt mindestens eine Strahlungsquelle im Wellenlängenbereich von 400 bis 3000 nm.

10 **[0034]** Nach einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens strahlt mindestens eine Strahlungsquelle im Wellenlängenbereich von 4000 bis 12000 nm.

15 **[0035]** Nach einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens wird die Strahlung von mindestens einer Strahlungsquelle zeitlich und/oder örtlich moduliert. Die Strahlung kann somit kontinuierlich, gepulst, von ansteigender Intensität und/oder absteigender Intensität sein.

20 **[0036]** Nach einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens wird die Intensität mindestens einer Strahlungsquelle während des Beschichtens reguliert. Damit ist ein kontinuierlicher Wechsel und/oder ein Umschalten der Strahlung während des Beschichtens von kontinuierlich, gepulst, ansteigender Intensität und/oder absteigender Intensität möglich.

25 **[0037]** Nach einer diesbezüglichen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens wird mindestens eine Strahlungsquelle derart reguliert, dass auf der Oberfläche des Werkstücks eine konstante Temperatur vorliegt.

30 **[0038]** Nach einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens wird die Strahlung mindestens einer Strahlungsquelle vorrangig von mindestens einem Hochleistungspolymer absorbiert. Damit ist ein gezieltes Einstellen bzw. eine gezielte Regulierung der Temperatur des Hochleistungspolymers möglich.

35 **[0039]** Nach einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens wird die Strahlung mindestens einer Strahlungsquelle vorrangig vom Werkstück absorbiert. Damit ist ein gezieltes Einstellen bzw. eine gezielte Regulierung der Temperatur des Werkstücks möglich.

40 **[0040]** Nach einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens wird die Strahlung mindestens einer Strahlungsquelle zumindest teilweise mittels einer Festoptik auf das Werkstück geführt. Eine Festoptik hat den Vorteil, dass die Genauigkeit der Strahlführung optimiert werden kann.

45 **[0041]** Nach einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens wird die Strahlung mindestens einer Strahlungsquelle zumindest teilweise mittels eines Scannersystems über das Werkstück geführt. Durch das Verfahren der Strahlung mittels eines Scannersystems kann die Stelle die von der Strahlung getroffen wird variiert werden, so dass ein Abscannen des Werkstücks mit der Strahlung und somit ein Be-

strahlen von möglichst allen gewünschten Stellen des Werkstücks möglich ist, auch wenn dieses eine komplexe Geometrie aufweist.

[0042] Nach einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens wird die Wärmestrahlung des Werkstücks und/oder mindestens eines Hochleistungspolymer kontaktlos gemessen. Dies ist beispielsweise mittels eines Pyrometers oder einer Infrarot-Kamera möglich, wobei auch andere kontaktlose Messmethoden der Wärmestrahlung bzw. der Temperatur denkbar sind.

[0043] Nach einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens wird das Werkstück mittels mindestens einer Positioniervorrichtung ausgerichtet und/oder geführt. Das Werkstück kann damit in die für das Beschichtungsverfahren erforderliche Position bewegt bzw. positioniert werden. Die Position des Werkstücks kann damit auch während des Beschichtens verändert werden.

[0044] Nach einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens wird beim Beschichtungsverfahren eine Vorrichtung zum Beschichten eines Werkstücks mit mindestens einem Hochleistungspolymer nach einem der Ansprüche 1 bis 14 verwendet.

[0045] Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sind der nachfolgenden Beschreibung, den Ansprüchen und den Zeichnungen entnehmbar.

Zeichnung

[0046] Bevorzugte Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Gegenstands sind in der Zeichnung dargestellt und werden im Folgenden näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 einen Aufbau zur Durchführung des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens bzw. die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Beschichten eines Werkstücks mit mindestens einem Hochleistungspolymer.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0047] Fig. 1 zeigt einen Aufbau zur Durchführung des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens bzw. die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Beschichten eines Werkstücks 4a mit mindestens einem Hochleistungspolymer 4b. In diesem Ausführungsbeispiel sind zwei Strahlungsquellen 1 und 2 und die Messvorrichtung 3 zur Messung von Wärmestrahlung und/oder Temperatur über dem zu beschichtenden Werkstück 4a angeordnet. Das Hochleistungspolymer 4b ist bereits auf dem Werkstück 4a appliziert. Das Werkstück 4a wird mittels einer Positioniervorrichtung 5 an die richtige Stelle gebracht, so dass das Werkstück 4a bzw. eine gewünschte Stelle des Werkstücks 4a und das Hochleistungspolymer 4b von den Strahlen 6 und 7 der Strahlungsquellen 1 und 2 getroffen werden. Die Messvorrichtung 3 misst dabei die

vom Werkstück 4a und dem Hochleistungspolymer 4b emittierte Wärmestrahlung 8. Es ist ebenfalls denkbar, dass die Messung der Wärmestrahlung 8 koaxial zum Strahlengang der Strahlung 6 erfolgt, kann jedoch auch lateral zum Strahlengang der Strahlung 6 erfolgen.

[0048] Die beiden Strahlen der Strahlung 6 und 7 werden separat zeitlich und örtlich moduliert. Die Wellenlängen werden dabei vorzugsweise so gewählt, dass der eine Strahl vorrangig vom Hochleistungspolymer 4b und der andere Strahl vorrangig vom Werkstück 4a absorbiert wird. Die Wellenlänge einer Strahlung 6 oder 7 liegt vorzugsweise im Wellenlängenbereich von 400 bis 3000 nm und die Wellenlänge einer zweiten Strahlung 6 oder 7 im Bereich von 4000 bis 12000 nm. Die Strahlung 6 und 7 ist in beiden Fällen vorzugsweise kontinuierlich oder auf einer Zeitskala im Bereich von > 10 ns moduliert bzw. gepulst. Das zu beschichtende Werkstück 4a wird mittels einer manuellen oder automatisierbaren Positioniervorrichtung 5 (vorzugsweise Roboter oder Achssystem) entweder in eine fixe Bearbeitungsposition bewegt oder während des Beschichtungsprozesses mittels diesem in mindestens einer Dimension (inklusive Rotation) bewegt und/oder gedreht. Die Applikation des Hochleistungspolymer 4b, z. B. eines Polymerpulvers, findet in einem vorangegangenen Schritt statt. Die Applikationsmethode umfasst vorzugsweise den Auftrag einer (vorzugsweise wasserbasierten) Dispersion mittels Sprüh-, Druck-, Tauch- oder Rakelverfahren oder den Auftrag einer polymerbasierten Pulvermischung mittels elektrostatischen Sprühens.

[0049] Während des Beschichtungsprozesses wird für mindestens eine Strahlungsquelle 1 oder 2 die Leistung so geregelt oder gesteuert, dass ein konstanter Wert für die vom Werkstück 4a und Hochleistungspolymer 4b emittierte Wärmestrahlung 8, 9 resultiert. Die Regelung oder Überwachung der Wärmestrahlung 8, 9 bzw. der Temperatur erfolgt dabei berührungslos mittels Pyrometrie oder kamerabasiert (z.B. IR-Kamera).

[0050] Die zentrale Wirkung des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens besteht in einer zeitlichen und örtlichen Steuerung der Temperaturprofile im Werkstück 4a und Hochleistungspolymer 4b während des Beschichtungsprozesses. Durch die Verwendung von (vorzugsweise wasserbasierten) Hochleistungspolymer-Dispersionen bei der Schichtapplikation sind die Beimischung einer Silan- und/oder Siloxanverbindung, eines Metallalkoholats oder sonstiger organischer Lösungsmittel nicht erforderlich und werden nicht angestrebt. Mit dem erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahren können auch ohne diese Bestandteile haftfeste Beschichtungen hergestellt werden.

[0051] Durch die Verwendung von zwei Wellenlängen ist eine Beimischung von Laserabsorbieren wie Ruß nicht erforderlich, um eine Energiedeposition im Hochleistungspolymer 4b zu ermöglichen. Durch die Steuerung bzw. Regelung des Beschichtungsprozesses, vorzugsweise überwacht durch Detektion der emittierten Wärmestrahlung 8, 9 vom Werkstück 4a und Hochleistungs-

polymer 4b, kann ein homogenes Bearbeitungsergebnis bezüglich Haftung, Porosität und Oberflächentopographie sichergestellt werden.

[0052] Das Schmelzen des Hochleistungspolymers 4b kann zeitlich und örtlich begrenzt werden, wodurch die ortsselektive Herstellung von Beschichtungen ermöglicht wird.

[0053] Die Temperaturbelastung wird im Vergleich zum oben beschriebenen Ofenverfahren reduziert. Somit ist die Beschichtung von temperaturempfindlichen Materialien möglich. Durch die Reduzierung der thermischen Belastung unterscheidet sich der Verlauf der Mikrohärtigkeit sowie der Wärmeeinflusszone im Grundmaterial in der Regel signifikant.

[0054] Durch die zeitlich veränderlichen Beschichtungsverfahrenparameter kann die Porosität der Beschichtung orts- und zeitabhängig gesteuert werden.

[0055] Der Beschichtungsprozess findet vorzugsweise an Normalatmosphäre statt, eine Schutzgas- oder Vakuumatmosphäre ist nicht erforderlich.

[0056] Im Vergleich zum Beschichtungsverfahren mittels eines einzigen Laserstrahls resultiert eine größere Spanne der realisierbaren Schichtdicken. Diese liegt für einen einzigen Laserstrahl im Bereich von 1 bis 50 μm . Mittels des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens wird dieser Bereich nach oben auf mindestens 250 μm erweitert.

[0057] Das technische Anwendungsfeld besteht in der Herstellung funktionaler Beschichtungen auf metallischen Komponenten, insbesondere in der Herstellung tribologischer und antikorrosiver Beschichtungen. Die zu beschichtenden metallischen Bauteile können unabhängig von Material, Geometrie und Anwendungsfall gewählt werden. Vorzugsweise wird das erfindungsgemäße Beschichtungsverfahren für die Beschichtung von Leichtmetallen wie Aluminium, Magnesium und Titan sowie Stahllegierungen verwendet. Der Anwendungsfall umfasst dabei insbesondere tribologisch und korrosiv beanspruchte Komponenten, ist aber nicht auf diese beschränkt. Ebenso ist eine Energieeffizienzsteigerung im Beschichtungsprozess hervorzuheben, da eine Vorwärmung nicht erforderlich ist.

[0058] Alle hier dargestellten Merkmale können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination miteinander erfindungswesentlich sein.

Bezugszahlenliste

[0059]

- 1 Strahlungsquelle
- 2 Strahlungsquelle
- 3 Messvorrichtung
- 4a Werkstück
- 4b Hochleistungspolymer
- 5 Positioniervorrichtung
- 6 Strahlung
- 7 Strahlung

8 Wärmestrahlung

9 Wärmestrahlung

5 **Patentansprüche**

1. Vorrichtung zum Beschichten eines Werkstücks (4a) mit mindestens einem Verschleiß- und Korrosionsschutz, Reibungsreduzierung, Temperaturbeständigkeit und/oder elektrische Isolation bereitstellendem Hochleistungspolymer (4b), welche mindestens zwei Strahlungsquellen (1, 2) aufweist **dadurch gekennzeichnet,**

dass die erste Strahlungsquelle angepasst ist, Strahlung einer ersten Wellenlänge abzugeben, welche zur vorrangigen Absorption durch das Werkstück (4a) angepasst ist

dass die zweite Strahlungsquelle angepasst ist, Strahlung einer zweiten Wellenlänge abzugeben, welche zur vorrangigen Absorption durch das Hochleistungspolymer (4b) angepasst ist,

dass eine Messvorrichtung (3) zur kontaktlosen Messung von Wärmestrahlung (9) des Werkstücks (4a) und des mindestens einen Hochleistungspolymers (4b) bereitgestellt ist, wobei die Messeinrichtung (3) ausgebildet ist, die Leistung der zwei Strahlungsquellen (1, 2) auf einen konstanten Wert emittierter Wärmestrahlung von Werkstück (4a) und Hochleistungspolymer (4b) zu regeln oder zu steuern.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** **dass** die Strahlung (6, 7) mindestens einer Strahlungsquelle (1, 2) kohärent ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet,** **dass** mindestens eine Strahlungsquelle (1, 2) ein Laser ist.

4. Beschichtungsverfahren, insbesondere mittels einer Beschichtungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei welchem

die für das Beschichten eines Werkstücks (4a) mit mindestens einem Verschleiß- und Korrosionsschutz, Reibungsreduzierung, Temperaturbeständigkeit und/oder elektrische Isolation bereitstellendem Hochleistungspolymer (4b) benötigte Prozessenergie zumindest teilweise von mindestens zwei Strahlungsquellen (1, 2) erzeugt wird

dadurch gekennzeichnet, **dass** die erste Strahlungsquelle Strahlung einer ersten Wellenlänge abgibt, welche zur vorrangigen Absorption durch das Werkstück (4a) an-

gepasst wird,

dass die zweite Strahlungsquelle Strahlung einer zweiten Wellenlänge abgibt, welche zur vorrangigen Absorption durch das Hochleistungspolymer (4b) angepasst wird,

dass eine Messvorrichtung (3) zur kontaktlosen Messung von Wärmestrahlung (9) des Werkstücks (4a) und des mindestens einen Hochleistungspolymer (4b) eine solche Messung durchführt, wobei die Messvorrichtung (3) die Messung kontaktlos ausführt und die Leistung der zwei Strahlungsquellen (1, 2) auf einen konstanten Wert emittierter Wärmestrahlung (9) von Werkstück (4a) und Hochleistungspolymer (4b) regelt oder steuert.

5. Beschichtungsverfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet,**

dass in einem vorangegangenen Verfahrensschritt mindestens ein Hochleistungspolymer (4b) auf das Werkstück (4a) appliziert wird.

6. Beschichtungsverfahren nach Anspruch 4 oder Anspruch 5,

dadurch gekennzeichnet,

dass mindestens eine Strahlungsquelle (1, 2) kohärent strahlt.

7. Beschichtungsverfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6,

dadurch gekennzeichnet,

dass ein Laser als mindestens eine Strahlungsquelle (1, 2) verwendet wird.

Claims

1. Apparatus for coating a workpiece (4a) with at least one high-performance polymer (4b) providing wear and corrosion protection, friction reduction, temperature resistance and/or electrical insulation, which has at least two radiation sources (1, 2)

characterised in that

the first radiation source is adapted to emit radiation of a first wavelength which is adapted to be primarily absorbed by the workpiece (4a)

that the second radiation source is adapted to emit radiation of a second wavelength which is adapted to be primarily absorbed by the high-performance polymer (4b),

a measuring device (3) is provided for contactless measurement of thermal radiation (9) of the workpiece (4a) and of the at least one high-performance polymer (4b), the measuring device (3) being designed to regulate or control the power of the two radiation sources (1, 2) to a constant value of thermal radiation emitted by

the workpiece (4a) and high-performance polymer (4b).

2. Device according to claim 1,

characterised in that

the radiation (6, 7) of at least one radiation source (1, 2) is coherent.

3. Device according to claim 1 or claim 2,

characterised in that

at least one radiation source (1, 2) is a laser.

4. Coating process, in particular by means of a coating device according to one of claims 1 to 3, in which

the process energy required for coating a workpiece (4a) with at least one high-performance polymer (4b) providing wear and corrosion protection, friction reduction, temperature resistance and/or electrical insulation is generated at least in part by at least two radiation sources (1, 2)

characterised in that

the first radiation source emits radiation of a first wavelength which is adapted to be primarily absorbed by the workpiece (4a),

that the second radiation source emits radiation of a second wavelength which is adapted to be primarily absorbed by the high-performance polymer (4b),

a measuring device (3) for contactless measurement of thermal radiation (9) of the workpiece (4a) and of the at least one high-performance polymer (4b) carries out such a measurement, the measuring device (3) carrying out the measurement without contact and regulating or controlling the power of the two radiation sources (1, 2) to a constant value of emitted thermal radiation (9) from the workpiece (4a) and high-performance polymer (4b).

5. Coating process according to claim 4,

characterised in that

at least one high-performance polymer (4b) is applied to the workpiece (4a) in a preceding process step.

6. Coating process according to claim 4 or claim 5,

characterised in that

at least one radiation source (1, 2) radiates coherently.

7. Coating process according to any one of claims 4 to 6,

characterised in that

a laser is used as at least one radiation source (1, 2).

Revendications

1. Dispositif pour le revêtement d'une pièce (4a) avec au minimum une protection contre l'usure et contre la corrosion, une réduction de friction, une résistance à la température et/ou une isolation électrique de polymère déployé à grande performance (4b) présentant au minimum deux sources de rayonnement (1,2) est caractérisé de sorte que
 - La première source de rayonnement est adaptée de sorte à émettre une radiation de la première longueur d'onde qui est adaptée à l'absorption prioritaire à travers la pièce (4a)
 - Que la deuxième source de rayonnement est adaptée pour émettre la radiation de la deuxième longueur d'onde qui est adaptée à l'absorption prioritaire à travers le polymère à grande performance (4b),
 - Qu'un dispositif de mesure (3) est déployé pour la mesure sans contact du rayonnement thermique (9) de la pièce (4a) et d'au minimum un polymère à grande performance (4b) où le dispositif de mesure (3) est formé de sorte à régler ou à guider la performance des deux sources de rayonnement (1,2) sur une valeur constante du rayonnement thermique émis et de la pièce (4a) et du polymère à grande performance (4b).

2. Dispositif selon la revendication 1 est caractérisé de sorte que le rayonnement (6, 7) est cohérent avec au minimum une source de rayonnement (1, 2).

3. Dispositif selon la revendication 1 ou selon la revendication 2 est caractérisé de sorte qu'au minimum une source de rayonnement (1, 2) présente un laser.

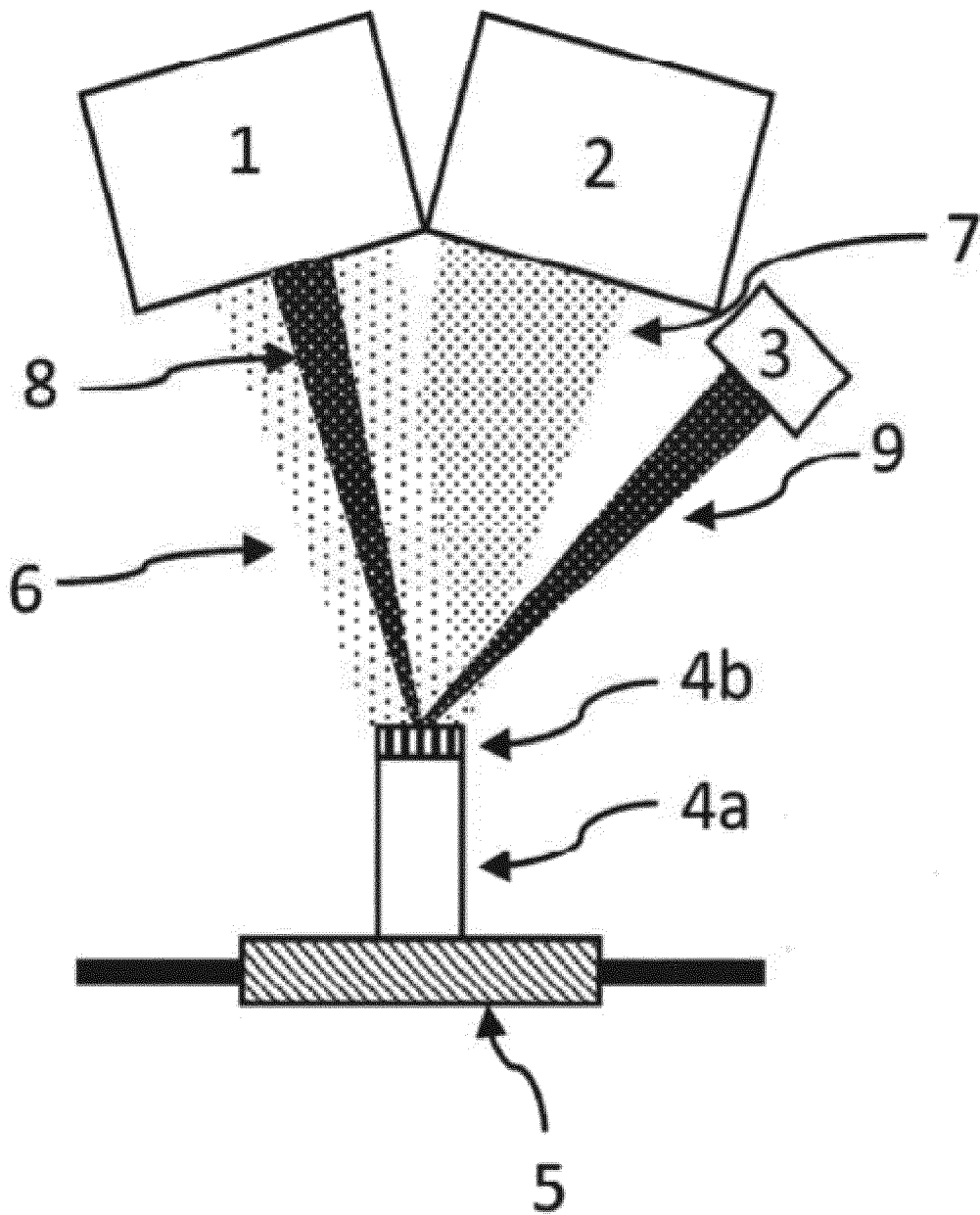
4. Procédé pour le revêtement, en particulier par le biais d'un dispositif de revêtement selon l'une des revendications 1 jusqu'à 3, dans lequel l'énergie de processus requise pour le revêtement d'une pièce (4a) avec au minimum une protection contre l'usure et contre la corrosion, une réduction de friction, une résistance à la température et/ou une isolation électrique du polymère déployé à grande performance (4b) est produite au minimum à titre partiel par au minimum deux sources de rayonnement (1, 2) est caractérisé de sorte que la première source de rayonnement émet la première longueur d'onde qui est adaptée à l'absorption prioritaire à travers la pièce (4a),
 - Que la deuxième source de rayonnement émet une deuxième longueur d'onde qui est adaptée à l'absorption prioritaire à travers le polymère à grande performance (4b),
 - Qu'un dispositif de mesure (3) effectue ladite

5. Procédé de revêtement selon la revendication 4 est caractérisé de sorte qu'au minimum un polymère à grande performance (4b) est appliqué sur la pièce (4a) dans une étape précédente.

6. Procédé de revêtement selon la revendication 4 ou selon la revendication 5 est caractérisé de sorte qu'au minimum une source de rayonnement (1, 2) rayonne à titre cohérent.

7. Procédé de revêtement selon l'une des revendications 4 jusqu'à 6 est caractérisé de sorte qu'un laser est utilisable en tant qu'au minimum une source de rayonnement (1, 2).

Fig. 1



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 69300501 T2 [0007]
- EP 1932928 B1 [0007]
- EP 2969256 B1 [0008]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **E. SPYROU.** Powder coatings. Chemistry and technology. 2012, vol. 3 [0002]
- **I. CORNI ; N. NEUMANN ; D. EIFLER ; A. R. BOC-CACCINI.** Polyetheretherketone (PEEK) Coatings on Stainless Steel by Electrophoretic Deposition. *Advanced Engineering Materials*, 2008, vol. 10 (6), 559-64 [0004]
- Quick 10 Step Guide For Optimum Results. *Produktbroschüre Vicote Flame Spray 702/705 Coatings*, 2016 [0005]
- Thermal Spray Coating Processes. **P. VUORISTO.** Comprehensive materials processing. 2014 [0005]