(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2009 048 709 A1** 2011.04.14

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2009 048 709.3**
(22) Anmeldetag: **08.10.2009**
(43) Offenlegungstag: **14.04.2011**

(51) Int Cl.[8]: ***C22C 49/00*** (2006.01)
C22C 49/14 (2006.01)
C22C 49/06 (2006.01)
C22C 49/10 (2006.01)
C22C 49/11 (2006.01)
B22D 17/00 (2006.01)
B22D 21/04 (2006.01)
B22D 19/16 (2006.01)

(71) Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., 80686 München, DEUniversität Bremen, 28359 Bremen, DE

(72) Erfinder:
Wöstmann, Franz-Josef, 48163 Münster, DE;
Haesche, Marco, Dipl.-Ing., 27607 Langen, DE;
Busse, Matthias, Prof. Dr.-Ing., 28757 Bremen, DE;
Herrmann, Axel, Prof. Dr.-Ing., 21682 Stade, DE;
Schiebel, Patrick, Dipl.-Ing., 28205 Bremen, DE;
Hoffmeister, Christoph, Dipl.-Ing., 28203 Bremen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE	**10 2007 023836**	**A1**
DE	**10 2004 041084**	**A1**
DE	**697 09 203**	**T2**
EP	**18 35 044**	**A1**

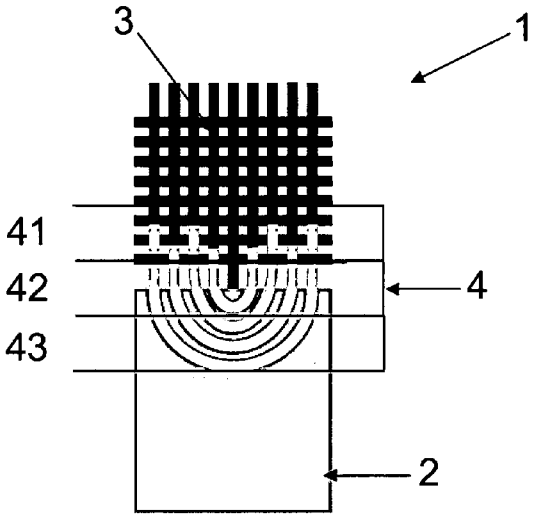
DFG-Schwerpunktprogramm 1123 Textile Verbundbauweisen und Fertigungstechnologien für Leichtbaustrukturen des Maschinen- und Fahrzeubaus,(online),rech.am 14.08.2009. http://www.tu-dresden.de/mw/ilk/spp1123/ges.Dokument

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verbundbauteil aus Metall und Faserverbundwerkstoff und Verfahren zur Herstellung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verbundbauteil bestehend aus einem Metall, einem Faserverbundwerkstoff und einer Verbindungszone, wobei die stoffschlüssige Verbindung des Metalls mit dem Faserverbundwerkstoff in der Verbindungszone durch das Gießen mit anschließendem Erstarren des Metalls entstanden ist. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung des erfindungsgemäßen Verbundbauteiles und deren Verwendung. Vorrangig sind Anwendungen im Fahrzeugbau, in Luft- und Raumfahrt oder in Windkraftanlagen.



Beschreibung

Technisches Anwendungsgebiet

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verbundbauteil bestehend aus einem Metall, einem Faserverbundwerkstoff und einer Verbindungszone, wobei die stoffschlüssige Verbindung des Metalls mit dem Faserverbundwerkstoff in der Verbindungszone durch das Gießen mit anschließendem Erstarren des Metalls entstanden ist. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung des erfindungsgemäßen Verbundbauteiles und deren Verwendung.

Stand der Technik

[0002] Bei der Entwicklung und Konstruktion von Leichtbaustrukturen finden zunehmend Kombinationen von Faserverbundwerkstoffen und Metallstrukturen Verwendung, um die Bauteileigenschaften an die lokalen Anforderungen anzupassen. Gerade in den Kombinations- und Variationsmöglichkeiten der Verbundwerkstoffe und Verbundbauteile besteht ein großer Bedarf neue Fügeverfahren zu entwickeln, die Faserverbundwerkstoffe und Leichtmetalle zu hybriden Bauteilen verbinden. Einerseits werden die vergleichsweise kostenintensiven Werkstoffe nur lokal an stark beanspruchten Bereichen im Bauteil integriert, andererseits sind bei der Herstellung komplexer Geometrien aus Einzelkomponenten Fügeverbindungen unverzichtbar.

[0003] Als Fügeverfahren zum Verbinden von Metallen mit Faserverbundwerkstoffen kommen im Stand der Technik hauptsächlich Uberlappverbindungen, die durch Klebetechnik, Schweißtechnik sowie Nietverbindungen realisiert werden. Neben wirtschaftlichen und fertigungstechnischen Problemen bei den genannten Verfahren sind noch die komplexen Dehnungsverteilungen bei mechanischer Beanspruchung der gefügten Stellen zu bemängeln. Insbesondere kontinuierlich faserverstärkte Kunststoffbauelemente können nicht direkt mechanisch mit Nieten oder Schrauben mit anderen Bauteilen verbunden werden, da in der Bohrung die zugübertragenden Elemente, also die Fasern, unterbrochen werden. Zusätzlich entstehen mit steigendem Anisotropiegrad hohe Kerbspannungen.

[0004] Klebverbindungen erfordern reine Klebflächen und bedingen daher spezielle Oberflächenbehandlungen. Sie zeigen häufig eine beschränkte Festigkeit oder setzen recht große Klebeflächen voraus. Zudem sind Klebverbindungen von Strukturbauteilen wegen der erforderlichen Fläche der Fügepartner im Wesentlichen eingeschränkt auf schalenförmige Geometrien. Ein weiterer Nachteil von Klebverbindungen insbesondere bei Luftfahrtanwendungen ist ihre fehlende Möglichkeit von zerstörungsfreien Prüfungen im Rhamen von Inspektionen.

[0005] Mit der Anwendung von unterschiedlichen Schweißtechniken zum Fügen von Proben aus einer Aluminiumlegierung oder aus Stahl mit faserverstärkten Kunststoffen sowie mit einer qualitativen wie quantitativen Analyse der dabei erzeugeten Uberlappverbindungen beschäftigt sich die DFG-Forschergruppe 524 „Herstellung, Eigenschaftsanalyse und Simulation geschweißter Leichtbaustrukturen aus Metall/Faser-Kunststoff-Verbunden" (http://www.uni-kl.de/wcms/wkk-f-ult6.html). Dabei wurden lediglich Uberlappungsverbindungen untersucht, bei denen die thermoplastische Matrix aufgeschmolzen und durch einen Heißpressvorgang mit dem Metall verbunden wird. Die erzeugten Verbindungen zeigen keine lasttragenden eingebundenen Faserelemente auf, die wiederum mit einem krafttragenden Metallverbund verknüpft sind.

[0006] DFG-Schwerpunktprogramm 1123 (http://www.tu-dresden.de/mw/ilk/spp1123) mit dem Titel: "Textile Verbundbauweisen und Fertigungstechnologien für Leichtbaustrukturen des Maschinen- und Fahrzeugbaus" befasst sich mit der beanspruchungsgerechten Gestaltung textiler Preforms für Faserverbundbauteile. In einem dazugehörigen Teilprojekt mit dem Titel: "Bewertung der Eignung von Ultraschallschweißtechniken zum Fügen von Glasfaser-Geweben, -Gelegen und Glasfaser-Verbundwerkstoffen" wurde die Eignung von Metallen- im Vergleich zur Kunststoff-Ultraschalschweißtechnik zum Fügen von Glasfaserverbundwerkstoffen untereinander und mit Metallen untersucht. Dabei konnten mit Metall-Ultraschallschweißen von einer Al-Legierung mit einem Glas-Gewebe-Verbundbauteil punktuelle Uberlappverbindungen mit den lasttragenden Glasfasern derart hergestellt werden, dass die Glasfasern partiell in der Metallmatrix eingebettet waren.

[0007] Das Plasmaspritzen gehöhrt zu der Gruppe der thermischen Spritzverfahren, die als Beschichtungsverfahren im besonderen bei der Triebswerksreparatur zum Einsatz kommen. In der US 6,132,857 wird mitttels Plasmaspritzen ein Hybridwerkstück hergestellt, das drei Bereiche umfasst. Im ersten sog. weichen Bereich liegt ein faserverstärkter Kunststoff vor. Dieser erste Bereich wird durch eine sog. Ubergangsschicht mit einem dritten Bereich, sog. harter Bereich, der aus einem Metall oder Keramik mit Schmelztemperaturen zwischen 1300°C bis 1700°C besteht, verbunden. Die Ubergangsschicht besteht aus einem Verbundstoff, der aus Verstärkungsfasern und einer Matrix aus einem mit dem harten Bereich verschweißbaren Material gebildet wird. Die Verstärkungsfasern der Ubergangsschicht sind die Verlängerungen der Fasern des weichen Bereiches. Die Verbindung zwischen dem Metall im harten Bereich und dem faserverstärkten Kunststoff im weichen Bereich wird somit durch die Kontinuität der Matrix der Ubergangsschicht mit dem Stoff des harten Bereiches sowie durch die Kontinuität der Verstärkungsfa-

sern der Ubergangsschicht mit denen des weichen Bereiches hergestellt. Die Ubergangsschicht wird durch Plasmaspritzen des schmelzflüssigen Werkstoffes des harten Bereiches oder eines Werkstoffes, der mit dem Werkstoff des harten Bereiches verschweißbar ist, gebildet. Das Plasmaspritzen erfolgt mit einem Brenner, mit dem nacheinander und mehrmals die Ubergangsschicht durch Spritzen eines konischen Stroms von Tröpfchen des schmelzflüssigen Werkstoffes auf einen Vorformling geformt wird. Dieses Hybridwerkstück mit dem dazugehörigen Herstellungsverfahren weist den Nachteil auf, dass die Ubergangsschicht und der harte Bereich durch mehrmaliges Plasmaspritzen erzeugt werden. Dadurch kommt es zwangsläufig zur Ausbildung eines mehrschichtigen hetrogenen, spröden Gefüges. Demzufolge können keine reproduzierbaren Ergebnisse bzgl. der Schichtdicke, Gefüge und folglich der mechanischen Eigenschaften gewährleistet werden. Zudem sind aufgrund der lokal entstehenden hohen Temperaturen lediglich Metalle oder Keramiken mit Schmelztemperaturen höher als 1300°C einsetzbar. Für Aluminium oder Aluminiumlegierung ist das Verfahren ungeeignet. Mit dem Plasmaspritzen können daher keine Verbundbauteile aus Leichtmetallen mit komplizierten Geometrien hergestellt werden, die durch das klassische Giessen in einem Verfahrensschritt und in Endform angefertigt werden können.

[0008] Ausgehend vom Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung das technische Problem zugrunde, die Nachteile des Stands der Technik zu überwinden und ein Verbundbauteil aus Metall und Faserverbundwerkstoff ohne Uberlappverbindungen anzugeben, bei dem die stoffschlüssige Verbindung eines Metalls mit einem Faserverbundwerkstoff durch das Gießen mit anschließendem Erstarren der Metallschmelze entstanden ist. Weiterhin ist die Aufgabe dieser Erfindung ein Verfahren zur Herstellung des erfindungsgemäßen Verbundbauteiles anzugeben, das eine reproduzierbare Herstellung von einfachen bis komplexen Verbundbauteilen ermöglicht.

Darstellung der Erfindung

[0009] Die Aufgabe wird durch den Verbundbauteil mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und durch das Verfahren gemäß den Merkmalen des Anspruchs 10 gelöst. Die Verwendung des erfindungsgemäßen Verbundbauteiles wird im Anspruch 9 beschrieben. Die weiteren abhängigen Ansprüche zeigen vorteilhafte Ausgestaltungen auf.

[0010] Der erfindungsgemäße Verbundbauteil besteht aus einem Metall, einem Faserverbundwerkstoff und einer Verbindungszone, wobei die stoffschlüssige Verbindung des Metalls mit dem Faserverbundwerkstoff in der Verbindungszone durch Gießen mit anschließendem Erstarren des Metalls entstanden ist. Der Kontakt der Metallschmelze mit dem Faserverbundwerkstoff bewirkt, dass die Metallschmelze zumindest teilweise in den Faserverbundwerkstoff eindringt und die dort vorhandenen Fasern umhüllt. In Abhängigkeit von der Eindringtiefe der Metallschmelze in den Faserverbundwerkstoff bildet sich nach dem Erstarren der Metallschmelze eine Verbindungszone an der Grenzfläche zwischen dem Metall und dem Faserverbundwerkstoff aus. Das Gefüge der Verbindungszone weist zumindest neben den Fasern des Faserverbundwerkstoffes auch mit erstarrter Metallschmelze umhüllten Fasern sowie im Metall zumindest teilweise eingebettete Fasern und/oder Faserschlaufen auf. Die Verbindungszone des erfindungsgemäßen Verbundbauteiles kann gezielt so eingestellt werden, dass sich der Faseranteil im Gefüge der Verbindungszone ausgehend vom Faserverbundwerkstoff zum Metall hin graduell oder gleichmäßig ändert. Neben der gezielten Einstellung des Faseranteils im Gefüge der Verbindungszone können auch über Auswahl von unterschiedlichen Faserarten mit verschiedenen mechanischen Eigenschaften sowie die Einstellung der Faserausrichtung und/oder über Auswahl von Faserschlaufen die mechanischen und/oder thermischen Eigenschaften der Verbindungszone gezielt variiert und an jeweiligen beanspruchungsbedingten Erfordernissen angepasst werden.

[0011] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung umfasst die Verbindungszone drei Teilbereiche. Der erste Teilbereich der Verbindungszone stellt den dem Faserverbundwerkstoff nächstliegenden Bereich der Verbindungszone dar. Der zweite Teilbereich der Verbindungszone stellt den mittleren Bereich der Verbindungszone dar. Das Gefüge des zweiten Teilbereiches setzt sich mindestens aus mit erstarrter Metallschmelze umhüllten Fasern, die zumindest teilweise in metallischer Matrix eingebettet sind, zusammen. Der dritte Teilbereich der Verbindungszone ist der dem Metall nächstliegenden Bereich der Verbindungszone. Im Gefüge des dritten Teilbereiches sind die vorhandenen Fasern vollständig in metallischer Matrix eingebettet.

[0012] Somit ermöglicht die erfindungsgemäße Verbindungszone durch unterschiedlichen Metallanteil und/oder Faseranteil im Gefüge der Verbindungszone ausgehend vom Faserverbundwerkstoff zum Metall hin eine gleichmäßige Angleichung der mechanischen Lasten zwischen Metall und dem Faserverbundwerkstoff.

[0013] Die erfindungsgemäße Verbindungszone ermöglicht eine optimale Krafteinleitung an den Verbindungsstellen von Faserverbundwerkstoffen mit metallischen Werkstoffen. Bei einer mechanischen Beanspruchung der Verbindungszone leiten die sich im ersten Bereich der Verbindungszone befindlichen Fasern eine mechanische Last auf Faserbündel im zweiten Bereich der Verbindungszone weiter. Da die

Verlängerung dieser Fasern im dritten Bereich der Verbindungszone vollständig in metallischer Matrix eingebettet ist, wird die Last aus dem zweiten Bereich der Verbindungszone über die Fasern auf das Metall übertragen.

[0014] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann die stoffschlüssige Verbindung des Metalls und des Faserverbundwerkstoffes in dem Metall nächstliegenden Teilbereich der Verbindungszone, also im dritten Teilbereich der Verbindungszone, und/oder in anderen Teilbereichen der Verbindungszone über das Einbringen von wenigstens einer Faserschlaufe durch eine formschlüssige Komponente ergänzt werden. Neben einfachen Glasfaserenden, welche über Stoffschluss die Anbindung an das Metall bewirken, werden auch formschlüssige Faserverläufe eingesetzt. In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung können zusätzliche Glasfaserschlaufen im Verbundbauteil derart erzeugt werden, dass die offenen Enden der Schlaufe infolge des Gießvorganges im Metall eingebunden werden, während sich das geschlossene, U-förmige Ende der Schlaufe in dem zweiten Bereich der Verbindungszone befindet. Durch dieses U-förmige Ende der Schlaufe sind Kohlenstoff- oder Glasfaser gezogen, die ihrerseits im Faserverbundwerkstoff eingebettet worden sind. Dadurch wird eine Verhakung der Faserschlaufe und der Faserbündel erreicht und die Kräfte können direkt über die die Schlaufe umschlingenden Fasern formschlüssig übertragen werden.

[0015] Das erfindungsgemäße Verbundbauteil erlaubt in vorteilhafter Weise die Integration von unterschiedlichen Schlaufenverbindungen in der Verbindungszone. Neben der direkten Klemmung von Faserenden werden die Rovingschlaufen bzw. Schlaufenkaskaden durch radial angeordnete Glasfasern fixiert.

[0016] In Abhängigkeit von der gewünschten Festigkeit bzw. vom Festigkeitsverlauf der Verbindungszone können neben dem Faservolumengehalt, Faserlänge, Ausrichtung der einzelnen Fasern in den Faserlagen auch unterschiedliche Faserarten verwendet werden. Hinsichtlich des Elastizitätsmoduls bestehen zwischen den unterschiedlichen Faserarten große Unterschiede. Der Elastizitätsmodul von Kohlenstofffasern liegt beispielsweise um den Faktor 5 bis 6 höher als der Elastizitätsmodul von Glasfasern. Bezüglich des Elastizitätsmoduls liegt die Aramidfaser zwischen Glasfasern und Kohlenstofffasern. Grundsätzlich können alle Faserarten, die genügend temperaturbeständig gegenüber der Gießtemperatur sind, für die Realisierung der hier vorliegenden Erfindung Verwendung finden. Hierzu sind beispielhaft Fasern aus Kohlenstofffasern, HT(High-Tenacity)-Kohlenstofffaser, HM(High-Modulus)-Kohlenstofffaser, Glasfasern, E-Glasfaser, Borfaser, Keramikfasern, SiC-Fasern, beschichtete Fasern, Aramid oder als Hybrid aus wenigstens zwei dieser Stoffe hergestellte Fasern genannt.

[0017] Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass zumindest Teile der Fasern des Faserverbundwerkstoffes zumindest teilweise mit einer Schicht umhüllt wird. Die Beschichtung der Fasern dient vorteilhafterweise dazu die Haftung der Fasern in der metallischen Matrix während oder nach dem Gießvorgang zu verbessern. Als Schichtmaterial kann beispielsweise ein Metall, eine metallische Legierung, ein Metalloxid, eine Keramik oder dergleichen eingesetzt werden.

[0018] Entsprechend der Beanspruchungsrichtungen können die Fasern im Faserverbundwerkstoff abgelegt werden. Durch abgestimmtes Ablegen unterschiedlicher Lagen der Faser kann sukzessiv ein Halbzeug für ein mehrachsig belastbares Bauteil hergestellt werden. Um die Fertigungskosten zu reduzieren, ist es vorteilhaft bei bestimmten Geometrien und Lastfällen eine Kombination mit konventionellen Flächengebilden zu realisieren. Hinsichtlich der Ausrichtung der Fasern können Fasern verwendet werden, die ihre mechanischen Eigenschaften vorzugsweise in eine Richtung (parallel liegende Rovings), oder auch in zwei Richtungen (Gewebe, Gelege) oder in mehrere Richtungen (multiaxiale Gelege) ausgerichtet sind. Besonders geeignet sind Faser oder Faserverbünde in Form von Gewebe, Bändern, Zwirne, Rovings (Fasersträngе), Gelege, Gestricke, Gewirke, Filz; Matte, Netz, Gitter, ein- oder mehrlagige Laminate und/oder hybridartig aus diesen Formen zusammengefasste Fasergebilde.

[0019] Als Faserverbundwerkstoff können vorzugsweise Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff (CFK) oder ein Glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK) oder ein Aramidfaserverstärkter Kunststoff (AFK) oder ein faserverstärktes Leichtmetall oder ein Textilglasfaser oder Schichten, Stäbe, Platten oder Folien aus geeigneten Materialien, beispielsweise aus den oben genannten Fasern, die zumindest teilweise in matrix-bildenden Kunststoffen, wie z. B. Thermoplasten oder Duroplasten, eingebettet sind, verwendet werden.

[0020] Besonders geeignet als Metall für den erfindungsgemäßen Verbundbauteil sind Aluminium, Magnesium, Titan oder eine wenigstens Aluminium oder magnesium oder Titan enthaltende Legierung.

[0021] Der erfindungsgemäße Verbundbauteil ermöglicht die Ubertragung sehr hoher Lasten und ist bezüglich Bauraum, Gewicht, Zuverlässigkeit und Herstellbarkeit bestehender Lösungen im Leichtbau überlegen. Gegenüber Klebverbindungen ist der Bauraum deutlich reduziert, da die erforderlichen Kontaktflächen relativ klein sind. Durch den gezielten Einsatz unterschiedlicher Metalle in den verschiede-

nen Verbindungszonen kann die Korrosion zwischen Faserwerkstoff und Metall vermieden werden.

[0022] Unterschiedliche Einsatzgebiete des erfindungsgemäßen Verbundbauteiles sind denkbar. Vorrangig sind Anwendungen im Fahrzeugbau, in Luft- und Raumfahrt, Windkraftanlagen beispielsweise als CFK- oder GFK-Komponenten. Die Erfindung eignet sich insbesondere zur stirnseitigen Verbindung von CFK-Sandwichplatten mit Metallschalen.

[0023] Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist die Breitstellung eines Verfahrens zur Herstellung des erfindungsgemäßen Verbundbauteiles. Bei diesem erfindungsgemäßen Verfahren ist vorgesehen, dass zumindest vor dem Gießvorgang der Faserverbundwerkstoff in einer Halterung befestigt und in der Gußform so positioniert wird, dass eine gewünschte Faserrichtung eingestellt und festgehalten werden kann. Das Füllen der Gießform erfolgt insbesondere durch ein Gussverfahren oder Druckgussverfahren mit einer metallischen Schmelze aus Aluminium, Magnesium oder Titan oder aus einer wenigstens Aluminium oder magnesium oder Titan enthaltenden Legierung.

[0024] Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, dass zumindest Teile des Faserverbundwerkstoffes in einer Halterung befestigt werden. Hierzu werden die Enden des Faserverbundwerkstoffes oder die Enden von Einzelfasern oder die Enden von Fasergelegen in einem Rahmen durch Verklammerung befestigt. Dadurch wird eine exakte Positionierung der Einzelfasern oder Fasergelege, die Fixierung des Faserverbundwerkstoffes in der Gießform, eine genaue Einstellung der Dicke der Verbindungszone und die gezielte Infiltration von Fasern in unterschiedlichen Verbundbauteilbereichen ermöglicht. Zusätzlich wird durch die Verwendung eines Abdeckgegenstandes z. B. einer Abdeckplatte zumindest ein Teil der freien Oberfläche des Faserverbundwerkstoffes, der keinen Kontakt mit der Metallschmelze haben soll, verdeckt. Die teilweise Abdeckung des Faserverbundwerkstoffes mit einem Abdeckgegenstand vor dem Gießvorgang erlaubt neben einer gezielten Infiltiration der gewünschten Bereiche der Fasern auch den Schutz des Faserverbundwerkstoffes vor Beschädigungen durch thermische Belastungen des hohen Wärmeeintrages der Metallschmelze. Weiterhin schützt die Abdeckung in Form eines Abdeckgegenstandes den einzugießenden Faserverbundwerkstoff vor Beschädigungen speziell im Druckgussprozess durch die hohen Gießgeschwindigkeiten während der Formfüllphase sowie durch den Nachdruck während der Bauteilerstarrungsphase. Unter Abdeckgegenstand sind unterschiedliche Formen und/oder Geometrien zu verstehen, welche den Faserverbundwerkstoff zumindest teilweise abdecken. Beispielsweise kann der erfindungsgemäße Abdeckgegenstand eine flache Abdeckplatte oder eine gewölbte Form oder eine beliebige, dem Faserverbundwerkstoff angepasste Form darstellen. Als Material für den Abdeckgegenstand werden in vorteilhafterweise Metalle, Keramiken, Gläser, wärmebeständige Materialien oder dergleichen verwendet. Der Abdeckgegenstand kann nach dem Gießvorgang vom Verbundbauteil getrennt werden.

[0025] Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, dass der Faserverbundwerkstoff mit zumindest einem daran angeordneten Halteelement mit einer Isolierschicht zumindest teilweise umhüllt wird, wobei die Stellen bzw. Oberflächenbereiche des Faserverbundwerkstoffes, die mit der Schmelze in Kontakt treten, nicht umhüllt werden. Hierdurch können die nicht umhüllten Stellen des Faserwerkstoffes direkten Kontakt zur metallischen Matrix bekommen. Als Isolierschicht kann beispielsweise ein Metalloxid, ein Email, ein Glas, eine Keramik, ein Silikon oder dergleichen eingesetzt werden. Das Aufbringen der Isolierschicht auf gewünschte Stellen des Faserverbundwerkstoffes kann durch ein Beschichtungsverfahren erfolgen. Die Stellen des Faserverbundwerkstoffes, die mit der Schmelze in Kontakt treten, werden nicht mit Isolationsmaterial umhüllt. Die zumindest teilweise Umhüllung des Faserverbundwerkstoffes mit Isoliermaterial ermöglicht es, die Dicke der Verbindungszone genau einzustellen.

[0026] Durch die nicht umhüllende Ausgestaltung der gewünschten Stellen des Faserverbundwerkstoffes wird ermöglicht, dass diese direkt mit einer metallischen Matrix in Verbindung kommen. Die Isolierschicht schützt den einzugießenden Faserverbundwerkstoff während des Gießprozesses vor Beschädigungen durch thermische Belastungen des hohen Wärmeeintrages der Metallschmelze sowie vor Beschädigungen durch die hohen Gießgeschwindigkeiten und Drücken speziell im Druckgussprozess.

[0027] Das vorgeschlagene Verfahren zur Herstellung des erfindungsgemäßen Verbundbauteiles umfasst die folgenden Schritte:

a) Befestigen des Faserverbundwerkstoffes, der wenigstens einen Teil des fertigen Verbundbauteiles definiert, in einer Halterung,

b) Zumindest teilweise Abdeckung des Faserverbundwerkstoffes mit einem Abdeckgegenstand, wobei der Faserverbundwerkstoff mindestens an einer Stelle als Kontaktfläche zur Metallschmelze nicht abgedeckt wird,

c) Positionierung des Faserverbundwerkstoffes mit einer Halterung und/oder mit einem Abdeckgegenstand in den vorgesehenen Raum einer der Verbundbauteil bildeneden Gießform,

d) Füllen des verbleibenden Raums der Gießform mit der Schmelze des Metalls,
e) Ausformen des Verbundbauteiles nach Abkühlung.

[0028] Unter Ausformen des Verbundbauteiles (Gußteiles) nach Abkühlung ist die Entfernung des Gußteiles aus der Gießform und/oder aus der Halterung und/oder die Entfernung des Abdeckgegenstandes und/oder die Säuberung, Entgratung des Gußteils zu verstehen.

[0029] In einer vorteilhaften Ausführungsform ist vorgesehen, dass nach dem Gießvorgang und Entnahme des Gußteils aus der Gießform der Faserverbundwerkstoff und/oder die Verbindungszone mit einem geeigneten Matrixwerkstoff ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Thermoplasten oder Duroplasten getränkt, impräniert oder eingebettet sowie nachbehandelt werden. Für die Nachbehandlung der mit Thermoplasten oder Duroplasten getränkten Fasern des Faserverbundwerkstoffes oder Fasern der Verbindungszone ist eine Härtung, Polymerisation, Co-Polymerisation oder Polyaddition vorgesehen. Als Thermoplaste werden insbesondere Polypropylen, Polyamide, Polyester, Polycarbonate, Acrylglas oder Polystrol verwendet. Als Duroplaste kommen insbesondere Epoxidharze, Vinylesterharze, Phenolharze, Methacrylatharze oder Isocyanatharze zur Anwendung.

[0030] In einer vorteilhaften Ausführungsform ist vorgesehen, dass nur Teilbereiche des Faserverbundwerkstoffes in einer Gießform so positioniert werden, dass lediglich ein Teil des Faserverbundwerkstoffes beim Gießvorgang mit der Metallschmelze in Kontakt tritt und ein anderer Teil des Faserverbundwerkstoffes aus der Gießform herausragt und somit mit der Metallschmelze nicht in Kontakt tritt. Die aus dem erfindungsgemäßen Verbundbauteil hervorstehenden Fasern können dann mittels Thermoplasten oder Duroplasten infiltriert werden.

[0031] Ohne Einschränkung der Allgemeinheit ist ein Ausführungsbeispiel der Erfindung in der Zeichnung dargestellt und wird in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Hierbei zeigen:

[0032] Fig. 1 eine schematische Ansicht des erfindungsgemäßen Verbundbauteiles; und

[0033] Fig. 2 metallographisches Schliffbild einer eingegossenen Glasfaserstruktur (grau: Aluminiumlegierung, schwarz: Glasfaserstruktur), und

[0034] Fig. 3 eine schematische Ansicht der Verbindungsmöglichkeiten zwischen Metall und Faserverbundwerkstoff, und

[0035] Fig. 4 eine schematische Ansicht der formschlüssigen Verbindung zwischen Faserverbundwerkstoff mit Glasfaser-Kohlenstofffaserschlaufen, und

[0036] Fig. 5, Fig. 6 schematische Darstellungen einer zur Fixierung der Fasern dienenden Halterung sowie eines Abdeckgegenstandes zur teilweisen Abdeckung des Faserverbundwerkstoffes beim Gießvorgang.

[0037] Der in Fig. 1 schematisch dargestellte erfindungsgemäße Verbundbauteil (**1**) umfasst das Metall (**2**), den Faserverbundwerkstoff (**3**) sowie die Verbindungszone (**4**). Bei dieser vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist Verbindungszone in drei Teilbereiche unterteilt. Der erste Teilbereich (**41**) der Verbindungszone (**4**) stellt den dem Faserverbundwerkstoff (**3**) nächstliegenden Bereich der Verbindungszone (**4**) dar. Der zweite Teilbereich (**42**) der Verbindungszone (**4**) stellt den mittleren Bereich der Verbindungszone (**4**) dar. Das Gefüge des zweiten Teilbereiches (**42**) setzt sich mindestens aus mit Metallschmelze umhüllten Fasern, die zumindest teilweise in metallischer Matrix eingebettet sind, zusammen. Der dritte Teilbereich (**43**) der Verbindungszone (**4**) ist der dem Metall (**2**) nächstliegenden Bereich der Verbindungszone (**4**). Im Gefüge des dritten Teilbereiches (**43**) sind die vorhandenen Fasern vollständig in metallischer Matrix eingebettet.

[0038] An einem Druckgussbauteil aus Aluminiumlegierung AlSi9Cu3 wurde eine gewebte Glasfaserstruktur (Hersteller: Interglas, Produktbezeichnung: 95115, 03G280LI.K50, Finish FK-144) befestigt. Der Bauteilabschnitt mit der Gewebestruktur wurde anschließend in der Druckgussform eingesetzt und mit einer Aluminiumlegierung AlSi9Cu3, bei 700°C, mit einer Kolbengeschwindigkeit von 3 m/s, unter einem Nachdruck von ca. 500 bar vergossen. Zur Kontrolle der Funktionsfähigkeit der Fixierung sowie einer ausreichenden Infiltrierung wurde von dem mittleren Bereich der eingegossenen Probe ein metallographisches Schliffbild angefertigt. Aus dem in Fig. 2 dargestellten metallographischen Schliffbild der eingegossenen Glasfaserstruktur sind im oberen Bildbereich die längs angeschnittenen Glasfasern (ovale Bereiche) und in der unteren Hälfte die quer angeschnittenen Glasfasern (runde Bereiche) ersichtlich. Das Schliffbild zeigt weiterhin, dass auch sehr kleine Bereiche zwischen den Glasfasern (schwarz) von der Metallschmelze (grau) infiltriert worden sind.

[0039] Aus Fig. 3 ist ersichtlich, dass neben einfachen Glasfaserenden, welche über Stoffschluss die Anbindung an das Metall bewirken (siehe linker Bildteil), werden auch formschlüssige Faserverläufe (siehe rechter Bildteil) eingesetzt. In Fig. 3 ist links die Lösung mit offenen Glaserfaserschlaufen

und rechts mit zusätzlichen Glasfaser-Kohlenstofffaserschlaufen dargestellt.

[0040] Fig. 4 verdeutlicht schematisch eine formschlüssige Verbindung zwischen Faserverbundwerkstoff mit Glasfaser-Kohlenstofffaserschlaufen. Bei Beanspruchung können die Kräfte direkt über die die Schlaufe umschlingenden Fasern formschlüssig übertragen werden.

[0041] Aus den Figuren Fig. 5 sowie Fig. 6 sind schematische Darstellungen einer zur Fixierung der Fasern dienenden Halterung sowie eines Abdeckgegenstandes, die zumindest zur teilweisen Abdeckung des Faserverbundwerkstoffes dient, ersichtlich. In der erfindungsgemäßen Halterung werden die Enden des Faserverbundwerkstoffes in einem Rahmen durch Verklammerung befestigt. Die vorgeschlagene Geometrie ermöglicht die Positionierung der Einzelfasern und Fasergelege sowie die Infiltration von Fasern in unterschiedlichen Verbundbauteilbereichen. Dadurch wird eine exakte Positionierung und Fixierung des Faserverbundwerkstoffes in der Gießform sowie eine genaue Einstellung der Dicke der Verbindungszone gestattet.

Bezugszeichenliste

1	Verbundbauteil
2	Metall
3	Faserverbundwerkstoff
4	Verbindungszone
41	erster Teilbereich der Verbindungszone
42	zweiter Teilbereich der Verbindungszone
43	dritter Teilbereich der Verbindungszone
5	Faserschlaufe
6	Kohlenstofffaserbündel
7	Glasfaserbündel
8	Halterung
9	Abdeckgegenstand
10	Verklammerung der Fasern

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

- US 6132857 [0007]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- http://www.uni-kl.de/wcms/wkk-f-ult6.html [0005]
- http://www.tu-dresden.de/mw/ilk/spp1123 [0006]

Patentansprüche

1. Verbundbauteil bestehend aus einem Metall, einem Faserverbundwerkstoff und einer Verbindungszone **dadurch gekennzeichnet**, dass die stoffschlüssige Verbindung des Metalls mit dem Faserverbundwerkstoff in der Verbindungszone durch Gießen mit anschließendem Erstarren des Metalls entstanden ist.

2. Verbundbauteil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Gefüge der Verbindungszone mindestens aus den Fasern des Faserverbundwerkstoffes und/oder aus mit erstarrter Metallschmelze umhüllten Fasern des Faserverbundwerkstoffes, die zumindest teilweise in einer metallischen Matrix eingebettet sind, zusammengesetzt ist.

3. Verbundbauteil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindungszone eine gleichmäßige Angleichung einer mechanischen Last zwischen dem Metall und dem Faserverbundwerkstoff durch unterschiedlichen Metallanteil und/oder Faseranteil im Gefüge der Verbindungszone ausgehend vom Faserverbundwerkstoff zum Metall hin herbeiführt.

4. Verbundbauteil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in der Verbindungszone mindestens eine Faserschlaufe ausgebildet ist, wobei diese Faserschlaufe zumindest in einem Teilbereich der Verbindungszone eine formschlüssige Komponente darstellt.

5. Verbundbauteil nach nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Metall Aluminium, Magnesium, Titan oder eine wenigstens Aluminium oder Magnesium oder Titan enthaltende Legierung ist.

6. Verbundbauteil nach nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Faserverbundwerkstoff ein Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff oder ein Glasfaserverstärkter Kunststoff oder ein Aramidfaserverstärkter Kunststoff oder ein Textilglasfaser oder ein Faserverstärktes Leichtmetall oder Kombinationen aus den genannten Materialien ist.

7. Verbundbauteil nach nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Faserverbundwerkstoff aus Faserverbünden in Form von Gewebe, Bändern, Zwirne, Rovings (Fasersträngе), Gelege, Gestricke, Gewirke, Filz, Matte, Netz, Gitter, ein- oder mehrlagige Laminate und/oder hybridartig aus diesen Formen zusammengefassten Fasergebilde besteht.

8. Verbundbauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Fasern des Faserverbundwerkstoffes ausgewählt sind aus der Gruppe bestehend aus Kohlenstofffasern, Glasfasern, Keramikfasern, SiC-Fasern, beschichteten Fasern, Aramid und/oder Borfasern oder Metallfasern oder aus Kombination aus wenigstens zwei dieser Stoffe.

9. Verwendung eines Verbundbauteils gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche im Fahrzeugbau, in Luft- und Raumfahrt oder in Windkraftanlagen.

10. Verfahren zur Herstellung eines Verbundbauteiles gemäß Anspruch 1, gekennzeichnet durch folgende Schritte,
a) Befestigen des Faserverbundwerkstoffes, der wenigstens einen Teil des fertigen Verbundbauteiles definiert, in einer Halterung,
b) Zumindest teilweise Abdeckung des Faserverbundwerkstoffes mit einem Abdeckgegenstand, wobei der Faserverbundwerkstoff mindestens an einer Stelle als Kontaktfläche zur Metallschmelze nicht abgedeckt wird,
c) Positionierung des Faserverbundwerkstoffes mit einer Halterung und/oder mit einem Abdeckgegenstand in den vorgesehenen Raum einer der Verbundbauteil bildeneden Gießform,
d) Füllen des verbleibenden Raums der Gießform mit der Schmelze des Metalls,
e) Ausformen des Verbundbauteiles nach Abkühlung.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Füllen der Gießform durch ein Gussverfahren oder Druckgussverfahren mit einer metallischen Schmelze aus Aluminium, Magnesium oder Titan oder aus einer wenigstens Aluminium oder Magnesium oder Titan enthaltenden Legierung erfolgt.

12. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Faserverbundwerkstoff und/oder die Verbindungszone nach dem Gießvorgang mit einem Matrixwerkstoff imprägniert oder vergoßen oder getränkt wird und/oder eine anschließende Nachbehandlung erfolgt.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Matrixwerkstoff ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Thermoplasten oder Duroplasten.

14. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Nachbehandlung eine Härtung, Polymerisation, Co-Polymerisation oder Polyaddition ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

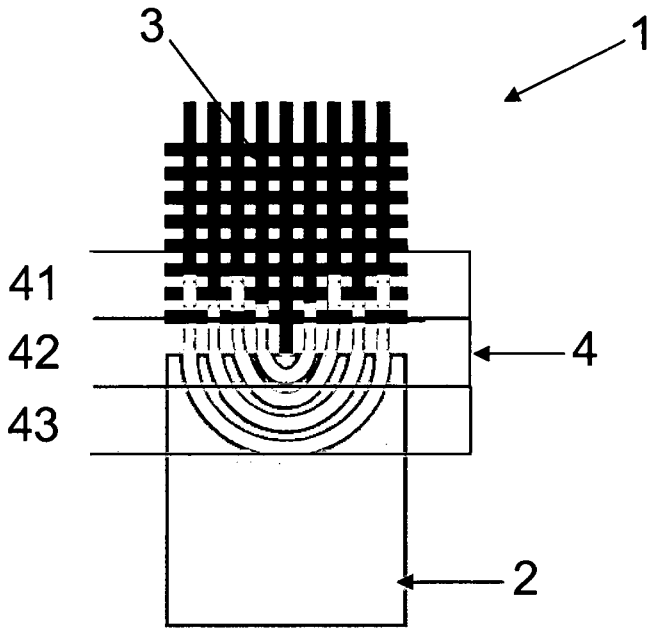


Fig. 1

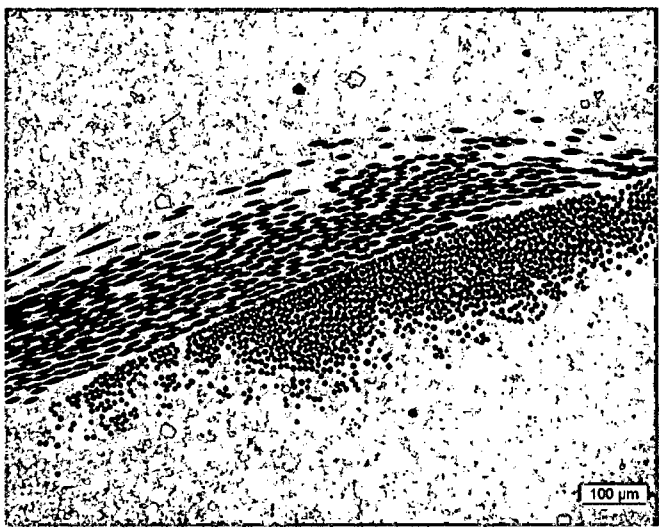


Fig. 2

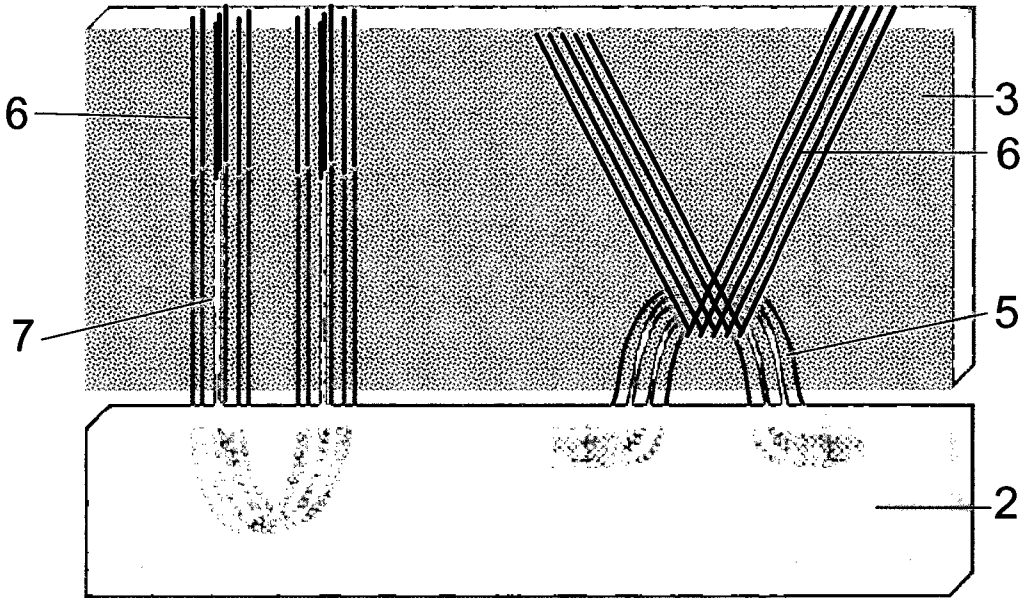


Fig. 3

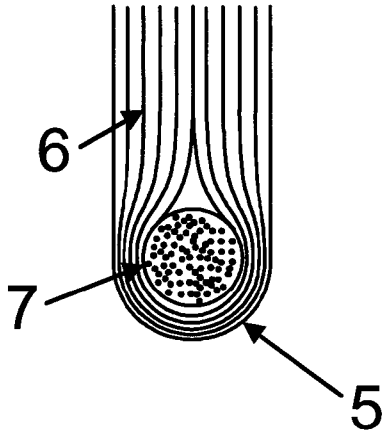


Fig. 4

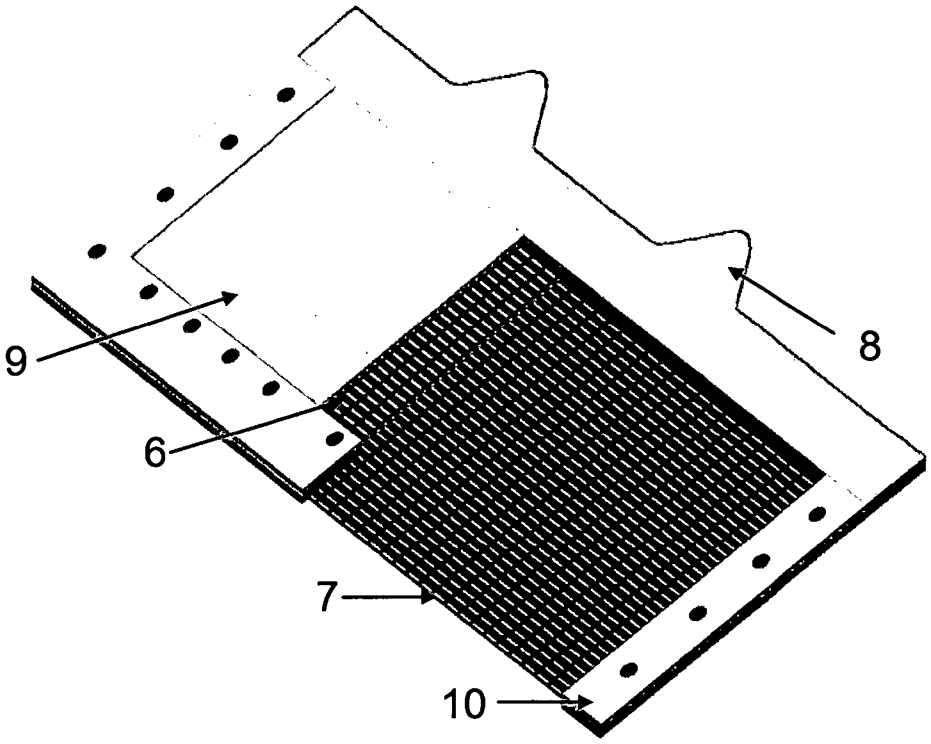


Fig. 5

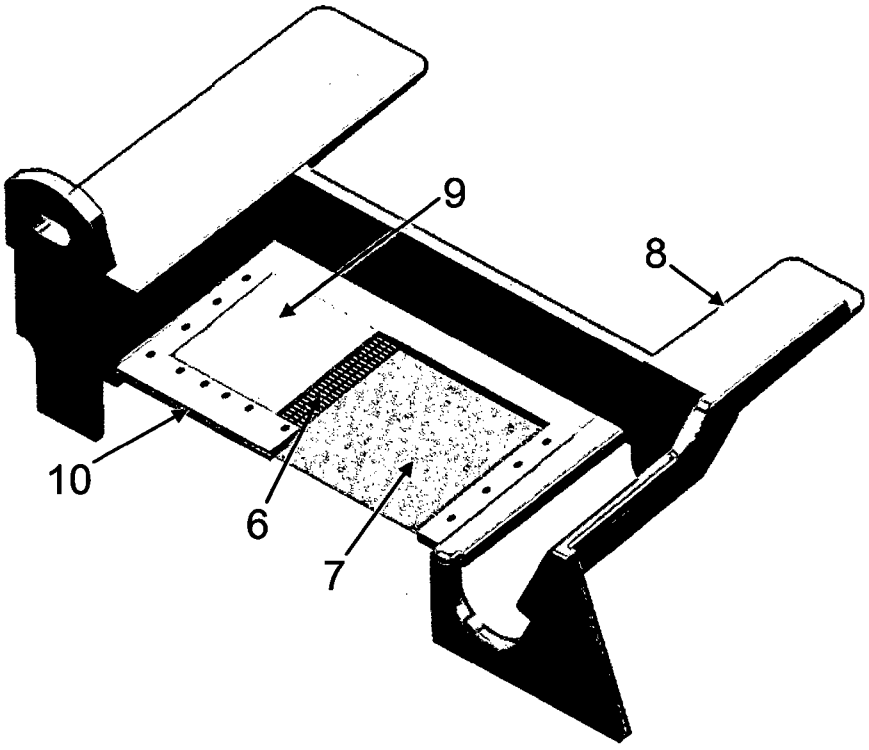


Fig. 6