



(10) **DE 10 2018 201 301 A1** 2019.08.01

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 201 301.2**
(22) Anmeldetag: **29.01.2018**
(43) Offenlegungstag: **01.08.2019**

(51) Int Cl.: **B22F 3/105 (2006.01)**
H01H 33/664 (2006.01)
H01H 11/04 (2006.01)

(71) Anmelder:
Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München, DE

(72) Erfinder:
**Krüger, Ursus, Dr., 14089 Berlin, DE; Stier, Oliver,
Dr., 12163 Berlin, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2013 222 865	A1
DE	10 2013 226 257	A1
US	2015 / 0 044 084	A1
WO	2017/ 162 445	A1

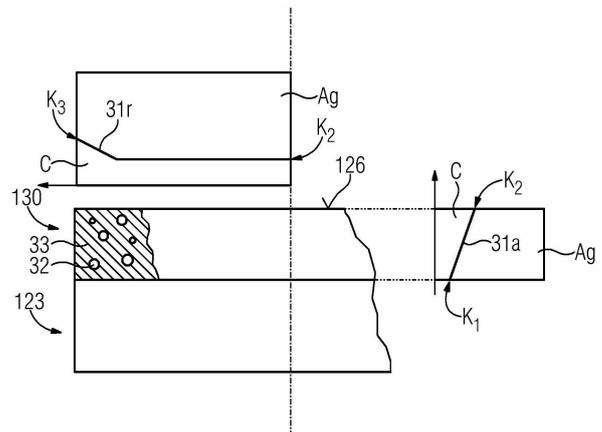
Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Herstellen eines Kontaktbauteils sowie Kontaktbauteil, Vakuumschaltröhre und Schaltanlage**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Kontaktbauteils (123, 130) für einen elektrischen Schalter mit einer Kontaktfläche (126) zum Schließen eines elektrischen Kontaktes. Das Kontaktbauteil wird mindestens teilweise aus Pulver hergestellt, wobei unterschiedliche Pulverarten für das Kontaktbauteil verwendet werden.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass zur Erzeugung des Kontaktbauteiles, zum Beispiel der Kontaktschicht (130), ein pulverbettbasiertes additives Fertigungsverfahren wie zum Beispiel das selektive Laserschmelzen zum Einsatz kommt. Die Kontaktschicht (130) wird aus einer Folge von Lagen im Pulverbett hergestellt, wobei zur Herstellung der unterschiedlichen Materialzusammensetzungen ein Pulver einer ersten Pulverart beispielsweise aus Kohlenstoff (C) mit einem Pulver einer zweiten Pulverart beispielsweise aus Silber (Ag) in unterschiedlichen Mischungsverhältnissen direkt in der Lage gemischt werden. Hierbei kommen mindestens zwei Dosiervorrichtungen zum Einsatz, mit denen die Pulverarten direkt im Pulverbett gemischt werden. Dies hat den Vorteil, dass unterschiedliche Mischungsverhältnisse mit nur zwei Pulvervorräten erzeugt werden können. Es lassen sich Schichten mit Konzentrationsgradienten oder auch Schichten mit Teilbereichen aus unterschiedlichen Materialien herstellen. Unter Schutz gestellt sind auch ein Kontaktbauteil, hergestellt nach dem genannten Verfahren, eine Vakuumschaltröhre mit einem solchen Kontaktbauteil und eine Schaltanlage mit einer solchen Vakuumschaltröhre.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Kontaktbauteils für einen elektrischen Schalter mit einer Kontaktfläche zum Schließen eines elektrischen Kontaktes. Dabei wird das Kontaktbauteil zumindest teilweise aus einem Pulver hergestellt. Zur Herstellung von unterschiedlichen Materialzusammensetzungen kommen dabei unterschiedliche Pulverarten zum Einsatz. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Kontaktbauteil für eine elektrische Schaltanlage, welche eine Kontaktschicht aufweist. Außerdem betrifft die Erfindung eine Vakuumschaltröhre mit einem Kontaktbauteil und eine Schaltanlage mit einer Vakuumschaltröhre.

[0002] Elektrische Schalter der eingangs angegebenen Pulverart sind z. B. aus der DE 41 33 466 A1 bekannt. Diese Schalter weisen Kontaktbauteile auf, wobei deren Funktion darin besteht, bei einem Schaltvorgang in gegenseitigen Kontakt zu kommen, um den elektrischen Strom zu übertragen. Die Kontaktbauteile sind in dem Schalter in einer mechanischen Anordnung zueinander positioniert, die es erlaubt, den Schaltvorgang durchzuführen. Unter anderem können derartige Schalter auch als Vakuumschaltröhren ausgeführt werden. Elektrische Schalter werden in Schaltanlagen eingebaut, die die Integration des Schalters beispielsweise in ein elektrisches Netz erlauben.

[0003] Gemäß der DE 41 33 466 A1 ist beschrieben, dass Kontaktbauteile für einen Schalter mit einer Kontaktschicht beschichtet werden können. Diese kann beispielsweise aus Silber bestehen und elektrochemisch aufgebracht werden. Während des elektrochemischen Beschichtens werden überdies Graphitpartikel in die sich ausbildende Schicht eingebaut. Die Graphitpartikel werden dem für das elektrochemische Beschichten verwendeten Elektrolyt beigemischt, so dass eine Dispersion entsteht. Dies ermöglicht den Einbau der Graphitpartikel während des elektrochemischen Beschichtens.

[0004] Kontaktbauteile können auch pulvermetallurgisch hergestellt werden, wie aus der EP 2 838 096 A1 hervorgeht. Dabei können unterschiedliche Pulver verwendet werden und schichtweise zu einem Sinterkörper zusammengefügt werden. Das Sintern kann beispielsweise durch das sog. Spark Plasma Sintering (SPS) erfolgen. Durch Verwendung verschiedener Pulverarten, in denen Pulverpartikel unterschiedlicher Pulverart sind, lassen sich beispielsweise Graphitpartikel in einer Matrix aus Silber einbetten. Das Sinterverfahren erfordert die Herstellung geeigneter Werkzeuge zum Pressen des Kontaktbauteils, wobei die Sinterbehandlung zur Verdichtung der Partikel gewisse Behandlungszeiten erfordert.

[0005] Mit dem genannten Verfahren lassen sich insbesondere auch Gradientenschichten herstellen, in denen sich die Materialzusammensetzung in dem Kontaktbauteil kontinuierlich oder zumindest in kleinen Schritten ändert. Zu diesem Zweck wird das Kontaktbauteil mehrlagig aufgebaut, wobei mehrere Pulverarten mit schrittweise sich ändernden Materialzusammensetzungen vorgehalten werden müssen.

[0006] Gemäß V. I. Mali et al., Structure and Properties of Explosively Compacted Copper-Molybdenum, Combustion, Explosion, and Shockwaves, Vol. 38, No.4, pp. 473-4T1, 2002, können Kontakte auch dadurch hergestellt werden, dass ein Gemisch von Pulvern durch Sprengplattieren auf ein Substrat aufgebracht wird. Das Substrat kann beispielsweise ein Kontaktkörper sein.

[0007] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zum Herstellen von Kontaktbauteilen mit Zonen unterschiedlicher Materialzusammensetzung anzugeben, welches bei einem geringen Aufwand hinsichtlich der Bevorratung von Materialien einen vergleichsweise großen Spielraum für eine Modifikation von Konzentrationsverhältnissen dieser Materialien im Kontaktbauteil gewährleistet. Außerdem ist es Aufgabe der Erfindung, ein Kontaktbauteil für eine elektrische Schaltanlage, eine Vakuumschaltröhre mit einem solchen Kontaktbauteil beziehungsweise eine Schaltanlage mit einem solchen Kontaktbauteil anzugeben, bei denen ein vergleichsweise großer Spielraum für eine lokale Modifikation der Zusammensetzung ausgeschöpft werden kann.

[0008] Diese Aufgabe wird mit dem eingangs angegebenen Verfahren zum Herstellen eines Kontaktbauteils erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass ein pulverbettbasiertes additives Fertigungsverfahren zum Einsatz kommt, bei dem das Bauteil in einer Folge von Lagen in einem Pulverbett hergestellt wird. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass zur Herstellung der Zonen unterschiedlicher Materialzusammensetzung oder einer sich kontinuierlich ändernden Materialzusammensetzung unterschiedliche Pulverarten in zumindest einem Teil der Lagen kombiniert werden. Mit anderen Worten ist vorgesehen, dass unterschiedliche Materialzusammensetzungen in den einzelnen Lagen durch unterschiedliche Kombination der zur Verfügung stehenden Pulverarten hergestellt werden. Dies kann dadurch erreicht werden, dass die Pulverarten (d. h. die Pulver unterschiedlicher Pulverarten) bei der Herstellung der Lage im Pulverbett miteinander kombiniert werden, so dass deren Mischungsverhältnis während der Herstellung des Kontaktbauteils die Materialzusammensetzung bestimmt. Dies hat den wesentlichen Vorteil, dass nur wenige unterschiedliche Pulverarten gelagert werden müssen, da es nicht notwendig ist, Pulverarten mit unterschiedlichen Mischungsverhältnissen ihrer Komponenten einzeln zu bevorraten.

[0009] Als Beispiele für das additive Fertigen können das selektive Lasersintern (auch SLS für Selective Laser Sintering), das Selektive Laserschmelzen (auch SLM für Selective Laser Melting) und das Elektronenstrahlschmelzen (auch EBM für Electron Beam Melting) genannt werden. Diese Verfahren eignen sich insbesondere zur Verarbeitung von metallischen Werkstoffen in Form von Pulvern, mit denen Konstruktionsbauteile hergestellt werden können.

[0010] Beim SLM, SLS und EBM werden die Bauteile lagenweise vorzugsweise in einem Pulverbett hergestellt. Diese Verfahren werden daher auch als pulverbettbasierte additive Fertigungsverfahren bezeichnet. Es wird jeweils eine Lage des Pulvers in dem Pulverbett erzeugt, die durch die Energiequelle (Laser oder Elektronenstrahl) anschließend in denjenigen Bereichen lokal aufgeschmolzen oder gesintert wird, in denen das Bauteil entstehen soll. So wird das Bauteil sukzessive lagenweise erzeugt und kann nach Fertigstellung dem Pulverbett entnommen werden.

[0011] Für das SLS ist charakteristisch, dass die Pulverteilchen bei diesen Verfahren nicht vollständig aufgeschmolzen werden. Demgegenüber liegt beim SLM und EBM der Energieeintrag betragsmäßig bewusst so hoch, dass die Pulverpartikel vollständig aufgeschmolzen werden.

[0012] Eine andere Möglichkeit besteht nach einer Ausgestaltung der Erfindung darin, dass die unterschiedlichen Pulverarten in zumindest einem Teil der Lagen so kombiniert werden, dass Pulver einer ersten Pulverart in einer Teilfläche der herzustellenden Lage des Pulverbettes dosiert wird, danach mindestens ein Teil des Pulvers der ersten Pulverart durch eine Energiequelle verfestigt wird, danach Pulver einer zweiten Pulverart in der selben Lage dosiert wird und zumindest ein Teil des Pulvers der zweiten Pulverart anschließend durch die Energiequelle verfestigt wird, wobei die beiden verfestigten Pulverarten (d. h. die beiden Pulver der beiden Pulverarten) gemeinsam die hergestellte Lage des Kontaktbauteils ausbilden. Hierdurch kann vorteilhaft erreicht werden, dass in dem Kontaktbauteil in der hergestellten Lage das Pulver der ersten Pulverart ohne Mischung einer anderen Pulverart verfestigt wird. Hierdurch lässt sich gemäß einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung in mehreren aufeinander folgenden Lagen eine Einsatzstruktur in dem Kontaktbauteil erzeugen. Diese kann die Funktionalität des Kontaktbauteils verbessern. Beispielsweise können Einsatzstrukturen derart geformt werden, dass diese den Aufbau eines Magnetfeldes während des Schaltvorgangs beeinflussen und auf diese Weise auch die Ausbreitung des sich ausbildenden Lichtbogens. Zu diesem Zweck werden in herkömmlichen Schaltkontakten, bei denen Kontaktschichten zur elektrischen Kontaktierung auf Kontaktköpfen aufgebracht wer-

den, in diese Kontaktköpfe Schlitze eingefügt, die in dem erfindungsgemäß additiv hergestellten Kontaktbauteil mit einem Material als Einsatzstruktur zumindest teilweise ausgefüllt werden kann. Dieses Material leitet den Strom schlechter als das umgebende Material des Kontaktbauteils. Die Schlitze beziehungsweise die Einsatzstrukturen können schräg zur Ebene der Kontaktfläche verlaufen. Außerdem können die Schlitze beziehungsweise die Einsätze in der Ebene der Kontaktfläche und in Ebenen parallel zu der Kontaktfläche spiralförmig nach außen verlaufen.

[0013] Das erfindungsgemäße Verfahren kann vorteilhaft auch dazu genutzt werden, das Mischungsverhältnis zwischen dem Pulver der ersten Pulverart und dem Pulver der zweiten Pulverart in der Folge der Lagen zu verändern. Zu diesem Zweck wird das Verhältnis der durch die Dosiervorrichtung aufgeführten Pulverarten in benachbarten Lagen verändert. Wird das Mischungsverhältnis in jeder neuen Lage verändert, so entsteht ein Konzentrationsgradient des Pulvers der ersten Pulverart in dem Pulver der zweiten Pulverart (und umgekehrt). Allerdings kann das Mischungsverhältnis mehrerer benachbarter Lagen auch beibehalten werden, so dass Konzentrations Sprünge zwischen zwei Gruppen von erzeugten Pulverlagen verwirklicht werden können.

[0014] Gemäß einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die unterschiedlichen Pulverarten dadurch kombiniert werden, dass diese durch mehrere Dosiervorrichtungen in zumindest eine der zu erzeugenden Lagen des Pulverbettes eingebracht werden. Somit kann vorteilhaft für jede Pulverart eine eigene Dosiervorrichtung vorgesehen werden, so dass ein Wechsel in den Dosiervorrichtungen nicht erforderlich ist. Um ein Mischung von Pulverarten beziehungsweise eine lokale Erzeugung von Einsatzstrukturen zu verwirklichen wird jeweils die Dosiervorrichtung angesteuert, welche die betreffende Pulverart bevorrätet. Hierdurch ist vorteilhaft ein Wechsel zwischen den Pulverarten ohne zusätzliche Rüstzeiten möglich.

[0015] Eine weiterführende Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass mindestens eine der Dosiervorrichtungen in einem Abstand über die Oberfläche des Pulverbettes geführt wird und das Pulver durch Rieseln dosiert wird. Hierdurch ist es möglich, das Pulver einer ersten Pulverart mittels eines Abstreifers zu dosieren, indem das Material über das Pulverbett geschoben wird. Durch Rieseln lässt sich auf diesem Material mittels der weiteren Dosiervorrichtung das Pulver einer zweiten Pulverart verteilen. Dies ist besonders von Vorteil wenn das Pulver der zweiten Pulverart nur eine geringe Konzentration aufweisen soll.

[0016] Wenn Einsatzstrukturen hergestellt werden sollen, hat die Dosierung durch Rieseln für das die Einsatzstruktur umgebende Material (Pulver der

zweiten Art) zusätzlich den Vorteil, dass das Pulver der zweiten Art auch in der direkten Umgebung der Einsatzstruktur zuverlässig dosiert werden kann. Anders wäre dies bei Verwendung eines Abstreifers, da eine Dosierung von Pulver direkt hinter der Einsatzstruktur (in Bewegungsrichtung des Abstreifers gesehen) nur in einer verringerten Menge möglich ist (sogenannte Schattenbildung). Damit ergibt sich eine besondere Ausgestaltung der Erfindung dadurch, dass sowohl das Pulver der ersten Art als auch das Pulver der zweiten Art mit einer Rieselvorrichtung (Dosiervorrichtung zum Rieseln) dosiert werden.

[0017] Die Dosiervorrichtung zum Rieseln muss im letztgenannten Fall derart ausgeführt sein, dass auch eine lokale Dosierung von Pulver der ersten Pulverart und der zweiten Pulverart im Pulverbett möglich ist. Hierfür kann beispielsweise ein Dosierrichter zur Anwendung kommen. Soll das Pulver der zweiten Pulverart über einen größeren Flächenbereich verteilt werden, so bietet sich eine schlitzförmige Dosiervorrichtung an, welche waagrecht über das Pulverbett geführt wird, während das Pulver der zweiten Pulverart aus dieser herausrieselt.

[0018] Gemäß vorteilhaften Ausgestaltungen der Erfindung können zum Mischen der Partikel in den Lagen des Pulverbettes unterschiedliche Verfahren angewendet werden. Wenn eine Dosiervorrichtung zum Rieseln zum Einsatz kommt, kann vorteilhaft beispielsweise eine lokale Dosierung nur dort erfolgen, wo die Lage des Pulverbettes zu dem Bauteil verfestigt wird. Damit wird das nicht verfestigte Pulvermaterial nur in einem geringen Maße durch die zugeordnete Komponente kontaminiert, was eine Wiederverwendung erleichtert. Die Oberfläche des Pulverbettes kann nach der Dosierung durch Rieseln mittels einer Glätteinrichtung wie einem Abstreifer oder einer Walze geglättet werden, um eine homogene Verteilung des dosierten Pulvers zu fördern.

[0019] Nach der Dosierung durch Pulver einer ersten Pulverart durch Rieseln kann zwecks Herstellung einer Pulvermischung Pulver einer zweiten Pulverart durch den Abstreifer oder die Walze, auf das Pulverbett aufgetragen werden. Der Abstreifer oder die Walze arbeiten dann als weitere Dosiervorrichtung. Dabei entsteht die Pulvermischung, deren Mischungsverhältnis durch die Menge des jeweils dosierten Pulvers beeinflusst werden kann. Nach der Dosierung können die Schritte des Dosierens von Pulver der ersten Pulverart durch Rieseln und Dosierung von Pulver der zweiten Pulverart mittels Abstreifer oder Walze einmal oder mehrmals wiederholt werden. Das Mischungsverhältnis der beiden Pulverarten hängt jeweils von der zu dosierenden Menge der einzelnen Pulverarten ab. Beim Rieseln lässt sich die dosierte Pulvermenge einerseits durch den Öffnungsquerschnitt der Dosiereinrichtung und andererseits durch die Verfahrensgeschwindigkeit während des

Rieselns beeinflussen. Die Menge der durch die weitere Dosiereinrichtung dosierten Pulvermenge ist in erster Linie dadurch zu beeinflussen, in welcher Höhe oberhalb der Oberfläche des Pulverbettes diese geführt wird.

[0020] Die Dicke der zu erzeugenden Lagen im Pulverbett hängt nicht zuletzt von den Verfahrensparametern des angewendeten additiven Fertigungsverfahrens ab. Wenn es das Mischungsverhältnis der beiden Pulver erfordert, müssen die Dosierschritte für das Pulver der ersten Pulverart und das Pulver der zweiten Pulverart gegebenenfalls mehrmals wiederholt werden, bis die erforderliche Lagendicke zum Verfestigen durch den Energiestrahle (Laserstrahl oder Elektrodenstrahl) erreicht ist. Durch wiederholtes Dosieren können somit Zwischenlagen erzeugt werden, die gemeinsam die zu verfestigende Lage im Pulverbett bilden. Hierdurch ist vorteilhafterweise eine feinere Verteilung des Pulvers der ersten Pulverart in dem Pulver der zweiten Pulverart durch Rieseln möglich. Außerdem kann innerhalb einer zu fertigenden Lage ein linearer Konzentrationsgradient des Pulvers der ersten Pulverart in dem Pulver der zweiten Pulverart erzeugt werden.

[0021] Je nach eingebrachter Energiemenge zur Verfestigung des Pulvers und den Schmelzpunkten der unterschiedlichen Pulverarten wird bei der Herstellung des Kontaktbauteils eine Legierung aus den Pulverarten gewonnen (Variante 1), oder die Partikel des Pulvers der ersten Pulverart und der zweiten Pulverart bilden eine Dispersion. Dabei wird das Pulver der ersten Pulverart nicht aufgeschmolzen (Variante 2) und wird durch Aufschmelzen des Pulvers der zweiten Pulverart dispers in einer Matrix des durch das Pulver der zweiten Pulverart gebildeten Werkstoffs verteilt. Es gibt aber auch die Möglichkeit, dass beide Pulver aufschmelzen, aber nicht legieren (Variante 3). Dann gibt es eine Emulsion, die wieder erstarrt.

[0022] So wäre es z.B. mit Kupfer und Molybdän (bei einem genügend hohen Energiebeitrag der Energiestrahls), die nicht mischbar und nicht ineinander löslich sind (Variante 3). Tatsächlich sind Cu-Mo-Mischungen für Kontakte besonders interessant, da diese eine hohe Verschleißfestigkeit mit einer guten elektrischen Leitfähigkeit verbinden. Dabei können Pulvermischungen aus der ersten und zweiten Pulverart mit 20 bis 80 vol-% Pulveranteil Molybdän verwendet werden.

[0023] Silber und Kupfer können im durch das additive Fertigungsverfahren erzeugten Schmelzprozess beispielsweise mit Chrom, Nickel, Eisen, Titan und Zink aufgeschmolzen werden, wobei unter Ausbildung von Mischkristallen Legierungen entstehen (Variante 1).

[0024] Das Pulver der ersten Pulverart kann jedoch auch aus Wolfram, Tantal, Niob, Molybdän, Rhenium, Kohlenstoff, Zinnoxid (SnO_2), Wolframcarbid (WC), Cadmiumoxid (CdO), Zinkoxid (ZnO), Eisenoxid (Fe_2O_3), Zirkoniumoxid (ZrO_2), Magnesiumoxid (MgO), Nickeloxid (NiO) oder Indiumoxid (In_2O_3) bestehen. Partikel dieser Pulverart werden durch den Energieeintrag des Energiestrahls aufgrund der hohen Schmelztemperaturen normalerweise nicht aufgeschmolzen (Variante 2). CdO schmilzt ab 1230°C . SnO_2 hat den Schmelzpunkt bei 1630°C . Molybdän schmilzt bei 2620°C . Diese Temperaturen sind noch in Reichweite der Strahlschmelzverfahren wie dem SLM, so dass es je nach Leistung des Energiestrahls zum Aufschmelzen beider Pulverarten kommen kann (Variante 3). Bei beiden Varianten werden die Partikel unter Ausbildung einer Dispersion in die Matrix des umgebenden Werkstoffs aus Silber oder Kupfer eingebaut.

[0025] Wenn das Pulver der ersten Pulverart und das Pulver der zweiten Pulverart in den Lagen gemischt werden, fällt als Abfall nicht verfestigtes Pulver an, welches als Pulvermischung vorliegt. Dieser Effekt kann weitgehend verhindert werden, wenn das Pulver einer Pulverart nur lokal in dem Bereich dosiert wird, in dem eine Verfestigung des Pulverbettes stattfinden soll.

[0026] Das nicht verfestigte Pulvergemisch der ersten Pulverart und der zweiten Pulverart kann allerdings für nachfolgende Fertigungsgänge weiterer Kontaktbauteile als Pulver der ersten Art verwendet werden. Voraussetzung ist, dass das Mischungsverhältnis bekannt ist. Dieses lässt sich entweder messtechnisch bestimmen oder aus dem Pulververbrauch des entsprechenden Fertigungsganges eines Bauteils berechnen. Im folgenden Fertigungsgang kann dann das Pulver der zweiten Pulverart zugemischt werden, soweit dies zum Erreichen der geforderten Konzentration notwendig ist. Dies setzt selbstverständlich voraus, dass die Konzentration des Pulvers der zweiten Pulverart in dem als Pulver der ersten Pulverart verwendeten Pulvergemisch noch unterhalb der Konzentration liegt, welche in dem Kontaktbauteil zu erzeugen ist.

[0027] Besonders vorteilhaft ist es, wenn das Kontaktbauteil durch additives Erzeugen einer Kontaktschicht auf einem vorgefertigten Kontaktträger hergestellt wird. Dies hat den Vorteil, dass durch das additive Fertigungsverfahren nur der die Kontaktfläche bildende Teil des Kontaktbauteils additiv hergestellt werden muss. Daher kann die restliche Struktur vorteilhaft mittels herkömmlicher Fertigungsverfahren kostengünstig hergestellt werden.

[0028] Bspw. kann der Kontaktträger aus einem Kontaktplättchen bestehen, welches aus Blech gestanzt werden kann. Eine andere Möglichkeit besteht

darin, das Kontaktbauteil als Kontaktschicht direkt auf einem Kontaktkopf des Kontaktbauteils herzustellen.

[0029] Die eingangs angegebene Aufgabe wird außerdem durch ein Kontaktbauteil, eine Vakuumschaltröhre mit einem solchen Kontaktbauteil oder durch eine Schaltanlage mit einer solchen Vakuumschaltröhre gelöst, indem ein Kontaktbauteil nach dem oben beschriebenen Verfahren hergestellt wird. Dabei werden die bereits im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren geschilderten Vorteile für das so hergestellte Kontaktbauteil erreicht.

[0030] Weitere Einzelheiten der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung beschrieben. Gleiche oder sich entsprechende Zeichnungselemente sind jeweils mit den gleichen Bezugszeichen versehen und werden nur insoweit mehrfach erläutert, wie sich Unterschiede zwischen den einzelnen Figuren ergeben.

[0031] Bei den im Folgenden erläuterten Ausführungsbeispielen handelt es sich um bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung. Bei den Ausführungsbeispielen stellen die beschriebenen Komponenten der Ausführungsformen jeweils einzelne, unabhängig voneinander zu betrachtende Merkmale der Erfindung dar, welche die Erfindung jeweils auch unabhängig voneinander weiterbilden und damit auch einzeln oder in einer anderen als der gezeigten Kombination als Bestandteil der Erfindung anzusehen sind. Des Weiteren sind die beschriebenen Ausführungsformen auch durch weitere der bereits beschriebenen Merkmale der Erfindung ergänzbar.

[0032] Es zeigen:

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens bei dem ein selektives Laserschmelzen zum Einsatz kommt, geschnitten dargestellt,

Fig. 2 ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei dem Pulver durch Riegeln dosiert wird, dreidimensional dargestellt,

Fig. 3 eine Vakuumschaltröhre, in der zwei Ausführungsbeispiele des Kontaktbauteils zum Einsatz kommen, geschnitten dargestellt,

Fig. 4 ein Ausführungsbeispiel für den Kontaktkopf einer Vakuumschaltröhre als anderes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Kontaktbauteils,

Fig. 5 ein Kontaktplättchen mit einer Kontaktschicht als weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Kontaktbauteils als teilweise aufgeschnittene Seitenansicht, wobei dieses Kontaktplättchen in einer Vakuumschaltröhre gemäß **Fig. 3** zum Einsatz kommen kann.

[0033] In **Fig. 1** ist eine Anlage zum Laserschmelzen dargestellt. Diese weist eine Prozesskammer **11** auf, in der eine absenkbar Bauplattform **12** zur Herstellung eines Pulverbetts **13** vorgesehen ist. Auf der Bauplattform **12** kann als Bauteil **14** ein mit einer Kontaktschicht **130** beschichtetes Kontaktplättchen **123** hergestellt werden, indem ein Energiestrah **15** in Form eines Laserstrahls von einem Laser **16** erzeugt und über einen Umlenkspiegel **17** durch ein Fenster **18** in der Prozesskammer **11** auf das Bauteil **14** gerichtet wird.

[0034] Die Herstellung des Bauteils **14** erfolgt lagenweise, wobei zu diesem Zweck die Bauplattform **12** sukzessive abgesenkt werden kann. Ein Pulver **19a** und ein Pulver **19b** können mittels eines Abstreifers **20a**, der in Richtung des dargestellten Doppelpfeils auf einer Traverse **27b** waagrecht verschiebbar ist, zur lagenweisen Befüllung des Pulverbetts **13** dosiert werden. Das Pulver **19a**, **19b** ist zu diesem Zweck jeweils in einem Pulvorrat **21** untergebracht, wobei ein axial verschiebbarer Dosierzylinder **22** die von dem Abstreifer **20a** zu transportierende Pulvermenge vorgibt. Ein weiteres Pulver kann in einem nicht dargestellten Pulvorrat untergebracht sein, der sich hinter der Zeichenebene befindet und durch einen nicht dargestellten Abstreifer rechtwinklig zu dem Doppelpfeil des dargestellten Abstreifers **20a** dosiert werden kann.

[0035] Mittels des Abstreifers **20a** kann in einer herzustellenden Lage auch beispielsweise sowohl das Pulver **19a** als auch danach das Pulver **19b** dosiert werden. Dabei erzeugt der Abstreifer beim axialen Verschieben während der Dosierung des Pulvers **19b** eine Pulvermischung aus beiden Pulvern **19a**, **19b**.

[0036] Mit einer als Rieseleinrichtung **20c** ausgeführten Dosiervorrichtung kann ein Pulver **19c** durch Rieseln auf dem Pulverbett **13** dosiert werden. Die Rieseleinrichtung **20c** weist einen Vorratsbehälter **25** auf, an den ein verschließbarer Dosiertrichter **26** angeschlossen ist. Dadurch kann das Pulver **19c** punktuell unterhalb des Dosiertrichters **26** auf dem Pulverbett **13** abgelegt werden. Um größere Flächenbereiche (partielle oder vollständige Fläche des Pulverbettes **13**) mit dem Pulver **19c** zu belegen, ist die Rieseleinrichtung **20c** auf einer Traverse **27a** verschiebbar gelagert, wobei die Traverse **27a** ihrerseits auf Schienen **28** senkrecht zur Zeichenebene verschiebbar ist. Mittels nicht dargestellter motorischer Antriebe kann die Rieseleinrichtung **20c** somit oberhalb der gesamten Fläche des Pulverbettes **13** verschoben werden.

[0037] Nach einer Dosierung des Pulvers **19c** kann mittels einer Walze **20b** ein Glätten der Oberfläche des Pulverbettes **13** erfolgen. Diese kann auf einer Traverse **27b** verschoben werden und rollt dabei über das Pulverbett **13**. soll die Walze als dosierte Einrichtung verwendet werden, so wird diese blockiert, damit

ein Rollen über das Pulverbett verhindert wird. Stattdessen begleitet die Walze **20b** dann wieder Abstreife **20a** über das Pulverbett. Die Traverse **27b** dient sowohl dem Abstreifer **20a** als auch der Walze **20b** als Führung, wobei ein motorischer Antrieb nicht näher dargestellt ist.

[0038] Durch aufeinander folgende Verwendung der Dosierungsvorrichtungen kann damit auf dem Pulverbett **13** eine Mischung von Pulvern erfolgen, so zum Beispiel des Pulvers **19c** einer ersten Pulverart, z.B. aus Kohlenstoff, und Pulver **19a** einer zweiten Pulverart, z.B. Kupfer. Stattdessen kann auch ein anderes Pulver **19b** einer zweiten Pulverart, bestehend aus Silber, verwendet werden.

[0039] Gemäß **Fig. 2** ist dargestellt, dass die Rieseleinrichtung **20c** statt mit einem Dosiertrichter **26** (vgl. **Fig. 1**) auch mit einer Pulverzuführung **29** ausgestattet sein kann, die einen nicht näher dargestellten Dosierschlitz aufweist. Hierdurch ist es möglich, das Pulver **19c** in kürzerer Zeit zu dosieren, wobei der Dosierschlitz der Breite des Pulverbettes **13**, gemessen senkrecht zur durch einen Doppelpfeil angedeuteten Bewegungsrichtung der Rieseleinrichtung **20c** entspricht. Weiterhin ist der Abstreifer **20a** dargestellt, der ebenfalls in Richtung des angedeuteten Doppelpfeils verschoben werden kann und bei dem Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 2** zum Glätten des durch Rieseln dosierten Pulvers **19c** dient.

[0040] Eine Vakuumschaltröhre **110** gemäß **Fig. 3** weist ein evakuiertes Gehäuse **111** auf, das im Wesentlichen aus zwei koaxial zueinander angeordneten hohlzylindrischen Keramikisolatoren **112** und **113** und zwei Deckeln **114** und **115** besteht. Durch die Deckel **114**, **115** sind Stromführungsbolzen **116**, **117** zu einer Kontaktanordnung **122** hindurchgeführt (der Stromführungsbolzen **116** ist zwecks Durchführen des Schaltvorgangs axial beweglich ausgeführt). Teil des Gehäuses ist auch ein Faltenbalg **118**, der einerseits mit dem Deckel **115** und andererseits mit dem Stromführungsbolzen **116** verlötet ist. Innerhalb des Gehäuses sind ein Hauptschirm **119** und als Abschirmelemente ein oberer Endschild **120** und ein unterer Endschild **121** angeordnet.

[0041] In der Vakuumschaltröhre **110** kommen zwei Kontaktbauteile **15a**, **15b** zum Einsatz. Das Kontaktbauteil **15b** ist über den Stromführungsbolzen **117** fest mit dem Gehäuse **111** verbunden und bildet damit den Festkontakt. Das Kontaktbauteil **15a** ist über den Stromführungsbolzen **116**, der axial beweglich ist, als Schaltkontakt ausgeführt. Die stirnseitigen Enden der Kontaktbauteile **15a**, **15b**, die einander gegenüberliegen, weisen jeweils die Kontaktschicht **130** auf, die sich auf je einem Kontaktplättchen **123** befindet, welches seinerseits auf dem Stromführungsbolzen **116** beziehungsweise dem Stromführungsbolzen **117** aufgelötet ist. Hierzu stellen die Stromführungs-

bolzen **116**, **117** jeweils einen Kontaktkopf **124** zur Verfügung, welcher mit Schlitzen **125** versehen ist.

[0042] Gemäß **Fig. 4** ist das Kontaktbauteil **15b** dargestellt, welches demjenigen gemäß **Fig. 3** ähnelt. Dieses unterscheidet sich von dem Kontaktbauteil **15b** gemäß **Fig. 3** jedoch dadurch, dass die Kontaktschicht **130** nicht auf einem Kontaktplättchen (vgl. **Fig. 3**, **Fig. 123**), sondern direkt auf dem Kontaktkopf **124** hergestellt ist. Außerdem weist die Kontaktschicht **130** Einsatzstrukturen **30** auf, die dem Magnetfeldaufbau während des Schaltvorganges und damit die Ausbreitung des Lichtbogens beeinflussen sollen. Die Einsatzstrukturen **30** führen dabei die Geometrie der Schlitze **125** fort, mit dem Unterschied, dass sie mit dem Material des Pulvers der ersten Pulverart ausgefüllt sind. Die Einsatzstrukturen **30** sowie in nicht dargestellter Weise die Schlitze **125** weisen in radialer Richtung einen bogenförmigen Verlauf auf.

[0043] Wie **Fig. 4** außerdem zu entnehmen ist, lassen sich die Einsatzstrukturen **30** nur erkennen, weil die Kontaktschicht **130** teilweise aufgeschnitten dargestellt ist. Der Schnitt liegt waagrecht in einer Ebene, in der die Einsatzstrukturen **30** in axialer Richtung des Kontaktbauteils **15** enden, das heißt, dass die folgenden Lagen, die die Kontaktfläche **126** ausbilden, ohne die Einsatzstruktur **30** hergestellt werden. Diese Lagen werden durch Mischen des Pulvers der ersten Pulverart, beispielsweise Silber, und Pulver der zweiten Pulverart, beispielsweise Kohlenstoff, und anschließendes Verfestigen der Pulvermischung erzeugt. Dabei stellt sich ein konstantes Mischungsverhältnis der beiden Pulver in diesem Bereich der Kontaktschicht **130** ein.

[0044] In **Fig. 5** ist dargestellt, wie in der Kontaktschicht **130** durch Mischen der ersten Pulverart und der zweiten Pulverart ein Konzentrationsgradient **31a**, **31r** eingestellt werden kann. Die Kontaktschicht **130** befindet sich auf einem Kontaktplättchen **123**, wie dieses bei dem Vakuumschalter gemäß **Fig. 3** zum Einsatz kommt.

[0045] Das Pulver der ersten Pulverart besteht aus Kohlenstoff **C**, welches als Partikel **32** in einer Matrix **33** aus Silber Ag eingebettet ist. Die maßstäblichen Verhältnisse gemäß **Fig. 5** entsprechen dabei nicht der Realität. Die Matrix aus Silber wird durch Aufschmelzen des Pulvers der zweiten Pulverart erzeugt, welches aus Silber besteht.

[0046] Zu erkennen ist, dass durch Mischen der beiden Pulverarten in axialer Richtung in aufeinanderfolgenden Lagen die Konzentration an Pulver der ersten Pulverart immer weiter angehoben wird, so dass die Konzentration an Kohlenstoff von einer Konzentration **K₁** an der Grenzfläche zwischen Kontaktplättchen **123** und Kontaktschicht **130** bis zu einer Konzentration **K₂** an der Kontaktfläche **126** ansteigt.

[0047] Gleichzeitig ist es auch möglich, die Konzentration des Kohlenstoffs innerhalb einer Lage lokal zu verändern. Dies ist in **Fig. 5** auch dargestellt, wobei die Konzentration an Kohlenstoff **K₂** in radialer Richtung ausgehend von der Mittelachse der Kontaktschicht **130** nach außen zunächst konstant bleibt. Im radial äußeren Bereich ergibt sich dann der Konzentrationsgradient **31r** bis zum Außenrand der Kontaktschicht, wobei sich am Rand die Konzentration **K₃** einstellt. Auf diese Weise kann der Konzentrationsgehalt **K** an Kohlenstoffpartikeln bedarfsgerecht gesteuert werden. Das Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 5** ist hier nur exemplarisch erläutert worden. Andere Konzentrationsverteilungen können bedarfsgerecht zum Einsatz kommen.

[0048] Beispielsweise weisen additiv hergestellte Kontaktschichten aus Silber mit eingelagerten Graphitpartikeln hervorragende elektrische Eigenschaften auf. Einerseits verringern die Graphitpartikel die Geschwindigkeit einer Abnutzung der Kontaktschicht. Andererseits lässt sich eine Kontaktschicht mit einer genügenden elektrischen Leitfähigkeit herstellen, die durch die eingelagerten Graphitpartikel nur in geringem Maße herabgesetzt wird.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 4133466 A1 [0002, 0003]
- EP 2838096 A1 [0004]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- V. I. Mali et al., Structure and Properties of Explosively Compacted Copper-Molybdenum, Combustion, Explosion, and Shockwaves, Vol. 38, No.4, pp. 473-4T1, 2002 [0006]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines Kontaktbauteils (15a, 15b) für einen elektrischen Schalter mit einer Kontaktfläche (126) zum Schließen eines elektrischen Kontaktes, wobei

- das Kontaktbauteil (15a, 15b) zumindest teilweise aus Pulver hergestellt wird und
- zur Herstellung unterschiedlicher Materialzusammensetzungen in dem Kontaktbauteil (15a, 15b) unterschiedliche Pulverarten verwendet werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein pulverbettbasiertes additives Fertigungsverfahren zum Einsatz kommt, bei dem
- das Kontaktbauteil (15a, 15b) zumindest teilweise in einer Folge von Lagen in einem Pulverbett (13) hergestellt wird,
- zur Herstellung der unterschiedlichen Materialzusammensetzungen Pulver (19a, 19b, 19c) unterschiedlicher Pulverarten in zumindest einem Teil der Lagen kombiniert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Pulver (19a, 19b, 19c) unterschiedlichen Pulverarten dadurch kombiniert werden, dass diese durch mehrere Dosiervorrichtungen (20a, 20b, 20c) in zumindest eine der zu erzeugenden Lagen des Pulverbettes (13) eingebracht werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens eine der Dosiervorrichtungen als Rieselvorrichtung (20c) ausgeführt ist und in einem Abstand über die Oberfläche des Pulverbettes (13) geführt wird, wobei das Pulver (19c) einer ersten Pulverart durch Rieseln dosiert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Oberfläche des Pulverbettes (13) nach der Dosierung durch Rieseln mit einer weiteren Dosiervorrichtung, insbesondere einem Abstreifer (20a) oder einer Walze (20b), geglättet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach der Dosierung von Pulver (19c) der ersten Pulverart Pulver (19a) einer zweiten Pulverart durch die weitere Dosiervorrichtung, insbesondere den Abstreifer (20a) oder die Walze (20b), dadurch dosiert wird, dass das Pulver (19a) der zweiten Pulverart mit dem Abstreifer (20a) oder der Walze (20b) von einem Pulvervorrat (21) auf das Pulverbett (13) verschoben wird.

6. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch mindestens eine der Dosiervorrichtungen (20a, 20b, 20c) das Pulver (19a, 19b, 19c) nur in einer Teilfläche des Pulverbettes (13) dosiert wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- das Pulver (19c) einer ersten Pulverart in einer Teilfläche der herzustellenden Lage des Pulverbettes (13) dosiert wird,
- danach zumindest ein Teil des Pulvers (19c) der ersten Pulverart durch eine Energiequelle verfestigt wird und
- danach Pulver einer zweiten Pulverart (19a) in derselben Lage dosiert wird und
- danach zumindest ein Teil des Pulvers (19c) der zweiten Pulverart durch eine Energiequelle verfestigt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Pulver (19c) der ersten Pulverart Chrom, Nickel, Wolfram, Eisen, Tantal, Niob, Molybdän, Rhenium, Titan, Zink, Kohlenstoff, SnO₂, WC, CdO, ZnO, Fe₂O₃, ZrO₂, MgO, NiO oder In₂O₃ enthält und das Pulver der zweiten Pulverart Silber oder Kupfer enthält.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus dem Pulver (19c) der ersten Pulverart in mehreren aufeinanderfolgenden Lagen eine Einsatzstruktur (30) erzeugt wird, die beim Verfestigen des Pulvers (19a) der zweiten Pulverart in dieses eingebettet wird.

10. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus Pulver (19c) einer ersten Pulverart und aus Pulver (19a) einer zweiten Pulverart eine Pulvermischung in der Lage des Pulverbettes (13) hergestellt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- das Pulver (19c) der ersten Pulverart Chrom, Nickel, Wolfram, Eisen, Tantal, Niob, Molybdän, Rhenium, Titan, Zink, Kohlenstoff, SnO₂, WC, CdO, ZnO, Fe₂O₃, ZrO₂, MgO, NiO oder In₂O₃ enthält
- und das Pulver (19a) der zweiten Pulverart Silber oder Kupfer enthält oder eine Mischung von Partikeln aus Silber oder Kupfer und Partikeln aus einem der Materialien Chrom, Nickel, Wolfram, Eisen, Tantal, Niob, Molybdän, Rhenium, Titan, Zink, Kohlenstoff, SnO₂, WC, CdO, ZnO, Fe₂O₃, ZrO₂, MgO, NiO oder In₂O₃ enthält.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Mischungsverhältnis zwischen dem Pulver (19c) der ersten Pulverart und dem Pulver (19a) der zweiten Pulverart in der Folge der Lagen verändert wird.

13. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kontaktbauteil (15a, 15b) durch additives Erzeugen einer Kontaktschicht (130) auf einem vorgefertigten Kontaktträger (123, 124) hergestellt wird.

14. Kontaktbauteil für eine elektrische Schaltanlage mit einer Kontaktschicht (130), **dadurch gekennzeichnet**, dass dieses nach einem Verfahren gemäß Anspruch 13 hergestellt ist.

15. Vakuumschaltröhre, **dadurch gekennzeichnet**, dass diese ein Kontaktbauteil (15a , 15b) gemäß Anspruch 14 aufweist.

16. Schaltanlage, **dadurch gekennzeichnet**, dass in diese eine Vakuumschaltröhre gemäß Anspruch 15 eingebaut ist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

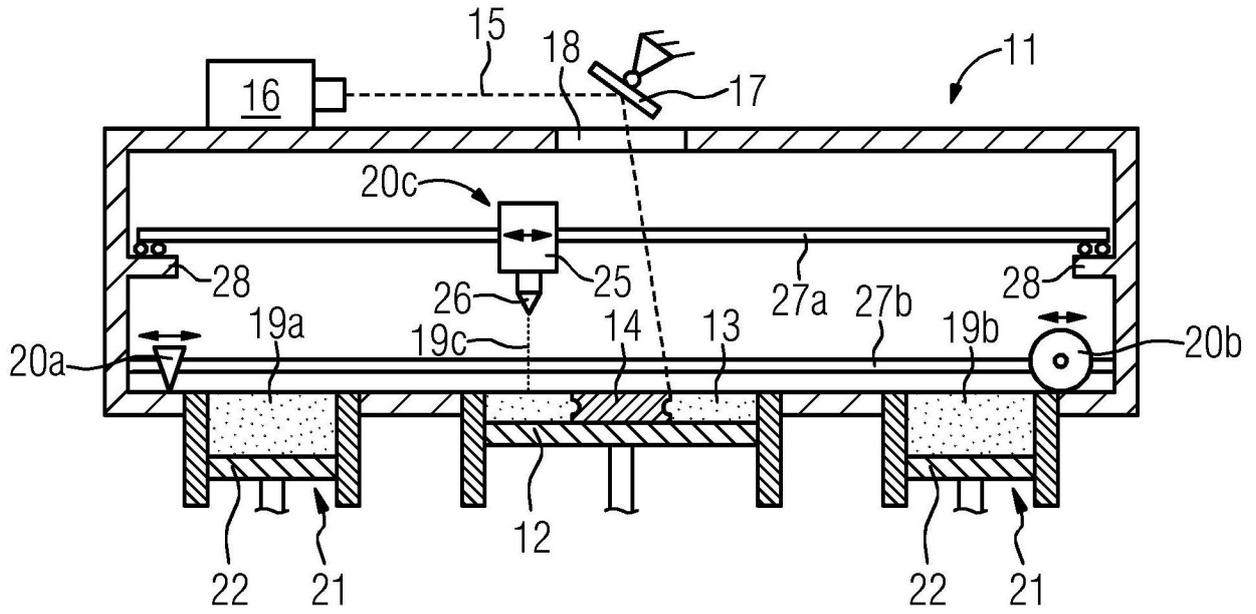


FIG 2

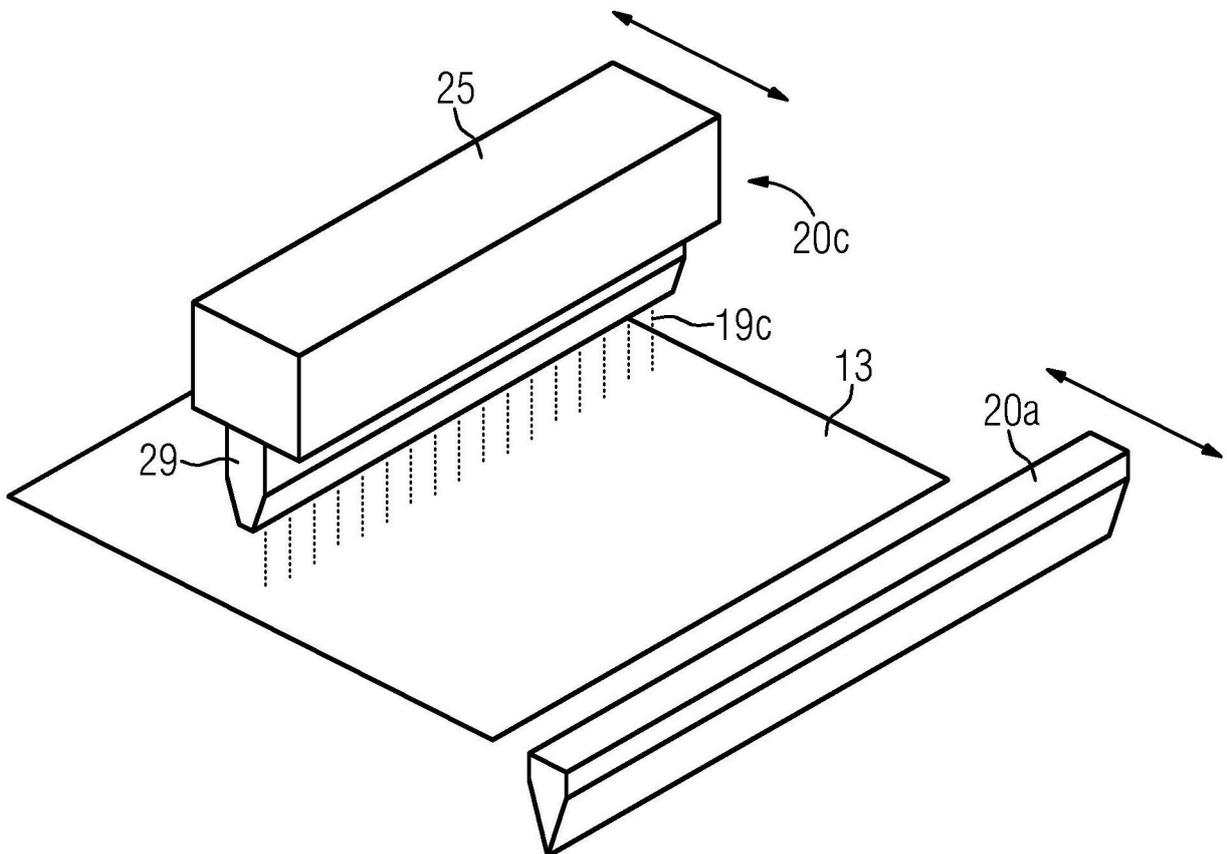


FIG 3

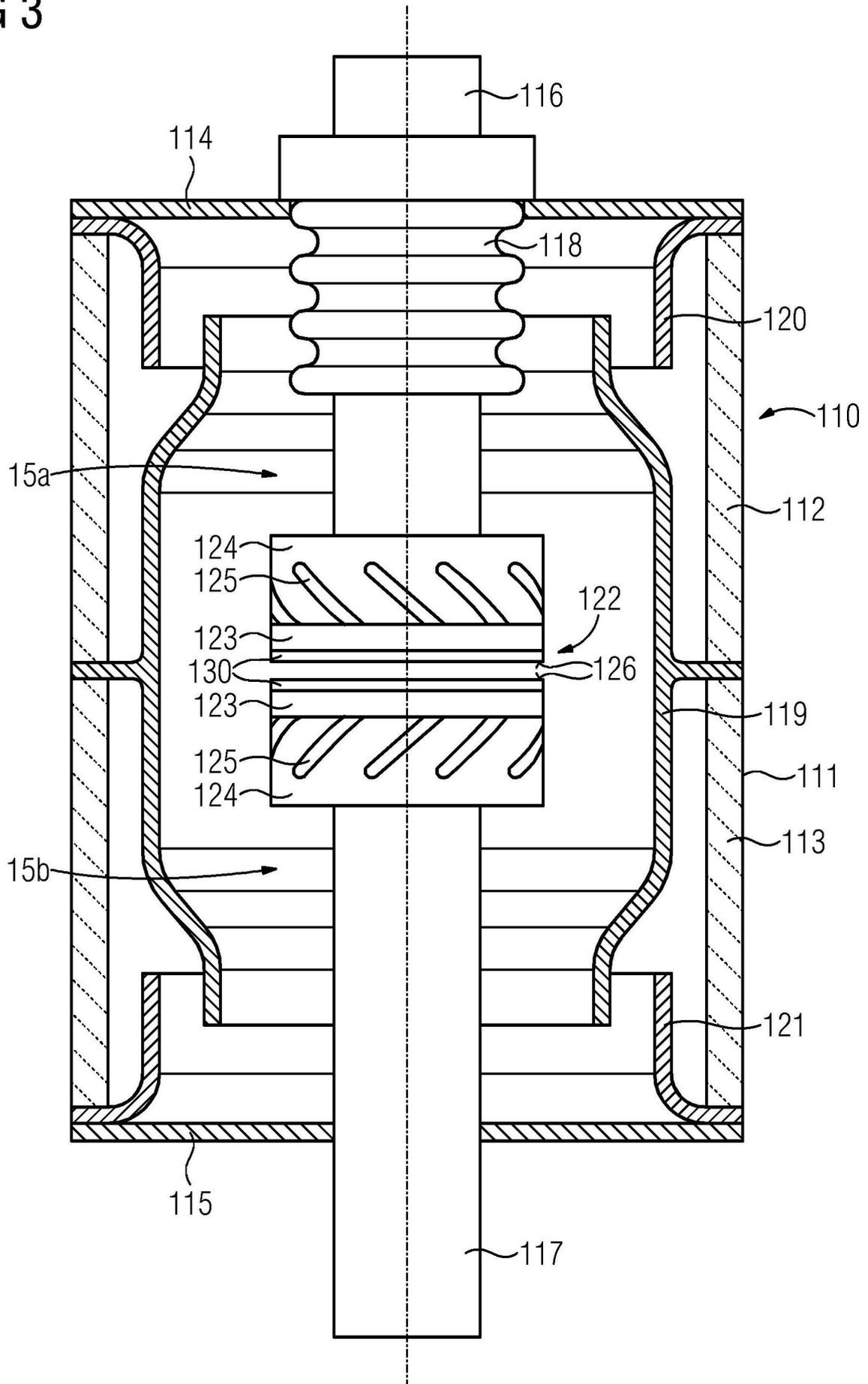


FIG 4

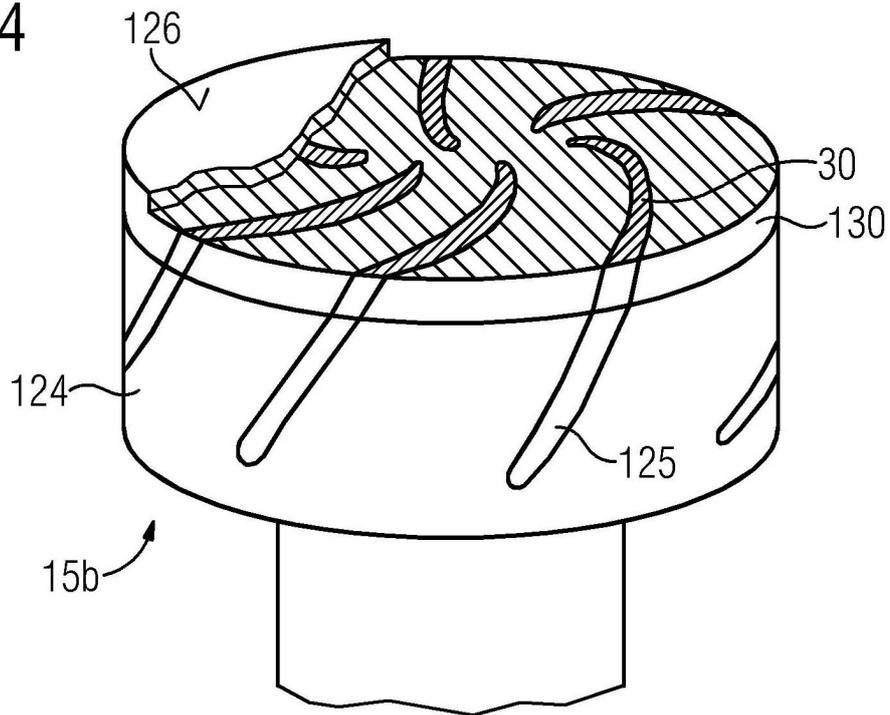


FIG 5

