



19



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

11 CH 691 761 A5

51 Int. Cl.⁷: B 05 B 012/12
B 05 B 005/08
C 23 C 004/12

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

12 PATENTSCHRIFT A5

21 Gesuchsnummer: 01694/96

22 Anmeldungsdatum: 08.07.1996

30 Priorität: 21.09.1995 DE 195 35 078.2

24 Patent erteilt: 15.10.2001

45 Patentschrift
veröffentlicht: 15.10.2001

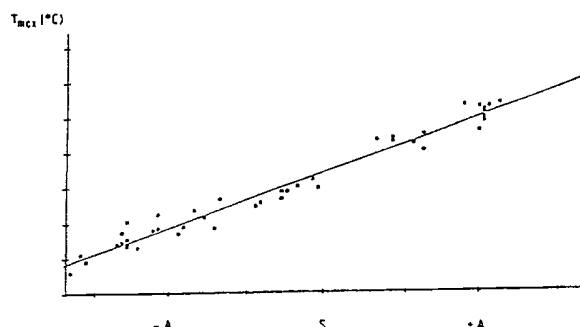
73 Inhaber:
Robert Bosch GmbH, Postfach 30 02 20,
D-70442 Stuttgart (DE)

72 Erfinder:
Frieze, Karl-Hermann, Strohgaustrasse 13,
D-71229 Leonberg (DE)
Peter Jansing, Eltinger Weg 35,
71272 Renningen (DE)
Harry Braun, Wartmuerstrasse 5,
71296 Heimsheim (DE)
Walter Bauer, Schlehenweg 5,
71735 Eberdingen (DE)
Marc Weller, Am Bergheimer Hof 45,
70499 Stuttgart (DE)
Thomas Kanz, Stuttgarter Strasse 117/1,
71229 Leonberg (DE)

74 Vertreter:
Scintilla AG, Direktion,
Postfach 632, 4501 Solothurn (CH)

54 Überwachung und Regelung von thermischen Spritzverfahren.

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung und Regelung von thermischen Spritzverfahren zur Beschichtung der Oberfläche von Substraten. Es ist dadurch gekennzeichnet, dass während des Spritzvorgangs als Kenngrösse für die übertragene Schichtmasse bzw. die Schichtdicke eine Oberflächentemperatur des Substrats gemessen und bei Abweichungen vom Sollwert mindestens ein Verfahrensparameter verändert wird, der für die übertragene Schichtmasse bzw. die Schichtdicke bestimmend ist. Das Verfahren ermöglicht die Erzeugung von Schichten mit vorgegebener übertragener Schichtmasse bzw. Schichtdicke und enger Schichtdickenverteilung über die beschichtete Fläche. Es eignet sich besonders für Plasmaspritzverfahren zur Beschichtung von Teilen in einer Serienfertigung mit kurzen Taktzeiten.



Beschreibung

Durch thermische Spritzverfahren kann eine Vielzahl verschiedener Substrate mit unterschiedlichen anorganischen Beschichtungen versehen werden. Zu den thermischen Spritzverfahren zählen Plasmaspritzverfahren, Flamm-spritzverfahren und Lichtbogenspritzverfahren. Allen Verfahren gemeinsam ist, dass hoch erhitze anorganische Teilchen als Beschichtungsmittel verwendet werden. Ein wesentlicher Unterschied besteht in der Art und Weise, wie die Teilchen erhitzt werden. Beim Lichtbogenspritzverfahren bildet elektrischer Gleich- oder Wechselstrom zwischen zwei kontinuierlich vorgeschobenen, drahtförmigen Abschmelzelektroden einen Lichtbogen aus. Das abgeschmolzene, erhitze Material wird durch einen Pressluftstrom als Teilchenstrahl auf das zu beschichtende Substrat gerichtet. Bei einer gebräuchlichen Ausführungsform des Flamm-spritzverfahrens saugt ein Pressluftstrom das Beschichtungsmittel in Form einer vorgebildeten Pulver-Luft-Wolke an und lässt es aus einem zentralen Austrittsrohr des Brenners als Teilchenstrahl in Richtung auf das zu beschichtende Substrat austreten. Aus einem in Bezug auf das Austrittsrohr koaxialen Ringrohr tritt Acetylen aus, das sich ausserhalb des Brenners mit dem Pulverteilchenstrom mischt und beim Verbrennen die zum Erhitzen der Teilchen erforderliche Wärme erzeugt.

In der Beschichtungstechnik werden Plasmaspritzverfahren mehr und mehr verwendet. Bei einer üblichen Ausführungsform werden die Beschichtungsmittel als feine Pulver mittels eines inerten Trägergases, wie Argon, in die Plasmazone eines Plasmabrenners gefördert, in der die Teilchen hoch erhitzt werden und zumindest an ihren Oberflächen schmelzen. Das Plasma, ein hochehitztes, ionisiertes Gas, wird aus einem Brennergas, beispielsweise einem Gemisch aus Argon und Stickstoff, und gegebenenfalls anderen inerten Gasen, wie Helium, durch einen elektrischen Lichtbogen erzeugt. Die Temperaturen in der Plasmazone können 30.000 K erreichen. Der Plasmastrahl mit den aufgeschmolzenen oder zumindest an ihren Oberflächen angeschmolzenen Teilchen des Beschichtungsmittels tritt aus dem Brenner aus und ist auf das zu beschichtende Substrat gerichtet, das zweckmässig mittels eines Kühlgasstromes gekühlt wird. Die Teilchen bilden auf der Oberfläche des gekühlten Substrats eine poröse oder kompakte Schicht.

Bei vielen Anwendungen der thermischen Spritzverfahren ist es erwünscht, Beschichtungen mit einer definierten und über die beschichtete Fläche möglichst gleichmässigen Stärke zu erzeugen. Die übertragene Schichtmasse bzw. die Schichtdicke und die Schichtdickenverteilung hängen von einer beträchtlichen Zahl von Parametern ab, von denen beispielsweise der Massenstrom der Teilchen des Beschichtungsmittels im Teilchenstrahl, die relative Geschwindigkeit, mit der sich der Teilchenstrahl und das zu beschichtende Teil in Bezug aufeinander bewegen, sowie die Zahl der einzelnen Spritzdurchgänge, die zusammen die gewünschte Schichtdicke ergeben, genannt werden sollen. «Relative Geschwindigkeit» bedeutet, dass der Brenner fest an-

geordnet sein und das Substrat bewegt werden kann, das Substrat fest angeordnet sein und der Brenner bewegt werden kann oder sowohl der Brenner, als auch das Substrat sich bewegen können.

Insbesondere bei der Beschichtung von Teilen in Serienfertigung wäre es erwünscht, die übertragene Schichtmasse bzw. die Schichtdicke und deren Verteilung über die Fläche bestimmen zu können, damit bei Abweichungen von den angestrebten Werten sofort, d.h. beim nächsten Teil oder zumindest bei einem der nächsten Teile regelnd eingegriffen werden kann. Für die Praxis brauchbare Methoden zur direkten Bestimmung der übertragenen Schichtmasse bzw. der Schichtdicke während des Spritzvorgangs sind jedoch nicht bekannt. Eine Differenzwägung eines Teils vor und nach der Beschichtung, aus der zumindest eine durchschnittliche Schichtdicke errechnet werden könnte, ist aufwändig und ermöglicht zumindest bei kurzen Taktzeiten keine regelnde Korrektur bereits beim nächsten Spritzvorgang oder bei einem der nächsten Spritzvorgänge.

Vorteile der Erfindung

Bei dem Verfahren nach der Erfindung wird eine leicht und zuverlässig zu ermittelnde Grösse, nämlich eine Oberflächentemperatur des Substrats während des Spritzvorgangs, überwacht und für die Regelung der übertragenen Schichtmasse bzw. der Schichtdicke verwendet. Das Verfahren bietet eine Reihe von wirtschaftlichen Vorteilen. Die Regelung greift rasch ein, was insbesondere bei der Beschichtung von Teilen in Serienfertigung mit kurzen Taktzeiten wichtig ist. Fehlbeschichtungen, die zu Ausschuss führen, werden schon während des Spritzvorgangs erkannt. Abweichungen von der gewünschten übertragenen Schichtmasse bzw. Schichtdicke können sofort, d.h. beim nächsten Spritzvorgang oder zumindest bei einem der nächsten Spritzvorgänge, durch Veränderung mindestens eines massgeblichen Verfahrensparameters korrigiert werden. Bei Teilen, die in mehreren Durchgängen beschichtet werden, sowie bei grossflächigen Teilen kann sogar schon während des Spritzvorgangs regelnd eingegriffen werden. Man erhält so eine gleichmässige Beschichtung mit der erwünschten engen Schichtmassenverteilung über die beschichtete Fläche. Auf diese Weise wird die Ausschussrate gering gehalten. Das Verfahren begünstigt die Serienfertigung mithilfe von Bestückungsrobotern, denn die erwähnte Verminderung der Ausschussrate wird ohne Überwachung durch eine Arbeitskraft erreicht. Dabei wird nicht nur eine enge Schichtmassenverteilung bei jedem Einzelteil erreicht, sondern auch ein hohes Mass an Konstanz bezüglich der übertragenen Schichtmassen, Schichtdicken und engen Schichtmassenverteilungen bei den einzelnen Teilen innerhalb der Serie. Es ist weiterhin möglich, eine automatische Abschaltung der Fertigung vorzusehen, wenn die Regelmöglichkeiten nicht ausreichen, um einen spezifikationsgerechten Betrieb zu gewährleisten, beispielsweise beim Ausfall des Kühlgasstromes.

Zeichnungen

Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung eine Anordnung zur Beschichtung von Substraten nach dem Plasmaspritzverfahren.

Fig. 2 zeigt den im Wesentlichen linearen Zusammenhang zwischen einer Oberflächentemperatur des Substrats und der übertragenen Schichtmasse, wiederum am Beispiel eines Plasmaspritzverfahrens.

Beschreibung der Erfindung

Die geschilderten Vorteile werden durch die Verfahren nach den Patentansprüchen 1 bis 12 erzielt. Die Verfahren können in Verbindung mit den zuvor beschriebenen thermischen Spritzverfahren angewendet werden. Sie eignen sich besonders zur Überwachung und Regelung von Plasmaspritzverfahren. Durch die thermischen Spritzverfahren können verschiedenartige Beschichtungsmittel, wie Metalle und Metalllegierungen, Oxide oder Mischoxide sowie hochschmelzende Carbide, auf Substrate aufgebracht werden. Bei diesen kann es sich wiederum um Metalle oder Metalllegierungen sowie um Materialien aus Oxiden oder Mischoxiden, aber auch um hinreichend hoch schmelzende organische Kunststoffe handeln. Die Auswahl der geeigneten Kombination von Beschichtungsmittel und Substrat ist dem Fachmann geläufig. Die Verfahren nach der Erfindung können beispielsweise bei der Beschichtung von thermisch hoch beanspruchten metallischen Teilen mit einer Schicht aus hochschmelzenden Oxiden, wie dies bei manchen Luft- und Raumfahrzeugen erforderlich ist, eingesetzt werden. Wenn man sie bei der Beschichtung von Druckwalzen anwendet, verringert sich infolge der engeren Schichtdickenverteilung der Schleifaufwand bei dem nachfolgenden Glattschliff.

Besonders bewährt haben sich die Verfahren nach der Erfindung bei Plasmaspritzverfahren zur Beschichtung von Teilen in Serienfertigung mit kurzen Taktzeiten, z.B. von Lambda-Sonden für Verbrennungsmotoren. Dabei werden katalytisch wirkende Elektroden, beispielsweise Cermet-Verbundelektroden aus Platin und keramischen Materialien, mit einer porösen Schutz- und Diffusionsschicht aus nicht leitenden, zumeist oxidischen Materialien, wie Spinell (einem Magnesiumaluminat), versehen.

Eine Anordnung zur Beschichtung von Lambda-Sonden nach dem Plasmaspritzverfahren mit Überwachung und Regelung nach der vorliegenden Erfindung ist in Fig. 1 schematisch wiedergegeben. Der Plasmabrenner 1 mit Pulverinjektor (nicht dargestellt), der in diesem Beispiel längs einer horizontalen Strecke beweglich ist, wie durch den Doppelpfeil angedeutet, richtet seinen Teilchenstrahl 2 mit hochoberhitzten Spinell-Teilchen auf die rotierende Lambda-Sonde 3, deren Rotationsachse sich in einer horizontalen und zu der erwähnten horizontalen Strecke, auf der sich der Plasmabrenner 1 bewegt, parallelen Lage befindet. Ein Kühlgasstrom, der die Lambda-Sonde 3 kühlt, ist nicht dargestellt. Das Strahlungspyrometer 4 misst zu bestimmten vorgegebenen Zeitpunkten die an einem bestimmten Ort

der Oberfläche der Sonde herrschende Temperatur. Der Komparator, der die gemessenen Werte mit einem vorgegebenen, zuvor empirisch ermittelten Sollwert vergleicht, sowie die Vorrichtungen und Schaltungen, mittels derer bei Abweichungen der gemessenen Werte vom Sollwert mindestens ein massgeblicher Verfahrensparameter zweckentsprechend verändert wird, sind ebenfalls nicht dargestellt.

Es ist ein wesentliches Merkmal der vorliegenden Erfindung, dass während des Spritzvorgangs als Kenngrösse für die übertragene Schichtmasse bzw. die Schichtdicke eine Oberflächentemperatur des Substrats gemessen und bei Abweichung vom Sollwert zur Regelung mindestens ein Verfahrensparameter verändert wird, der für die übertragene Schichtmasse bzw. für die Schichtdicke bestimmend ist. Die Oberflächentemperatur muss stets an einem bestimmten Ort und zu einem bestimmten Zeitpunkt nach einem Spritzvorgang (bzw. nach einem Durchgang, wenn der Spritzvorgang aus mehreren Durchgängen besteht) gemessen werden. Für die Messung eignen sich insbesondere die bekannten, berührungsfrei arbeitenden Strahlungs-pyrometer, deren Messbereiche auf die zu erwartenden Oberflächentemperaturen abgestimmt sind. Bei der Beschichtung von Lambda-Sonden verwendet man zweckmässig Infrarotpyrometer mit Messbereichen von 50 bis 450°C. Der Messfleck, d.h. die Fläche, deren Temperatur gemessen wird, kann von beliebiger Form und je nach der Beschichtungsaufgabe kleiner oder grösser sein. Bei der Beschichtung von Lambda-Sonden haben sich kreisrunde Messflecken von etwa 5 mm Durchmesser als gut geeignet erwiesen.

Die Erfindung gründet sich auf die Beobachtung, dass eine an einem bestimmten Ort und zu einem bestimmten Zeitpunkt gemessene Oberflächentemperatur des Substrats eine brauchbare Kenngrösse für die übertragene Schichtmasse bzw. für die erzielte Schichtdicke ist. Dabei besteht über weite Strecken ein annähernd linearer Zusammenhang zwischen der übertragenen Schichtmasse und der Oberflächentemperatur. Dies gilt unter Voraussetzung, dass die für die übertragene Schichtmasse bzw. die Schichtdicke massgebenden Parameter hinreichend konstant sind. Bei Plasmaspritzverfahren zählen dazu die Spannung und die Stromstärke, mit denen der Plasmabrenner betrieben wird, der Massenstrom des teilchenförmigen Beschichtungsmittels, d.h. die Menge pro Zeiteinheit des zugeführten Pulvers, sowie der Gasvolumenstrom, d.h. das Volumen pro Zeiteinheit des inerten Trägergases, wie Argon, des Brennergases, wie Argon und Stickstoff, und gegebenenfalls eines anderen mitverwendeten, unter den Verfahrensbedingungen gegenüber dem Beschichtungsmittel und dem Substrat inerten Gases, wie Helium. Weiterhin zählt der auf das Substrat gerichtete Kühlgasstrom nach Richtung und Stärke zu den Parametern, die hinreichend konstant sein müssen, damit ein annähernd linearer Zusammenhang zwischen übertragener Schichtmasse und Oberflächentemperatur bestehen kann.

Dieser Zusammenhang ist in der Fig. 2 darge-

stellt, die die Abhängigkeit der übertragenen Schichtmasse von der maximalen Oberflächentemperatur auf einer Lambda-Sonde bei deren Beschichtung mit Spinell zeigt. Die poröse Spinellschicht dient als Schutz- und Diffusionsschicht über der Elektrode der Sonde. Bei der Beschichtung rotieren die fingerförmigen Sonden («Steine»), beispielsweise mit 100 bis 200 U/min, um ihre Längsachse. Ein Plasmastrahl mit den Spinellteilchen darin fährt einmal parallel zur Rotationsachse von der Spitze bis zur Basis und zurück, beispielsweise innerhalb eines Zeitraumes von 10 bis 20 sec. Das Infrarotpyrometer ist auf einen kreisrunden Messfleck von 5 mm Durchmesser gerichtet, der sich über der Elektrodenzone nahe der Sondenspitze in einem Winkel von 90° (obere Gerade) bzw. von 270° (untere Gerade) in Bezug auf die Richtung des Plasmastrahls befindet. Die Sonde hat sich also im ersten Fall um 90° und im zweiten Fall um 270° gedreht, nachdem der Plasmastrahl den Messfleck überstrichen hatte. Die beiden Geraden zeigen eine Differenz von rund 30°C an, entsprechend der Abkühlung nach Drehung um 180°. Wenn die Sonden z.B. mit 180 U/min rotieren, entspricht dies einem Zeitraum von 0,16 sec.

In der Fig. 2 ist die maximale Oberflächentemperatur $T_{\max}$ über der Abweichung A des Massenübertrags von dem Sollwert S aufgetragen. Dies ist die Temperatur, die der Messfleck zeigt, nachdem er zum zweiten Mal von dem Plasmastrahl überstrichen wurde. Im Prinzip eignet sich auch die weniger hohe Temperatur, die nach dem ersten Überstreichen des Messflecks gemessen werden kann, für die Überwachung und Regelung, doch ist die Streuung der gemessenen Werte bei der maximalen Oberflächentemperatur geringer.

Die Oberflächentemperatur des Substrats – im Fall der Beschichtung von Lambda-Sonden zweckmässig die wie zuvor definierte maximale Oberflächentemperatur – wird nun auf eine dem Fachmann auf dem Gebiet der Mess- und Regeltechnik geläufige Weise für die Überwachung und Regelung des Plasmaspritzverfahrens benutzt. Im Fall der Beschichtung der Lambda-Sonden werden zunächst die Verfahrensparameter ermittelt, mit denen Sonden erhalten werden, die bei der Prüfung mit Gasen definierter Zusammensetzung und somit bestimmtem Lambda-Wert hinreichend genau diesen Lambda-Wert anzeigen, also optimal beschichtet sind. Die bei der Herstellung dieser Sonden ermittelte maximale Oberflächentemperatur dient als Kenngrösse für die angestrebte optimale übertragene Schichtmasse (und damit für die optimale durchschnittliche Schichtdicke) und wird als Sollwert vorgegeben.

Sobald eine Messung des Ist-Wertes eine Abweichung vom vorgegebenen Sollwert zeigt, greift die Regelung ein, indem sie mindestens einen der für die übertragene Schichtmasse bzw. die Schichtdicke bestimmenden Parameter zweckentsprechend verändert. Beispielsweise können der Massenstrom der Teilchen des Beschichtungsmittels im Plasmastrahl durch Variation der Menge des in der Zeiteinheit zugeführten Beschichtungsmittels und/oder der Gasvolumenstrom verändert werden. Eine andere

Regelungsmöglichkeit besteht in der Veränderung der relativen Geschwindigkeit, mit der sich der Plasmastrahl und das zu beschichtende Teil in Bezug aufeinander bewegen. Im Fall der Lambda-Sonden kann dazu der Zeitraum verändert werden, innerhalb dessen der Plasmastrahl einmal hin und her fährt. Weiterhin kann die Zahl der einzelnen Spritzdurchgänge verändert werden, die zusammen zu der gewünschten übertragenen Schichtmasse und somit zu der gewünschten Schichtdicke führen. Natürlich kann man auch mehrere Parameter gleichzeitig zweckentsprechend verändern. Im Fall der Lambda-Sonden könnte man z.B. sowohl die Menge des in der Zeiteinheit zugeführten Beschichtungsmittels vermindern, als auch den Zeitraum verkürzen, innerhalb dessen der Plasmastrahl hin und her fährt, wenn eine erhöhte maximale Oberflächentemperatur angezeigt, dass zuviel Schichtmasse übertragen wird. An welchem oder welchen Parameter(n) die Regelung eingreift, hängt von der jeweiligen Beschichtungsaufgabe sowie davon ab, welcher Eingriff unter ökonomischen, verfahrenstechnischen und produkttechnischen Aspekten optimal erscheint. Im Fall der Lambda-Sonden variiert man zweckmässig lediglich die in der Zeiteinheit zugeführte Menge Beschichtungsmittel, um Abweichungen vom Sollwert der übertragenen Schichtmasse zu korrigieren.

Es ist ein wesentliches Merkmal der vorliegenden Erfindung, dass eine Oberflächentemperatur des Substrats als Kenngrösse für die Überwachung und Regelung thermischer Spritzverfahren verwendet wird. Bei der Beschichtung von Lambda-Sonden eignet sich hierfür besonders die zuvor erwähnte maximale Oberflächentemperatur. Bei deren Verwendung als Kenngrösse lassen sich Abweichungen der übertragenen Schichtmasse von nur etwa $\pm 5\%$ vom Sollwert erreichen. Dementsprechend ist die Regellagenstreuung der Sonden, also der Abweichungen in der Messgenauigkeit des Lambda-Wertes, gering.

Statt des einzelnen Wertes der maximalen Oberflächentemperatur kann man auch einen Mittelwert, z.B. aus 4, 6 oder 8 Einzelmessungen, als Kenngrösse für die Überwachung und Regelung des Spritzvorgangs benutzen. Es hat sich gezeigt, dass dann der Mittelwert der übertragenen Schichtmassen um lediglich ca. $\pm 2\%$ vom Sollwert abweicht. Bei einer Arbeitsweise ohne Regelung kann dagegen der Mittelwert der übertragenen Schichtmassen im Laufe der Zeit um $\pm 10\%$ und mehr driften. Die Streuung der einzelnen übertragenen Schichtmassen kann allerdings auch durch Regelung über einen Mittelwert der maximalen Oberflächentemperatur nicht verringert werden. Sie beträgt wie bei der Regelung über die einzelne maximale Oberflächenspitzentemperatur bis zu etwa $\pm 5\%$.

Bei einer anderen Ausführungsform der Erfindung verwendet man an Stelle einer Oberflächentemperatur die Differenz zweier Oberflächentemperaturen als Kenngrösse für die Überwachung und Regelung von thermischen Spritzverfahren. Dabei handelt es sich um die Differenz der Oberflächentemperaturen in einer bestimmten Position auf dem Substrat unmittelbar vor und unmittelbar nach einem Spritzvor-

gang oder Spritzdurchgang. Diese Ausführungsform eignet sich besonders für thermische Spritzverfahren zum Beschichten von grossflächigen Teilen

Bei einer beabsichtigten Veränderung der Spritzparameter – bei Plasmaspritzverfahren z.B. Stromstärke, Spannung und/oder Gasvolumenstrom – sowie des Substrats – bei der Beschichtung von Lambda-Sonden z.B. des Sondentyps – muss die Regelung neu eingestellt werden. Zweckmässig werden auch die gewählten Werte für Stromstärke, Spannung und Gasvolumenstrom überwacht, und bei kritischer Veränderung wird eine Warnung gegeben und bzw. oder die Anlage abgestellt. Wenn allerdings die Stromstärke zur Regelung der Porosität der gespritzten Schicht geringfügig, d.h. um maximal etwa ± 10 A, verändert wird, genügt eine geringfügige Veränderung des Sollwertes anstatt einer Neueinstellung der Regelung.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung und Regelung von thermischen Spritzverfahren zur Beschichtung der Oberfläche von Substraten mittels hoch erhitzter anorganischer Teilchen als Beschichtungsmittel, dadurch gekennzeichnet, dass während des Spritzvorgangs als Kenngrösse für die übertragene Schichtmasse bzw. die Schichtdicke die Oberflächentemperatur des Substrats gemessen und bei Abweichungen vom Sollwert zur Regelung mindestens ein Verfahrensparameter verändert wird, der für die Schichtmasse bzw. für die Schichtdicke bestimmend ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das thermische Spritzverfahren ein Plasmaspritzverfahren ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das thermische Spritzverfahren ein Flammgespritzverfahren ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das thermische Spritzverfahren ein Lichtbogenspritzverfahren ist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der zur Regelung verwendete Verfahrensparameter die Teilchenkonzentration in dem Strahl der hochehitzten Teilchen des Beschichtungsmittels ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der zur Regelung verwendete Verfahrensparameter die relative Geschwindigkeit ist, mit der sich der Strahl der hoch erhitzten Teilchen des Beschichtungsmittels und das zu beschichtende Teil in Bezug aufeinander bewegen.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der zur Regelung benutzte Verfahrensparameter die Zahl der Beschichtungsdurchgänge ist, die zu der gewünschten übertragenen Schichtmasse bzw. zu der gewünschten Schichtdicke führen.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die maximale Oberflächentemperatur des Substrats beim Beschichten gemessen und für die Regelung benutzt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,

dadurch gekennzeichnet, dass die mittlere maximale Oberflächentemperatur des Substrats beim Beschichten gemessen und für die Regelung benutzt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass statt einer Oberflächentemperatur die Differenz der Oberflächentemperaturen in einer bestimmten Position auf dem Substrat unmittelbar vor und unmittelbar nach einem Spritzvorgang oder Spritzdurchgang gemessen und für die Regelung benutzt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das thermische Spritzverfahren für die Beschichtung von Teilen in einer Serienfertigung mit kurzen Taktzeiten angewandt wird und die Regelung der übertragenen Schichtmasse bzw. der Schichtdicke sofort eingreift, nachdem ein Teil mit abweichender Schichtdicke festgestellt wurde.

12. Anwendung des Verfahrens nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die zu beschichtenden Teile Lambda-Sonden für Verbrennungsmotoren sind.

Fig. 1

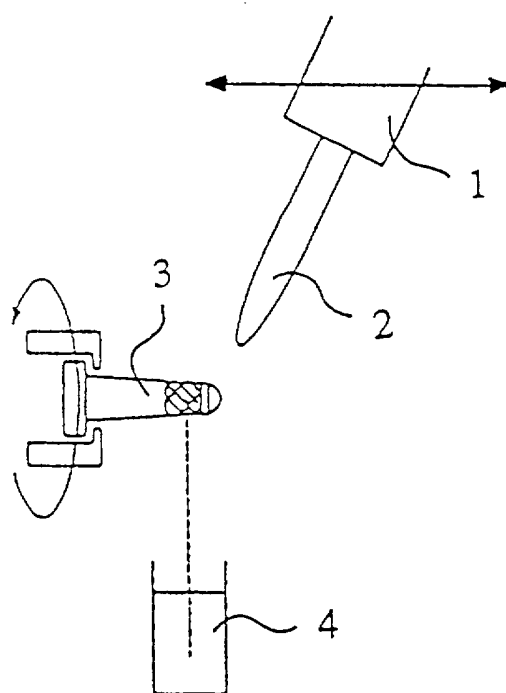


Fig. 2

