



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 10 385 A1** 2004.09.23

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 10 385.6**
(22) Anmeldetag: **07.03.2003**
(43) Offenlegungstag: **23.09.2004**

(51) Int Cl.7: **B29C 67/00**
B23K 26/00, C09D 5/12, C08J 3/20

(71) Anmelder:
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

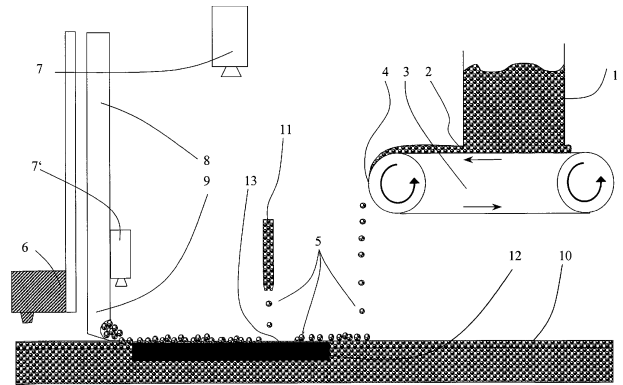
(72) Erfinder:
Pfeifer, Rolf, Dipl.-Ing., 89173 Lonsee, DE; Shen, Jialin, Dr.-Ing., 89134 Blaustein, DE; Zeppelin, Didier von, 89081 Ulm, DE

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Qualitätskontrolle für pulverbasierte schichtaufbauende Verfahren**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Herstellung von dreidimensionalen Körpern aus Partikeln mittels schichtaufbauender Verfahren (pulverbasierte generative rapid prototyping Verfahren), wobei der Schichtaufbau durch eine optische Kontrolleinrichtung überwacht wird, die Helligkeits- oder Farbunterschiede innerhalb und zwischen abgelegter oder ausgehärteter Partikelschicht auswertet, sowie eine geeignete optische Kontrollvorrichtung und für die optische Kontrolle besonders geeignete Partikel oder Binderflüssigkeit.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft die Herstellung von dreidimensionalen Körpern (3D-Körpern) aus Partikeln mittels schichtaufbauender Verfahren (pulverbasierte generative rapid prototyping Verfahren). Dabei werden Partikelschichtfehler mittels einer optischen Kontrolleinrichtung aufgezeigt, hierauf ausgewertet und gegebenenfalls Maßnahmen zur Reparatur der Schicht eingeleitet. Die Erfindung betrifft des Weiteren eine geeignete Kontrollvorrichtung, die mindestens eine Kamera beinhaltet, sowie für die optische Kontrolle besonders geeignete Partikel oder Binderflüssigkeiten die Färbemittel enthalten.

[0002] Zu den besonders interessanten pulverbasierten generativen rapid prototyping (RP) Verfahren gehört das 3D-Binderdruckverfahren und das 3D-Lasersintern.

[0003] Beim 3D-Binderdruckverfahren (auch 3D-Binderdruck) wird eine Schicht aus Partikeln oder Granulaten auf eine Unterlage ausgebracht und hierauf in vorgegebenen Bereichen, die jeweils einer Schicht eines zu erzeugenden Gegenstandes entsprechen, mit einer Bindeflüssigkeit befeuchtet. Im allgemeinen enthält die Binderflüssigkeit Klebstoffe, die die Aushärtung in den gewünschten Bereichen bewirken. Diese Verfahren sind beispielsweise aus den europäischen Patenten EP 0644 809 B1, EP 0686 067 B1 und der europäischen Patentanmeldung EP 1 099 534 A2 bekannt.

[0004] Aus der EP 0 925 169 B1 ist eine weitere Variante des 3D-Binderdruckverfahrens bekannt, bei der die Kleber in der Partikelschicht vorhanden sind und mittels einer wässrigen Binderflüssigkeit aktiviert werden. Der Kleber kann dabei auch als Beschichtung der Partikel vorliegen.

[0005] Aus der DE 198 13 742 C1 ist ein generatives RP Verfahren bekannt, das intensive elektromagnetische Strahlung, insbesondere Laserstrahlung, zum Aushärten der Partikelschichten in den vorbestimmten Bereichen verwendet. Die Partikel werden dabei durch die Strahlung versintert oder ggfs. partiell aufgeschmolzen. Derartige Verfahren werden im folgenden auch als 3D-Lasersintern bezeichnet.

[0006] Allen aufgeführten Verfahren gemeinsam ist, dass wesentliche Qualitätsmerkmale der gebildeten 3D-Körper bereits durch die Qualität der ausgebrachten Schicht unveränderbar vorbestimmt sind. Zu den Qualitätsmerkmalen der 3D-Körper gehören insbesondere die Homogenität der Dichte, die Partikelgrößenverteilung, sowie die Kantenschärfe.

[0007] Für das Verfahren ist die Qualität der neue ausgebrachten Schicht (Recoating) von besonderer Bedeutung. Zu den Qualitätsmerkmalen des Recoatings gehören die Ebenheit, die Gleichmäßigkeit oder Homogenität, sowie die Riefenfreiheit der Schichten.

[0008] Die bekannten Verfahren haben den Nachteil, dass weder eine Qualitätskontrolle der ausgebrachten Schichten, noch Reparaturmaßnahmen für Partikelfehlstellen, Schichtfehler oder Baufehler vor-

gesehen sind.

[0009] In der US 6,492,651 B1 wird vorgeschlagen, die Schicht des Aufbaumaterials durch einen Oberflächenscanner abzurastern. Dabei wird das Streulicht der beleuchteten Oberflächenzone zur Berechnung von Höhensignalen verwendet. Hierauf kann das Aufbaumaterial selektiv an den Stellen ausgebracht werden, die eine zu geringe Schichtdicke aufweisen. Hierdurch soll insbesondere auch auf die Verwendung einer Glättevorrichtung für die ausgebrachte Schicht verzichtet werden.

[0010] Gerade für die Herstellung sehr dünner Schichten mit entsprechend hoher Abbildeschärfe hat sich dagegen die Verwendung von Glättevorrichtungen als sehr vorteilhaft erwiesen.

[0011] Für die Feststellung von Unregelmäßigkeiten der Verteilung von Partikeldichte, Partikelgröße, oder Porosität, sowie für die Qualitätskontrolle beziehungsweise Qualitätsprüfung bei und nach dem Aushärten ist die aufgezeigte Schichtdickenmessung nicht geeignet.

[0012] Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren bereitzustellen, das die Qualitätskontrolle der ausgebrachten Schichten vor oder nach der Aushärtung ermöglicht und aus dem sich Reparaturmaßnahmen ableiten lassen, hierfür besonders geeignete Partikel oder Binderflüssigkeiten aufzuzeigen, sowie eine geeignete Kontrollvorrichtung anzugeben.

[0013] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zur Herstellung dreidimensionaler Körper mit den Merkmalen des Anspruchs 1, durch beschichtete Partikel mit den Merkmalen des Anspruchs 11 oder 15, durch Binderflüssigkeit mit den Merkmalen des Anspruchs 13 und eine Vorrichtung zur Herstellung dreidimensionaler Körper mit den Merkmalen des Anspruchs 16 gelöst.

[0014] Das erfindungsgemäße Verfahren lässt sich in die folgenden wesentlichen Verfahrensschritte aufgliedern, die mehrfach sequentiell aufeinanderfolgen:

- a) Mittels einer Dosiervorrichtung wird eine Partikelschicht aus Pulvermaterial ausgebracht. Die Unterlage wird hierbei, von der allerersten Schicht abgesehen, durch darunterliegende Partikelschichten gebildet (Recoating).
- b) Mittels einer Glättevorrichtung wird die ausgebrachte Schicht gegelätet, beziehungsweise überschüssige Partikel abgestreift.
- c) In einem Härteschritt wird die Partikelschicht in definierten Bereichen ausgehärtet, wodurch dem 3D-Körper eine weitere Materialschicht hinzugefügt wird. Die Härtung kann entweder durch Verkleben der Partikel unter Einwirkung von Binderflüssigkeit erfolgen oder durch Verschmelzen oder Versintern der Partikel unter Einwirkung von intensiver Strahlung.

[0015] Erfindungsgemäß ist vorgesehen ein optisches Abbild der ausgebrachten, geglätteten und/oder gehärteten Schicht mittels der Kontrollvorrichtung aufzunehmen. Dies kann direkt nach den

Prozessschritten a, b und/oder c erfolgen. Das Abbild der Schicht ist erfindungsgemäß so aufbereitet, dass in der Schichtebene angeordnete Defekte, insbesondere Partikelfehlstellen oder Partikelschichtfehler, sowie Baufehler detektiert werden können. Unter Partikelfehlstellen ist sowohl ein Über-, wie ein Unterschub an Partikeln in der Schicht zu verstehen.

[0016] Eine erste Ausgestaltung der Erfindung bezieht sich auf die optische Kontrolle der frisch ausgebrachten Partikelschicht (Verfahrensschritt a). Eine hierbei typischerweise auftretende Fehlerquelle sind Inhomogenitäten bei der Partikeldosierung. Hierdurch werden unter anderem Partikelberge oder Partikeltäler gebildet. Die optische Kontrolle nach diesem Verfahrensschritt erlaubt es, eine Reihe von Korrekturmaßnahmen einzuleiten.

[0017] Eine Verfahrensvariante sieht vor, die Bewegung der Glättungsvorrichtung im darauffolgenden Verfahrensschritt b anzupassen. Besteht die Glättungsvorrichtung aus einer Klinge oder Kante, welche die Partikelschicht glattstreicht, so kann beispielsweise die Vorschubgeschwindigkeit im Bereich der Partikelberge abgesenkt werden, um den Abtransport und die Verteilung des überschüssigen Materials zu erleichtern.

[0018] Eine weitere aus der erfindungsgemäßen Qualitätskontrolle ableitbare Maßnahme ist das Zudosieren von Material in Partikeltäler, insbesondere in Gruben oder Löcher der ausgebrachten Schicht. Dies kann beispielsweise durch eine Partikelförder- und Dosiervorrichtung mit engem Fokus durchgeführt werden. Erfindungsgemäß wird zusätzliches Material an oder zumindest in der unmittelbaren Nähe zu den Fehlstellen ausgebracht. Die optische Erfassung der Fehlstelle läßt eine genaue Berechnung des benötigten Materials zu.

[0019] Ebenso ist es aber auch möglich nochmals eine gesamte neue Schicht auszubringen (recoat) und mit der Glättungsvorrichtung großflächig ausgerichtetes überschüssiges Material zu entfernen.

[0020] Eine weitere Maßnahme betrifft die mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens detektierbaren Erhebungen in der ausgebrachten Schicht. Hierbei sind insbesondere die Punktfehler von Bedeutung, die durch agglomerierte Partikel gebildet werden. Erfindungsgemäß können Maßnahmen vorgesehen werden, überschüssige Partikel an oder zumindest in der unmittelbaren Nähe zu den Fehlstellen oder Defekten abzutragen. Dies geschieht bevorzugt mittels einer Blas- oder Absaugvorrichtung mit engem Fokus. Gegebenenfalls kann mit diesen Vorrichtungen auch die gesamte mit Fehlstellen oder Defekten behaftete Schicht abgetragen werden.

[0021] Der Fokus der Partikel-Dosiervorrichtung oder der Blas- oder Absaugvorrichtung liegt bevorzugt im Bereich von 250 µm bis 10 mm.

[0022] Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung bezieht sich auf die optische Kontrolle der geglätteten Schicht, also nach dem Verfahrensschritt b). Eine typische Fehlerquelle beim Glätten wird durch zu gro-

ße Agglomerate oder Partikel hervorgerufen. Diese werden beim Glattstreichen mit der Glättungsvorrichtung durch die Partikelschicht geschoben und ziehen Furchen oder Gräben.

[0023] Eine aus der erfindungsgemäßen Qualitätskontrolle ableitbare Maßnahme zur Korrektur dieses Fehlers ist wiederum durch das Zudosieren von Pulvermaterial, beispielsweise durch lokale Zudosierung oder großflächiges Recoaten, gegebenenfalls mit nachfolgender Glättung, gegeben.

[0024] Eine weitere Fehlerquelle ist die Versetzung eines ganzen Bereichs oder einer ganzen Schicht, was beispielsweise durch Verklebungen und Verkrustungen an der der Bindemitteldüse oder gegebenenfalls an der Glättvorrichtung hervorgerufen werden kann.

[0025] Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung bezieht sich auf die optische Kontrolle nach der Aushärtung der Partikelschicht in definierten Bereichen durch Verkleben, Versintern oder Verschmelzen. Auch hier kann in einfacher Weise eine Qualitätskontrolle durch Auswertung der optischen Informationen vorgenommen werden.

[0026] Beim 3D-Binderdruck wird die Partikelschicht unter Einwirkung einer Binderflüssigkeit verklebt und ausgehärtet. Hierzu sind teils in der Partikelschicht, teils auf den Partikeln und teils in der Binderflüssigkeit selbst, Kleber vorgesehen.

[0027] Besonders bevorzugt werden mit kleberhaltigen Schichten beschichtete Partikel eingesetzt, wobei die Binderflüssigkeit dann in der Regel frei von Klebern ist. Zu den erfindungsgemäß geeigneten Klebmitteln gehören insbesondere in organischen Lösungsmitteln lösliche Polymere. Die Kleber enthalten bevorzugt Poly(Meth)acrylate, Polyester, Polyolefine, Polyvinyle, Polystyrole, Polyvinylalkohole, Polyurethane, Wachse und/oder Phenolharze. Besonders bevorzugte Klebmittel sind Polyvinylpyrrolidone oder Polyvinylbutyrale.

[0028] Erfindungsgemäß ist vorgesehen die Partikelschicht mit Färbemitteln zu versehen. Wesentlich ist dabei, dass die Färbemittel bei oder nach dem Kontakt mit der Binderflüssigkeit ihre Farbe, Farbintensität und/oder Helligkeit ändern. Unter der Farbe im Sinne der Erfindung sind auch Wellenlängenanteile im nahen UV- oder IR-Licht zu verstehen. Zu den Färbemitteln gehören daher beispielsweise auch geeignete Fluoreszenzfarbstoffe.

[0029] Eine erste Variante sieht vor, kristalline Farbstoffe in die Beschichtung der Partikel aufzunehmen, die in der Binderflüssigkeit löslich sind. Beim Befeuften durch die Binderflüssigkeit können die Kristalle aufgelöst werden, wodurch die angefärbte Fläche und damit die Farbintensität deutlich erhöht wird. Zu den besonders geeigneten Farbstoffen zählen in Alkoholen lösliche Pigmente.

[0030] In einer weiteren Variante geht die Binderflüssigkeit mit Komponenten der Beschichtung eine chemische Reaktion ein, die zu neuen Farbträgern führt. Hierzu können in einfacher Weise auch pH-In-

dikatoren Verwendung finden, die mit sauren oder basischen Bindemittellösungen zu entsprechenden Farbreaktionen angeregt werden.

[0031] Überraschenderweise hat sich gezeigt, dass auch geringste Mengen an in der Beschichtung gelösten Farbstoffen unter dem Einfluss der Binderflüssigkeiten eine deutliche Farbintensivierung zeigen. Dieser Effekt zeigt sich sogar bei Farbstoffen mit geringer Löslichkeit in der Binderflüssigkeit.

[0032] Selbst in der Binderflüssigkeit unlösliche Pigmente sind zum Teil geeignet, da sie von der Binderflüssigkeit ausgeschwemmt werden und sich dann bevorzugt in den Randbereichen der befeuchteten Flächen aufkonzentrieren. Dabei werden sehr scharfer Farbkontrast an den Kanten beziehungsweise Rändern der befeuchteten Bereiche.

[0033] Die Konzentration der Färbemittel in der Partikelbeschichtung liegt bevorzugt in einem Bereich von 0,1 bis 20 Gew% (der Beschichtung).

[0034] Die angegebenen Färbemittel können in analoger Weise auch als diskrete Komponente, das heißt nicht als Bestandteil einer Partikelbeschichtung, im Pulvermaterial vorhanden sein. Das Pulvermaterial enthält dabei bevorzugt einen Anteil von 0,001 bis 2% an Farbstoffen.

[0035] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung enthält die Binderflüssigkeit Färbemittel. Erfindungsgemäß wird durch die Binderflüssigkeit in den befeuchteten Bereichen eine Veränderung der Farbe, Farbintensität und/oder Helligkeit der Partikelschicht hervorgerufen. Die bereits für die in der Beschichtung enthaltenen Farbstoffe ausgeführten Prinzipien der Färbung lassen sich in analoger Weise auch auf die Färbung mittels färbemittelhaltiger Binderflüssigkeit übertragen.

[0036] Die Binderflüssigkeiten beinhalten bevorzugt organische Lösungsmittel, wie C2- bis C7-Alkohole, insbesondere Ethylalkohol, (iso)Propanol oder n-Butanol, C3- bis C8-Ketone, wie beispielsweise Aceton oder Ethyl-Methyl-Keton, cyclische Ether, wie Tetrahydrofuran, oder Polyether, wie Methoxyethanol, Dimethoxydiethylenglykol oder Dimethoxytriethylenglykol. Die Farbstoffe weisen bevorzugt eine gute Löslichkeit in den entsprechenden Lösungsmitteln auf.

[0037] Die geeignete Konzentration des Farbstoffes in der Binderflüssigkeit liegt im allgemeinen im Bereich von 0,05 bis 2 Gew%.

[0038] Sollen unlösliche Farbpigmente Verwendung finden, so liegt deren Gehalt in der Binderflüssigkeit bevorzugt im Bereich von 0,1 bis 4% Gew% und besonders bevorzugt unterhalb 2 Gew%.

[0039] In einer weiteren Variante werden in der Binderflüssigkeit Farbstoffe verwendet die mit Komponenten der Partikelschicht, insbesondere mit Komponenten in der Beschichtung von Partikeln, unter Farbbänderung reagieren. Beispielsweise können als Farbstoffe pH-Indikatoren vorgesehen werden, die mit in der Partikelbeschichtung enthaltenen Säuren oder Basen reagieren. Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, dass nicht nur eine Kontrolle der Befeuchtung

stattfinden kann, sondern auch die Wirkung oder Intensität der Befeuchtung kontrolliert werden kann.

[0040] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung enthält die Binderflüssigkeit lichthärtbare Monomere oder Oligomere. Hierzu sind beispielsweise Methacrylate, oder Acrylsäurederivate geeignet. Die Aushärtung der befeuchteten Schicht wird hierauf mittels Belichtung, insbesondere mit UV-Licht, durchgeführt.

[0041] Insbesondere ist es mit dem erfindungsgemäßen Verfahren der optischen Kontrolle möglich Bereiche mit zu geringer Befeuchtung zu detektieren und hier gegebenenfalls erneut Binderflüssigkeit aufzutragen. Ebenso läßt sich beim 3D-Lasersintern eine gezielte Nachsinterung durchführen.

[0042] Zu den typischen Fehlern, die im 3D-Binderdruck auftreten können zählen der Schichtversatz, beispielsweise durch eine fehlerberechnete Wurfbahn der Flüssigkeitströpfchen vom bewegten Düsenaustritt, oder der Linienausfall, der durch verstopfte Druckdüsen hervorgerufen werden kann. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren der optischen Kontrolle lassen sich diese Fehler zuverlässig detektieren und gegebenenfalls durch Korrekturfahrten des Druckkopfes reparieren.

[0043] Durch Umwelteinflüsse, wie beispielsweise Temperatur, Luftfeuchtigkeit, oder Sonneneinstrahlung, herbeigeführte Veränderungen der Prozessbedingungen führen zumeist zu optisch detektierbaren Fehlern beim Aufbau der 3D-Körper. Eine erhöhte Temperatur der Partikelschicht führt beim Befeuchten der Bereiche beispielsweise zu einer schnelleren Bindemittelverdampfung, die im allgemeinen deutlich optisch erkennen lässt. Daher eignet sich die erfindungsgemäße Kontrollvorrichtung ebenfalls dazu in gewissem Umfang auch sich ändernde Prozessbedingungen aufzuzeigen und entsprechende Gegenmaßnahmen einzuleiten.

[0044] Bei der Aushärtung der Partikel mittels intensiver elektromagnetischer Strahlung, insbesondere Laserstrahlung des 3D-Lasersinterns, kann ein weiterer Farbeffekt zur optischen Kontrolle genutzt. Der erfindungsgemäße Farbeffekt wird durch Färbemittel hervorgerufen, die sich unter der Hitzewirkung der Strahlung verdunkeln beziehungsweise schwärzen.

[0045] Erfindungsgemäß ist vorgesehen als Komponente der Partikelschicht, insbesondere als Komponente einer Partikelbeschichtung, organische Polymere aufzunehmen, die unter der thermischen Einwirkung der Bestrahlung zersetzlich, pyrolysierbar oder carbonisierbar sind. Hierzu zählen insbesondere organische Harze oder Duomere.

[0046] Wesentlich ist hierbei, dass die thermische Zersetzung, Pyrolyse oder Carbonisierung zu einer Schwärzung der Substanzen führt. Je nach Intensität der Bestrahlung kann dann eine Gelb-, Braun- oder Schwarzfärbung der bestrahlten Bereiche beobachtet werden. Diese Schwarzfärbung ist für die meisten organischen Polymere unter Hitzeeinwirkung typisch. Sie beruht auf der Abspaltung leichtflüchtiger Sub-

stanzen, der Bildung aromatischer Bereiche und insbesondere einer beginnenden Verkokung des Materials.

[0047] Besonders geeignete Polymere weisen einen hohen Anteil an Aromaten auf. Hierzu zählen beispielsweise, Phenolharze, aromatische Polyester oder Polyamide.

[0048] Die Auswertung des optischen Abbildes der ausgehärteten Schicht kann dazu genutzt werden spezifische Bereiche nachzuhärten. Dies lässt sich beim Laserverfahren besonders effizient durchführen.

[0049] Naturgemäß sind die möglichen Reparaturmaßnahmen nach der Aushärtung aber geringer als beim Ausbringen oder Glättstreichen der Schicht. Dies betrifft insbesondere überschüssig ausgehärtetes Material, wo eine Korrektur nicht mehr möglich ist. Selbst für diesen Fall stellt die erfindungsgemäße Qualitätskontrolle einen erheblichen Vorteil dar, denn der Aufbau des 3D-Körpers kann rechtzeitig abgebrochen werden, wodurch Prozesszeit und Material eingespart wird.

[0050] Es ist leicht ersichtlich, dass das erfindungsgemäße Verfahren bei einem besonders hohen Farbkontrast oder Helligkeitskontrast zwischen Färbemittel und Pulvermaterial besonders effizient ist.

[0051] Daher sind insbesondere helle, farblose oder weiße Pulvermaterialien bevorzugt.

[0052] Die als Pulvermaterial einsetzbaren Keramiken zeigen im allgemeinen nur eine geringe Eigenfärbung auf. Besonders geeignet sind oxidische Keramiken, beispielsweise auf der Basis der Elemente B, Al, Si, Al, Ti, Zr, Mg, und/oder Ca.

[0053] Bei gefärbter Keramik, insbesondere Schwarzkeramik, wie beispielsweise TiC, TiN, SiC oder Si₃N₄ werden bevorzugt Fluoreszenzfarbstoffe als Färbemittel eingesetzt.

[0054] Auch die für die generativen RP-Verfahren geeigneten Kunststoffe weisen im allgemeinen nur eine geringe Eigenfärbung auf und sind daher besonders gut für das erfindungsgemäße Verfahren geeignet.

[0055] Im Falle der metallischen Pulver ist der Kontrast zwischen Färbemittel und Pulverschicht schwieriger einzustellen.

[0056] Beim 3D-Lasersintern werden bevorzugt die thermisch zersetzlichen Polymere als Färbemittel eingesetzt. Beim Aushärten der Schicht findet im allgemeinen eine deutliche Reduzierung des metallischen Glanzes der Pulverpartikel zu einem matten Grau, beziehungsweise Schwarz, statt. Das auswertbare optische Signal ist dabei die Helligkeit.

[0057] Zu den geeigneten Metallpulvern gehören insbesondere die Metalle, Legierungen und intermetallische Phasen aus Elementen der Gruppe Al, Fe, Mo, Cr, W, Cu, Ag, Au, Sn, Pt und/oder Ir.

[0058] Im Falle intensiver Eigenfärbung des Pulvermaterials kann es zweckmäßig sein, als Färbemittel fluoreszierende Farbstoffe zu verwenden, die ihre Leuchtkraft ausserhalb des Bereichs der Eigenfarbe

des Pulvermaterials entwickeln.

[0059] Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum generativen rapid prototyping mit einer Kontrollvorrichtung in Form eines optischen Bildaufnahmesystems.

[0060] Eine bevorzugte Ausgestaltung für die Verfahrensvariante des 3D-Binderdrucks wird anhand der Prinzipskizze der **Fig. 1** näher erläutert.

[0061] Dabei zeigt:

[0062] **Fig. 1** die Prinzipskizze einer 3D-Binderdruckanlage in der Seitenansicht, enthaltend einen Pulvervorratsbehälter (1), einen Dosierspalt (2), eine Pulverfördereinheit (3), eine Förderkante (4), einzelne Partikel (5), eine Druckdüse (6), Kameras (7, 7'), eine Glättungsvorrichtung (8), die Klingenkante der Glättungsvorrichtung (9), eine geglättete Pulverschicht (10), eine Pulverdosiervorrichtung mit engem Fokus (11), 3D-Körper oder verklebte Pulverpartikel (12) und eine Partikelfehlstelle (13).

[0063] Als erstes Element des Recoatingsystems ist eine Partikelablagevorrichtung vorgesehen, die die Komponenten Pulvervorratsbehälter (1), Dosierspalt (2), Pulverfördereinheit (3) und Förderkante (4) umfasst. Das Pulvermaterial wird im Pulverbehälter bevorratet und auf eine Fördereinheit (3) dosiert. Dabei erfolgt die Dosierung bevorzugt mittels eines Dosierspaltes (2) der durch eine begrenzende Fläche des Pulverbehälters und die Pulverfördereinheit gebildet wird. Die Fördereinheit weist dabei die gesamte Breite der zu bildenden Pulverschicht auf. Der Spalt kann gegebenenfalls in Förderrichtung durch eine begrenzende Fläche oder ein Abdeckblech verlängert werden. Die Fortbewegung des Pulvers wird durch ein Förderband erreicht. Das Pulver verlässt die Fördereinheit an einer Förderkante (4). Darauf können die Partikel (5) ungehindert auf die Unterlage beziehungsweise das bereits gebildete Pulverbett fallen. In der Prinzipskizze sind als Partikel (5) Agglomerate aus kleineren Primärpartikeln angedeutet. Die dargestellte Partikelschicht weist eine Partikelfehlstelle (13) auf, in der keine Partikel ausgebracht sind. Die Glättevorrichtung (8) wird über die Partikelschicht geführt, wobei die Partikelschicht durch eine Klinge (9), die bevorzugt elektrisch isolierend ist, glattgestrichen wird. Die Klinge erstreckt sich dabei über die gesamte Breite der Pulverschicht. Die Klingenkante (9) ist bevorzugt so ausgebildet, dass die Klinge das Pulver in einer rollenden Bewegung vor sich herschiebt. Dies wird beispielsweise durch einen geeigneten Anstellwinkel und eine auf die Partikelgröße abgestimmte Rundung an der Klingenkante (9) erreicht.

[0064] Die geglättete Schicht (10) wird mittels eines Druckkopfes (6) mit Binderflüssigkeit befeuchtet. Der Druckkopf wird dabei über zwei Achsen bewegt. Durch die Verklebung und Aushärtung definierter Bereiche der Pulverschicht wird der 3D-Körper aufgebaut (12).

[0065] Der gesamte Bereich des 3D-Körpers wird in den einzelnen Stufen des Verfahrens durch eine Ka-

mera (7) optisch erfasst. Eine zweite Kamera (7') ist an der verfahrbaren Glättevorrichtung angebracht. Sie rastert den Bereich direkt vor der Klinge (9) ab.

[0066] Die Dosiervorrichtung mit engem Fokus wird über die Fehlstelle (13) geführt und gibt hier eine gezielte Menge an Partikeln (5) ab. Dieser Vorgang ist direkt optisch über die Kamera (7) kontrollierbar.

[0067] Zur Aufnahme des Abbildes der Partikelschicht beziehungsweise der ausgehärteten Bereiche können eine oder mehrere Kameras vorgesehen werden. Das Abbild kann einzeln oder auch aus mehreren Einzelbildern zusammengesetzt sein. Dabei kann die mindestens eine Kamera fest fixiert, oder beweglich angeordnet sein. Eine Kamera kann beispielsweise als Scanner ausgeführt sein der über die Oberfläche der Partikelschicht geführt wird. Bevorzugt ist eine als Scanner eingesetzte Kamera direkt an der Glättevorrichtung angebracht. Dabei kann es zweckmäßig sein das Blickfeld dieser Kamera sowohl vor, als auch hinter die Bewegungsrichtung der Glättevorrichtung auszurichten, beziehungsweise die Kamera entsprechend anzubringen.

[0068] Bevorzugt ist mindestens eine Kamera vorgesehen, deren Blickfeld den gesamten Bereich des zu bildenden 3D-Objektes abdeckt.

[0069] Der erfindungsgemäß erreichbare hohe Farb-, oder Helligkeitskontrast zwischen befeuchteten oder ausgehärteten Bereichen einerseits und der unbehandelten Partikelschicht andererseits lässt es zu, handelsübliche Digitalkameras zu verwenden.

[0070] Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung bezieht sich auf einen der häufigsten Recoatingfehler, die Bildung von Furchen, die geradlinig senkrecht zur Bewegungsrichtung der Glättevorrichtung durch die Schicht verlaufen. Diese Furchen werden typischerweise durch zu große und grobe Partikel hervorgerufen die von der Glättungsvorrichtung über die frisch ausgebrachte Schicht gezogen werden.

[0071] Diese Furchen können durch einen Streifenprojektor mit seitlichem Lichteinfall optisch hervorgehoben werden. An der Stelle der Furchen werden die Strahlungslinien der Lichtquelle unterbrochen oder machen einen deutlichen Knick. Diese optischen Muster lassen sich durch eine Kamera viel besser auflösen als die Furchen selbst. Daher kann auf hochauflösende Kamerasensoren oder vergrößerte Spezialoptik im allgemeinen verzichtet werden. Auch die Auswertung der optischen Signale ist vergleichsweise einfach.

[0072] In einer weiteren Ausgestaltung werden zwei Kameras verwendet die voneinander so weit und in der Weise beabstandet sind, dass sich deren Bilder zu einem dreidimensionalen Abbild überlagern lassen. Dies hat den Vorteil, dass für die detektierten Fehlstellen auch Tiefeninformationen verfügbar werden. Diese können insbesondere zur genaueren Berechnung durzuführender Korrekturmaßnahmen herangezogen werden. So lässt sich beispielsweise die Menge der über die Dosiervorrichtung (11) zuzuführenden Partikel berechnen. Bei konstanter Parti-

kel-Fördergeschwindigkeit der Dosiervorrichtung (11) kann Menge der zugeführten Partikel mittels Variation der Geschwindigkeit mit der die Dosiervorrichtung über den Untergrund geführt wird, eingestellt werden.

[0073] Die Düsen der Partikel-Dosiervorrichtung oder der Blas- oder Absaugvorrichtung werden bevorzugt mittels eines Roboterarmes gesteuert.

[0074] Besonders bevorzugt sind die Partikel-Dosiervorrichtung oder die Blas- oder Absaugvorrichtung direkt am Druckkopf angeordnet und werden mit diesem mitgeführt.

[0075] Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist, dass sich die optischen Daten über mehrere Recoatingzyklen kummulieren lassen und automatisch auswerten lassen. Sowohl das Abbild der einzelnen Schicht als auch insbesondere die kummulierten Daten werden erfindungsgemäß so ausgewertet, dass automatisch geeignete Maßnahmen ausgelöst werden, wie beispielsweise die Korrektur durch erneutes Recoaten und Aushärten, oder gar die Unterbrechung des Aufbauprozesses für einen manuellen Eingriff. Insbesondere neuronale Netzwerke lassen sich vorteilhaft einsetzen, um die Grenzen zwischen akzeptablen und nicht mehr akzeptablen Fehlern zu ziehen.

[0076] Die Auswertung kummulierter Abbilder oder deren Daten macht auch Fehler erkennbar, die sich erst über mehrere Schichtebenen senkrecht zur Partikelschicht aufbauen. So lässt sich für jeden gebildeten 3D-Körper gleichzeitig ein vollständiges 3D-Abbild seines inneren Aufbaus erzeugen. Dies kann für eine umfassende Qualitätskontrolle von erheblicher Bedeutung sein. Dies gilt nicht nur für den 3D-Binderdruck, sondern auch für alle anderen von der Erfindung umfassten Prozessvarianten.

[0077] Für die Auswertung der Abbilder kann es gegebenenfalls auch ausreichen, statt eines gesamten Abbildes der Fläche des 3D-Körpers nur einige von der Geometrie der Körper abhängige Prüfstellen an festen Koordinaten auf der Fläche zu erfassen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung dreidimensionaler Körper umfassend die mehrfache Abfolge der Schritte

a) Ausbringen einer Schicht aus Partikeln, mittels einer Dosiervorrichtung auf einer Unterlage
b) Glätten der ausgebrachten Schicht mit einer Glättungsvorrichtung

c) Schichthärtung durch Verkleben der Partikel unter Einwirkung von Binderflüssigkeit oder Schichthärtung durch Verschmelzen oder Versintern der Partikel unter Einwirkung von intensiver Strahlung in definierten Bereichen innerhalb der Schicht

dadurch gekennzeichnet,

dass nach dem Schritt a), b) und/oder c) ein optisches Abbild der ausgebrachten, geglätteten und/oder gehärteten Schicht aufgenommen wird, wobei das Abbild geeignet ist, in der Schichtebene angeordnete Partikelfehlstellen oder Partikelschichtfeh-

ler aufzuzeigen.

2. Verfahren nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass durch den Schritt c) eine Veränderung der Helligkeit und/oder der Farbe der Partikelschicht in den definierten Bereichen hervorgerufen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2 dadurch gekennzeichnet, dass die zum Verkleben der Partikel verwendete Binderflüssigkeit Färbemittel enthält.

4. Verfahren nach Anspruch 2 dadurch gekennzeichnet, dass die Partikel Färbemittel enthalten, der durch die Binderflüssigkeit Farbe und/oder Helligkeit ändern.

5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass eine Auswertung der Bildhelligkeit und/oder -farbe des Abbildes Partikelfehlstellen oder Partikelschichtfehler aufzeigt, aus denen sich Korrekturmaßnahmen ableiten lassen.

6. Verfahren nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Aufzeigen der Partikelfehlstellen oder Partikelschichtfehler zwischen den Schritten a) und c) weitere Partikel an oder in der Nähe der Fehlstellen oder auf der gesamten Partikelschicht ausgebracht werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6 dadurch gekennzeichnet, dass die weiteren Partikel durch eine Dosiervorrichtung mit engem Fokus ausgebracht werden.

8. Verfahren nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Aufzeigen der Partikelfehlstellen oder Partikelschichtfehler zwischen den Schritten a) und c) Partikel an oder in der Nähe der Fehlstellen oder die ganze Partikelschicht entfernt werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8 dadurch gekennzeichnet, dass die zu entfernenden Partikel durch eine Blas- oder Absaugvorrichtung mit engem Fokus entfernt werden.

10. Verfahren nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass das Abbild zu einer neuen Festlegung der definierten Bereiche der Verklebung, Verschmelzung oder Versinterung im Schritt c) genutzt wird.

11. Beschichtete Partikel zur Herstellung dreidimensionaler Körper mittels eines generativen rapid prototyping Verfahrens unter Verwendung von Binderflüssigkeiten, die die Aushärtung von Partikelschichten in definierten Bereichen bewirken dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung der Partikel in der Binderflüssigkeit lösliche Farbstoffe enthält.

12. Partikel nach Anspruch 11 dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung Stoffe umfasst die unter dem Einfluss der Binderflüssigkeit ihre Farbe ändern.

13. Binderflüssigkeit zur Herstellung dreidimensionaler Körper mittels eines generativen rapid prototyping Verfahrens unter Verwendung von Partikelschichten die mit der Binderflüssigkeit in definierten Bereichen aushärtbar sind dadurch gekennzeichnet, dass die Binderflüssigkeit Farbstoffe enthält.

14. Partikel nach Anspruch 13 dadurch gekennzeichnet, dass die Binderflüssigkeit Stoffe umfasst die unter dem Einfluss der Partikel oder während der Aushärtereaktion der Partikel ihre Farbe ändern.

15. Beschichtete Partikel zur Herstellung dreidimensionaler Körper mittels eines generativen rapid prototyping Verfahrens unter Verwendung von Laserstrahlung, die die Verschmelzung oder Versinterung von Partikelschichten in definierten Bereichen bewirkt dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung durch die Laserstrahlung zumindest teilweise unter Schwarzfärbung zersetzt wird.

16. Vorrichtung zur Herstellung dreidimensionaler Körper mittels eines generativen rapid prototyping Verfahrens, umfassend eine Partikelablagevorrichtung eine Glättungsvorrichtung eine Aushärtevorrichtung und eine Kontrollvorrichtung, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontrollvorrichtung mindestens eine Kamera aufweist, mit der ein optisches Abbild der gesamten Fläche des zu generierenden 3D-Körpers wiedergebbar ist.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16 dadurch gekennzeichnet, dass mindestens zwei beabstandete Kameras vorgesehen sind, deren einzelne Abbilder sich zu einem gemeinsamen dreidimensionalen Abbild zusammenführen lassen.

18. Vorrichtung nach Anspruch 16 dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Streifenprojektor vorgesehen ist, der die ausgebrachte Schicht in Streifen beleuchtet.

19. Vorrichtung nach Anspruch 16 dadurch gekennzeichnet, dass die Aushärtevorrichtung im wesentlichen durch mindestens eine Druckerdüse für Binderflüssigkeit gebildet wird.

20. Vorrichtung nach Anspruch 16 dadurch gekennzeichnet, dass die Aushärtevorrichtung im wesentlichen durch eine Laserlichtquelle gebildet wird.

21. Vorrichtung nach Anspruch 16 dadurch ge-

kennzeichnet, dass die Aushärtvorrichtung im wesentlichen durch einen UV-Punktstrahler, oder einen Elektronenstrahler gebildet wird.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

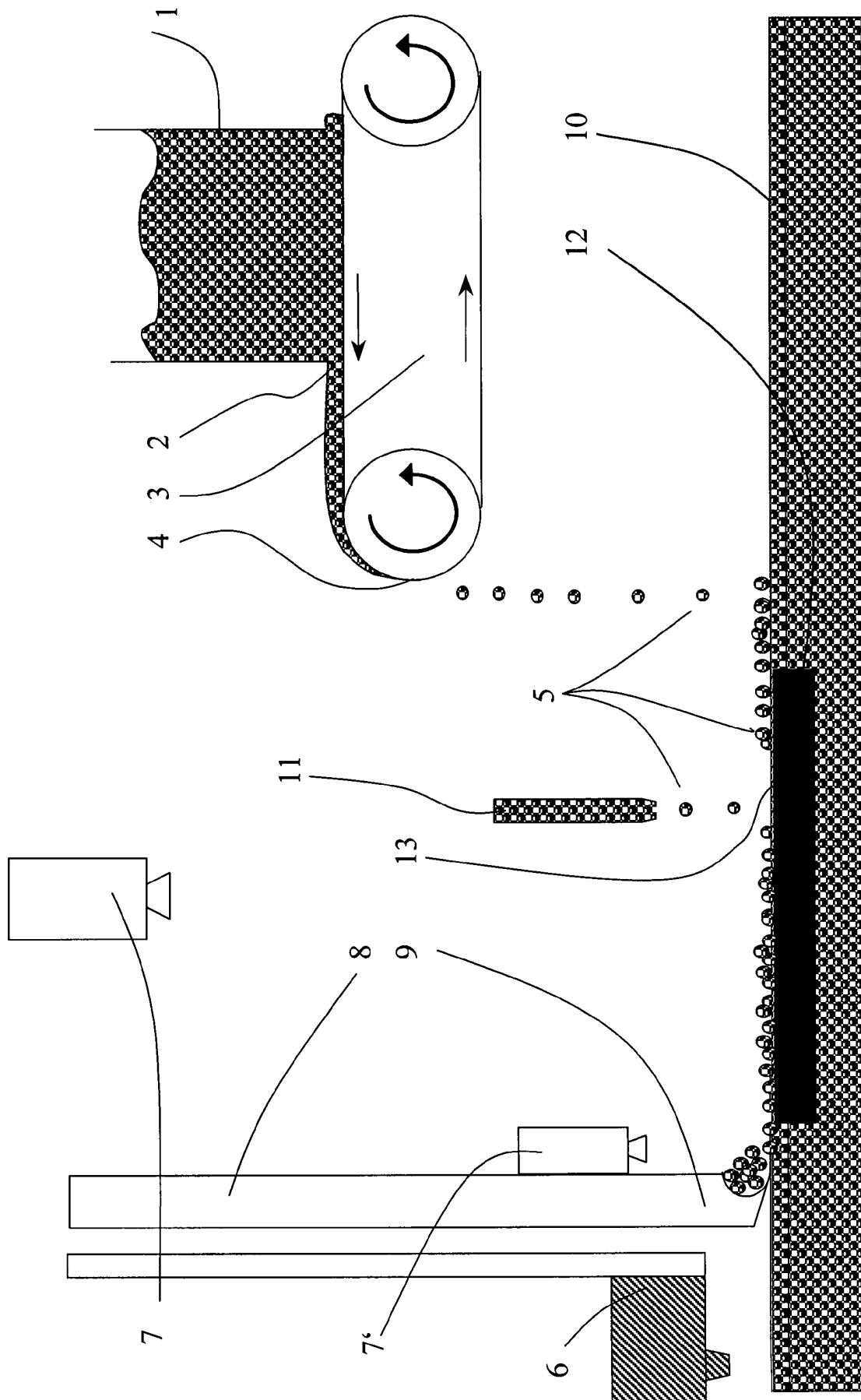


Fig. 1