

(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
28. Juni 2012 (28.06.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/083922 A1

- (51) **Internationale Patentklassifikation:**
B22F 3/105 (2006.01) C22C 26/00 (2006.01)
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/DE2011/002102
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
12. Dezember 2011 (12.12.2011)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**
10 2010 055 201.1
20. Dezember 2010 (20.12.2010) DE
- (71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US):** EADS DEUTSCHLAND GMBH [DE/DE]; Willy-Messerschmitt-Strasse 1, 85521 Ottobrunn (DE).
- (72) **Erfinder; und**
- (75) **Erfinder/Anmelder (nur für US):** BRANDL, Erhard [DE/DE]; Eichstätter Strasse 156, 85117 Eitensheim (DE). SANDER, Jörg [DE/DE]; Kelternweg 145, 89075 Ulm (DE). SCHOBERTH, Achim [DE/DE]; Ahornring 16, 82024 Taufkirchen (DE).
- (81) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart):** AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, 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, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Veröffentlicht:**
— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** METHOD FOR PRODUCING A COMPONENT

(54) **Bezeichnung :** VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES BAUTEILS

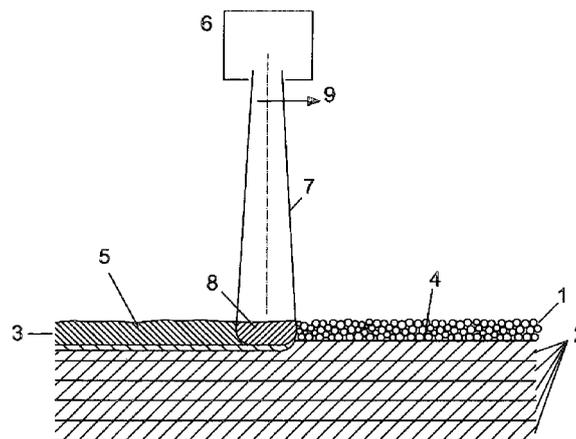


Fig. 1

(57) **Abstract:** In a method for producing a component with increased thermal conductivity by building it up layer by layer, at least one portion of the component is built up by steps which comprise at least the following: a) applying a layer portion with predetermined dimensions of a composite material of a metal and/or a metal alloy and particles of highly heat conductive material, which comprises diamond and/or cubic boron nitride, in a predetermined area on a base layer by melting the metal or the metal alloy by means of a heat source in such a way that the metal and/or the metal alloy form within the predetermined dimensions a contiguous matrix in which particles of the highly heat conductive material are embedded, and subsequently leaving it to cool down. A component that can be produced by the method, a method for producing the composite material and a composite material that can be produced by this method are likewise disclosed.

(57) **Zusammenfassung:**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2012/083922 A1



-
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

In einem Verfahren zum Herstellen eines Bauteils mit erhöhter Wärmeleitfähigkeit durch schichtweisen Aufbau wird zumindest ein Abschnitt des Bauteils durch Schritte aufgebaut, die zumindest das Folgende umfassen: a) Aufbringen eines Schichtabschnitts mit vorbestimmten Abmessungen eines Verbundwerkstoffs aus einem Metall und/oder einer Metalllegierung und Partikeln aus hochwärmeleitfähigem Material, das Diamant und/oder kubisches Bornitrid umfasst, in einem vorbestimmten Bereich auf einer Basisschicht durch Schmelzen des Metalls oder der Metalllegierung mittels einer Wärmequelle auf solche Weise, dass das Metall und/oder die Metalllegierung innerhalb der vorbestimmten Abmessungen eine zusammenhängende Matrix bilden, in der Partikel aus dem hochwärme leitfähigen Material eingebettet sind, und anschließendes Abkühlenlassen. Ein Bauteil, das durch das Verfahren herstellbar ist, ein Verfahren zur Herstellung des Verbundwerkstoffes und ein Verbundwerkstoff, der durch dieses Verfahren herstellbar ist, sind ebenfalls offenbart.

Verfahren zur Herstellung eines Bauteils

GEBIET DER ERFINDUNG

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Bauteils mit erhöhter Wärmeleitfähigkeit durch schichtweisen Aufbau und eines schichtweise aufgebauten Verbundwerkstoffes, ein durch das Verfahren herstellbares Bauteil und einen durch das Verfahren herstellbaren Verbundwerkstoff.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Viele industrielle, beispielsweise elektronische Komponenten und Prozesse erfordern während des Betriebs eine rasche und zuverlässige Abführung von Wärme, um eine Überhitzung und damit Beschädigung zu vermeiden oder den einwandfreien Betrieb der Komponente oder des Prozesses zu gewährleisten. Manche Komponenten oder Systeme von Komponenten, wie Laserkristalle oder in Satelliten verwendete Laser-Transmitter, erfordern eine extrem stabile Temperatur. Wenn eine Konvektionskühlung nicht möglich ist und eine Strahlungskühlung nicht ausreicht, muss die Wärme über die Wärmeleitung von geeigneten wärmeleitfähigen Materialien abgeführt werden.

Üblicherweise werden zum Abführen der Wärme Kühlkörper aus Legierungen auf der Basis der am besten wärmeleitenden Metalle, d.h. Kupfer (Cu), Silber (Ag) und Gold (Au), gefertigt. Diese Metalle haben eine Wärmeleitfähigkeit im Bereich von 350-400 W/mK. Die Dichte von Ag, Cu und Au ist jedoch vergleichsweise hoch, nämlich größer als 9 g/cm^3 , wodurch Kühlkörper aus diesen Metallen das Gesamtgewicht einer sie enthaltenden Vorrichtung deutlich erhöhen, was häufig unerwünscht ist. Legierungen auf Basis von Aluminium (Al) haben zwar eine deutlich

geringere Dichte (etwa $2,7 \text{ g/cm}^3$), aber auch eine geringere Wärmeleitfähigkeit bis maximal etwa 220 W/mK .

Es sind auch Metall-Diamant-Verbundwerkstoffe bekannt, die eine höhere Wärmeleitfähigkeit aufweisen als das zugrunde liegende Metall. Sie werden durch Flüssigmetall-Infiltration in das gesamte Pulverbett eines Diamantpulvers oder in gesamte Diamantpartikel-Vorformen hergestellt. Dabei wird zunächst das Metall, das sich auf der Vorform oder dem Pulverbett aus Diamant befindet, im Vakuum geschmolzen. Man lässt dann die Schmelze unter einem druckbeaufschlagten Gas das Pulverbett oder die Vorform infiltrieren. Auf diese Weise können jedoch nur Elemente mit einfacher und gewöhnlich flacher Geometrie wirtschaftlich gefertigt werden, da die mechanische Bearbeitung eines solchen Verbundwerkstoffs äußerst schwierig, zeitaufwändig und teuer ist.

Ferner ist es bekannt, ein Bauteil aus Metall oder einer Metalllegierung im schichtweisen Aufbau herzustellen (auch bekannt als generatives Herstellungsverfahren, Rapid Prototyping, Rapid Manufacturing oder Additive Layer Manufacturing (ALM)). Bei diesem Verfahren wird ein dreidimensionales CAD-Modell digital in dünne Schichten geschnitten; diese digitalen Daten werden in eine Steuervorrichtung eingespeist, die wiederum eine Wärmequelle sowie das Bereitstellen des Werkstoffpulvers steuert, aus dem das Bauteil Schicht für Schicht in endkonturnaher Form (auf Englisch "near net shape") aufgebaut wird. Das Grundprinzip des Aufbaus einer Schicht beruht auf einer kontinuierlichen lokalen Ablagerung von Metall oder einer Metalllegierung in Form von Pulver oder durch Abschmelzen von einem Draht oder Stab aus dem Metall oder der Metalllegierung, wobei das Metall oder die Metalllegierung durch eine bewegliche Wärmequelle (z.B. Laser- oder Elektronstrahl oder Lichtbogen) geschmolzen und anschließend wieder abgekühlt wird.

Verschiedene Formen des Auftragens einer Schicht mit Hilfe eines Pulverbetts sind dem Fachmann in englischer Sprache als Direct Metal Laser Sintering (DMLS), Selective Laser Sintering (SLS), Selective Electron Beam Melting (SEBM), LaserCusing oder Selective Laser Melting (SLM) bekannt. Das Auftragen einer Schicht durch Auftragschweißen mittels Pulverzufuhr ist dem Fachmann in englischer Sprache als Direct Metal Deposition (DMD), Laser Engineered Net Shaping (LENS), Laser Rapid Forming (LRF) oder Laser Cladding (LC) bekannt.

Die Aufgabe der Erfindung war es, eine hochwärmeleitfähige Struktur in endkonturnaher Form zu schaffen.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Dies wird ermöglicht durch ein Verfahren zum Herstellen eines Bauteils mit erhöhter Wärmeleitfähigkeit durch schichtweisen Aufbau, das dadurch gekennzeichnet ist, dass zumindest ein Abschnitt des Bauteils durch zumindest einmaliges Durchführen eines Schrittes aufgebaut wird, der zumindest das Folgende umfasst:

a) Aufbringen eines Schichtabschnitts mit vorbestimmten Abmessungen eines Verbundwerkstoffs aus einem Metall und/oder einer Metalllegierung und Partikeln aus hochwärmeleitfähigem Material, das Diamant und/oder kubisches Bornitrid umfasst, in einem vorbestimmten Bereich auf einer Basisschicht durch Schmelzen des Metalls oder der Metalllegierung mittels einer Wärmequelle auf solche Weise, dass das Metall und/oder die Metalllegierung innerhalb der vorbestimmten Abmessungen eine zusammenhängende Matrix bilden, in der Partikel aus dem hochwärmeleitfähigen Material eingebettet sind, und anschließendes Abkühlenlassen,

mit der Maßgabe, dass das Metall, sofern es nicht ein Bestandteil der Metalllegierung ist, nicht aus den Alkalimetallen und Calcium, Strontium, Barium und Radium ausgewählt ist.

In einer zweckmäßigen Ausführungsform ist das Verfahren dadurch gekennzeichnet, dass es das Aufbringen des Schichtabschnitts auf der Basisschicht durch einen der folgenden Schritte 1) bis 4) umfasst, welche umfassen:

- 1) Bereitstellen eines Pulverbetts aus einer Mischung von pulverförmigen Metall- und/oder Metalllegierungspartikeln und Partikeln des hochwärmeleitfähigen Materials, das Diamant und/oder kubisches Bornitrid umfasst, und/oder einer mechanischen Legierung von dem Metall und/oder der Metalllegierung und Partikeln des hochwärmeleitfähigen Materials auf der Basisschicht und Schmelzen des Metalls und/oder der Metalllegierung in einem Teilbereich des Pulverbetts mit vorbestimmten Abmessungen mittels einer Wärmequelle auf solche Weise, dass das Metall und/oder die Metalllegierung innerhalb der vorbestimmten Abmessungen eine zusammenhängende Matrix bilden, in der Partikel aus dem hochwärmeleitfähigen Material eingebettet sind, und anschließendes Abkühlenlassen;
- 2) Zufuhr von pulverförmigen Metall- und/oder Metalllegierungspartikeln und Partikeln des hochwärmeleitfähigen Materials, das Diamant und/oder kubisches Bornitrid umfasst, und/oder einer pulverförmigen mechanischen Legierung von dem Metall und/oder der Metalllegierung und Partikeln des hochwärmeleitfähigen Materials mittels einer oder mehrerer Düsen auf einen vorbestimmten Bereich der Unterlage und Schmelzen des Metalls und/oder der Metalllegierung mittels einer Wärmequelle auf solche Weise, dass das Metall und/oder die Metalllegierung innerhalb der vorbestimmten Abmessungen eine zusammenhängende Matrix bilden, in der Partikel aus dem hochwärmeleitfähigen Material eingebettet sind, und anschließendes Abkühlenlassen;
- 3) Einwirkenlassen einer Wärmequelle auf ein Ende eines hohlen Metall- und/oder Metalllegierungsdrahts oder -rohrs, in dessen Hohlraum Partikel des hochwärmeleitfähigen Materials, das Diamant und/oder kubisches Bornitrid umfasst, und/oder der mechanischen Legierung von dem Metall und/oder der Metall-

legierung und Partikeln des hochwärmeleitfähigen Materials angeordnet sind, auf solche Weise, dass der Teil des Metall- und/oder Metalllegierungsdrahts- oder -rohrs, auf den die Wärmequelle einwirkt, abgeschmolzen wird und innerhalb eines vorbestimmten Bereichs eine zusammenhängende Matrix bildet, in der Partikel des hochwärmeleitfähigen Materials eingebettet sind, und anschließendes Abkühlenlassen;

4) Bereitstellen eines Pulverbetts aus pulverförmigen Partikeln des hochwärmeleitfähigen Materials, das Diamant und/oder kubisches Bornitrid umfasst, und eines Drahtes oder Stabs aus dem Metall oder der Metalllegierung, Einwirkenlassen einer Wärmequelle auf ein Ende des Drahts oder Stabs auf solche Weise, dass der Teil des Drahts oder Stabs, auf den die Wärmequelle einwirkt, abgeschmolzen wird und als Schmelze einen vorbestimmten Abschnitt des Pulverbetts aus dem hochwärmeleitfähigen Material infiltriert und dessen Partikel in Form einer zusammenhängenden Matrix umgibt, und anschließendes Abkühlenlassen.

Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zum Herstellen eines Verbundwerkstoffes, bestehend aus einem Metall und/oder einer Metalllegierung und Partikeln aus hochwärmeleitfähigem Material, das Diamant und/oder kubisches Bornitrid umfasst, welches den vorstehenden Verfahrensschritt a) und bevorzugt die vorstehenden Verfahrensschritte 1) bis 4) und gegebenenfalls die weiteren hierin für das Herstellen des Bauteils beschriebenen Verfahrensschritte mit Ausnahme derjenigen, die das Herstellen von auch andere Materialien als den Verbundwerkstoff umfassenden Bauteilen betreffen, und das anschließende Abtrennen jeglicher Basisschicht, die nicht aus dem Verbundwerkstoff besteht, umfasst, wobei in dem Fall, in dem das hochwärmeleitfähige Material kein kubisches Bornitrid umfasst, zumindest ein weiterer Schichtabschnitt aus Verbundwerkstoff auf einer Basisschicht, die den zuvor aufgetragenen Schichtabschnitt aus dem Verbundwerkstoff umfasst, aufgebracht wird.

Ferner betrifft die Erfindung ein endkonturnahes wärmeleitendes Bauteil, das durch das vorgenannte erste Verfahren herstellbar ist, und einen Verbundwerkstoff aus einem Metall und/oder einer Metallegierung und Partikeln eines hochwärmeleitfähigen Materials, das Diamant und/oder kubisches Bornitrid umfasst, der durch das zweite vorgenannte Verfahren herstellbar ist.

KURZE BESCHREIBUNG DER FIGUREN

Fig. 1 stellt schematisch eine erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens dar.

Fig. 2 stellt schematisch eine zweite Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens dar.

Fig. 3 stellt schematisch eine dritte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens dar.

Fig. 4 stellt schematisch eine vierte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens dar.

Fig. 5 zeigt eine Komponente eines Laser-Transmitters, in der ein erfindungsgemäßes Bauteil als Wärmesenke für die Laserdioden verwendet wird.

Fig. 6 zeigt die Wärmeleitfähigkeitswerte von erfindungsgemäß hergestellten Aluminium-Diamant-Proben im Vergleich zu reinem Aluminium.

AUSFÜHRUNGSFORMEN DER ERFINDUNG

Metalle sind als wärmeleitfähige Stoffe insofern von Vorteil, als sie durch vielfältige Verfahren leicht zu allen gewünschten Formen verarbeitet werden können, unter anderem durch die eingangs erwähnte generative Herstellung von Bauteilen. Ihre Wärmeleitfähigkeiten sind aber im Vergleich zu einigen nicht-metallischen wärmeleitfähigen Substanzen, deren Gitter kovalente Bindungen aufweisen, beschränkt.

Die Metalle mit der höchsten Wärmeleitfähigkeit sind Ag, Cu und Au, deren Wärmeleitfähigkeiten 419 W/mK, 385 W/mK bzw. 320 W/mK betragen. Die Wärmeleitfähigkeit des unter anderem wegen seiner geringen Dichte interessanten Al beträgt nur 230 W/mK, seine spezifische, d. h. dichtebezogene Wärmeleitfähigkeit (87 W/m/K/g/cm^3) ist allerdings doppelt so hoch wie die von Cu.

Unter den isotropen wärmeleitenden nicht-metallischen Substanzen weist Diamant die höchste Wärmeleitfähigkeit auf (bis zu 2300 W/mK), gefolgt von kubischem Bornitrid (etwa 1700-1750 W/mK).

Reiner Diamant und reines kubisches Bornitrid (im Folgenden: cBN) können jedoch im Allgemeinen nicht zu vernünftigen Kosten zu Bauteilen verarbeitet werden.

Verbundwerkstoffe aus Ag-, Cu- oder Al- Matrixmaterial und Diamant sind bekannt und weisen Wärmeleitfähigkeiten auf, die höher sind als die der Matrixmetalle. Wie jedoch schon eingangs erwähnt, beschränken sich ihre Strukturen bedingt durch die Art der Herstellung auf einfache Formen, da eine mechanische Bearbeitung sehr schwierig ist.

Es wurde nun überraschend gefunden, dass sich eine Mischung (im breitesten Sinne) von Diamant und/oder cBN enthaltendem hochwärmeleitfähigem Material und Metall und/oder einer Metalllegierung auf ähnliche Weise wie reines Metall

oder eine reine Metalllegierung zur Verarbeitung in einem generativen Herstellungsverfahren (oder schichtweisem Aufbau oder ALM) eignet und sich somit auch komplexe Strukturen in endkonturnaher Form aus derartigen Verbundwerkstoffen herstellen lassen.

Allgemein gesprochen, wird auf einer Basisschicht lokal in einem vorbestimmten Bereich in dünner Schicht eine Mischung mit vorbestimmten Abmessungen erzeugt, die eine geschmolzene Metall- oder Metalllegierungsmatrix (im Folgenden kollektiv als "Metallmatrix" bezeichnet) mit darin eingebetteten Diamant- und/oder cBN-haltigen Partikeln umfasst. Diese ergibt nach Abkühlen einen Schichtabschnitt einer Struktur aus Verbundwerkstoff, die eine Metall- oder Metalllegierungsmatrix mit eingebetteten Diamant- oder cBN-haltigen Partikeln umfasst.

Dieser Vorgang kann bei Bedarf auf der Schicht, welche den oben gebildeten Schichtabschnitt aus Verbundwerkstoff umfasst oder aus diesem besteht, zumindest einmal wiederholt werden. In der Regel wird der Vorgang noch weitere Male, z.B. etwa 5-mal, etwa 10-mal, etwa 20-mal, etwa 100-mal oder noch öfter, wiederholt, bis die Schichten, welche die Abschnitte aus Verbundwerkstoff umfassen oder aus diesen bestehen, die gewünschte Gesamtdicke oder Geometrie aufweisen.

Die Grundfläche des Schichtabschnitts aus Verbundwerkstoff, der auf der Basisschicht gebildet wird, ist häufig kleiner als die Grundfläche der Basisschicht, z.B. umfasst sie etwa 90% oder weniger, 75% oder weniger, etwa 50% oder weniger, etwa 25% oder weniger etwa 10 % oder weniger, etwa 1% oder weniger, etwa 0,1% oder sogar noch weniger der Grundfläche der Basisschicht. Dies trifft insbesondere zu, wenn die Basisschicht die unterste Basisschicht des Bauteils, d.h. in der Regel die Bauplattform, ist. Insbesondere trifft dies für die nachstehend anhand der Figur 4 besprochene Ausführungsform 4 zu.

Die kleinstmögliche Grundfläche des Schichtabschnitts, d.h. die feinste herstellbare Struktur, hängt insbesondere von der Größe des Licht- oder Strahlflecks der eingesetzten Wärmequelle ab, wobei die Partikelgröße des hochwärmeleitfähigen Materials ebenfalls eine Rolle spielen kann. Sie liegt je nach verwendeter Verfahrensvariante häufig im Bereich von etwa 200 μm^2 bis etwa 4 mm^2 .

Das oder die im erfindungsgemäßen Verfahren eingesetzte(n) Metalle kann bzw. können, wenn es/sie in Form eines Elements vorliegt/vorliegen, aus allen Metallen des Periodensystems ausgewählt sein, ausgenommen die Alkalimetalle und Calcium, Barium, Strontium und Radium. Metalllegierungen können jedoch die letztgenannten Elemente enthalten.

Bevorzugte Metalle sind Al, Cu, Ag, Au, Titan (Ti), Magnesium (Mg), Zink (Zn), Zinn (Sn) und Eisen (Fe). Metalllegierungen auf der Basis von Al, Cu, Ag, Au, Ti, Mg, Zn, Sn und/oder Fe, d. h. auch gängige Werkstoffgruppen wie Messing, Bronze und Stahl, sind ebenfalls bevorzugt.

Unter "Metalllegierung" wird eine Legierung verstanden, die in erster Linie mindestens zwei verschiedene Metalle enthält, wie Messing oder Bronze, aber auch eine Legierung, die neben Metallen kleine Anteile an Nicht-Metallen wie Kohlenstoff (C), Stickstoff (N) oder Phosphor (P) enthält, wie das bei gewissen Stählen der Fall ist.

"Abkühlenlassen" bedeutet im Rahmen dieser Patentanmeldung, dass sich die Temperatur der Mischung so weit erniedrigt, bis diese fest wird. Dies geschieht im Regelfall durch einfaches Einwirkenlassen der Umgebungstemperatur, kann aber gegebenenfalls auch durch aktives Kühlen beispielweise mit einem Kühlfluid vorgenommen werden.

Das Metall und/oder die Metalllegierung (im Folgenden kollektiv als "Metall" bezeichnet), welche(s) die Matrix bildet, wird mit Hilfe einer Wärmequelle, die bevorzugt beweglich ist, geschmolzen, wobei auch die darunter liegende Verbundwerkstoffschicht oder andere Basisschicht angeschmolzen wird (es sei denn, diese ist unter den Bedingungen nicht anschmelzbar). Dies ist erwünscht, weil dadurch die Schichten aneinander haften.

Häufig wird das Bilden einer geschmolzenen Metall- oder Metalllegierungsmatrix (im Folgenden kollektiv als "Metallmatrix" bezeichnet) mit darin eingebetteten Diamant- und/oder cBN-haltigen Partikeln und das anschließende Abkühlen in einem angrenzenden Bereich auf derselben Basisschicht wiederholt, um eine Struktur aus Verbundwerkstoff mit den gewünschten Abmessungen zu erzeugen.

Bei der bevorzugt beweglichen Wärmequelle kann es sich beispielsweise um einen Laserstrahl, UV-Licht, einen Partikelstrahl (z.B. Ionenstrahl), einen Elektronenstrahl oder um einen Lichtbogen handeln (wobei in den beiden letztgenannten Fällen die Metallmatrix auf Masse liegt). Die Laserwellenlängen können in jedem Wellenlängenbereich liegen, der von dem Metall absorbiert wird. Als Beispiele seien ein CO₂-Laser, ein Nd:YAG-Laser oder ein UV-Laser genannt.

Die Leistungsabgabe der Wärmequelle kann kontinuierlich oder gepulst sein. Die Leistungsdichte der Wärmequelle richtet sich nach dem Energiebedarf, um das Metall zu schmelzen. Im Allgemeinen liegt sie in der Größenordnung von 10 kW/cm² bis 100 kW/cm².

Bei der Verwendung eines Laserstrahls, UV-Lichts oder Lichtbogens als Wärmequelle muss ein Inertgas, wie ein Edelgas oder Stickstoff, als Schutzgas oder Schutzatmosphäre verwendet werden. Bei der Verwendung eines Elektronen-

strahls oder eines Partikelstrahls (z.B. Ionenstrahls) wird wie erforderlich im Vakuum gearbeitet.

Im Allgemeinen wird das Verfahren so durchgeführt, dass mit einer beweglichen Wärmequelle der obige Schritt a) oder einer der obigen Schritte 1) bis 4) auf derselben Basisschicht bei kontinuierlicher Leistungsabgabe der Wärmequelle fortlaufend durchgeführt wird oder bei pulsformiger Leistungsabgabe der Wärmequelle fortlaufend so häufig wiederholt wird, bis eine vorbestimmte Abmessung des Schichtabschnitts erzielt wird.

Auf derselben Basischicht können auch mehrere aneinanderstoßende oder separate Schichtabschnitte aus dem Verbundwerkstoff gegebenenfalls auch durch unterschiedliche, den obigen Schritten 1) bis 4) entsprechende Verfahrensvarianten aufgebracht werden.

Das Verfahren der Erfindung kann bei einer umgebenden Temperatur durchgeführt werden, die Raumtemperatur (im Allgemeinen etwa 20 °C bis etwa 26°C) oder, zumindest während eines Teils des Verfahrens, eine erhöhte Temperatur im Bereich von etwa 30% bis etwa 60% der Soliduslinie (°C) des Metalls oder der Metalllegierung ist. Im letztgenannten Fall wird das Bauteil nach Fertigstellung im Allgemeinen auf Raumtemperatur abkühlen gelassen. Bei der erhöhten Temperatur wird insbesondere bevorzugt gearbeitet, wenn dünnwandige Bauteile hergestellt werden. Ohne durch eine Theorie gebunden sein zu wollen, wird angenommen, dass auf diese Weise durch das Herabsetzen der Temperaturdifferenzen im Bauraum Eigenspannungen und Verzug des Bauteils minimiert und durch das Herabsetzen der Erstarrungsgeschwindigkeit die Mikrostruktur/das Gefüge des Verbundwerkstoffs bedarfsorientiert eingestellt werden können.

Die Diamant- und/oder cBN-haltigen Partikel, die im erfindungsgemäßen Verfahren eingesetzt werden, weisen im Allgemeinen längste Längenabmessungen auf, die zumindest zu 95% im Bereich von etwa 4 µm bis etwa 500 µm liegen, wobei je nach der verwendeten Durchführungsform des Verfahrens z.B. ein Bereich von etwa 6 µm bis etwa 200 µm, z.B. etwa 6 µm bis 60 µm, von etwa 50 µm bis etwa 350 µm oder von etwa 60 µm bis etwa 200 µm bevorzugt sein kann. Die Größenverteilung kann monomodal sein, ist aber bevorzugt bimodal oder trimodal, um eine dichtere Packung der Diamant- und/oder cBN-haltigen Partikel zu gewährleisten.

Wenn das Metall oder die Metalllegierung in Form von Partikeln eingesetzt wird, die geschmolzen werden, liegt die längste Längenabmessung von mindestens 95 % der Partikel im Bereich von etwa 10 µm oder etwa 20 µm bis etwa 400 µm, bevorzugt etwa 30 µm bis etwa 120 µm.

Die zusammenhängende Metallmatrix darf in dem gebrauchsfertigen Bauteil keine Hohlräume enthalten, da dies die Wärmeleitfähigkeit beeinträchtigen würde.

Eine gute Benetzung und Haftung der Diamant- und/oder cBN-haltigen Partikel durch das Metall bzw. an dem Metall ist ebenfalls essentiell für eine gute Wärmeleitfähigkeit des Verbundwerkstoffs. Zu diesem Zweck kann die Oberfläche von Diamant- und/oder cBN-Kristallen durch eine Wärmebehandlung in einer oxidierenden Atmosphäre bei mäßig hohen Temperaturen (z.B. 800 °C) angeätzt oder aufgeraut werden. Auch durch gewisse Beschichtungen der Oberfläche der Diamant- und/oder cBN-Partikel, z.B. mit SiC oder AlN, kann die Benetzung der Oberfläche durch das Metall und die Haftung an diesem verbessert werden. Insbesondere in diesem Fall kann sich die nachstehend erörterte Wärmebehandlung des Verbundwerkstoffs nach dessen Herstellung erübrigen.

Diamant und cBN beginnen unter Atmosphärendruck bei etwa 1500-1600°C sich in Graphit bzw. hexagonales Bornitrid umzuwandeln. Diese Phasenänderung beginnt bei allseitiger Erwärmung von außen an der Oberfläche und schreitet dann in das Innere des Kristalls fort. Wenn der Diamant- oder cBN-Kristall nur für eine sehr kurze Zeit bei dieser Temperatur oder darüber hinaus erwärmt wird, wird die Umwandlung in der Regel nur zu einem vernachlässigbaren Ausmaß stattfinden. Ferner werden in solchen Fällen vorteilhaft (z.B. mit SiC, AlN) beschichtete Kristalle verwendet.

cBN kann bei erhöhten Temperaturen auch mit gewissen Metallen reagieren. Auch hier empfiehlt sich eine kurze Erwärmungszeit bei derartigen Temperaturen sowie z.B. eine oxidische Passivierung oder Passivierung durch Beschichtung der Oberfläche.

In dem Fall, in dem die Metallmatrix noch Defekte wie z.B. Hohlräume aufweist, und/oder zur Verbesserung der Haftung des Metalls an der Oberfläche kann der Verbundwerkstoff nach Herstellung einer Wärmebehandlung bei Atmosphärendruck oder unter Vakuum oder auch bei erhöhtem Druck ("Heißpressen" oder "heißisostatischem Pressen") unterzogen werden.

Die Wärmebehandlung wird im Allgemeinen bei Temperaturen von etwa 40 bis 80 %, häufig bei etwa 55 % der Schmelztemperatur (in °C) des Metalls durchgeführt. Die Zeitdauer kann, wenn bei Atmosphärendruck gearbeitet wird, Minuten bis mehrere Stunden betragen. Bei einer Wärmebehandlung mittels heißisostatischen Pressens, das gewöhnlich über etwa 1 bis etwa 4 Stunden durchgeführt wird, werden im Allgemeinen Drücke des Schutzgases von etwa 50 bis etwa 200 MPa angewandt. Der Erfolg der Wärmebehandlung (d.h. Verbesserung der Haftung des Metalls an der Oberfläche des hochwärmeleitfähigen Materials und De-

fektfreiheit der Metallmatrix) kann z.B. elektronenmikroskopisch oder durch Wärmeleitfähigkeitsmessung überwacht werden.

Der Anteil des hochwärmeleitfähigen Materials im Verbundwerkstoff beträgt im Allgemeinen etwa 40 Vol.-% oder weniger bis etwa 80, gewöhnlicher etwa 60 Vol.-%. In den nachstehend ausführlicher besprochenen Verfahren 1) bis 4) wird dies noch näher erläutert.

Die Wärmeleitfähigkeit des Verbundwerkstoffs ist im Allgemeinen umso höher, je höher die Konzentration des hochwärmeleitfähigen Materials ist. Die Konzentration des hochwärmeleitfähigen Materials kann, falls erwünscht, in verschiedenen Schichten variieren, so kann zum Beispiel mindestens eine Schicht eine andere Konzentration aufweisen als die restlichen Schichten.

Die Schichtdicken der einzelnen Verbundwerkstoffschichten sind sehr variabel und variieren mit der speziellen verwendeten Verfahrensvariante (siehe die nachstehend besprochenen Verfahrensvarianten 1) bis 4)). Im Allgemeinen liegen sie in einem Bereich von etwa 20 μm bis zu etwa 2 mm, gegebenenfalls aber auch darunter, wenn sehr kleine Partikel des hochwärmeleitfähigen Materials eingesetzt werden, oder in speziellen Ausführungsformen, wie nachstehend erörtert, auch darüber.

Üblicherweise besitzen die feinsten Strukturen, die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt werden, Abmessungen im Größenbereich von einigen μm , z.B. etwa 20, etwa 40 oder etwa 50 μm , wenn kleine Partikel des hochwärmeleitfähigen Materials eingesetzt werden. Die obere Grenze der Größe der Strukturen ist eine Frage der Größe der Herstellungsanlage. Derzeit sind Bauteile mit einer Größe bis zu 350 mm mit den nachstehend im Zusammenhang mit den Figuren 1 und 4 beschriebenen Ausführungsformen 1 und 4 und problemlos von 500 mm

oder mehr mit den nachstehend im Zusammenhang mit den Figuren 2 und 3 beschriebenen Ausführungsformen 2 und 3 herstellbar.

Im Folgenden werden anhand der Figuren 1 bis 4 vier unterschiedlichen oben definierten Ausführungsformen 1) bis 4) des erfindungsgemäßen Verfahrens beschrieben, die hauptsächlich verwendet werden, um die Mischung zu erzeugen, die eine geschmolzene Metall- oder Metalllegierungsmatrix und darin eingebettete Diamant- und/oder cBN-haltige Partikel umfasst.

In einer ersten Ausführungsform des Verfahrens wird, wie in Fig. 1 schematisch dargestellt, ein Pulverbett 1 aus einer Mischung von pulverförmigen Metall- und/oder Metalllegierungspartikeln und Partikeln des hochwärmeleitfähigen Materials, das Diamant und/oder kubisches Bornitrid umfasst, und/oder einer mechanischen Legierung von dem Metall und/oder der Metalllegierung und Partikeln des hochwärmeleitfähigen Materials (im Folgenden kollektiv als Werkstoffpulver 4 bezeichnet), lokal auf einer Basisschicht, z.B. auf der obersten von mehreren hergestellten Verbundwerkstoffschichten 2, aufgetragen. Eine bewegliche, in der Regel computergesteuerte Wärmequelle 6 erzeugt einen Strahl oder Lichtbogen 7, der das Werkstoffpulver und die darunter liegende Basisschicht an deren Oberfläche lokal aufheizt. Es entsteht ein "Schmelzbad" 8, in dem das Metall im Werkstoffpulver geschmolzen wird. Die darunter liegende Verbundwerkstoffschicht 2 wird an der Kontaktfläche zum Werkstoffpulver 4 ebenfalls angeschmolzen oder erweicht. Wenn die Wärmequelle 6 und damit der Strahl oder Lichtbogen 7 in Richtung 9 des noch ungeschmolzenen Werkstoffpulvers 4 weiterbewegt wird, kühlt das geschmolzene Werkstoffpulver 4 ab und es entsteht in der Schicht 3, die sich teilweise aus Werkstoffpulver 4 und dem aufgeschmolzenen Verbundwerkstoff 5 zusammensetzt, ein Schichtabschnitt aus erstarrtem Verbundwerkstoff 5 mit definierten Abmessungen an einer vorbestimmten Position.

Durch das aufeinanderfolgende Aufschmelzen und Erstarren von Verbundwerkstoffschichten wird Schicht für Schicht das Bauteil oder ein Abschnitt des Bauteils aus dem Verbundwerkstoff endkonturnah erzeugt. Nicht aufgeschmolzene Pulverteile werden nach dem Gesamtherstellungsvorgang entfernt.

Das Werkstoffpulver 4 kann durch einfaches mechanisches Mischen, z.B. in einem Trommelmischer, von Metall oder Metalllegierung und hochwärmeleitfähigem Material hergestellt werden. Es kann sich bei dem Werkstoffpulver 4 aber auch um eine pulverförmige sogenannte mechanische Legierung handeln. Diese kann hergestellt werden, indem das Metall oder die Metalllegierung in Gegenwart des hochwärmeleitfähigen Materials z.B. in einer Kugelmühle oder einem Attritor plastisch verformt wird und sich dabei die Partikel des hochwärmeleitfähigen Materials in diese(s) einlagern. Nach dem Mahlen entstehen zum großen Teil mit Aluminium bedeckte Diamantpartikel. Dadurch kann das Absetzen von Pulverkörnern aufgrund der unterschiedlichen Dichte und Größe von Aluminium-Diamant-Schüttungen (z.B. durch Schwingungen) verhindert werden.

Die Größe der Metall- oder Metalllegierungspartikel im Pulverbett beträgt im Allgemeinen etwa 4, etwa 6, etwa 10, etwa 20 oder etwa 30 bis etwa 100 μm , die der Partikel des hochwärmeleitfähigen Materials im Allgemeinen etwa 4 bis etwa 200 μm , bevorzugt etwa 60 bis etwa 200 μm .

Die Schichtdicke des Pulverbetts 1 bzw. des Werkstoffpulvers 4 liegt im Allgemeinen im Bereich von etwa 20 μm bis 350 μm , z.B. etwa 100 bis etwa 250 μm , und insbesondere bei etwa 200 μm . Die Schichtdicke des entstandenen Verbundwerkstoffs 5 ist etwas geringer als die Schichtdicke des Pulverbetts 1, jedoch nicht wesentlich.

Die Geschwindigkeit, mit der die Lichtquelle im vorstehenden Verfahren weiterbewegt wird, beträgt in etwa 500-1000 mm/s, kann aber je nach Bedarf auch geringer oder sehr viel höher sein, z.B. bei einem magnetisch bewegten Elektronenstrahl etwa 1.000.000 mm/s.

Die Zeitspanne, in der das Pulver in dieser Verfahrensvariante einer Erwärmung ausgesetzt wird, liegt im Allgemeinen im Bereich von Bruchteilen von Sekunden, z. B. von etwa 1 Millisekunde bis etwa 100, etwa 150 oder etwa 200 Millisekunden.

Die Abkühlungsgeschwindigkeit des geschmolzenen Werkstoffpulvers kann in dieser Verfahrensvariante sehr hoch sein, z.B. bis zu etwa 5.000 °C pro s.

Die Konzentrationen des hochwärmeleitfähigen Materials im entstandenen Verbundwerkstoff liegen bei dieser Ausführungsform des Verfahrens im Allgemeinen im Bereich von etwa 40 Vol.-% oder weniger bis etwa 70 Vol.-%.

Das Pulverbett kann vor Einwirkung der Wärmequelle einer Wärmebehandlung bei etwa 30-60% der Soliduslinie (°C) unterzogen werden.

Falls z.B. durch Elektronenmikroskopie oder eine sonstige Werkstoffprüfung festgestellt wird, dass die Metallmatrix nach Einwirkung der Wärmequelle und Abkühlen nicht vollständig hohlraumfrei ist oder nicht ausreichend an der Oberfläche des hochwärmeleitfähigen Materials haftet, wird eine anschließende Wärmebehandlung bei Atmosphärendruck oder unter Vakuum oder ein wie oben beschriebenes heißisostatisches Pressen durchgeführt. Dies gilt auch für die weiteren beschriebenen Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Mit der vorstehenden Ausführungsform des Verfahrens können sehr komplexe Bauteile auch mit hinterschnittenen Strukturen und Strukturen, die nur im Inneren den Verbundwerkstoff enthalten, hergestellt werden. Die Strukturen können so geringe Abmessungen wie etwa 20 µm oder sogar darunter aufweisen, wenn kleine Partikel des hochwärmeleitfähigen Materials eingesetzt werden.

Fig. 2 zeigt schematisch eine zweite Ausführungsform des Verfahrens zum schichtweisen Aufbau eines Bauteils, bei dem Werkstoffpulver 4 nicht als Pulverbettschicht, sondern lokal aufgetragen wird ("Pulverzufuhr-Verfahren"). Auf einer Verbundwerkstoffschicht 12, die durch Aufschmelzen erzeugt wurde, wird eine weitere Verbundwerkstoffschicht 5 aufgeschmolzen. Über eine Düse 10 wird ungeschmolzenes Werkstoffpulver 4 in Richtung 13 auf einem Bereich aufgebracht, der unter Einwirkung des Strahls oder Lichtbogens 7 der Wärmequelle 6 ein Schmelzbad 8 bildet, in dem das Werkstoffpulver 4 bzw. genauer dessen Metallanteil schmilzt. Die darunter liegende Werkstoffschicht 12 wird an der Oberfläche ebenfalls angeschmolzen oder erweicht.

Wenn der Strahl 7 bzw. die Düse 10 in Richtung 9 weiterwandert, kühlt das geschmolzene Werkstoffpulver 4 ab und es entsteht die Verbundwerkstoffschicht 5. Durch sukzessives Aufbringen, Schmelzen des Werkstoffpulvers 4 und Abkühlen wird Schicht für Schicht das Bauteil oder ein Abschnitt eines Bauteils aus dem Verbundwerkstoff erzeugt. Nicht aufgeschmolzene Pulverteile werden entfernt.

Die Düse 10 ist beweglich und mit der Energiequelle 6 so verbunden, dass beide allein oder zusammen bewegt werden können. Durch das Auftragen des Werkstoffpulvers über die Düse 10 wird das Werkstoffpulver genau positioniert.

Das Werkstoffpulver 4 kann über die Düse 10 variabel zugeführt und in seiner Zusammensetzung variiert werden.

Die Größe der Partikel des Werkstoffpulvers 4 ist in der Verfahrensvariante mit Pulverauftrag durch Düsen in der gleichen Größenordnung wie in der Pulverbett-Verfahrensvariante (siehe oben).

Es können eine oder mehrere Düsen zum Aufsprühen des Werkstoffpulvers verwendet werden (z.B. um Metallpartikel und Partikel des hochwärmeleitfähigen Materials getrennt aufzubringen, wodurch deren Volumenverhältnis leichter variiert werden kann). Die Düse(n) kann/können koaxial (was üblich ist) oder lateral zum Strahl 7 angeordnet sein. Der Strahl 7 kann auch koaxial umhüllend zum zentralen Pulverstrahl 4 angeordnet sein.

Die Geschwindigkeit, mit der die Lichtquelle und die Düse(n) in der Pulverzufuhr-Verfahrensvariante weiterbewegt werden, beträgt im Allgemeinen etwa 10 bis etwa 40 mm/s, kann aber je nach Bedarf auch geringer oder höher sein.

Die Schichtdicken des mit der Pulverzufuhr-Verfahrensvariante erzeugten Verbundwerkstoffs liegen im Allgemeinen im Bereich von etwa 20 μm bis 2 mm, bevorzugt im Bereich von etwa 200 bis etwa 500 μm und insbesondere bei etwa 400 μm .

Die Zeitspannen, in denen das Pulver bei dieser Ausführungsform einer Erwärmung ausgesetzt wird, liegen im Allgemeinen im Bereich von etwa einer zehntel Sekunde bis zu etwa einer Sekunde. Die Abkühlungsgeschwindigkeit des geschmolzenen Werkstoffpulvers kann hoch sein, z.B. bis zu etwa 3000 °C pro s.

Die Konzentrationen des hochwärmeleitfähigen Materials im entstandenen Verbundwerkstoff liegen bei der Pulverzufuhr-Verfahrensvariante im Allgemeinen im Bereich von etwa 40 Vol.-% oder weniger bis etwa 70 Vol.-%.

Auch mit der Pulverzufuhr-Verfahrensvariante ist eine vielfältige Komplexität der Struktur der hergestellten Bauteile erzielbar, beispielsweise können innere Strukturen und ähnlich wie bei der Pulverbett-Verfahrensvariante sehr feine Strukturen leicht hergestellt werden.

Fig. 3 zeigt schematisch eine dritte Ausführungsform des Verfahrens zum schichtweisen Aufbau eines Bauteils, bei dem zum Aufbringen eines Werkstoffpulvers ein hohler Metalldraht oder ein Metallrohr 14 verwendet wird, der bzw. das Partikel 15 des hochwärmeleitfähigen Materials oder der vorstehend erläuterten mechanischen Legierung von Metall oder Metalllegierung und hochwärmeleitfähigem Material enthält. Der Draht hat im Allgemeinen einen Durchmesser von etwa 1 bis etwa 2 oder auch etwa 3 mm. Ovale Drähte, Flachdrähte oder Rechteckdrähte können auch eingesetzt werden. Die Dicke beträgt dann im Allgemeinen bis zu etwa 3 mm, die Breite bis zu etwa 8 mm. Das Rohr hat im Allgemeinen einen Durchmesser von etwa 2 oder etwa 3 mm bis 4 mm, kann aber gegebenenfalls auch einen größeren Durchmesser aufweisen.

Der Strahl oder Lichtbogen 7 der Wärmequelle 6 trifft auf den Draht oder das Rohr 14 und schmilzt es. Die Partikel 15 des hochwärmeleitfähigen Materials oder der mechanischen Legierung im Draht oder Rohr 14 fallen auf die Basisschicht 12 und bilden in der Wärme des Strahls 7 zusammen mit dem Metall des Drahts oder Rohrs ein Schmelzbad 8, in dem die Metallmatrix das hochwärmeleitfähige Material einschließt. Die darunter liegende Verbundwerkstoffschicht 12 wird an der Oberfläche ebenfalls angeschmolzen oder erweicht.

Wenn der Strahl 7 weiterwandert in Richtung 9, kühlt das Material im Schmelzbad 8 ab und es entsteht eine Schicht 5 aus Verbundwerkstoff.

Die Größe der Partikel 15 aus dem hochwärmeleitfähigen Material oder der mechanischen Legierung in dem Draht oder Rohr 14 liegt im Allgemeinen im Bereich von etwa 20 μm bis etwa 400 μm .

Die Geschwindigkeit, mit der die Lichtquelle 6 und der Draht oder das Rohr 14 in weiterbewegt werden, beträgt im Allgemeinen etwa 10 bis etwa 40 mm/s, kann aber je nach Bedarf auch geringer sein.

Die Schichtdicken der hier erörterten Verfahrensvariante liegen im Allgemeinen im Bereich von etwa 1 bis zu etwa 2mm oder etwa 3 mm oder in der Größenordnung der Abmessungen des Draht- oder Rohrquerschnitts.

Die Zeitspannen, in denen das Material im Schmelzbad einer Erwärmung ausgesetzt wird, liegen im Allgemeinen im Bereich von einer zehntel Sekunde bis etwa 1 oder 2 Sekunden. Die Abkühlungsgeschwindigkeit der Schmelze ist geringer als in den bei den vorstehend erörterten Verfahrensvarianten und liegt im Allgemeinen bei etwa 500 bis etwa 2000 $^{\circ}\text{C}$ pro s.

Die Konzentrationen des hochwärmeleitfähigen Materials im entstandenen Verbundwerkstoff liegen im Allgemeinen im Bereich von etwa 40 Vol.-% oder weniger bis etwa 60 Vol.-%.

Die hier erörterte Verfahrensvariante eignet sich besonders zur Herstellung großer endkonturnaher Strukturen.

Fig. 4 zeigt schematisch als vierte Ausführungsform des Verfahrens zum schichtweisen Aufbau eines Bauteils ein lokales Infiltrationsverfahren, bei dem ein Metalldraht 16 im Strahl oder Lichtbogen 7 einer Wärmequelle 6 geschmolzen wird. Die Metallschmelze 17 infiltriert aufgrund der Schwerkraft lokal ein Pulverbett 19

aus Partikeln von hochwärmeleitfähigem Material 20 auf der obersten Schicht von Verbundwerkstoffschichten 2. Es wird eine geschmolzene Matrix 18 gebildet, die Partikel des hochwärmeleitfähigen Materials 20 einschließt. Die darunter liegende Verbundwerkstoffschicht wird an der Oberfläche ebenfalls angeschmolzen oder erweicht.

Wenn der Strahl 7 weiterwandert in Richtung 9, kühlt die geschmolzene, hochwärmeleitfähige Matrix 18 ab und es entsteht eine Schicht 5 aus Verbundwerkstoff. Durch die aufeinanderfolgende Erzeugung von Verbundwerkstoffschichten wird Schicht für Schicht das Bauteil oder ein Abschnitt des Bauteils aus dem Verbundwerkstoff endkonturnah erzeugt. Nicht aufgeschmolzene Pulverteile werden danach entfernt.

Die Größe der Partikel des hochwärmeleitfähigen Materials 20 liegt im gleichen Bereich wie bei der vorstehend beschriebenen Pulverbett-Verfahrensvariante der Fig. 1.

Die Geschwindigkeit, mit der die Lichtquelle 6 und der Draht 16 weiterbewegt wird, beträgt im Allgemeinen bis zu maximal etwa 50 mm/s.

Die Schichtdicke des Pulverbetts 19 aus Partikeln des hochwärmeleitfähigen Materials 20 liegt im Allgemeinen im Bereich von etwa 20 μm bis etwa 350 μm , z.B. etwa 100 bis etwa 250 μm , und insbesondere bei etwa 200 μm . Die Schichtdicke des entstandenen Verbundwerkstoffs 5 ist etwas geringer als die Schichtdicke des Pulverbetts 19, jedoch nicht wesentlich.

Die Zeitspannen, in denen das Material im Schmelzbad einer Erwärmung ausgesetzt wird, liegen im Allgemeinen im Bereich von etwa einer bis zehntel Sekunde

bis etwa 1 oder etwa 2 Sekunden. Die Abkühlungsgeschwindigkeit der Schmelze liegt im Allgemeinen bei etwa 500 bis etwa 2.000 °C pro s.

Die Konzentrationen des hochwärmeleitfähigen Materials im entstandenen Verbundwerkstoff kann bei der Verfahrensvariante mit lokaler Infiltration sehr hoch sein und liegt im Allgemeinen im Bereich von etwa 50 Vol.-% bis etwa 70 Vol.-% oder sogar bis etwa 80 Vol.-%.

Aus diesem Grund ist die Verfahrensvariante der lokalen Infiltration vorteilhaft, wenn eine möglichst große Steigerung der Wärmeleitfähigkeit einer Metallmatrix im Vordergrund steht.

Es ist hier noch anzumerken, dass das Aufbringen eines weiteren Schichtabschnitts aus dem Verbundwerkstoff auf einer Basisschicht, die einen zuvor aufgetragenen Schichtabschnitt des Verbundwerkstoffs umfasst, eine beliebige Verfahrensvariante der vorstehenden Verfahrensvarianten 1 bis 4 umfassen kann. Ebenso können auf einer und derselben Basisschicht aneinanderstoßende oder separate Schichtabschnitte aus dem Verbundwerkstoff durch unterschiedliche Verfahrensvarianten hergestellt werden.

Im Allgemeinen enthält die unterste Basisschicht des Bauteils keinen Verbundwerkstoff, sondern ist die Bauplattform, auf der das Bauteil errichtet wird, und wird häufig nach dessen Fertigstellung vom Bauteil abgetrennt, falls diese nicht Teil der Zielgeometrie ist.

Fig. 5 zeigt eine industrielle Komponente 1 eines Laser-Transmitters, in der eine aus dem erfindungsgemäßen Verbundwerkstoff hergestellte Wärmesenke 2 die von den Laserdioden 3 erzeugte Wärme über eine Wärmeleitungsgrenzfläche oder hochwärmeleitende Schicht 4 zu einer Grundplatte 5 mit einem Kühlsystem

abführt. Elektrische Kontakte sind mit 6 bezeichnet. Die Grundfläche 7 der Komponente beträgt 135 mm x 70 mm.

Die erfindungsgemäßen endkonturnahen wärmeleitfähigen Bauteile, die durch das erfindungsgemäße generative Herstellungsverfahren erhältlich sind, können ganz aus dem oben beschriebenen Verbundwerkstoff bestehen.

Wenn in dem Fall, in dem das hochwärmeleitfähige Material kein kubisches Bornitrid umfasst, zumindest ein weiterer Schichtabschnitt aus Verbundwerkstoff auf einer Basisschicht, die den zuvor aufgetragenen Schichtabschnitt aus dem Verbundwerkstoff umfasst, aufgebracht wird und von dem ansonsten ganz aus dem Verbundwerkstoff bestehenden Bauteil die unterste Basisschicht, sofern diese keinen Verbundwerkstoff umfasst, bzw. die Bauplatzform abgetrennt wird, bildet das Bauteil einen erfindungsgemäßen Verbundwerkstoff, der aufgrund des enthaltenen hochwärmeleitfähigen Materials oder aufgrund seiner Mikrostruktur des Verbundwerkstoffs charakterisierenden Schichtaufbaus neuartig ist.

Die Bauteile können aber auch noch andere Werkstoffe, z.B. reine Metalle oder Metalllegierungen, enthalten. Bauteile aus solchen gemischten Werkstoffen können generativ hergestellt werden, indem Schichten gebildet werden, die zum Teil aus dem Verbundwerkstoff und zum Teil beispielsweise aus Metall oder Metalllegierungen bestehen, oder generativ auf Basisstrukturen aus Metall oder Metalllegierungen aufgebaut werden.

Die erfindungsgemäßen Bauteile und Verbundwerkstoffe werden in erster Linie als Hochtechnologie-Kühlelemente oder Wärmesenken bei besonderen Kühlanforderungen verwendet.

Neben der hohen Wärmeleitfähigkeit im Vergleich zu dem Metall oder der Metalllegierung der Verbundstoffmatrix können die erfindungsgemäßen Bauteile aufgrund des hohen Anteils an Diamant und/oder kubischem Bornitrid noch weitere vorteilhafte Eigenschaften gegenüber dem Metall oder der Metalllegierung der Verbundstoffmatrix aufweisen, z.B. können sie:

- einen geringeren Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzen,
- eine verbesserte mechanische Beständigkeit haben,
- verbesserte Dämpfungseigenschaften haben,
- eine höhere Steifigkeit besitzen und
- eine geringere Dichte haben.

Somit besitzen sie ein Potenzial für ein großes Einsatzgebiet insbesondere in der Luftfahrt und in der Raumfahrt.

Die folgenden Beispiele erläutern die Erfindung weiter, ohne sie zu beschränken.

BEISPIELE

Beispiel 1. Mahlen von Aluminium-Diamant-Pulver

Es wird Diamantpulver (Größe 70-90 μm) und reines Aluminiumpulver (Korngröße < 45 μm) in einer Planetenmühle mit Radius 12,5 cm, einem Kugel/Pulver-Gewichtsverhältnis von 2:1 bei 280 Umdrehungen/Minute für 1 Stunde gemahlen. Die Mahlkugeln und Mahlbecher bestehen dabei aus kubischem ZrO_2 (mit Y_2O_3 stabilisiert). Da sich Aluminium an den Kugeln und Mahlbecher absetzt, muss die Zumischung an Aluminium höher als theoretisch sein, um auf die gewünschte Aluminium-Diamant-Mischungszusammensetzung zu kommen. Das gemahlene Pulver kann dann direkt zur generativen Fertigung verwendet werden oder vorzugsweise noch gesiebt werden, um zu große Partikel zu entfernen.

Beispiel 2. Herstellung von Aluminium-Diamant-Wärmeleitfähigkeitsproben im Pulverbett

In dem folgendem Beispiel wurden Wärmeleitfähigkeitsproben aus 70 Vol.-% Diamantpulver (Größe 70-90 μm) und 30 Vol.-% reinem Aluminium (Korngröße < 45 μm) mittels Pulverbett in einem laserbasierten Pulverbettprozess hergestellt. Die Laserleistung betrug dabei 300 W und die Scangeschwindigkeit war 800 mm/s. Die Proben hatten einem Durchmesser von etwa 14 mm und waren etwa 5 mm dick. Sie wurden anschließend auf einen Durchmesser von 12,3 mm und eine Dicke von 2,6 mm mechanisch nachbearbeitet und ihre Oberflächen wurden poliert. Wie man in Fig. 6 sieht, sind die Wärmeleitfähigkeitswerte der Aluminium-Diamant-Proben im Vergleich zu reinem Aluminium deutlich erhöht.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Bauteils mit erhöhter Wärmeleitfähigkeit durch schichtweisen Aufbau,
dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Abschnitt des Bauteils durch zumindest einmaliges Durchführen eines Schritts aufgebaut wird, der zumindest das Folgende umfasst:
 - a) Aufbringen eines Schichtabschnitts mit vorbestimmten Abmessungen eines Verbundwerkstoffs aus einem Metall und/oder einer Metalllegierung und Partikeln aus hochwärmeleitfähigem Material, das Diamant und/oder kubisches Bornitrid umfasst, in einem vorbestimmten Bereich auf einer Basisschicht durch Schmelzen des Metalls oder der Metalllegierung mittels einer Wärmequelle auf solche Weise, dass das Metall und/oder die Metalllegierung innerhalb der vorbestimmten Abmessungen eine zusammenhängende Matrix bilden, in der Partikel aus dem hochwärmeleitfähigen Material eingebettet sind, und anschließendes Abkühlenlassen,
mit der Maßgabe, dass das Metall, sofern es kein Bestandteil der Metalllegierung ist, nicht aus den Alkalimetallen und Calcium, Strontium, Barium oder Radium ausgewählt ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass es das Aufbringen des Schichtabschnitts auf der Basisschicht durch einen der folgenden Schritte 1) bis 4) umfasst, welche umfassen:
 - 1) Bereitstellen eines Pulverbetts aus einer Mischung von pulverförmigen Metall- und/oder Metalllegierungspartikeln und Partikeln des hochwärmeleitfähigen Materials, das Diamant und/oder kubisches Bornitrid umfasst, und/oder einer mechanischen Legierung von dem Metall und/oder der Metall-

legierung und Partikeln des hochwärmeleitfähigen Materials auf der Basis-
schicht und Schmelzen des Metalls und/oder der Metalllegierung in einem
Teilbereich des Pulverbetts mit vorbestimmten Abmessungen mittels einer
Wärmequelle auf solche Weise, dass das Metall und/oder die Metalllegierung
innerhalb der vorbestimmten Abmessungen eine zusammenhängende Matrix
bilden, in der Partikel aus dem hochwärmeleitfähigen Material eingebettet
sind, und anschließendes Abkühlenlassen;

2) Zufuhr von pulverförmigen Metall- und/oder Metalllegierungspartikeln
und Partikeln des hochwärmeleitfähigen Materials, das Diamant und/oder
kubisches Bornitrid umfasst, und/oder einer pulverförmigen mechanischen
Legierung von dem Metall und/oder der Metalllegierung und Partikeln des
hochwärmeleitfähigen Materials mittels einer oder mehrerer Düsen auf einen
vorbestimmten Bereich der Unterlage und Schmelzen des Metalls und/oder
der Metalllegierung mittels einer Wärmequelle auf solche Weise, dass das
Metall und/oder die Metalllegierung innerhalb der vorbestimmten Abmessun-
gen eine zusammenhängende Matrix bilden, in der Partikel aus dem hoch-
wärmeleitfähigen Material eingebettet sind, und anschließendes Abkühlen-
lassen;

3) Einwirkenlassen einer Wärmequelle auf ein Ende eines hohlen Metall-
und/oder Metalllegierungsdrahts oder -rohrs, in dessen Hohlraum Partikel
des hochwärmeleitfähigen Materials, das Diamant und/oder kubisches Borni-
trid umfasst, und/oder der mechanischen Legierung von dem Metall und/oder
der Metalllegierung und Partikeln des hochwärmeleitfähigen Materials ange-
ordnet sind, auf solche Weise, dass der Teil des Metall- und/oder Metalllegie-
rungsdrahts- oder -rohrs, auf den die Wärmequelle einwirkt, abgeschmolzen
wird und innerhalb eines vorbestimmten Bereichs eine zusammenhängende
Matrix bildet, in der Partikel des hochwärmeleitfähigen Materials eingebettet
sind, und anschließendes Abkühlenlassen;

- 4) Bereitstellen eines Pulverbetts aus pulverförmigen Partikeln des hochwärmeleitfähigen Materials, das Diamant und/oder kubisches Bornitrid umfasst, und eines Drahtes oder Stabs aus dem Metall oder der Metalllegierung, Einwirkenlassen einer Wärmequelle auf ein Ende des Drahts oder Stabs auf solche Weise, dass der Teil des Drahts oder Stabs, auf den die Wärmequelle einwirkt, abgeschmolzen wird und als Schmelze einen vorbestimmten Abschnitt des Pulverbetts aus dem hochwärmeleitfähigen Material infiltriert und dessen Partikel in Form einer zusammenhängenden Matrix umgibt, und anschließendes Abkühlenlassen.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass es das *mindestens einmalige Aufbringen eines weiteren Schichtabschnitts des Verbundwerkstoffs* durch den Schritt a) des Anspruchs 1 oder einen beliebigen Schritt der Schritte 1) bis 4) des Anspruchs 1 auf einer Basisschicht umfasst, welche einen zuvor aufgetragenen Schichtabschnitt des Verbundwerkstoffs umfasst.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmequelle beweglich ist und der Schritt a) des Anspruchs 1 oder einer der Schritte 1) bis 4) auf derselben Basisschicht bei kontinuierlicher Leistungsabgabe der Wärmequelle fortlaufend bis zum Erreichen einer vorbestimmten Abmessung des Schichtabschnitts durchgeführt wird oder bei pulsförmiger Leistungsabgabe der Wärmequelle so häufig wiederholt wird, bis eine vorbestimmte Abmessung des Schichtabschnitts erzielt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Metall aus Al, Cu, Ag, Au, Ti, Mg, Zn, Sn oder Fe ausgewählt ist

und/oder die Metalllegierung Al, Cu, Ag, Au, Ti, Mg, Zn, Sn und/oder Fe umfasst.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Größe der Partikel des hochwärmeleitfähigen Materials, das Diamant und/oder kubisches Bornitrid umfasst, im Bereich bis von etwa 4 bis etwa 500 μm , bevorzugt von etwa 6 bis etwa 250 μm und speziell von etwa 60 bis etwa 200 μm liegt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Anteil des hochwärmeleitfähigen Materials in dem hergestellten Verbundwerkstoff etwa 40 bis etwa 80 Vol. % beträgt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke der Schicht des hergestellten Verbundwerkstoffs etwa 20 μm bis etwa 2 mm beträgt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmequelle aus einem Laser, UV-Licht, einem Partikelstrahl, z.B. Ionenstrahl, einem Elektronenstrahl und/oder einem Lichtbogen ausgewählt ist.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das hochwärmeleitfähige Material aus Partikeln aus Diamant und/oder kubischem Bornitrid besteht, die gegebenenfalls durch Oxidation angeätzt oder aufgeraut worden sind und/oder dass die Diamant und/oder kubisches Bornitrid enthaltenden Partikel, die in dem hochwärmeleitfähigen Material enthalten sind, beschichtet sind, z.B. mit SiC oder AlN.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der aufgebrachte Verbundwerkstoff ferner unter Atmosphärendruck oder Vakuum oder erhöhtem Druck wärmebehandelt wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass es bei Raumtemperatur oder teilweise oder ganz bei einer erhöhten Temperatur innerhalb von etwa 30 bis etwa 60% der Soliduslinie (°C) durchgeführt wird.
13. Verfahren zum Herstellen eines Verbundwerkstoffes, bestehend aus einem Metall und/oder einer Metallegierung und Partikeln aus hochwärmeleitfähigem Material, das Diamant und/oder kubisches Bornitrid umfasst, welches den Schritte a) des Anspruchs 1 und bevorzugt die Schritte 1) bis 4) des Anspruchs 2 und gegebenenfalls ein oder mehrere der Verfahrensmerkmale der Ansprüche 3 bis 12 umfasst, und das anschließende Abtrennen jeglicher Basisschicht, die nicht aus dem Verbundwerkstoff besteht, umfasst, wobei in dem Fall, in dem das hochwärmeleitfähige Material kein kubisches Bornitrid umfasst, zumindest ein weiterer Schichtabschnitt aus Verbundwerkstoff auf einer Basisschicht, die den zuvor aufgetragenen Schichtabschnitt aus dem Verbundwerkstoff umfasst, aufgebracht wird.
14. Endkonturnahes wärmeleitendes Bauteil, herstellbar durch das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12.
15. Verbundwerkstoff aus einem Metall und/oder einer Metallegierung und Partikeln aus hochwärmeleitfähigem Material, das Diamant und/oder kubisches Bornitrid umfasst, herstellbar durch das Verfahren nach Anspruch 13.

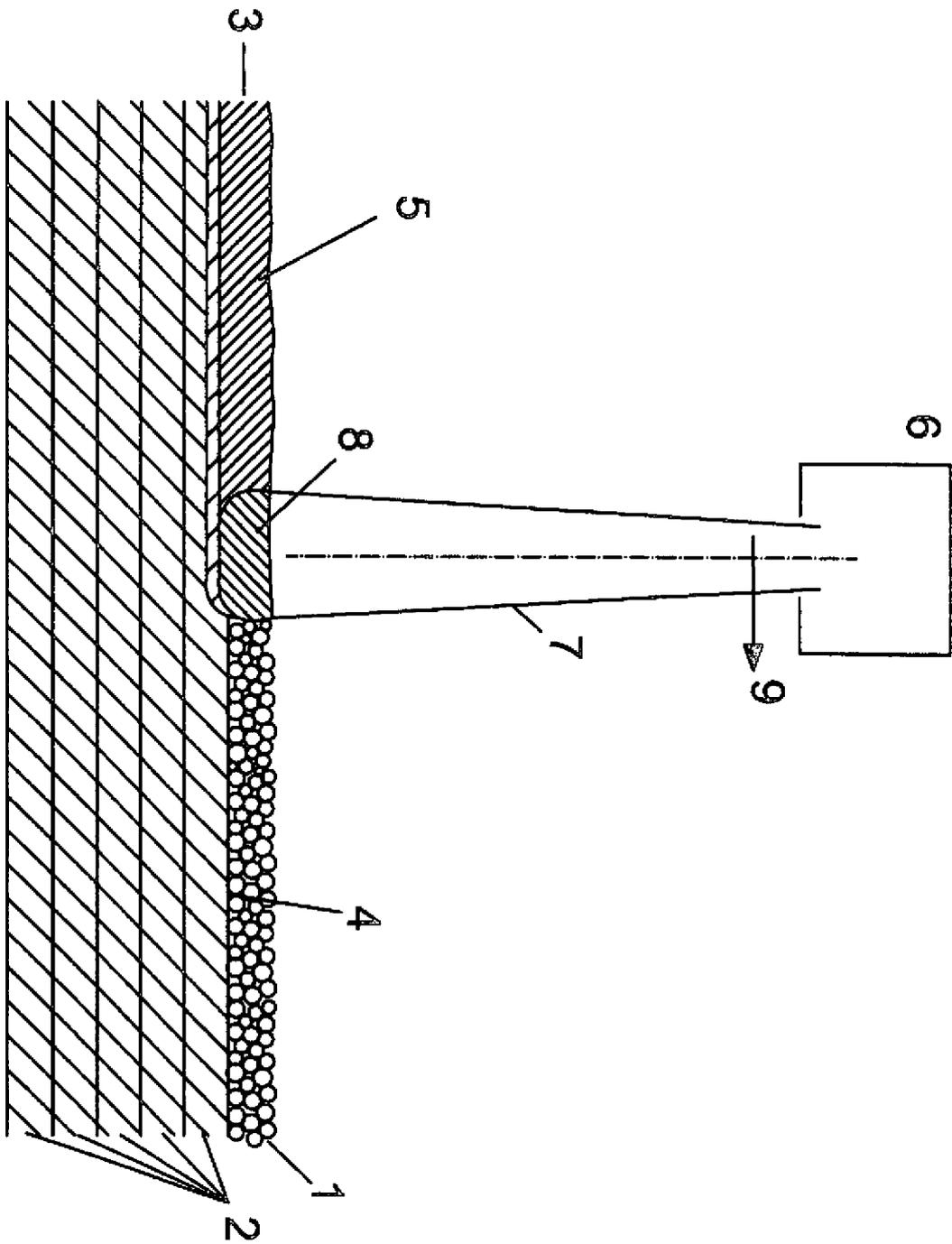


Fig. 1

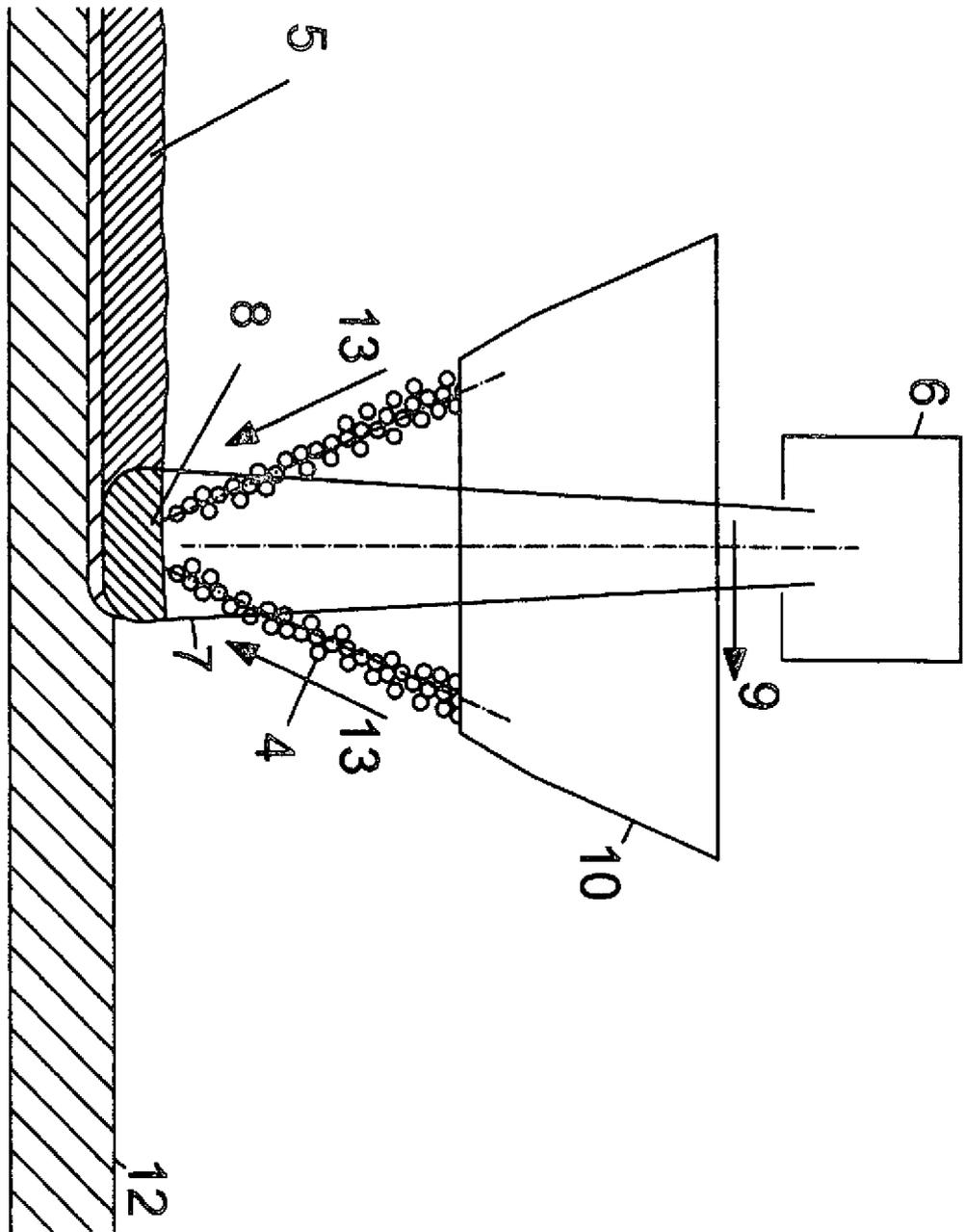


Fig. 2

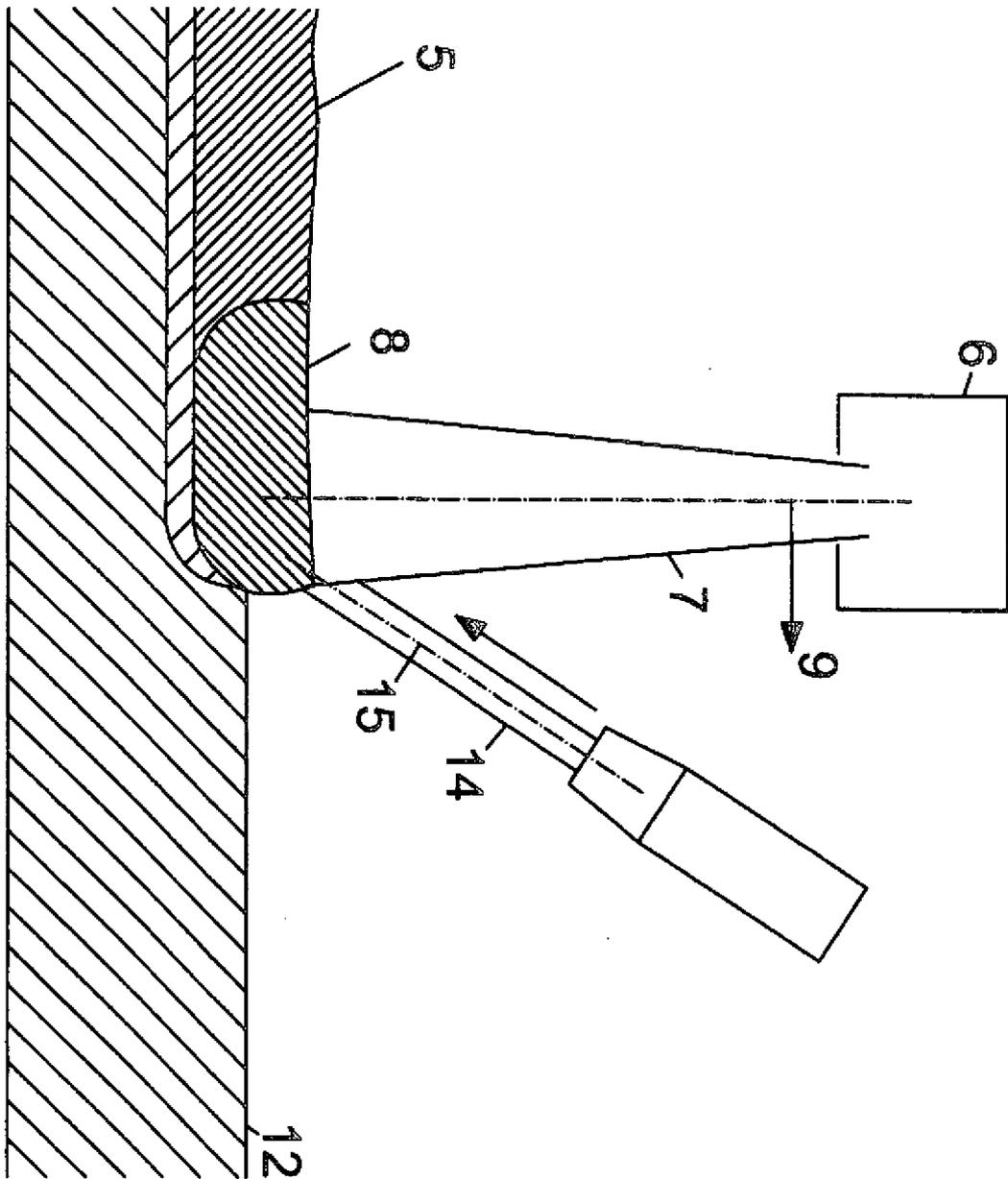


Fig. 3

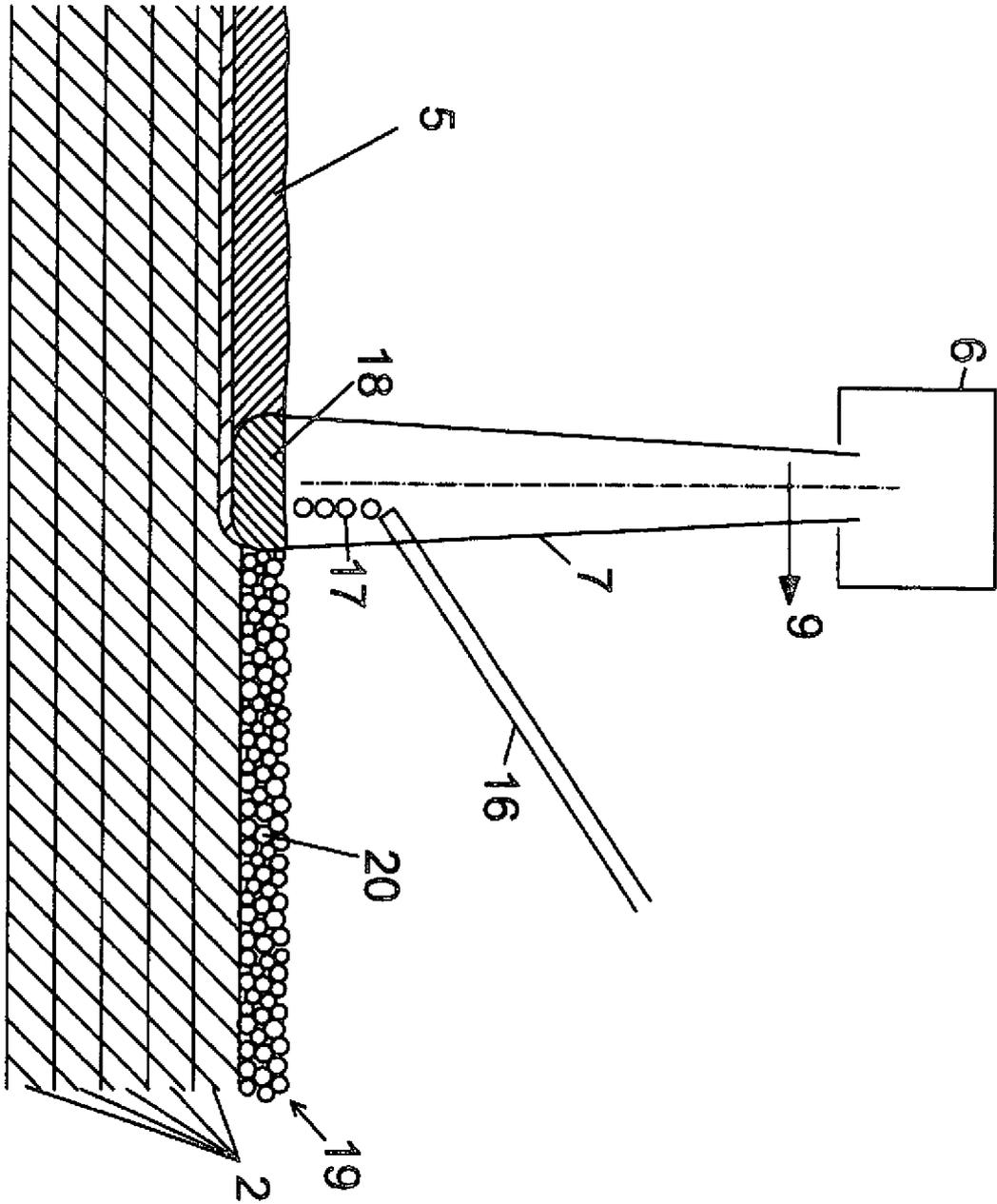


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2011/002102

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B22F3/105 C22C26/00
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
B22F C22C
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	S. VAUCHER ET AL: "Selective Laser Sintering of Aluminium-Silicon Carbide Metal Matrix Composites.", MATERIAL WEEK 2002, ICM MUNICH, 2 October 2002 (2002-10-02), pages 1-8, XP55024712, ISBN: 3-88355-314-X	1-9, 11-15
Y	abstract page 2, lines 1-15 page 2, lines 21-24 page 6, lines 20-26 page 7, lines 24-39 table 1 ----- -/--	10

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

<p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>
--	--

Date of the actual completion of the international search 17 April 2012	Date of mailing of the international search report 27/04/2012
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Forestier, Gilles

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2011/002102

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2005/074355 A1 (PICKARD SION M [US] ET AL) 7 April 2005 (2005-04-07)	10
A	paragraphs [0004] - [0008] table 3 examples 1-23	1-9, 11-15
A	----- US 5 834 689 A (COOK ARNOLD J [US]) 10 November 1998 (1998-11-10) the whole document	1-15
A	----- WONG M ET AL: "Pressure loss and heat transfer through heat sinks produced by selective laser melting", HEAT TRANSFER ENGINEERING, HEMISPHERE PUB, WASHINGTON, DC, US, vol. 30, no. 13, 1 November 2009 (2009-11-01), pages 1068-1076, XP008150615, ISSN: 0145-7632, DOI: 10.1080/01457630902922228 [retrieved on 2011-10-10] the whole document -----	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/DE2011/002102

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2005074355	A1	07-04-2005	
		AU 2004280465 A1	21-04-2005
		CA 2540290 A1	21-04-2005
		EP 1680522 A2	19-07-2006
		JP 2007518875 A	12-07-2007
		KR 20060090824 A	16-08-2006
		US 2005074355 A1	07-04-2005
		US 2008026243 A1	31-01-2008
		US 2008187661 A1	07-08-2008
		US 2010110637 A1	06-05-2010
		WO 2005035808 A2	21-04-2005
US 5834689	A	10-11-1998	NONE

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. B22F3/105 C22C26/00
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 B22F C22C

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	S. VAUCHER ET AL: "Selective Laser Sintering of Aluminium-Silicon Carbide Metal Matrix Composites.", MATERIAL WEEK 2002, ICM MUNICH, 2. Oktober 2002 (2002-10-02), Seiten 1-8, XP55024712, ISBN: 3-88355-314-X	1-9, 11-15
Y	Zusammenfassung Seite 2, Zeilen 1-15 Seite 2, Zeilen 21-24 Seite 6, Zeilen 20-26 Seite 7, Zeilen 24-39 Tabelle 1	10
	----- -/--	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

17. April 2012

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

27/04/2012

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Forestier, Gilles

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 2005/074355 A1 (PICKARD SION M [US] ET AL) 7. April 2005 (2005-04-07)	10
A	Absätze [0004] - [0008] Tabelle 3 Beispiele 1-23	1-9, 11-15
A	----- US 5 834 689 A (COOK ARNOLD J [US]) 10. November 1998 (1998-11-10) das ganze Dokument	1-15
A	----- WONG M ET AL: "Pressure loss and heat transfer through heat sinks produced by selective laser melting", HEAT TRANSFER ENGINEERING, HEMISPHERE PUB, WASHINGTON, DC, US, Bd. 30, Nr. 13, 1. November 2009 (2009-11-01), Seiten 1068-1076, XP008150615, ISSN: 0145-7632, DOI: 10.1080/01457630902922228 [gefunden am 2011-10-10] das ganze Dokument	1-15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2011/002102

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2005074355	A1	07-04-2005	AU 2004280465 A1
			CA 2540290 A1
			EP 1680522 A2
			JP 2007518875 A
			KR 20060090824 A
			US 2005074355 A1
			US 2008026243 A1
			US 2008187661 A1
			US 2010110637 A1
			WO 2005035808 A2

US 5834689	A	10-11-1998	KEINE
