(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
12. Juni 2008 (12.06.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/067962 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
C23C 4/06 (2006.01) *F01D 5/28* (2006.01)
C23C 4/12 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/010436

(22) Internationales Anmeldedatum:
30. November 2007 (30.11.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2006 057 641.1
5. Dezember 2006 (05.12.2006) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **EADS DEUTSCHLAND GMBH** [DE/DE]; Willy-Messerschmitt-Strasse, 85521 Ottobrunn (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **BÜRKNER, Steffen** [DE/DE]; Max-Friedlaender-Bogen 11, 80339 München (DE). **JONKE, Dietrich, P.** [AT/DE]; Mozartstr. 2, 85540 Haar (DE). **ENGLHART, Martin** [DE/DE]; Angerstr. 13, 83104 Tuntenhausen (DE). **MEYER, Meinhard** [DE/DE]; Waldperlacher Str. 76 a, 81739 München (DE).

(74) Anwälte: **ROOS, Peter** usw.; Klinger & Kollegen, Bavariaring 20, 80336 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

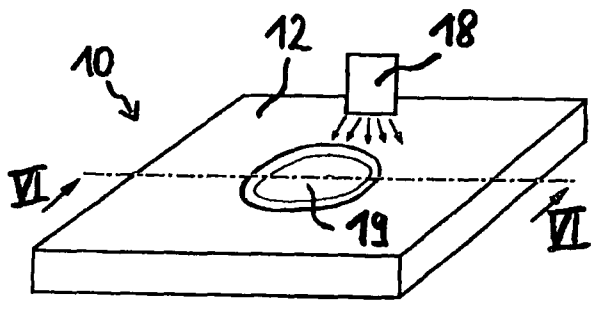
(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:
— *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)*
— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:
— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

(54) **Title:** REPAIRS AND/OR CHANGES IN CONTOUR OF A FORM SURFACE OF A FORM TOOL

(54) **Bezeichnung:** REPARATUR UND/ODER KONTURÄNDERUNG EINER FORMOBERFLÄCHE EINES FORMWERKZEUGS



(57) **Abstract:** The invention relates to the use of form tools for producing molded parts, especially e.g. in the serial production on an industrial scale of CFK components by means of nickel 36 large-format form tools. According to the invention, thermal spraying, e.g. by means of a thermal spray gun (18) is used for repairs and/or changes in contour of a form surface (12) of a used form tool (10).

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft den Einsatz von Formwerkzeugen zur Herstellung von Formbauteilen, insbesondere z. B. die industrielle Serienfertigung von CFK-Bauteilen mittels grossformatiger Formwerkzeuge aus Nickel 36. Erfindungsgemäss wird ein thermisches Spritzen, z. B. mittels einer thermischen Spritzpistole (18), zur Reparatur und/oder Konturänderung einer Formoberfläche (12) eines gebrauchten Formwerkzeugs (10) verwendet.

WO 2008/067962 A2

Reparatur und/oder Konturänderung einer Formoberfläche eines Formwerkzeugs

Die Erfindung betrifft den Einsatz von Formwerkzeugen zur Herstellung von Formbauteilen und insbesondere die Reparatur und/oder nachträgliche Konturänderung einer Formoberfläche eines gebrauchten Formwerkzeugs.

Für die industrielle Fertigung von Formbauteilen werden oftmals robuste Formwerkzeuge benötigt, die einer großen Anzahl von Fertigungszyklen widerstehen, um eine entsprechende Anzahl von Formbauteilen mit ein und demselben Werkzeug fertigen zu können.

Da die Formoberfläche eines Formwerkzeugs die Kontur einer entsprechenden Oberfläche des gefertigten Bauteils bestimmt, führen Verschleißerscheinungen an der Formoberfläche des Werkzeugs zwangsläufig zu einer Qualitätsverschlechterung der Bauteile bzw. zu einer Fertigung von Ausschuss.

Beispielsweise werden zur Fertigung von CFK-Bauteilen (CFK = Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff) dienende Formwerkzeuge vor ihrer Verwendung oftmals mit einem z. B. flüssigen Trennmittel beschichtet. Nach dem Entformen des CFK-Bauteils können, je nach Fertigungsmethode, eingebrannte Trennmittelrückstände an der Formoberfläche verbleiben, welche in der Regel durch scharfkantige Werkzeuge wie Schaber entfernt werden müssen. Auch dies bringt die Gefahr einer oberflächlichen Beschädigung des Formwerkzeugs mit sich.

Die Herstellung eines robusten Formwerkzeugs, beispielsweise einer gefrästen Stahlform, ist mit beträchtlichen Kosten verbunden. Daher erscheint es oftmals zweckmäßig, ein bereits gebrauchtes und somit mehr oder weniger verschlissenes Formwerkzeug zu reparieren. Gemäß eines auf internen betrieblichen Kenntnissen der Anmelderin beruhenden Stands der Technik werden aus Metall hergestell-

te Formwerkzeuge, die der Fertigung von CFK-Bauteilen dienen, durch herkömmlichen Schweißverfahren und eine mehr oder weniger aufwendige Nachbearbeitung repariert. Problematisch kann hierbei ein zu hoher Wärmeeintrag in den Grundwerkstoff des Formwerkzeugs sein. Ein solcher Wärmeeintrag kann Verzüge und somit Änderungen der Maßtoleranzen zur Folge haben. Insbesondere für einen großflächigen Einsatz sind Auftragsschweißungen außerdem oftmals unwirtschaftlich.

In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass durch derartige Schweißverfahren prinzipiell auch eine nachträgliche gezielte Konturänderung der Formoberfläche des Werkzeugs realisiert werden kann. Doch auch hier verbleibt der erläuterte Nachteil eines oftmals unwirtschaftlich hohen Aufwands.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Reparatur und/oder Konturänderung einer Formoberfläche eines gebrauchten Formwerkzeugs zu vereinfachen.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung dadurch gelöst, dass zur Reparatur und/oder Konturänderung einer Formoberfläche eines gebrauchten Formwerkzeugs ein thermischen Spritzen verwendet wird.

Der Begriff "thermisches Spritzen" bezeichnet hierbei eine Oberflächenbeschichtungstechnik, bei welcher ein Spritzmaterial in Form von durch thermische Energie erweichten oder geschmolzenen Partikeln auf die zu beschichtende Oberfläche aufgebracht wird, wobei die aufgebrachten Partikel sich an der Oberfläche wieder verfestigen und somit eine Zusatzmaterialschicht ausbilden.

Für das erfindungsgemäße Reparaturverfahren bzw. Konturänderungsverfahren kommen prinzipiell alle an sich bekannten thermischen Spritzverfahren in Betracht.

Als Energieträger zur Zufuhr der zum Erweichen bzw. Aufschmelzen des Spritzmaterials kann z. B. eine Brenngas-Sauerstoff-Flamme, ein elektrischer Lichtbogen, ein Plasmastrahl oder ein Laserstrahl dienen.

Für den thermischen Spritzprozess geeignete Spritzpistolen, denen das Spritzmaterial z. B. in Pulverform oder als Draht bzw. Stab zugeführt wird, sind ebenfalls aus dem Stand der Technik bekannt und können somit vorteilhaft im Rahmen der Erfindung eingesetzt werden. Im Hinblick auf optimierte Eigenschaften der thermisch aufgespritzten Beschichtung kann eine solche Spritzpistole z. B. mit einem Pulver beschickt werden, welches eine präzise eingestellte Korngrößenverteilung besitzt.

In einer Ausführungsform ist ein Draht- oder Stabflammspritzen vorgesehen, bei welchem das als Draht bzw. Stab zugeführte Spritzmaterial in einer Brenngas (z. B. Acetylen)-Sauerstoff-Flamme kontinuierlich aufgeschmolzen wird, wobei mit Hilfe eines Zerstäubergases (z. B. Druckluft oder Stickstoff) tröpfchenförmige Spritzpartikel abgelöst und auf die zu beschichtende Oberfläche geschleudert werden.

In einer anderen Ausführungsform ist ein Pulverflammspritzen vorgesehen, bei welchem ein pulverförmiges Spritzmaterial in einer Brenngas-Sauerstoff-Flamme an- oder aufgeschmolzen und mit Hilfe der expandierenden Verbrennungsgase auf die zu beschichtende Oberfläche geschleudert wird. Gegebenenfalls kann ein zusätzliches Gas (z. B. Argon oder Stickstoff) zur der Beschleunigung der Partikel auf die Oberfläche verwendet werden.

In einer anderen Ausführungsform ist ein Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen ("HVOF") vorgesehen, bei welchem eine kontinuierliche Gasverbrennung mit hohen Drücken in einer Brennkammer erfolgt, in deren zentraler Achse ein pulver-

förmiges Spritzmaterial zugeführt wird, wodurch die Spritzpartikel auf besonders hohe Geschwindigkeiten beschleunigt werden. Diese Variante ist insbesondere zur Schaffung einer besonders dichten Spritzschicht oftmals besonders vorteilhaft.

In einer anderen Ausführungsform ist ein Lichtbogenspritzen vorgesehen, bei welchem zwei drahtförmige Spritzmaterialien in einem zwischen den Drahtenden ausgebildeten Lichtbogen abgeschmolzen und mittels eines Zerstäubergases auf die zu beschichtende Oberfläche geschleudert werden. Diese Variante ist insbesondere bei Verwendung eines metallischen Spritzmaterials vorteilhaft einsetzbar.

Mit der Erfindung können schadhafte Stellen der Formoberfläche in einfacher und schonender Weise repariert werden, seien es Schäden durch den normalen Gebrauch des Formwerkzeugs oder in anderer Weise entstandene Schäden. Furchen oder Nuten an der Formoberfläche können z. B. einfach durch das thermisch gespritzte Zusatzmittel aufgefüllt werden.

Ganz allgemein ist es von Vorteil, wenn die thermisch aufgespritzte Beschichtung einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten besitzt, der sich allenfalls geringfügig von demjenigen des Grundmaterials des Formwerkzeugs unterscheidet (z. B. um weniger als 10 %).

In einer Ausführungsform ist eine Reparatur von schadhaften Stellen der Formoberfläche vorgesehen, die bei einer mechanischen Reinigung des Formwerkzeugs entstanden sind.

Dieser Aspekt ist z. B. für Formwerkzeuge besonders relevant, die zur Fertigung von Faserverbundbauteilen vorgesehen sind. Faserverbundbauteile sind in vielen Anwendungsbereichen vor allem wegen ihrer hohen spezifischen Festigkeit (Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht) interessant. Ein Faserverbundwerkstoff ist ein Mischwerkstoff, der im Allgemeinen aus zwei Hauptkomponenten besteht, nämlich

einer Matrix und darin eingebetteten Fasern. Durch gegenseitige Wechselwirkungen dieser Komponenten enthält der Werkstoff höherwertige Eigenschaften als jede der beide einzeln beteiligten Komponenten. Bei der Fertigung von Faserverbundbauteilen kann ein Formwerkzeug z. B. zum Kompaktieren und/oder Aushärten (zumeist thermisches Aushärten) eines mit einem Matrixmaterial (z. B. Harz) infiltrierten Fasermaterials eingesetzt werden. Bei einem solchen Formwerkzeug können schadhafte Stellen in der Formoberfläche insbesondere bei der mechanischen Reinigung durch die Anwendung von Schabern, Spachteln oder anderen scharfkantigen Werkzeugen zum Entfernen von Matrixmaterial und eingebrannten Trennmittelrückständen entstehen. Solche Schäden können mit der erfindungsgemäßen Reparatur in einfacher Weise ausgebessert werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist das Formwerkzeug, dessen Formoberfläche repariert oder nachträglich geändert wird, zur Fertigung von CFK-Bauteilen vorgesehen.

In einer bevorzugten Ausführungsform erfolgt das thermische Spritzen mit einem Spritzmaterial, welches von gleicher Art wie das die Formoberfläche bildende Material des Werkzeugs ist (z. B. beides ein Metall oder eine Metalllegierung, oder beides ein Kunststoffmaterial).

In einer Ausführungsform ist die Formoberfläche des Formwerkzeugs von einer Metalllegierung gebildet. In diesem Fall ist es in der Regel von Vorteil, wenn das thermische Spritzen ebenfalls mit einer Metalllegierung, insbesondere einer ähnlichen oder identischen Metalllegierung durchgeführt wird.

In einer spezielleren, insbesondere z. B. für Formwerkzeuge zur Herstellung von CFK-Bauteilen besonders interessanten Ausführungsform ist das Formwerkzeug aus einer Legierung von Eisen und Nickel gebildet, wobei der Nickelanteil bevorzugt im Bereich von 30 % bis 40 % liegt, insbesondere etwa 36 % beträgt. Derarti-

ge Werkstoffe werden z. B. als "Nickel 36", "Invar 36" und "Pernifer 36" kommerziell vertrieben.

Insbesondere die zuletzt genannten Metalllegierungen sind relativ teuer und schlecht bearbeitbar, so dass Maßnahmen zur Reparatur oder nachträglichen Konturänderung entsprechender Formflächen mit der Erfindung in einfacher Weise und somit wirtschaftlich durchgeführt werden können. Bevorzugt erfolgt durch das thermische Spritzen hierbei eine Beschichtung mit artgleichem Material, also z. B. Nickel 36, welches beispielsweise einer robotergeführten Spritzpistole als Pulver oder Draht, je nach geforderten Schichteigenschaften, zugeführt wird. Darüber hinaus besteht auch die Möglichkeit, ähnliche artgleiche Werkstoffe zu applizieren. Durch geeignete Wahl des oder der Spritzmaterialien sowie der verwendeten Spritzmethode lassen sich besonders haftfeste Beschichtungen platzieren, sei es zur Reparatur von schadhaften Stellen oder zur Änderung der Oberflächenkontur.

In einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass bei einem Reparaturfall oder einer konstruktiv erforderlichen Konturänderung an einem Nickel 36-Formwerkzeug eine Nickel 36-Schicht mittels eines thermischen Spritzprozesses appliziert wird. In vielen Fällen ist hierbei ein Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen (HVOF) und/oder ein Lichtbogendrahtspritzen bevorzugt.

Durch das erfindungsgemäß vorgesehene thermische Spritzen können vorteilhaft auch relativ großflächige (z. B. größer als 1 Quadratmeter) Beschichtungen mit Schichtdicken bis zu mehreren Millimetern realisiert werden. Gegebenenfalls kann vor dem thermischen Spritzen eine Vorbehandlung der Formoberfläche bzw. zumindest der auszubessernden bzw. in ihrer Kontur zu verändernden Stellen erfolgen. Mit einer solchen Vorbehandlung kann z. B. die Haftung des Spritzmaterials weiter verbessert werden.

Die Vorbehandlung der Formoberfläche kann z. B. eine mechanische Bearbeitung umfassen (z. B. Schleifen, Fräsen etc.). Auch ein Strahlprozess, insbesondere ein Sandstrahlen, kommt als mechanische Vorbehandlung in Betracht. Alternativ oder zusätzlich kann die Formoberfläche z. B. mittels eines Lasers strukturiert bzw. aufgeraut werden.

Wenngleich der Wärmeeintrag beim thermischen Spritzen im Allgemeinen um ein Vielfaches kleiner als bei herkömmlichen Schweißverfahren ist, so kann es unter Umständen vorteilhaft sein, wenn die Formoberfläche während des thermischen Spritzens gekühlt wird. In sehr empfindlichen Bereichen oder bei sehr hohen lokalen Beschichtungsraten können damit z. B. durch gezieltes Kühlen kritische Temperaturen und lokale Überhitzungen zuverlässig vermieden werden.

In einer Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass durch das thermische Spritzen ein Spritzwerkstoff auf Übermaß aufgebracht und durch eine Nachbearbeitung auf eine gewünschte Endkontur gebracht wird.

Im Rahmen einer Vorbehandlung der Formoberfläche kann auch die Schaffung eines "Spritzbettes" vorgesehen sein, also z. B. einer großzügig dimensionierten Vertiefung im Bereich der schadhaften Stellen, in welche hinein der Materialauftrag durch thermisches Spritzen erfolgt. Auch hierbei kann das Spritzmaterial wieder auf Übermaß aufgebracht werden und durch eine Nachbearbeitung wie Fräsen, Schleifen, Polieren etc. auf die gewünschte Endkontur gebracht werden. Die Schaffung eines Spritzbettes bzw. die Abtragung von Grundmaterial des Formwerkzeugs vor dem thermischen Spritzprozess ist auch für die nachträgliche Konturänderung der Formoberfläche oftmals vorteilhaft, wenn nicht sogar notwenig (nämlich wenn die neue Oberflächenkontur an wenigstens einer Stelle tiefer als die ursprüngliche Kontur liegen soll).

Bei der Erfindung kann prinzipiell z. B. wie folgt vorgegangen werden:

a) Schadensfeststellung und -beurteilung bzw. Erfassung einer gewünschten Konturänderung, in Bezug auf das Ausmaß des Schadens (Abmessungen wie Konturen und Tiefen) bzw. die Abmessungen einer aufzutragenden Konturänderungsschicht (Form und Dicke bzw. Dickenverteilung),

b) Festlegung eines Reparatur- bzw. Änderungskonzepts und der Schichtanforderungen sowie Auswahl des konkreten Beschichtungsverfahrens,

c) Mechanische Ausarbeitung der Formoberfläche zur Erzeugung eines Spritzbettes (optional; insbesondere bei einer Reparatur zweckmäßig),

d) Gegebenenfalls Vorbehandlung zumindest des Spritzbettes (z. B. zur Aufrauung der Oberfläche, z. B. durch Strahlen, Lasern oder dergleichen),

e) Thermisches Spritzen zur Beschichtung der Formoberfläche (gegebenenfalls z. B. Auffüllen des Spritzbettes mit Spritzwerkstoff, bevorzugt auf Übermaß), und

f) Mechanisches Nacharbeiten auf Endkontur bzw. Endkonturmaß durch Verfahren wie Schleifen, Polieren, Fräsen oder dergleichen (optional; notwendig bei vorheriger Beschichtung auf Übermaß).

In einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass durch das thermische Spritzen mehrere Schichten eines oder mehrerer Spritzwerkstoffe auf der Formoberfläche aufgebracht werden. Solche Einzelschichten können sich im verwendeten Spritzmaterial und/oder in den gewählten Spritzparametern (z. B. Temperatur des Spritzgutes, Spritzrate etc.) unterscheiden. In dieser Weise können z. B. eine besonders haftfähige Schicht unmittelbar an der Formoberfläche und eine eher harte und/oder für den betreffenden Formbauteil-Fertigungsprozess besonders günstige

Eigenschaften aufweisende Deckschicht vorgesehen werden (z. B. eine Decklage mit anti-adhäsiver Wirkung für das Matrixmaterial eines mit dem Formwerkzeug zu fertigenden Faserverbundbauteils). Gegebenenfalls kann zwischen zwei benachbarten Einzelschichten einer thermisch aufgespritzten mehrlagigen Beschichtung auch ein kontinuierlicher Wechsel des Materials und/oder der Materialstruktur erfolgen ("Gradientenschicht").

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen weiter beschrieben. Es stellen jeweils schematisch dar:

Fig. 1 ist eine perspektivische Ansicht eines an einer Formoberfläche beschädigten Formwerkzeugs,

Fig. 2 ist eine Schnittansicht längs der Linie II-II in Fig. 1,

Fig. 3 zeigt das Formwerkzeug nach Schaffung eines Spritzbettes im Bereich der Beschädigung,

Fig. 4 ist eine Schnittansicht längs der Linie IV-IV in Fig. 3,

Fig. 5 zeigt das Formwerkzeug während eines thermischen Spritzens zur Beschichtung der Formoberfläche im Bereich des Spritzbettes,

Fig. 6 ist eine Schnittansicht längs der Linie VI-VI in Fig. 5,

Fig. 7 zeigt das Formwerkzeug nach Beendigung des thermischen Spritzens, bei welchem die Beschichtung auf Übermaß aufgebracht wurde,

Fig. 8 ist eine Schnittansicht längs der Linie VIII-VIII in Fig. 7,

Fig. 9 zeigt das Formwerkzeug nach einer Nachbehandelung der beschichteten Formoberfläche durch Schleifen zur Wiederherstellung der ursprünglichen Kontur,

Fig. 10 ist eine Schnittansicht längs der Linie X-X in Fig. 9,

Fig. 11 ist eine perspektivische Ansicht eines reparierten Formwerkzeugs gemäß eines weiteren Ausführungsbeispiels,

Fig. 12 ist eine perspektivische Ansicht eines konturveränderten Formwerkzeugs gemäß eines weiteren Ausführungsbeispiels,

Fig. 13 ist eine perspektivische Ansicht eines konturveränderten und mit einer separaten Permanent-Trennschicht versehenen Formwerkzeugs gemäß eines weiteren Ausführungsbeispiels, und

Fig. 14 ist eine perspektivische Ansicht eines beschichteten Formwerkzeugs, bei welchem als Permanent-Trennmittel wirkende Partikel in der aufgespritzten Schicht eingelagert sind.

Die Fig. 1 bis 10 veranschaulichen die Reparatur eines Formwerkzeugs 10, welches zur Fertigung von CFK-Bauteilen vorgesehen ist.

Das Formwerkzeug 10 besitzt eine Formoberfläche 12, welche beim Kompaktieren und Aushärten eines mit einem Matrixmaterial (z. B. Harz) imprägnierten Kohlenstofffasermaterials (z. B. Stapel aus Kohlenstofffasermatten) die Endkontur des CFK-Bauteils bestimmt.

Die Formoberfläche 12 ist in den Figuren der Einfachheit der Darstellung halber als eine rechteckige ebene Fläche dargestellt, da die tatsächliche Formgestaltung dieser Formoberfläche 12 für das Verständnis des nachfolgend beschriebenen Reparaturverfahrens keine Rolle spielt. In der Praxis ist die Formoberfläche 12 zumeist mehr oder weniger kompliziert, in Anpassung an die gewünschte Bauteilkontur, gestaltet. Sie bildet das "negative Abbild" der gewünschten Kontur der Bauteiloberfläche. Des Weiteren ist hier der Einfachheit der Darstellung halber lediglich ein plattenförmiges Formwerkzeug 10 dargestellt. In der Praxis bildet ein solches Formwerkzeug 10 zumeist eine Werkzeughälfte eines zweiteiligen Formwerkzeugs, bei welchem das imprägnierte Fasermaterial zwischen den beiden Werkzeughälften eingeschlossen und gegebenenfalls unter Druck gesetzt wird (z. B. in einem Autoklaven).

Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist das Formwerkzeug 10 aus einer besonders robusten Eisen-Nickel-Legierung ("Nickel 36") hergestellt, um eine industrielle Serienproduktion der entsprechenden CFK-Bauteile zu ermöglichen. Derartige CFK-Bauteile sind insbesondere z. B. als Strukturbauteile im Flugzeugbau vorteilhaft einsetzbar. Insbesondere in diesem Bereich kann die Formoberfläche 12 durchaus eine Fläche im Bereich von mehreren Quadratmetern besitzen.

Die Fig. 1 und 2 zeigen das auf Grund mehrmaligen Gebrauchs mehr oder weniger verschlissene Formwerkzeug 10. Im dargestellten Beispiel besteht der Schaden in einer lokalen Oberflächenbeschädigung 14 an der Formoberfläche 12. Eine solche Beschädigung 14 kann z. B. bei einer mechanischen Reinigung des Formwerkzeugs 10 nach dem Entformen des CFK-Bauteils entstanden sein und würde bei Weiterverwendung des Formwerkzeugs 10 zu einer Qualitätsverschlechterung nachfolgend gefertigter Bauteile führen.

Nachdem die Beschädigung 14 festgestellt und beurteilt ist, wird zunächst wie in den Fig. 3 und 4 dargestellt, eine nachfolgend als Spritzbett 16 bezeichnete Ver-

tiefung in die Oberfläche 14 gefräst, deren laterale Abmessung und deren Tiefe größer als die entsprechenden Abmessungen der Beschädigung 14 sind. Mit anderen Worten, das Spritzbett 16 wird spritzgerecht ausgearbeitet. Im dargestellten Ausführungsbeispiel besitzt das Spritzbett 16 einen kreisrunden Umfang und eine einheitliche Tiefe. Vorzugsweise weist das Spritzbett 16 eine konische, in Richtung Oberfläche weiter werdende Form auf, was in Fig. 4 gestrichelt dargestellt ist.

Sodann wird, wie in den Fig. 5 und 6 dargestellt, mit einer robotergeführten thermischen Spritzpistole artgleiches Material 19 (hier: Nickel 36-Pulver) aufgespritzt, um das Spritzbett 16 mit dem Zusatzmaterial aufzufüllen. Die Fig. 5 und 6 zeigen ein Zwischenstadium dieses Spritzprozesses.

In einer vorteilhaften Ausführungsform wird sowohl die Ausbildung des Spritzbettes 16 (z. B. durch Fräsen oder Lasern) als auch die spätere Auffüllung des Spritzbettes 16 mittels der Spritzpistole 18 rechnergestützt automatisiert durchgeführt, wobei die räumliche Führung der Spritzpistole 18 und/oder die während des Spritzens verwendeten Betriebsparameter durch eine geeignete Software basierend auf den Abmessungsdaten des Spritzbettes 16 bereitgestellt werden.

Am Ende des Spritzprozesses ergibt sich die in den Fig. 7 und 8 dargestellte Situation. Im beschriebenen Ausführungsbeispiel ist das Spritzbett 16 über die ursprüngliche Kontur der Formoberfläche 12 hinaus mit dem gespritzten Zusatzmaterial 19 aufgefüllt.

Zuletzt wird dann noch durch eine mechanische Nachbearbeitung (z. B. Schleifen) die ursprüngliche Kontur der Formoberfläche 12 wiederhergestellt. Das Ergebnis dieser Nachbearbeitung zeigen die Fig. 9 und 10.

Das in dieser Weise reparierte Formwerkzeug 10 ist sodann zum weiteren Gebrauch einsatzbereit.

Das mit Bezug auf die Fig. 1 bis 10 beschriebene Reparaturverfahren unter Verwendung eines thermischen Spritzens zur Beschichtung einer verschlissenen Formoberfläche lässt sich in vielfältiger Weise modifizieren.

Eine solche Modifikation könnte z. B. darin bestehen, dass nach der Ausarbeitung des Spritzbettes 16 zumindest die Bodenfläche, bevorzugt auch die Mantelfläche oder noch weitere Bereiche der Formoberfläche 12, welche das Spritzbett 16 umgeben, einer Vorbehandlung unterzogen wird, welche die Haftung des nachfolgend thermisch aufgespritzten Materials 19 an dem Werkzeug 10 steigert. Eine solche Vorbehandlung kann insbesondere zur Aufrauung der Oberfläche dienen.

Eine weitere Modifikation kann darin bestehen, dass das Formwerkzeug 10 zumindest lokal in demjenigen Bereich aktiv gekühlt wird, in welchem die Beschichtung durch thermisches Spritzen erfolgt. Eine solche Kühlung kann bei einem wärmeleitenden Grundmaterial des Formwerkzeugs 10 z. B. von der Unterseite des Formwerkzeugs her erfolgen (z. B. Wasserkühlung).

Eine weitere Modifikation kann darin bestehen, dass durch das thermische Spritzen mehrere Einzelschichten nacheinander aufgebracht werden, die sich in der chemischen Zusammensetzung und/oder der mikroskopischen Struktur voneinander unterscheiden. Hierbei kann insbesondere eine im Hinblick auf die Haftung optimierte unterste Beschichtungslage vorgesehen sein.

Schließlich ist anzumerken, dass das thermische Spritzen vorteilhaft auch zur nachträglichen Konturänderung der Formoberfläche 12 verwendet werden kann. Dies ist z. B. besonders vorteilhaft, um im Zuge der Entwicklung eines neuen Formbauteils (z. B. CFK-Bauteil) geringfügige konstruktive Änderungen betreffend die Bauteilkontur vorzunehmen. Auch für diesen Anwendungsbereich des Beschichtungsverfahrens kann die Ausbildung eines Spritzbettes und/oder eine zu-

mindest lokale mechanische Vorbehandlung des zu beschichtenden Oberflächenbereiches vorgesehen sein.

Bei der nachfolgenden Beschreibung von weiteren Ausführungsbeispielen werden für gleichwirkende Komponenten die gleichen Bezugszahlen verwendet, jeweils ergänzt durch einen kleinen Buchstaben zur Unterscheidung der Ausführungsform. Dabei wird im Wesentlichen nur auf die Unterschiede zu dem bzw. den bereits beschriebenen Ausführungsbeispielen eingegangen und im Übrigen hiermit ausdrücklich auf die Beschreibung vorangegangener Ausführungsbeispiele verwiesen.

Die Fig. 11 bis 14 veranschaulichen weitere Beispiele von gebrauchten Formwerkzeugen 10a, 10b, 10c und 10d, die jeweils unter Verwendung eines thermischen Spritzens repariert und/oder in ihrer Oberflächenkontur nachträglich verändert wurden.

Fig. 11 veranschaulicht ein Formwerkzeug 10a, bei welchem zur Reparatur eine schadhafte Stelle in Form einer Nut 14a mit thermisch gespritztem Material 19a aufgefüllt wurde.

Fig. 12 veranschaulicht eine Konturveränderung einer Formoberfläche 12b eines Formwerkzeugs 10b. Durch entsprechenden Auftrag von thermisch gespritztem Material 19b wurde eine neue Formoberfläche 12b' geschaffen.

Im dargestellten Ausführungsbeispiel liegt die neue Formoberfläche 12b' vollständig überhalb der ursprünglichen Formoberfläche 12b. Dies ist jedoch keineswegs zwingend. Tiefer liegende Bereiche der neuen Formoberfläche 12b' (unterhalb der ursprünglichen Formoberfläche 12b) können in einfacher Weise dadurch geschaffen werden, dass vor dem thermischen Spritzprozess eine entsprechende Abtragung von Grundmaterial des Formwerkzeugs 10b erfolgt. Im Falle einer konturge-

benden Abtragung kann in diesen Bereichen gegebenenfalls auf die Beschichtung durch den thermischen Spritzprozess sogar verzichtet werden.

Fig. 13 veranschaulicht eine Konturänderung an einem Formwerkzeug 10c, bei welchem durch einen zweischichtigen Auftrag von Zusatzmaterial (Materiallagen 19c' und 19c") eine von der ursprünglichen Formoberfläche 12c verschiedene neue Formoberfläche 12c" geschaffen wurde. Bei der unteren Einzelschicht 19c' handelt es sich um eine Haftvermittlungsschicht, auf welche die im Hinblick auf die Funktion des Formwerkzeugs 10c optimierte Deckschicht 19c" aufgebracht wurde. In einem Ausführungsbeispiel handelt es sich bei der obersten Einzelschicht 19c" um eine Permanent-Trennschicht, welche eine anti-adhäsive Wirkung für das mit dem Werkzeug 10c zu formende Material (z. B. Matrixmaterial bei der Fertigung von Faserverbundbauteilen) besitzt und welches mehreren Fertigungszyklen widersteht (nicht wieder abgelöst wird). Wenn das Formwerkzeug 10c z. B. zur Fertigung von CFK-Bauteilen vorgesehen ist, so kann eine solche Permanent-Trennschicht beispielsweise Fluorpolymere, partikelförmige Trockenstoffe wie Mo, Graphit, MoS_2, hex-BN etc. umfassen.

Fig. 14 veranschaulicht eine Modifikation des Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 13. Im Unterschied zu dem vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel ist hier im Rahmen einer Reparatur und/oder nachträglichen Konturänderung einer Formoberfläche 12d (neue Formoberfläche 12d') eine einlagige Beschichtung 19d thermisch aufgespritzt, welche sowohl ein zum Grundmaterial des Formwerkzeugs 10d artgleiches Spritzmaterial als auch ein "Funktionsmaterial" in Form von eingelagerten Trennmittel-Partikeln umfasst. Die Beschichtung 19d kann in einfacher Weise z. B. dadurch bewerkstelligt werden, dass eine verwendete thermische Spritzpistole mit einer entsprechenden Mischung (z. B. Nickel 36-Pulver, Graphitpulver, Fluorpolymerpulver oder Teflon) beschickt wird. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird im Rahmen der Reparatur bzw. Konturänderung gewissermaßen

gleichzeitig ein Verschleißschutz mit integrierter anti-adhäsiver Wirkung geschaffen.

Patentansprüche

1. Verwendung eines thermischen Spritzens zur Reparatur und/oder Konturänderung einer Formoberfläche (12) eines Formwerkzeugs (10).

2. Verwendung nach Anspruch 1 zur Reparatur von schadhaften Stellen (14) der Formoberfläche (12), die bei einer mechanischen Reinigung des Formwerkzeugs (10) entstanden sind.

3. Verwendung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Formwerkzeug (10) zur Fertigung von Faserverbundbauteilen vorgesehen ist.

4. Verwendung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei zumindest die Formoberfläche (12) des Formwerkzeugs (10) von einer Metalllegierung gebildet ist und das thermische Spritzen mit einer Metalllegierung (19) durchgeführt wird.

5. Verwendung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei das Formwerkzeug (10) aus Nickel 36 besteht.

6. Verwendung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei das thermische Spritzen mit Nickel 36 durchgeführt wird.

7. Verwendung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Formoberfläche (12) während des thermischen Spritzens gekühlt wird.

8. Verwendung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei durch das thermische Spritzen ein Spritzwerkstoff (19) auf Übermaß aufgebracht und durch eine Nachbearbeitung auf eine gewünschte Endkontur gebracht wird.

9. Verwendung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei durch das thermische Spritzen mehrere Schichten eines oder mehrerer Spritzwerkstoffe (19) auf der Formoberfläche (12) aufgebracht werden.

5

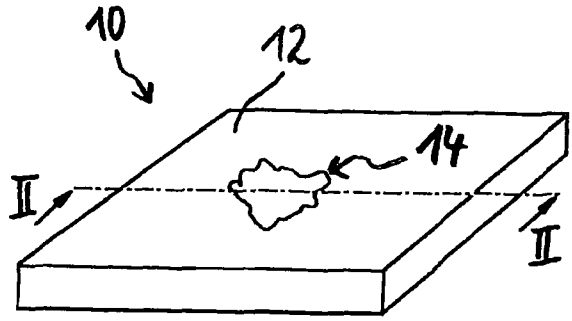


Fig. 1

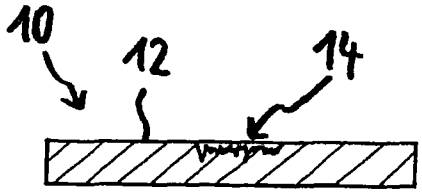


Fig. 2

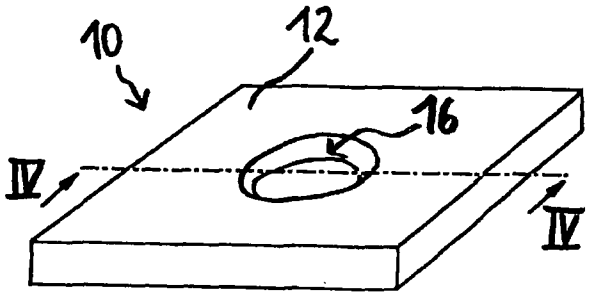


Fig. 3

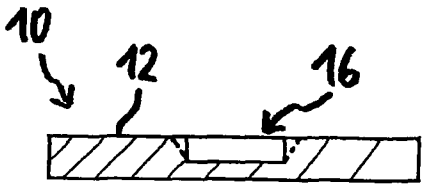


Fig. 4

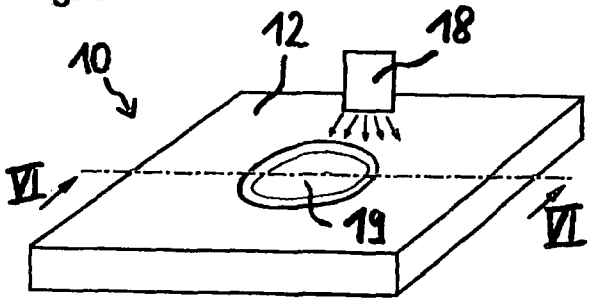


Fig. 5

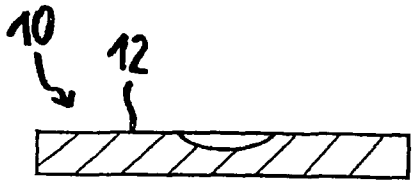


Fig. 6

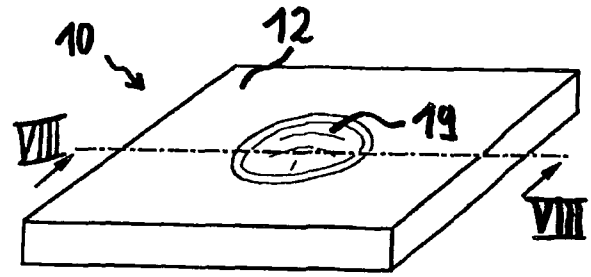


Fig. 7

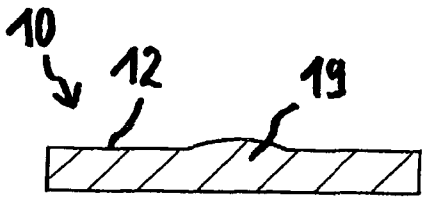


Fig. 8

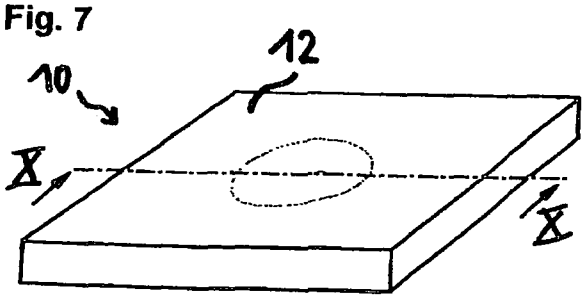


Fig. 9

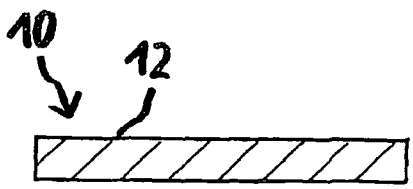


Fig. 10

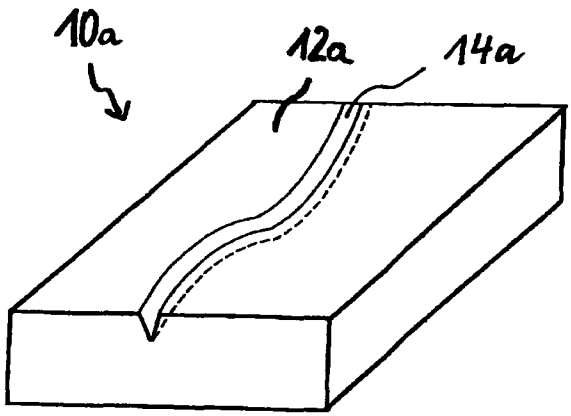


Fig. 11

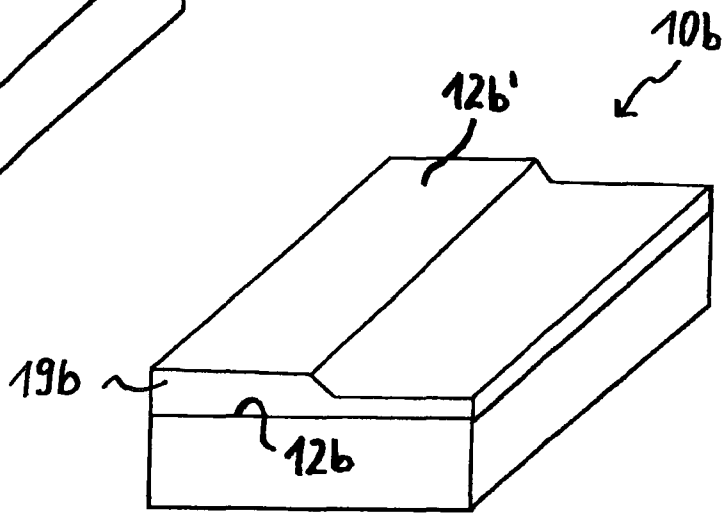


Fig. 12

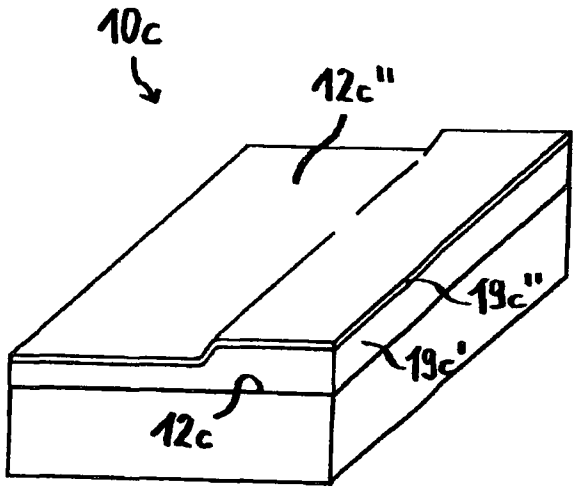


Fig. 13

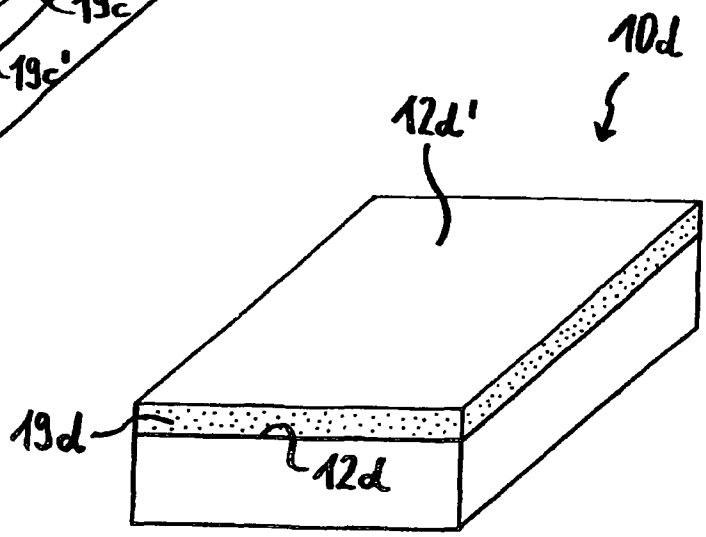


Fig. 14