



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 09 823 T2 2004.08.12**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 092 497 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 09 823.0**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 308 510.7**

(96) Europäischer Anmeldetag: **28.09.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **18.04.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **14.04.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **12.08.2004**

(51) Int Cl.⁷: **B23P 6/00**

C23C 4/02, B23K 9/04, B23K 9/235,

B22D 7/06

(30) Unionspriorität:

415973 12.10.1999 US

(73) Patentinhaber:

**Ford Global Technologies, LLC, Dearborn, Mich.,
US**

(74) Vertreter:

**Drömer, H., Dipl.-Phys. Dr.-Ing., Pat.-Ass., 51429
Bergisch Gladbach**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, GB, SE

(72) Erfinder:

**McCune, Robert Corbly, Southfield, Michigan
48076, US; Hussary, Nakhleh, Minneapolis, US;
Pergrande, Paul Earl, Beverly Hills, Michigan
48025, US**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Reparatur eines sprühgegossenen Werkzeuges aus Stahl**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Reparatur von thermisch spritzgeformten Stahlwerkzeugen.

[0002] Spritzgeformte Werkzeuge werden dadurch hergestellt, daß zuerst ein Abdruck des gewünschten Werkzeuges unter Einsatz von Freiformtechniken hergestellt wird. Der Abdruck wird dann zur Herstellung einer Keramikform verwendet, die ein Negativ des herzustellenden Werkzeuges ist. Die resultierende Keramikform ist dann die Basis, in welche Metall gespritzt wird, so daß ein Auftrag mit der Gestalt des gewünschten Werkzeuges geformt wird.

[0003] Wenigstens ein Spritzformprozeß ist Lichtbogen-Metallspritzen. Beim Lichtbogen-Metallspritzen wird elektrischer Strom durch zwei elektrisch leitende, abbrennbare Drähte geführt, wobei sich zwischen den Drahtspitzen ein elektrischer Lichtbogen bildet. Ein Hochgeschwindigkeitsgasstrom, der von hinten auf die Drähte gerichtet ist, reißt das schmelzflüssige Metall weg, das mit fortschreitendem Abschmelzen der Drähte durch den elektrischen Lichtbogen kontinuierlich neugebildet wird. Der Hochgeschwindigkeitsgasstrom bricht die Metallschmelze auf bzw. zerstäubt sie in feinere Partikel, so daß eine feine Verteilung von geschmolzenen Metalltröpfchen gebildet wird. Das Zerstäubungsgas beschleunigt dann diese Partikel weg von den Elektrodenstippen und schleudert sie auf die Substratoberfläche, wo die geschmolzenen Partikel auf das Substrat aufprallen und so Schritt um Schritt einen Auftrag mit der Form des Werkzeuges aufbauen.

[0004] Das fertige Werkzeug wird dann montiert und zur Produktion von Teilen eingesetzt, wie in jedem anderen Präge-, Druckguß- oder Gießverfahren. Ein Problem besteht in der Ermüdungsfestigkeit, weil die Porosität des so hergestellten Werkzeuges fünf Prozent und mehr beträgt, aber Vorabschätzungen der Lebensdauer solcher Teile unter Last liegen bei 10.000 Zyklen und mehr, was für Prototypenwerkzeuge durchaus akzeptabel ist.

[0005] Das Spritzformen von Stahl wird bei der schnellen Herstellung von Prototypen- und Produktionswerkzeugen eingesetzt, wodurch erhebliche Kosteneinsparungen gegenüber der herkömmlichen Herstellung durch spanabhebende Bearbeitung und Wärmebehandlung von Stahlwerkzeugen realisiert werden, z. B. beim Spritzgießen und Prägen. Kleine Prototypen-Dauerwerkzeugsätze brauchen in der Regel vier bis fünf Monate zu ihrer Herstellung, während große Prototypenwerkzeuge bis zu einem Jahr zu ihrer Herstellung erfordern können. Spritzgeformte Werkzeuge dagegen können in einem Monat hergestellt werden, und das zu einem Preis, der wesentlich niedriger als bei Dauerwerkzeugen ist.

[0006] Solche spritzgeformten Werkzeuge haben allerdings nur eine begrenzte Standzeit im Vergleich zu ihrem Gegenstück als herkömmlich bearbeitetes Dauerwerkzeug, und zwar zum Teil wegen der körni-

geren Struktur des thermisch aufgespritzten Stahls, und ganz allgemein wegen der niedrigeren Gesamtfestigkeit des gespritzten Werkstoffes. Von spritzgeformten Werkzeugen kann daher erwartet werden, daß sie im Verlauf ihrer Einsatzzeit mehr Ausbesserungen erfordern, und dadurch erst die resultierende Verlängerung der Lebensdauer durch fortgeschrittene Oberflächen-Reparaturverfahren erzielen. Eine typische Werkzeugreparatur beinhaltet das Lichtbogen-Aufschweißen von Material auf das Werkzeug, und dann eine spanabhebende Bearbeitung und Schleifen des Werkstoffes, bis dieser der Werkzeugform angepaßt ist. Der inhomogene Aufbau des thermisch aufgespritzten Stahls erlaubt jedoch keine Anwendung gewöhnlicher Schweißtechniken, wie sie bei Werkzeugstählen verwendet werden, es sei denn, der thermisch spritzgeformte Stahl wird vor dem Aufschweißen auf ungefähr 200°C erwärmt und dann langsam abgekühlt, um Rißbildungen zu reduzieren.

[0007] Die US-A-5,915,743 offenbart eine Werkzeugreparatur durch einen Lichtbogen-Draht-Spritzprozeß. Auch hier ist eine sorgfältig überwachte und geregelte Vorwärmung des Werkzeuges während des Vorganges erforderlich.

[0008] Die US-Patentschrift 5,302,414 mit dem Titel "Gas-Dynamic Spraying Method for Applying A Coating (Gasdynamisches Spritzverfahren zum Auftragen einer Beschichtung)" wurde am 12. April 1994 Alkhimov u. a. erteilt. Das Verfahren leitet Pulverpartikel in ein Gas ein. Die Partikel sind dabei ein Metall, eine Legierung oder ein Polymer. Das Gas und die Partikel bilden einen Überschallstrahl mit einer Temperatur, die tief genug liegt, ein thermisches Aufweichen der Partikel zu vermeiden. Der Strahl wird direkt auf ein Objekt aus einem anderen Material gerichtet, z. B. aus einem Metall, einer Legierung oder einem Dielektrikum, wo die Partikel dann dieses Objekt beschichten.

[0009] Der vorliegenden Erfindung zufolge wird ein Verfahren zur Reparatur von thermisch spritzgeformten Werkzeugen gestellt, wie z. B. Formwerkzeugteilen, welches folgende Schritte beinhaltet: Reinigen des zu reparierenden Oberflächenbereiches von Schmutz und Verunreinigungen; Vorbereiten des zu reparierenden Oberflächenbereiches zur Aufnahme von Spritzbeschichtungen; und dann Kaltspritzen einer ersten Schicht aus kohlenstoffarmem Stahl bis auf eine vorgegebene Stärke auf das spritzgeformte Werkzeug, auf dem zu reparierenden Oberflächenbereich.

[0010] Ein Hauptvorteil der vorliegenden Erfindung ist, daß spritzgeformte Stahlwerkzeuge wirtschaftlich instandgesetzt werden, ohne dabei hochqualifiziertes Schweißpersonal zu erfordern.

[0011] Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung ist, daß sie in der Lage ist, spritzgeformte Stahlwerkzeuge mittels herkömmlicher Schweißverfahren zu schweißen. Noch ein weiterer Vorteil ist, daß jegliche Gasfreisetzung aus dem spritzgeformten Werk-

zeug während der Reparatur vermieden wird, die dahingehend wirken würde, daß sie die Reparatur schwächt.

[0012] Die erste Schicht besteht aus kohlenstoffarmem Stahl, der durch einen Kaltspritzprozeß oder durch gasdynamisches Kaltspritzen bis auf eine vorgegebene Stärke auf dem zu reparierenden Oberflächenbereich auf diese Reparaturoberfläche aufgetragen wird. Liegt einmal eine abgeschlossene Schicht von kaltespritztem Stahl auf der Oberfläche, wird in einem elektrischen Lichtbogenschweißvorgang eine Schweißung auf diese Oberfläche auftragen, und dieser Schweißauftrag wird dann in herkömmlicher spanabhebender Bearbeitung, schleifen und polieren auf die gewünschte Oberflächenbeschaffenheit fertigbearbeitet.

[0013] Die Erfindung soll nun beispielartig näher erläutert werden, mit Bezug auf die beiliegenden Zeichnungen. Dabei zeigt:

[0014] **Fig. 1:** ein Schema eines Kaltspritzprozesses, wie er im bisherigen Stand der Technik anzutreffen ist;

[0015] **Fig. 2:** eine Schnittansicht einer Schweißraupe auf einem thermisch gespritzten Stahlwerkzeug; und

[0016] **Fig. 3:** ein Flußdiagramm eines Verfahrens zur Reparatur von spritzgeformtem Stahl, wie es die vorliegende Erfindung verkörpert.

[0017] Es sei nun über die Bezugszeichen Bezug genommen auf die Zeichnungen, wo in **Fig. 1** das gasdynamische Kaltspritzverfahren **10** gemäß dem bisherigen Stand der Technik dargestellt ist, wie es in der US-Patentschrift 5,302,414 beschrieben steht. Das erfindungsgemäße Verfahren verwendet Kaltgasspritzen von Eisen oder Stahl mit niedrigem Kohlenstoffanteil auf ein thermisch spritzgeformtes Stahlwerkzeug. Der Sinn des Kaltgasspritzens ist, eine Zwischenschicht zu erzeugen, die fähig ist, einen Schweißauftrag aufzunehmen, der mittels eines Elektroschweißverfahrens geformt wird, z. B. mittels Gas-Metall-Lichtbogenschweißen (gas metal arc welding, GMAW), oder wie es manchmal auch bezeichnet wird, mittels Metall-Inertgas-Schweißen oder MIG. Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG) wird ebenfalls verwendet.

[0018] **Fig. 1** veranschaulicht schematisch ein vereinfachtes Kaltgas-Auftragssystem **10** gemäß dem bisherigen Stand der Technik. In diesem Prozeß wird ein Gasstrom **12** – vorwiegend Luft, Stickstoff, Helium oder Gemische derselben – durch eine konvergent-divergente Düse **14** beschleunigt, also eine De Laval-Düse, so daß ein Überschallgasstrom erzeugt wird. Dies kann durch Druckerzeugung und Vorwärmung des Einlaßgasstromes in einem Vorwärmer **16** erfolgen. Aus einem Einfülltrichter **18** werden über eine Zuführung **20** stromoberhalb der Einschnürung der Düse **14** unter hohem Druck Festkörperteilchen eingeführt. Die so beschleunigten Partikel prallen auf eine Substratoberfläche **22** auf, wie z. B. ein Werkzeug, und bilden durch einen Kaltverdichtungspro-

zeß eine dicke Beschichtung aus Schichten **24**. Der gasdynamische Kaltspritzprozeß ist z. B. in der Lage, eine dicke 3–5 mm starke Beschichtung aus Ansorteel 1000 (Handelsname der Hoeganaes Corp.) Eisenpulver auf das Substrat **22** bzw. Werkzeug aufzutragen.

[0019] In beiden Fällen erfolgt die Erzeugung des Schweißüberzuges auf dem Substrat **24** durch einen Elektroschweißprozeß und bringt Zusatzmetall-Stabelektroden zum Einsatz, welche die üblichen, bei der Reparatur von Formwerkzeugen und beim Auftragschweißen verwendeten Zusatzwerkstoffe sind.

[0020] Das zu reparierende spritzgeformte Stahlformteil oder Werkzeug **22** wird zunächst gereinigt und von allem Schmutz oder Verunreinigungen **26** befreit. Die zu reparierende Oberfläche **22** wird dann bei **28** zur Aufnahme des gasdynamischen Kaltspritzstrahles **30** bzw. der Kaltspritzschicht vorbereitet, und zwar durch Sandstrahlen, Funkenerosionsbearbeitung, Plasmastrahlreinigung oder eine beliebige von mehreren Oberflächenvorbereitungstechniken, die dafür bekannt sind, daß sie aufgerauhte Oberflächen zur Aufnahme von aufgespritzten Beschichtungen erzeugen. Nach der Vorbereitung der Oberfläche **22** erhält die so aufbereitete Oberfläche **23** eine Kaltspritzbeschichtung **24**.

[0021] Zusätzlich dazu ist es möglich, eine Kaltspritzschicht ohne jegliche besondere vorbereitende Maßnahme zu erzeugen, außer der gründlichen Reinigung. Dies beruht auf der Tatsache, daß das im Kaltspritzprozeß aufgespritzte oder aufgetragene Material eine Oberfläche bildet, die es dem danach aufgebrachten Material ermöglicht zu haften, weil das Vorgängermaterial ballistisch in die Substratoberfläche bzw. insbesondere in das Werkzeug eingebettet ist.

[0022] In dem Schema in **Fig. 2** wird die Zwischenschicht **24** aus kalt aufgespritztem Material normalerweise bis zu einer Schichtdicke von 100 bis 1000 Mikrometern aufgetragen, und zwar unter Verwendung von Heliumgas bei einem Spritzpistolen-Eingangsdruck von 350 psi oder 2,4 MPa bei einer Temperatur von 325° bis 400° Celsius. Die optimale Partikelgröße für das Eisenpulver im Speisebehälter **20** beträgt weniger als 45 Mikrometer Durchschnittsgröße und sollte trocken und im wesentlichen frei von größerer Oberflächenoxydation sein. Sobald eine Zwischenschicht aus hochreinem Eisen in dem Kaltspritzverfahren auf dem Substrat **22** oder Werkzeug ausgebildet ist, kann der weitere Auftrag des Reparaturmaterials mittels GMAW- oder WIG-Schweißtechniken vorgenommen werden, wie sie in der Technik auf dem Gebiet der Guß- und Preßformenreparatur bekannt sind.

[0023] Ist die Schweißung **40** bzw. Reparatur durch das Schweißverfahren wie WIG **34** oder GMAW **36** abgeschlossen, wird die Oberfläche **38** bis auf die gewünschte Oberflächenbeschaffenheit fertigbearbeitet, und zwar in herkömmlicher spanabhebender Bearbeitung, durch Schleifen und durch Polieren. Da-

nach kann das Werkzeug bzw. die Form wieder zum Einsatz gebracht werden.

[0024] Als Beispiel wurde eine Schweißung **40** auf einen unter den oben beschriebenen Bedingungen aufgetragenen monolithischen, kaltgespritzten Eisenauftrag aufgeschweißt. Zur Herstellung der Schweißraupe auf dem kaltgespritzten Stahl wurde ein WIG-Schweißgerät mit direkter Gleichstrompolarität und mit Argon als Schutzgas verwendet. Es wurde ein Weichstahl-Schweißstab verwendet, und die Stromstärke des WIG-Schweißgerätes schwankte zwischen 35 und 70 Amp. Alternativ dazu könnte der Schweißstab auch ein Nickelstab mit 99% Nickel sein, also ein 'reiner' Nickelstab.

[0025] Probleme mit Porosität, Oxydation und Kohlenstoffanteil des thermisch spritzgeformten Stahlmaterials des Werkzeuges, insofern die Haftung des Zusatzmetalls betroffen ist, werden größtenteils durch die Zwischenschicht **24** aus hochreinem, kohlenstoffarmem und sauerstoffarmem Kaltspritzmaterial vermieden.

[0026] Mit Bezug auf die **Fig. 2** liegt der Hauptvorteil der kaltgespritzten Zwischenschicht **24** in der Möglichkeit, einen besseren Schweißauftrag **40** zu schaffen, der direkt auf das thermisch spritzgeformte Stahlwerkzeug **42** aufgetragen wird. Ohne die kaltgespritzte Stahlschicht müßte das spritzgeformte Stahlwerkzeug erst auf ungefähr 200°C erwärmt werden, bevor es geschweißt wird, und dann müßte es langsam wieder abgekühlt werden, um Rißbildungen zu reduzieren. Der Vorwärmsschritt hat sich auch als schädigend für die gelöteten Wasserleitungen an den fertigen Werkzeugen und Formen herausgestellt, und daher kann der Vorwärmsschritt mehrere Stunden in Anspruch nehmen, selbst für eine relativ kleine Form, die z. B. nur 2 Quadratfuß groß ist. Hinzu kommt, daß der Vorwärmsschritt bei spritzgeformten Stahlwerkzeugen kompliziert ist, weil das Material eine thermische Leitfähigkeit von etwa dreiunddreißig Prozent (33%) derjenigen von Schmiedestahl hat, und daß daher eine zu schnelle Erwärmung zu Rissen im Werkzeug führen kann. Die Einsparungen durch die Möglichkeit, ein spritzgeformtes Stahlwerkzeug durch Auftragsschweißen zu reparieren, ohne dabei Probleme wegen Rißbildung zu haben, ermöglicht die Reparatur von Werkzeugen auch durch einen weniger qualifizierten Schweißer unter Einsatz des Kaltspritzverfahrens. Bei diesem Verfahren wird keine Vorwärmung vorgenommen.

[0027] Die Kaltspritzschicht hat im Gegensatz zu den höheren Porositätswerten von bis zu 10–15 Volumen-% bei typischen spritzgeformten Stahlwerkzeugen nur eine geringe Porosität. Diese interne Porosität im spritzgeformten Stahlwerkzeug ist eine Quelle zusätzlicher Gasfreisetzungen beim herkömmlichen Schweißen. Daraus ergeben sich Gaseinschlüsse in der Auftragsschweißraupe oder -Schweißung, und damit eine Schwächung der Reparaturarbeit. Die normale Lösung für diesen Zustand besteht darin, die Auftragsschweißraupe bis

unter die Originaloberfläche wieder auszuschleifen, und dann erneut aufzuschweißen, bis keinerlei Porosität mehr zu verzeichnen ist. Dies ist nicht nur ein zeitraubender Prozeß, sondern auch ein nicht vorhersehbarer Prozeß.

[0028] Als einen alternativen Schritt **44** kann der kaltgespritzte Stahl auch eine ausreichend hohe Festigkeit und Mikrohärtigkeit von bis zu 150 Grad Vickers aufweisen und damit selbst als Reparaturwerkstoff dienen, ohne noch eine weitere Schweißbearbeitung zu erfordern. Es sind Aufträge aus kaltgespritztem Stahl von bis zu 4 mm Schichtdicke mit vorteilhaften Restspannungszuständen erzielt worden. Wenn der kaltgespritzte Stahl selbst als Reparaturwerkstoff verwendet wird, kann der Kaltspritzstahl mit einer Energiequelle wie z. B. einem WIG-Brenner ohne Schweißstab angeschmolzen werden. Andere Schmelzquellen sind z. B. Laser, Plasmabrenner, Elektronenstrahlen, um nur einige solcher Energiequellen zu nennen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Reparatur von thermisch spritzgeformten Werkzeugen (**42**) wie z. B. Formwerkzeugteilen, folgende Schritte aufweisend:

Reinigen des zu reparierenden Oberflächenbereiches (**23**) von Schmutz und Verunreinigungen;

Vorbereiten des zu reparierenden Oberflächenbereiches (**23**) zur Aufnahme von Spritzbeschichtungen; und dann

Kaltspritzen einer ersten Schicht (**24**) aus kohlenstoffarmem Stahl bis auf eine vorgegebene Stärke auf das spritzgeformte Werkzeug, auf dem zu reparierenden Oberflächenbereich.

2. Verfahren nach Anspruch 1, zusätzlich den Schritt des Auftragens eines Schweißauftrages (**40**) in einem Elektroschweißverfahren auf die kaltgespritzte Schicht beinhaltend.

3. Verfahren nach Anspruch 2, zusätzlich den Schritt der Endbearbeitung der Oberfläche des Schweißauftrages (**40**) beinhaltend.

4. Verfahren nach Anspruch 1, zusätzlich den Schritt des Auftragens einer zusätzlichen Schicht kaltaufgespritzten kohlenstoffarmen Stahls auf die erste kaltgespritzte Schicht beinhaltend.

5. Verfahren nach Anspruch 4, zusätzlich den Schritt der Schmelzung der Kaltspritzschicht mit einer Energiequelle beinhaltend.

6. Verfahren nach Anspruch 4, zusätzlich den Schritt der Endbearbeitung der Oberfläche des Schweißauftrages beinhaltend.

7. Verfahren nach einem beliebigen der vorangehenden Ansprüche, worin der Schritt der Vorberei-

tung des zu reparierenden Oberflächenbereiches durch direkten ballistischen Auftrag von Kaltspritzmaterial stattfindet, um die Kaltspritzbeschichtung aufzunehmen.

8. Verfahren nach Anspruch 1, worin die vorgegebene Stärke zwischen 100 und 1000 Mikrometer beträgt.

9. Verfahren nach Anspruch 4, worin der Schritt des Auftragens einer zusätzlichen Schicht kaltspritzten kohlenstoffarmen Stahls durch den Auftrag des besagten Stahls bis zu einer Stärke von bis zu 4 mm erfolgt.

10. Verfahren nach einem beliebigen der vorangehenden Ansprüche, worin die gewünschte Temperatur für den Auftrag der Schicht kaltspritzten Materials zwischen 325°C und 400°C liegt.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

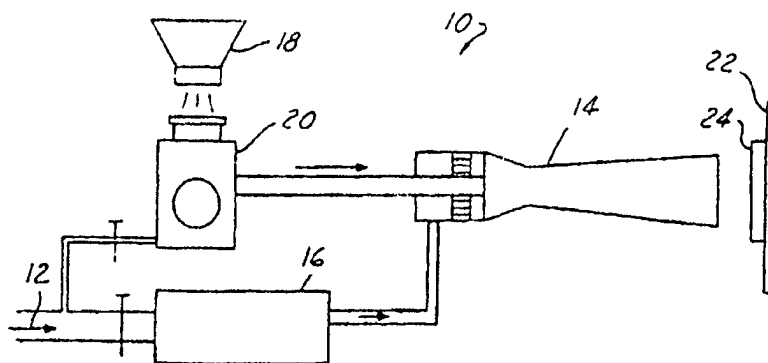


FIG. 1

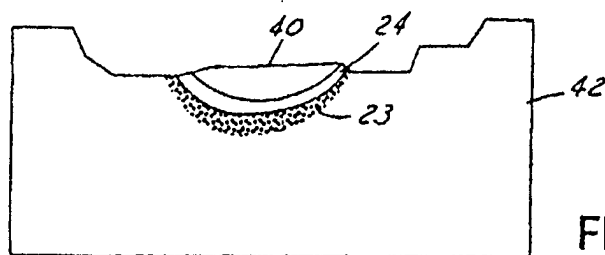


FIG. 2

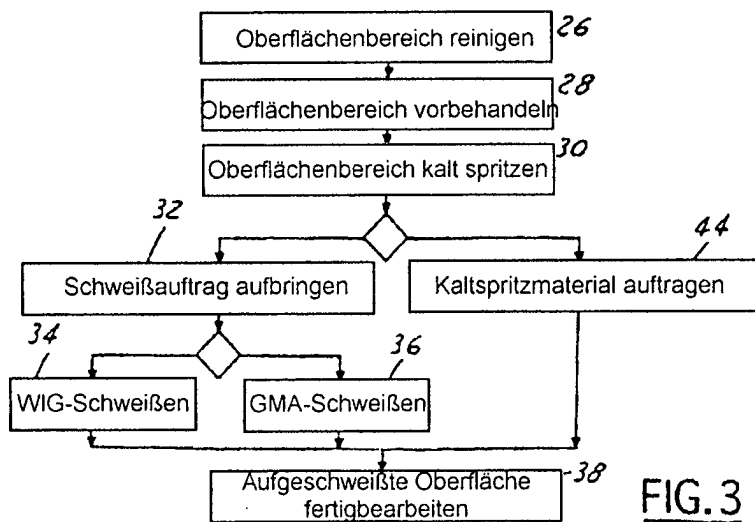


FIG. 3