



(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2016 103 979.9

(51) Int Cl.: **B29C 70/48 (2006.01)**

(22) Anmelddatum: 04.03.2016

B29C 70/42 (2006.01)

(43) Offenlegungstag: 07.09.2017

(71) Anmelder:

KTM Technologies GmbH, Salzburg, AT

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2004 009 744	A1
DE	10 2007 026 453	A1
DE	10 2008 013 759	A1
DE	10 2013 019 470	A1
DE	10 2013 226 017	A1
US	2003 / 0 144 062	A1

(74) Vertreter:

Patentanwälte Canzler & Bergmeier Partnerschaft mbB, 85055 Ingolstadt, DE

(72) Erfinder:

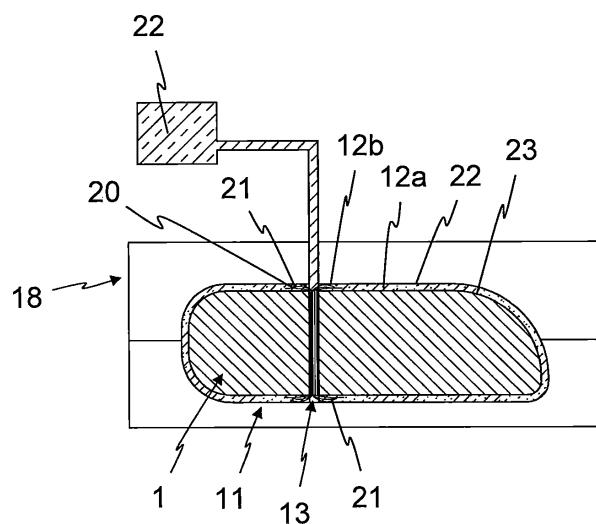
Lochner, Hans, 83486 Ramsau, DE; Amon, Thassilo, 94469 Deggendorf, DE

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines faserverstärkten Strukturhohlbauteils sowie Strukturhohlbauteil**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines faserverstärkten Strukturhohlbauteils (2), bei welchem ein Formkern (1) sowie Fasern (12a, 12b) mit einem Matrixmaterial (22) in ein Formwerkzeug (18) eingebracht werden, so dass sich eine erste Fasereinheit (11) mit dem Matrixmaterial (22) zur zumindest teilweisen Ausbildung einer Bauteilwandung (19) zwischen dem Formkern (1) und dem Formwerkzeug (18) befindet, das Matrixmaterial (22) zur Ausbildung des Strukturhohlbauteils (2) infolge einer Temperatur- und/oder Druckänderung ausgehärtet wird und der Formkern (1) nach dem Aushärten zur Ausbildung eines Bauteilhohlraums (29) aus dem Strukturhohlbauteil (2) ausgespült wird. Erfindungsgemäß wird in dem Formkern (1) wenigstens ein sich durch diesen erstreckender Kanal (4) ausgebildet und in den Kanal (4) eine zweite Fasereinheit (13) und/oder Matrixmaterial (22) eingebracht, so dass nach dem Aushärten des Matrixmaterials (22) und dem Ausspülen des Formkerns (1) eine sich durch den Bauteilhohlraum (29) erstreckende und im Bereich ihrer beiden Enden (20) form- und/oder stoffschlüssig mit der Bauteilwandung (19) verbundene Verstärkungsstrebe (26) ausgebildet wird. Ferner betrifft die Erfindung das Strukturhohlbauteil (2) selbst.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines faserverstärkten Strukturhohlbauteils, bei welchem ein Formkern sowie Fasern mit einem Matrixmaterial in ein Formwerkzeug eingebracht werden, so dass sich eine erste Fasereinheit mit dem Matrixmaterial zur zumindest teilweisen Ausbildung einer Bauteilwandung zwischen dem Formkern und dem Formwerkzeug befindet, das Matrixmaterial zur Ausbildung des Strukturhohlbauteils infolge einer Temperatur- und/oder Druckänderung ausgehärtet wird und der Formkern nach dem Aushärten zur Ausbildung eines Bauteilhohlraums aus dem Strukturhohlbauteil ausgespült wird.

[0002] Des Weiteren betrifft die vorliegende Erfindung ein Strukturhohlbauteil aus einem Faserverbundwerkstoff mit einer Bauteilwandung, einem im Inneren der Bauteilwandung ausgebildeten Bauteilhohlraum und wenigstens einem sich durch einen Bauteilhohlraum erstreckenden Verstärkungselement, insbesondere einer Verstärkungsstrebe.

[0003] Faserverstärkte Bauteile weisen Verstärkungsfasern, insbesondere Carbonfasern, Glasfasern und/oder Aramidfasern, auf, die in einer, insbesondere thermoplastischen und/oder duroplastischen, Matrix eingebettet bzw. eingebunden sind. Hierbei verleihen insbesondere die Verstärkungsfasern dem Bauteil die nötige Festigkeit bzw. Steifigkeit. Die Matrix hat hingegen die primäre Wirkung, die Verstärkungsfasern in einer gewünschten Form zu halten. Die Verstärkungsfasern werden somit durch die Matrix ausgerichtet, unterstützt sowie geschützt.

[0004] Aus der DE 10 2007 026 453 A1 ist ein Hohlbauteil mit einer faserverstärkten Versteifungsstrebe bekannt. Je Versteifungsstrebe werden hierbei zylindergemäßförmige Kerne mit Fasermaterial umwickelt und anschließend mittels einer Positionshilfe zueinander positioniert. Zur Ausbildung einer Außenkontur wird ein Formkern durch Wickeltechnik mit Verstärkungsfasern umgeben. Das beschriebene Verfahren ist äußerst aufwendig und bedarf vieler einzelner Arbeitsschritte zur Ausbildung der Verstärkungsstreben.

[0005] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es somit, ein Verfahren zur Herstellung für ein faserverstärktes Strukturhohlbauteil sowie ein faserverstärktes Strukturhohlbauteil bereitzustellen, mittels dem die oben genannten Nachteile gelöst werden können.

[0006] Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zur Herstellung eines faserverstärkten Strukturhohlbauteils sowie ein Strukturhohlbauteil mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche 1 und 14.

[0007] Vorgeschlagen wird ein Verfahren zur Herstellung eines faserverstärkten Strukturhohlbauteils, bei welchen ein Formkern sowie Fasern mit einem Matrixmaterial in ein Formwerkzeug eingebracht werden. Hierdurch befindet sich eine erste Fasereinheit mit dem Matrixmaterial zwischen dem Formkern und dem Formwerkzeug. Die Fasern können in Form von Kurzschnittfasern, Kurzschnittdänen, Endlosfasern, Bändern, Gewebematten, Gelegen und/oder Prepregs bereitgestellt werden. Der Begriff Prepreg bezeichnet Bänder, Gewebematten oder Gewebegelege, die mit einem Harz vorzugsweise einem duroplastischen Matrixmaterial vorimprägniert und gegebenenfalls vorgehärtet sind. Das Matrixmaterial ist ein Epoxidharz oder Polyurethanharz, insbesondere ein ein-, zwei- oder dreikomponentiges Harz. Aus der ersten Fasereinheit sowie dem Matrixmaterial wird zumindest teilweise eine Bauteilwandung des Strukturhohlbauteils ausgebildet.

[0008] Das zunächst viskos vorliegende duro- oder thermoplastische Matrixmaterial wird zur Ausbildung des Strukturhohlbauteils infolge einer Temperatur- und/oder Druckänderung ausgehärtet. Hierfür wird das Formwerkzeug geschlossen und mit Druck bzw. Temperatur beaufschlagt. Der Formkern ist dabei ein löslicher Kern, welcher in Folge der Änderung der Umgebungsbedingungen expandiert, so dass wenigstens die erste Fasereinheit gemeinsam mit dem Matrixmaterial gegen das Formwerkzeug gepresst wird. Nach dem Aushärten des Matrixmaterials wird der Formkern zur Ausbildung eines Bauteilhohlraums aus dem Strukturhohlbauteil ausgespült.

[0009] Erfindungsgemäß wird in dem Formkern wenigstens ein sich durch den Formkern erstreckender Kanal ausgebildet. Der Formkern liegt dabei vorzugsweise einteilig vor, so dass das Verfahren möglichst einfach und mit wenigen Arbeitsschritten gestaltet werden kann. In den Kanal wird zumindest eine zweite Fasereinheit eingebracht, welche beispielsweise als Gewebe, Gelege, und/oder derartige Schläuche ausgebildet sein kann. Zusätzlich oder alternativ kann diese zweite Fasereinheit auch als Kurzschnittfasern, -dänen oder Endlosdänen ausgebildet sein. Die zweite Fasereinheit kann eine bereits getränkte aber auch ungetränkte Faser sein. Zusätzlich zur zweiten Fasereinheit wird das Matrixmaterial in den Kanal eingebracht. Alternativ ist jedoch auch denkbar, lediglich das Matrixmaterial in den Kanal zu injizieren, ohne zuvor eine zweite Fasereinheit in den Kanal einzulegen. In diesem Fall wird eine Verstärkungselement, insbesondere die Verstärkungsstrebe, ausschließlich durch das Matrixmaterial ausgebildet.

[0010] Die zweite Fasereinheit und/oder das Matrixmaterial werden derart in den Kanal eingebracht, dass nach dem Aushärten des Matrixmaterials und dem Ausspülen des Formkerns das Verstärkungs-

element, insbesondere die Verstärkungsstrebe, in dem Strukturhohlbauteil ausgebildet ist. Das Verstärkungselement, insbesondere die Verstärkungsstrebe, erstreckt sich durch den Bauteilhohlraum hindurch. Zudem ist das Verstärkungselement im Bereich seiner beiden Enden form- und/oder stoffschlüssig mit der Bauteilwandung verbunden. Das Herstellungsverfahren des Strukturhohlbauteils kann somit einfach und zeitsparend realisiert werden. Das Verstärkungselement, insbesondere die Verstärkungsstrebe, stellt durch seine Verbindung mit der Bauteilwandung des Strukturhohlbauteils eine Maßnahme zu Stabilitätswahrung auch unter extremen Bedingungen dar, so dass die Qualität dauerhaft sichergestellt ist. Des Weiteren kann durch das vorliegende Verfahren ein sehr leichtes faserverstärktes Strukturhohlbauteil ausgebildet werden, da der Kern nicht in den Hohlraum des Strukturhohlbauteils verbleibt, sondern wieder entfernt wird.

[0011] Vorteilhaft ist es, wenn das Verstärkungselement zumindest eine Verstärkungswand (insbesondere vollflächig geschlossen, so dass vorzugsweise zwei voneinander getrennte Kammern ausgebildet sind), eine Verstärkungsstrebe, ein Fachwerk und/oder eine Verstärkungsstruktur ist. Des Weiteren ist es vorteilhaft, wenn das Verstärkungselement hohl ausgebildet ist. Auch kann das Verstärkungselement zumindest bereichsweise geradlinig und/oder gekrümmmt ausgebildet sein. Das Verstärkungselement kann eine X- und/oder eine Y-Form aufweisen.

[0012] Zudem stellt es einen Vorteil dar, wenn die erste Fasereinheit um den Formkern gewickelt wird. Die erste Fasereinheit wird dabei vorzugsweise durch eine vorimprägnierte Endlosfaser ausgebildet. Ebenso kann die erste Fasereinheit als Prepreg um den Formkern gelegt werden. Dabei ist es zunächst unerheblich, ob die Fasern bereits mit Matrixmaterial getränkt sind oder nicht. Der umwickelte Formkern wird zur Formgebung in das Formwerkzeug eingebracht. Alternativ ist es denkbar, zunächst den Prepreg zur Ausbildung der ersten Fasereinheit in das Formwerkzeug zu legen und anschließend den Formkern einzubringen. Um die Fasern im auszubildenden Strukturhohlbauteil zu fixieren, ist es alternativ oder ergänzend von Vorteil, wenn das Matrixmaterial nach dem Schließen des Formwerkzeugs in dieses injiziert wird. Hierdurch werden die Fasern der ersten sowie der zweiten Fasereinheit mit Matrixmaterial getränkt, so dass sie nach dessen Aushärten in Position gehalten werden und auftretende Spannungen in der Bauteilwandung sowie der Verstärkungsstrebe übertragen und verteilen können.

[0013] Das Matrixmaterial wird vorteilhafterweise von der dem Formwerkzeug zugewandten Seite des Formkerns in den Kanal injiziert. Hierfür weist der Formkern wenigstens eine Kanalöffnung auf, über welche das Matrixmaterial durch die erste Faserein-

heit in den Kanal geleitet wird. Weiterhin ist es denkbar, das Matrixmaterial derart mit Druck zu beaufschlagen, dass es direkt durch die erste Fasereinheit gedrückt wird, so dass es in den dafür vorgesehenen Kanal dringt. In dem Kanal ist vorzugsweise die zweite Fasereinheit angeordnet, so dass diese mit dem eingepressten Matrixmaterial getränkt wird. Es ist jedoch auch denkbar, dass die Verstärkungsstrebe lediglich durch das Matrixmaterial ausgebildet ist. Zusätzlich oder alternativ wird das Matrixmaterial durch einen mit dem Kanal im Bereich zwischen seinen beiden Kanalöffnungen verbundenen Zuführkanal in den Kanal injiziert. Der Zuführkanal erstreckt sich zumindest von dem Bereich des Formwerkzeugs ausgehend, von welchem das Matrixmaterial injiziert wird, bis zu dem Kanal. Hierdurch kann das Matrixmaterial gezielt zu dem Kanal geleitet werden. Da durch den Zuführkanal die für das Lösungsmittel direkt zugängliche Oberfläche des Formkerns erheblich vergrößert wird, wird dessen Ausspülen erleichtert.

[0014] Des Weiteren ist es von Vorteil, wenn der Kanal vor oder nach dem Anordnen der ersten Fasereinheit am Formkern ausgebildet wird. Der Zeitpunkt der Ausbildung des Kanals ist dabei in Abhängigkeit der gewünschten Einbringungsmethode der zweiten Fasereinheit zu wählen. Soll die zweite Fasereinheit beispielsweise einblasen werden, ist es sinnvoll den Kanal bereits vor dem Anordnen der ersten Fasereinheit zu fräsen oder zu bohren. Wird die zweite Fasereinheit hingegen genäht, so kann der Kanal erst nach der Anordnung der ersten Fasereinheit ausgebildet werden. Das Herstellungsverfahren kann hierdurch individuell an unterschiedliche zu erzielende Bauteileigenschaften angepasst werden, welche maßgeblich durch den gewählten Materialverbund bestimmt werden.

[0015] Der Kanal wird vorteilhafterweise gerade, geknickt und/oder gebogen ausgebildet. Hierdurch kann die spätere Form der Verstärkungsstrebe individuell an die erforderliche Steifigkeit angepasst werden. Zusätzlich oder alternativ stellt es einen Vorteil dar, wenn der Kanalurgeformt wird. Vorzugsweise wird der Kanal hierbei bereits während des Herstellens eines Grundkörpers des Formkerns in diesem ausgebildet. Weiterhin ist es denkbar, dass der Kanal erst nach dem Herstellen des Grundkörpers in den Formkern gebohrt, gestochen oder gefräst wird. Bei Bohren des Kanals wird dieser in der Regel gerade durch den Formkern hindurch ausgebildet. Bei entsprechendem Werkzeug ist es jedoch auch denkbar, Kurven und dergleichen herzustellen. Insbesondere beim Urformen und/oder Fräsen wird vorzugsweise zunächst eine Längshälfte des Kanals in einem ersten Formkernteil und die andere Längsschnithälfte in einem zweiten Formkernteil ausgebildet. Diese beiden Formkernteile werden anschließend miteinander verbunden, so dass der Kanal ausgebildet wird. Die

Form der Verstärkungsstrebe kann somit einfach an unterschiedlichste Bedingungen angepasst werden.

[0016] Die Fasern der zweiten Fasereinheit werden mittels einer mechanischen Einbringvorrichtung in den Kanal eingebracht. Die mechanische Einbringvorrichtung ist dabei beispielsweise eine Nadel. Die Fasern der zweiten Fasereinheit werden beispielsweise mittels der Nadel in den Formkern eingebracht, so dass sich die Fasern von der ersten Kanalöffnung bis zur zweiten Kanalöffnung hindurch erstrecken. Die erste Kanalöffnung ist dabei ein Fasereintritt und die zweite Kanalöffnung ein Faseraustritt, wobei dies auch umgekehrt erfolgen kann. Ebenso wäre es auch möglich, die Fasern durch beide Kanalöffnungen in den Kanal zu nähen, so dass die beiden Kanalöffnungen Fasereintritte sind. Der Kanal wird dabei durch die die Fasern einbringende Nadel selbst ausgebildet. Das Herstellungsverfahren kann hierdurch äußerst effizient gestaltet werden, da die Ausbildung des Kanals sowie das Einbringen der Nadeln nahezu zeitgleich erfolgt.

[0017] Alternativ oder ergänzend ist es von Vorteil, wenn die Fasern der zweiten Fasereinheit mittels eines Luftstroms in den Kanal eingebracht werden. Der Kanal wird dabei vor dem Einblasen der Fasern vorzugsweise gefräst oder gebohrt, wobei prinzipiell jede erdenklche Form möglich ist. Die Fasern können anschließend durch eine der beiden Kanalöffnungen eingeblasen werden, so dass sie aus der anderen Kanalöffnung wieder austreten und sich somit vollständig durch den Kanal erstrecken. Das Einblasen der Fasern ermöglicht es, den Kanal auf vielfältige Art und Weise auszubilden, da die Einbringung der Fasern unabhängig von dessen Form erfolgt. Um die Fasern auch durch einen stark gebogenen Kanal zu führen, ist es beispielsweise ausreichend die Strömungsgeschwindigkeit des Luftstroms zu erhöhen.

[0018] Die beiden Kanalöffnungen können dabei lediglich an dem Formkern selbst ausgebildet werden. Ebenso ist es auch denkbar, dass die erste Fasereinheit die beiden Kanalöffnungen aufweist. Die Platzierung der Kanalöffnungen kann je nach Herstellungsverfahren und Zeitpunkt der Umwicklung des Formkerns mit der ersten Fasereinheit variieren. Wird beispielsweise eine Fasermatte in das Formwerkzeug gelegt, so ist es sinnvoll den Kanal sowie die zweite Fasereinheit vor dem Einlegen in das Formwerkzeug auszubilden. Folglich würde auch nur der Formkern die Kanalöffnungen aufweisen, nicht jedoch die erste Fasereinheit. Wird hingegen die erste Fasereinheit zuerst um den Formkern gelegt und anschließend der Kanal mit der zweiten Fasereinheit ausgebildet, so weist auch die erste Fasereinheit wenigstens eine der beiden Kanalöffnungen auf.

[0019] Zudem ist es von Vorteil, wenn die zweite Fasereinheit mit dem jeweils zugeordneten Bereich der

ersten Fasereinheit verbunden wird. Hierbei wird die zweite Fasereinheit an ihren beiden Enden mit der ersten Fasereinheit unter Ausbildung zweier Verbindungsgebiete verbunden. Die Fasern der zweiten Fasereinheit werden dabei mit der ersten Fasereinheit gefügt, insbesondere vernäht. Die beiden Fasereinheiten können hierdurch fest miteinander verbunden werden, so dass die Stabilität auch nach dem Herausspülen des Formkerns gewährleistet ist. Zudem können die auftretenden Kräfte an der Verbindungsstelle ohne Einbußen wirksam übertragen werden.

[0020] Vorteilhafterweise wird wenigstens einer der beiden Verbindungsgebiete an einer Außenseite der ersten Fasereinheit ausgebildet. Hierbei wird vorzugsweise in die erste Fasereinheit ein Schlitz geschnitten. Die zweite Fasereinheit wird anschließend durch diesen Schlitz geführt. In einer alternativen Ausführungsform wird die zweite Fasereinheit mit der mechanischen Einbringvorrichtung, insbesondere der Nadel, durch die um den Formkern liegende erste Fasereinheit gestochen. Zur Ausbildung des Kanals in dem Formkern wird die zweite Fasereinheit alternativ oder ergänzend durch den Formkern selbst gestochen. Ebenso ist es auch denkbar, dass der Kanal von der Außenseite der ersten Fasereinheit ausgehend durch den Formkern gebohrt wurde, so dass die Fasern der zweiten Fasereinheit mittels des Luftstroms eingebracht werden können. Im Bereich beider Kanalöffnungen wird das jeweils überstehende Ende der zweiten Fasereinheit auf die Außenseite der ersten Fasereinheit geklappt. Um die zweite Fasereinheit dauerhaft mit der Außenseite der ersten Fasereinheit zu verbinden, ist möglicherweise bereits das injizierte und ausgehärtete Matrixmaterial ausreichend. Zusätzlich ist es ebenso denkbar, die überstehenden Enden mit der Außenseite der ersten Fasereinheit zu vernähen. Hierdurch können die Lasten wirksam in dem Bauteil geleitet werden, so dass dessen Stabilität positiv beeinflusst wird.

[0021] Wenigstens einer der beiden Verbindungsgebiete wird vorteilhafterweise an einer Innenseite der ersten Fasereinheit ausgebildet. Hierfür wird zunächst die zweite Fasereinheit in den Kanal eingebracht, deren überstehende Enden sodann auf einen Umfang des Formkerns geklappt werden. Dabei ist es unerheblich, ob der Kanal zuvor gefräst wurde oder durch das Einbringen der zweiten Fasereinheit mittels der Nadel ausgebildet wird. Der Formkern wird anschließend mit der ersten Fasereinheit umwickelt. Um sichere Verbindungsstellen auszubilden, können diese beiden Fasereinheiten zusätzlich miteinander vernäht werden. Das Herstellungsverfahren kann dadurch möglich einfacher gestaltet werden.

[0022] Von Vorteil ist es zudem, wenn wenigstens einer der beiden Verbindungsgebiete im Inneren der ersten Fasereinheit ausgebildet wird. Dabei wird

vorzugsweise, insbesondere mehrmals hintereinander, eine Faserschicht der ersten Fasereinheit um den Formkern angeordnet. Zur Ausbildung der Faserschicht kann die erste Fasereinheit mehrmals um den Formkern gewickelt werden oder auch in Form einer Fasermatte um den Formkern gelegt werden. Währenddessen oder im Anschluss wird die Faserschicht mit einem Teil der Fasern der zweiten Fasereinheit durchstochen. Das überstehende Ende dieses Teils wird auf die Außenseite der ersten Faserschicht geklappt und/oder mit dieser vernäht. Anschließend wird eine weitere zweite Faserschicht um den bestehenden Formkern mit der ersten Faserschicht gelegt oder gewickelt, so dass die Enden der zweiten Fasereinheit bedeckt sind. Das Herstellungsverfahren kann hierdurch einfach gestaltet werden, ohne die Stabilität der Verbindungsbereiche zwischen den Fasereinheiten negativ zu beeinflussen.

[0023] Einen weiteren Vorteil stellt es dar, wenn der Zuführkanal des Formkerns vor dem Injizieren des Matrixmaterials mit einem Füllmaterial, insbesondere mit einem Expansionsmaterial wie beispielsweise Wachs gefüllt wird. Das Matrixmaterial wird bei dessen Injektion in das Formwerkzeug durch die erste Fasereinheit hindurch in den Kanal des Formkerns gepresst, so dass auch die zweite Fasereinheit mit dem Matrixmaterial getränkt ist. Durch den mit Füllmaterial gefüllten Zuführkanal ist sichergestellt, dass lediglich der Kanal mit dem Matrixmaterial angereichert wird. Der Zuführkanal, welcher letztlich einem verbesserten Ausspülen des Formkerns dient, wird somit fre gehalten. Das Füllmaterial wird nach dem Aushärten des Matrixmaterials ausgespült, so dass der Formkern ideal mittels eines Lösungsmittels von dem Strukturhohlbauteil entfernt werden kann.

[0024] Der Formkern expandiert vorteilhafterweise bei Temperaturerhöhung. Hierdurch vergrößert sich ein Formkernquerschnitt, so dass die in dem Matrixmaterial eingebettete erste Fasereinheit nach außen gegen eine Negativform des Formwerkzeugs gepresst wird. Sämtliche in den Fasereinheiten sowie dem Matrixmaterial befindliche Luftbläschen können hierdurch effizient aus dem Bauteil entfernt werden, so dass dessen Qualität sichergestellt ist.

[0025] Weiterhin ist es von Vorteil, wenn nach dem Aushärten des Matrixmaterials ein Lösungsmittel in den Zuführkanal des Formkerns gespült wird, so dass sich der Formkern aus dem Strukturhohlbauteil löst. Alternativ oder zusätzlich ist es von Vorteil, wenn das Lösungsmittel auf einen Querschnitt des Formkerns gespült wird. Der Formkern, welcher ein beispielsweise ein Sandkern oder ein Salzkern ist, kann durch den Zuführkanal zuverlässig und nahezu rückstands frei aus dem Strukturhohlbauteil gespült werden.

[0026] Vorgeschlagen wird zudem ein Strukturhohlbauteil aus einem Faserverbundwerkstoff mit einer

Bauteilwandung. Im Inneren der Bauteilwandung ist ein Bauteilhohlraum ausgebildet. Durch diesen Bauteilhohlraum erstreckt sich wenigstens ein Verstärkungselement, insbesondere eine Verstärkungsstrebe.

[0027] Erfindungsgemäß ist das Strukturhohlbauteil gemäß der vorangegangenen Beschreibung ausgebildet, wobei die genannten Merkmale einzeln oder in beliebiger Kombination vorhanden sein können. Das Strukturhohlbauteil ist äußerst stabil ausgebildet, da sich das Verstärkungselement, insbesondere die Verstärkungsstrebe, über den gesamten Bauteilhohlraum erstreckt und somit eine stützende Wirkung hat. Zudem können die im Bauteil auftretenden Lasten effizient geleitet werden, so dass das Bauteil auch hohen Beanspruchungen zuverlässig stand gehalten wird.

[0028] Weiterhin ist es von Vorteil, wenn das Verstärkungselement, insbesondere die Verstärkungsstrebe, an seinen Enden in einem jeweiligen Verbindungsreich stoff- und/oder formschlüssig mit der Bauteilwandung verbunden, insbesondere vernäht, ist. Einem Ausreißen der Verstärkungsstrebe aufgrund zu hoher Lasten ist hierdurch auf konstruktiv einfache Weise vorgebeugt.

[0029] Weitere Vorteile der Erfindung sind in den nachfolgenden Ausführungsbeispielen beschrieben. Es zeigt:

[0030] **Fig. 1** eine Vorderansicht eines Formkerns,

[0031] **Fig. 2** eine Vorderansicht eines zweiten Ausführungsbeispiels eines Formkerns mit einem Kanal,

[0032] **Fig. 3a** eine Schnitteinsicht einer Längsschnithälfte eines dritten Ausführungsbeispiels eines Formkerns mit einem Kanal,

[0033] **Fig. 3b** eine Schnittansicht einer zweiten Längsschnithälfte des dritten Ausführungsbeispiels,

[0034] **Fig. 3c** eine Vorderansicht eines Formkerns gemäß dem dritten Ausführungsbeispiels,

[0035] **Fig. 4** eine Schnittansicht eines mit Fasern umwickelten Formkerns,

[0036] **Fig. 5** eine schematische Schnittansicht eines Formwerkzeuges mit einem Formkern,

[0037] **Fig. 6** eine schematische Schnittansicht einer zweiten Ausführungsbeispiele eines Formwerkzeuges mit einem Formkern,

[0038] **Fig. 7** eine Schnittansicht eines weiteren Ausführungsbeispiels eines Formwerkzeuges mit einem Formkern,

[0039] **Fig.** 8 eine Schnittansicht eines Strukturbau-teils mit Formkern,

[0040] **Fig.** 9a eine Schnittansicht eines Strukturbauteil mit einem Verstärkungselement, insbesondere einer Verstärkungsstrebe, und

[0041] **Fig.** 9b eine Schnittansicht eines Strukturbau-teils gemäß **Fig.** 9a

[0042] Die **Fig.** 1 zeigt eine Vorderansicht eines Formkerns 1. Der Formkern 1 ist zur Herstellung eines nicht dargestellten Strukturhohlbauteils 2 (vgl. **Fig.** 9a, **Fig.** 9b) bereitgestellt. Das Material des Formkerns 1 ist derart zu wählen, dass es zur Formgebung des Strukturbau-teils 2 bearbeitet werden kann. Zudem expandiert der Formkern 1 infolge einer Temperaturerhöhung, so dass sich sein Volumen 3 vergrößert.

[0043] Bei der nachfolgenden Beschreibung der in den **Fig.** 2 bis **Fig.** 3c dargestellten alternativen Ausführungsbeispiele des Formkerns 1 werden für Merkmale, die im Vergleich zum in **Fig.** 1 dargestellten ersten Ausführungsbeispiel in ihrer Ausgestaltung und/oder Wirkweise identisch und/oder zumindest vergleichbar sind, gleiche Bezugszeichen verwendet. Sofern diese nicht nochmals detailliert erläutert werden, entspricht deren Ausgestaltung und/oder Wirkweise der Ausgestaltung und Wirkweise der vorstehend bereits beschriebenen Merkmale.

[0044] So zeigt **Fig.** 2 ein zweites Ausführungsbeispiel des Formkerns 1, der vorliegend vorzugsweise einteilig ausgebildet ist. Der Formkern 1 weist einen Kanal 4 mit einer ersten Kanalöffnung 5 und einer zweiten Kanalöffnung 6 auf. Der Kanal 4 ist mittels einer geeigneten nicht dargestellten Vorrichtung gebohrt, so dass er sich durch den gesamten Formkern 1 hindurch bzw. abbildungsgemäß über seine gesamte Höhe hinweg erstreckt.

[0045] Die **Fig.** 3a und **Fig.** 3b zeigen den Formkern 1 mit einem gefrästen Kanal 4 in einer Schnittansicht. In **Fig.** 3c ist dieser Formkern in einer Vorderansicht dargestellt. Der Formkern 1 weist einen ersten Formkernteil 7 sowie einen zweiten Formkernteil 8 auf. Zur Ausbildung des Kanals 4 wird in den ersten Formkernteil 7 eine erste Längsschnithälfte 9 und in den zweiten Formkernteil 8 eine zweite Längsschnithälfte 10 gefräst. Die beiden Längsschnithälften 9, 10 korrespondieren miteinander, so dass sie zusammengesetzt den Kanal 4 ausbilden. Hierfür werden die beiden Formkernteile 7, 8 entsprechend miteinander verbunden. Der Kanal 4 dieses Ausführungsbeispiels kann auch mittels anderer geeigneter Materialabtragungsmethoden ausgebildet werden.

[0046] In **Fig.** 4 ist ein Formkern 1 dargestellt, welcher mit einer ersten Fasereinheit 11 umwickelt ist.

Die erste Fasereinheit 11 ist von einer Vielzahl an Fasern 12a ausgebildet und kann mehrere übereinanderliegende Faserschichten umfassen. Dabei ist es unerheblich ob die Fasern 12a Stapelfasern, Endlosfasern oder dergleichen sind. Ebenso ist es denkbar, dass die erste Fasereinheit 11 durch zumindest eine Fasermatte ausgebildet ist. Zudem weist der Formkern 1 eine zweite Fasereinheit 13 auf. Die zweite Fasereinheit wird durch Fasern 12b ausgebildet.

[0047] Die Fasern 12b werden mittels einer mechanischen Einbringvorrichtung, insbesondere mittels einer Nadel 14, durch die erste Fasereinheit 11 und den Formkern 1 gestochen. Während des Stechens bildet die Nadel 14 mit ihrer Spitze 15 zumindest teilweise den Kanal 4 aus. Die wenigstens eine durch ein Nadelöhr 16 der Nadel 14 gezogene Faser 12b wird mit dieser Nadel 14 durch den Formkern 1 geführt und verbleibt zumindest teilweise in diesem. Durch die Einbringung mehrerer Fasern 12b dicht aneinander wird zum einen durch die Materialverdrängung der Nadel 14 der Kanal 4 ausgebildet. Zum anderen bilden die benachbarten Fasern 12b die zweite Fasereinheit 13 aus. Die zweite Fasereinheit 13 wird durch die erste Fasereinheit 11 sowie den Formkern 1 gestochen, so dass die beiden Kanalöffnungen 5, 6 an einer Außenseite 17 der ersten Fasereinheit 11 ausgebildet werden. Alternativ kann der Kanal 4 aber auch schon vor dem Umwickeln des Formkerns 1 ausgebildet werden. Weiterhin ist es denkbar, dass in die erste Fasereinheit 11 ein nicht dargestellter Schlitz geschnitten wird, durch welchen die zweite Fasereinheit 13 geführt werden kann. Die überstehenden Enden 20 der Fasern 12b der zweiten Fasereinheit 13 werden auf die Außenseite 17 der ersten Fasereinheit 11 geklappt, so dass sie unter Ausbildung jeweils eines Verbindungsbereiches 21 mit dieser verbunden werden können. Zusätzlich kann die Faserschicht der ersten Fasereinheit 11 mit einer vorliegend nicht dargestellten zweiten Schicht umwickelt werden, so dass die Enden 20 zwischen diesen beiden Faserschichten eingebettet sind.

[0048] Alternativ ist denkbar, dass der Kanal 4 vor dem Einbringen der Fasern 12b gebohrt oder gefräst wird. Die Fasern 12b der zweiten Fasereinheit 13 können sodann mittels der mechanischen Einbringvorrichtung, insbesondere mittels eines nicht dargestellten Luftstroms in den Kanal 4 eingeblasen werden.

[0049] Die **Fig.** 5 zeigt ein Formwerkzeug 18, in welchem der Formkern 1 zusammen mit den beiden Fasereinheiten 11, 13 angeordnet ist. Im dargestellten Ausführungsbeispiel wurden die Fasern 12a der ersten Fasereinheit 11 vor dem Einbringen des Formkerns 1 in das Formwerkzeug 18 im Wechsel mit den Fasern 12b der zweiten Fasereinheit 13 um den Formkern 1 gewickelt bzw. in dessen Kanal 4 einge-

bracht. Hierdurch werden die Verbindungsbereiche **21** im Inneren der ersten Fasereinheit **11** ausgebildet.

[0050] Zur Fixierung der Fasern **12a**, **12b** beider Fasereinheiten **11**, **13** wird Matrixmaterial **22** in das Formwerkzeug **18** injiziert. Das Matrixmaterial **22** wird durch die erste Fasereinheit **11** hindurch in den die zweite Fasereinheit **13** aufweisenden Kanal **4** gepresst. Die beiden Fasereinheiten **11**, **13** werden hierdurch in das Matrixmaterial **22** eingebettet. Nach dem Injizieren des Matrixmaterials **22** wird dieses infolge einer Druck- und/oder Temperaturänderung ausgehärtet. Dabei expandiert der Formkern **1** derart, dass zumindest die erste Fasereinheit **11** mit dem Matrixmaterial **22** gegen eine Negativform **23** des Formwerkzeugs **18** gepresst wird. Hierdurch behalten die beiden mit dem Matrixmaterial **22** getränkten Fasereinheiten **11**, **13** auch nach dem Aushärten des Matrixmaterials **22** ihre vorgegebene Form.

[0051] Bei der nachfolgenden Beschreibung der in den **Fig. 6** und **Fig. 7** dargestellten alternativen Ausführungsbeispiele des Formwerkzeugs **18** werden für Merkmale, die im Vergleich zum in **Fig. 5** dargestellten ersten Ausführungsbeispiel des Formwerkzeugs **18** in ihrer Ausgestaltung und/oder Wirkweise identisch und/oder zumindest vergleichbar sind, gleiche Bezugssymbole verwendet. Sofern diese nicht nochmals detailliert erläutert werden, entspricht deren Ausgestaltung und/oder Wirkweise der Ausgestaltung und Wirkweise der vorstehend bereits beschriebenen Merkmale.

[0052] In **Fig. 6** ist das Formwerkzeug **18** mit einem Zuführkanal **24** dargestellt. Der Zuführkanal **24** ist mit dem Kanal **4** im Bereich zwischen den beiden Kanalöffnungen **5**, **6** mit diesem verbunden. Über den Zuführkanal **24** wird das Matrixmaterial **22** in den Kanal injiziert, vorzugsweise derart, dass auch die erste Fasereinheit **11** mit dem Matrixmaterial **22** getränkt wird. Nach dem Aushärten des Matrixmaterials **22** ist es möglich, den Formkern **1** über den Zuführkanal **24** auszuspülen. Die Kombination der in den **Fig. 5** und **Fig. 6** beschriebenen Ausbildung des Formwerkzeugs ist denkbar.

[0053] Die **Fig. 7** zeigt das Formwerkzeug **18** mit dem Zuführkanal **24**. Im Gegensatz zur **Fig. 6** wird hier in den Zuführkanal **24** ein Füllmaterial **25** gefüllt. Das Füllmaterial **25** ist vorzugsweise ein Expansionsmaterial wie beispielsweise Wachs. Das Matrixmaterial **22** wird über die erste Kanalöffnung **5** durch die erste Fasereinheit **11** hindurch in die zweite Fasereinheit **13** gepresst. Hierdurch werden beide Fasereinheiten **11**, **13** in das Matrixmaterial **22** gebettet. Weiterhin ist es möglich, den Kanal **4** mit dem Matrixmaterial **22** zu füllen, ohne zuvor die zweite Fasereinheit **13** darin anzurichten. Durch das Füllmaterial **25** wird sichergestellt, dass das Matrixmaterial **22** lediglich in den Kanal **4** dringt, nicht aber in den Zuführkanal **24**

selbst. Nach dem Aushärten des Matrixmaterials **22** wird das Füllmaterial **25** aus dem Zuführkanal **24** ausgespült. Hierdurch behält der Zuführkanal **24** seine vorteilhafte Wirkung bei, dass der Formkern **1** durch diesen schnell ausgespült werden kann.

[0054] Die **Fig. 8** zeigt die beiden in das Matrixmaterial **22** eingebetteten Fasereinheiten **11**, **13** nach dem Aushärten des Matrixmaterials **22**. Der Formkern **1** ist dabei noch von der Fasereinheit **11** sowie dem Matrixmaterial **22** umschlossen angeordnet. Die Verbindungsbereiche **21** sind dabei an einer Innenseite **27** der ersten Fasereinheit **11** ausgebildet. Die zweite Fasereinheit **13** wird in die Kanal **4** eingebracht, bevor die erste Fasereinheit **11** um den Formkern **1** gewickelt bzw. gelegt wird. Die überstehenden Enden **20** der Fasern **12b** der zweiten Fasereinheit **13** werden auf einen Umfang **28** des Formkerns **1** geklappt.

[0055] Um den Formkern **1** zur Ausbildung des Strukturhohlbauteils **2** zu entfernen, wird ein Lösungsmittel L in den Zuführkanal **24** gespült. Der lösliche Formkern **1** löst sich hierdurch aus dem Strukturhohlbauteil **2**. Die in das Matrixmaterial **22** eingebettete erste Fasereinheit **11** bildet folglich eine Bauteilwandung **19** des Strukturhohlbauteils **2** aus. Die in das Matrixmaterial **22** eingebettete zweite Fasereinheit **13** bildet ein Verstärkungselement, insbesondere eine Verstärkungsstrebe **26**, (vgl. **Fig. 9a**, **Fig. 9b**) aus. Das Lösungsmittel L kann ebenso auf einen Querschnitt **30** des Formkerns **1** gespült werden.

[0056] Die **Fig. 9a** und **Fig. 9b** zeigen das nach dem beschriebenen Herstellungsverfahren ausgebildete Strukturhohlbauteil **2** aus unterschiedlichen Ansichten. Das Strukturhohlbauteil **2** weist die Bauteilwandung **19** auf. Die Bauteilwandung **19** begrenzt einen Bauteilhohlraum **29**. Durch den Bauteilhohlraum **29** erstreckt sich das Verstärkungselement, insbesondere die Verstärkungsstrebe **26**. Das Verstärkungselement, insbesondere die Verstärkungsstrebe **26**, ist an seinen beiden Enden **20** durch den jeweils zugeordneten Verbindungsreich **21** mit der Bauteilwandung **19** verbunden.

[0057] Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die dargestellten und beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt. Abwandlungen im Rahmen der Patentansprüche sind ebenso möglich wie eine Kombination der Merkmale, auch wenn diese in unterschiedlichen Ausführungsbeispielen dargestellt und beschrieben sind.

Bezugssymbole

- | | |
|----------|---------------------|
| 1 | Formkern |
| 2 | Strukturhohlbauteil |
| 3 | Volumen |
| 4 | Kanal |
| 5 | Erste Kanalöffnung |

- 6** Zweite Kanalöffnung
- 7** Erster Formkernteil
- 8** Zweiter Formkernteil
- 9** Erste Längsschnitthälfte
- 10** Zweite Längsschnitthälfte
- 11** Erste Fasereinheit
- 12a** Faser der ersten Fasereinheit
- 12b** Faser der zweiten Fasereinheit
- 13** Zweite Fasereinheit
- 14** Nadel
- 15** Spitze
- 16** Nadelöhr
- 17** Außenseite
- 18** Formwerkzeug
- 19** Bauteilwandung
- 20** Enden
- 21** Verbindungsbereich
- 22** Matrixmaterial
- 23** Negativform
- 24** Zuführkanal
- 25** Füllmaterial
- 26** Verstärkungsstrebe
- 27** Innenseite
- 28** Umfang
- 29** Bauteilhohlraum
- 30** Querschnitt
- L** Lösungsmittel

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- DE 102007026453 A1 [0004]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines faserverstärkten Strukturhohlbauteils (2), bei welchem ein Formkern (1) sowie Fasern (12a, 12b) mit einem Matrixmaterial (22) in ein Formwerkzeug (18) eingebracht werden, so dass sich eine erste Fasereinheit (11) mit dem Matrixmaterial (22) zur zumindest teilweisen Ausbildung einer Bauteilwandung (19) zwischen dem Formkern (1) und dem Formwerkzeug (18) befindet, das Matrixmaterial (22) zur Ausbildung des Strukturhohlbauteils (2) infolge einer Temperatur- und/oder Druckänderung ausgehärtet wird und der Formkern (1) nach dem Aushärten zur Ausbildung eines Bauteilhohlraums (29) aus dem Strukturhohlbauteil (2) ausgespült wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem Formkern (1) wenigstens ein sich durch diesen erstreckender Kanal (4) ausgebildet wird und dass in den Kanal (4) eine zweite Fasereinheit (13) und/oder Matrixmaterial (22) eingebracht werden, so dass nach dem Aushärten des Matrixmaterials (22) und dem Ausspülen des Formkerns (1) ein sich durch den Bauteilhohlraum (29) erstreckendes und im Bereich seiner beiden Enden (20) form- und/oder stoffschlüssig mit der Bauteilwandung (19) verbundenes Verstärkungselement (26) ausgebildet wird.

2. Verfahren nach dem vorherigen Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Fasereinheit (11) um den Formkern (1) gewickelt wird, dass der umwickelte Formkern (1) in das Formwerkzeug (18) eingebracht wird und/oder dass das Matrixmaterial (22) nach dem Schließen des Formwerkzeugs (18) in dieses injiziert wird.

3. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Matrixmaterial (22) von der dem Formwerkzeug (18) zugewandten Seite des Formkerns (1), insbesondere über zumindest eine Kanalöffnung (5, 6) und/oder durch die erste Fasereinheit (11) hindurch, und/oder durch einen mit dem Kanal (4) im Bereich zwischen seinen beiden Kanalöffnungen (5, 6) verbundenen Zuführkanal (24) in den Kanal (4) injiziert wird.

4. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kanal (4) vor oder nach dem Anordnen der ersten Fasereinheit (11) am Formkern (1) ausgebildet wird.

5. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein gerader, geknickter und/oder gebogener Kanal (4) ausgebildet wird und/oder

dass der Kanal (4)urgeformt wird, wobei dieser vorzugsweise während des Herstellens eines Grundkörpers des Formkerns (1) in diesem ausgebildet wird, oder erst danach in den Formkern (1) gebohrt, gestochen oder gefräst wird, wobei insbesondere beim Urformen und/oder Fräsen vorzugsweise zunächst eine erste Längsschnitthälfte (9) des Kanals (4) in einem ersten Formkernteil (7) und die andere zweite Längsschnitthälfte (10) in einem zweiten Formkernteil (8) ausgebildet werden und die beiden Formkernteile (7, 8) anschließend miteinander verbunden werden, so dass der Kanal (4) ausgebildet wird.

6. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fasern (12b) der zweiten Fasereinheit (13) mittels einer mechanischen Einbringvorrichtung, insbesondere einer Nadel (14), oder eines Luftstroms in den Kanal (4) eingebracht werden.

7. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Fasereinheit (13) unter Ausbildung zweier Verbindungsbereiche (21) an ihren beiden Enden (20) mit dem jeweils zugeordneten Bereich der ersten Fasereinheit (11) verbunden, insbesondere vernäht, wird.

8. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens einer der beiden Verbindungsbereiche (21) an einer Außenseite (17) der ersten Fasereinheit (11) ausgebildet wird, wobei vorzugsweise in die erste Fasereinheit (11) ein Schlitz geschnitten wird und die zweite Fasereinheit (13) durch diesen Schlitz geführt wird oder vorzugsweise die zweite Fasereinheit (13) mit der Nadel (14) durch die um den Formkern (1) liegende erste Fasereinheit (11) und/oder zur Ausbildung des Kanals (4) durch den Formkern (1) gestochen wird und/oder das überstehende Ende (20) der zweiten Fasereinheit (13) auf die Außenseite (17) der ersten Fasereinheit (11) geklappt und/oder mit dieser vernäht wird.

9. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens einer der beiden Verbindungsbereiche (21) an einer Innenseite (27) der ersten Fasereinheit (11) ausgebildet wird, wobei vorzugsweise zuerst die zweite Fasereinheit (13) in den Kanal (4) eingebracht wird, das überstehende Ende (20) der zweiten Fasereinheit (13) auf einen Umfang (28) des Formkerns (1) geklappt wird und/oder anschließend der Formkern (1) umwickelt wird.

10. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens einer der beiden Verbindungsbereiche

(21) im Inneren der ersten Fasereinheit (11) ausgebildet wird.

11. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zuführkanal (24) des Formkerns (1) vor dem Injizieren des Matrixmaterials (22) mit einem Füllmaterial (25), insbesondere mit einem Expansionsmaterial wie beispielsweise Wachs, gefüllt wird und das Füllmaterial (25) nach dem Aushärten des Matrixmaterials (22) ausgespült wird.

12. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Formkern (1) bei Temperaturerhöhung expandiert, so dass die erste Fasereinheit (11) sowie auch das Matrixmaterial (22) nach außen gegen eine Negativform (23) des Formwerkzeugs (18) gepresst werden.

13. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach dem Aushärten des Matrixmaterials (22) ein Lösungsmittel (L) in den Zuführkanal (24) des Formkerns (1) und/oder auf einen Querschnitt (30) des Formkerns (1) gespült wird, so dass sich der Formkern (1) aus dem Strukturhohlbauteil (2) löst.

14. Strukturhohlbauteil (2) aus einem Faserverbundwerkstoff mit einer Bauteilwandung (19), einem im Inneren der Bauteilwandung (19) ausgebildeten Bauteilhohlraum (29) und wenigstens einem sich durch den Bauteilhohlraum (29) erstreckenden Verstärkungselement (26), **dadurch gekennzeichnet**, dass das Strukturhohlbauteil (2) mit einem Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche hergestellt ist.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

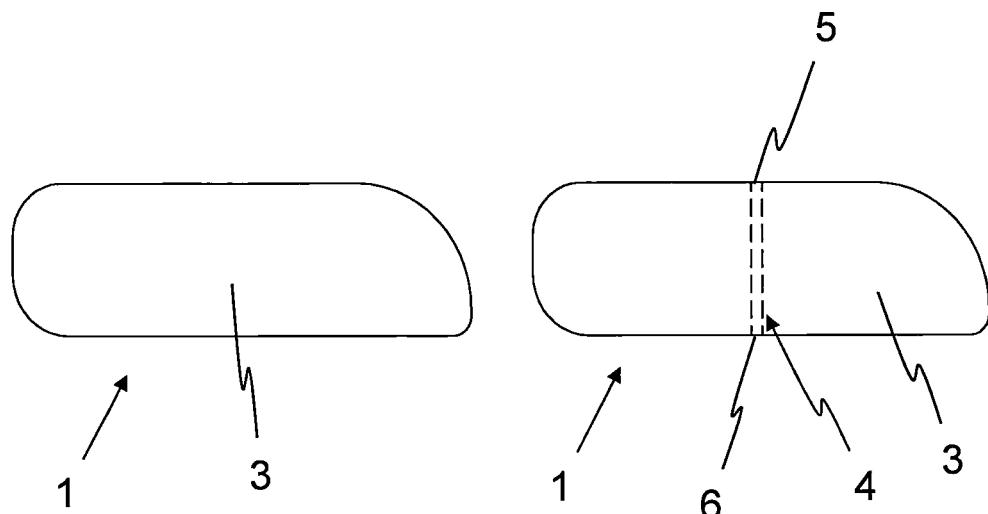


Fig. 1

Fig. 2

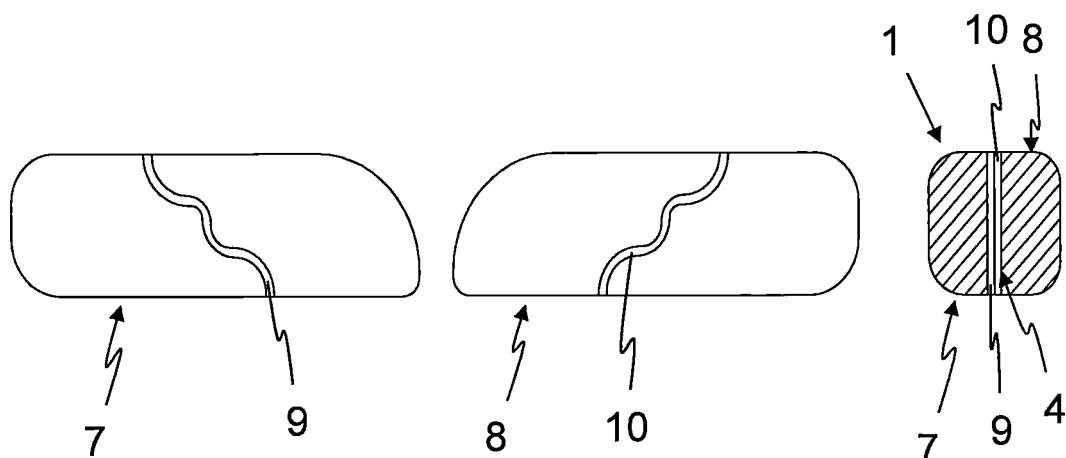


Fig. 3a

Fig. 3b

Fig. 3c

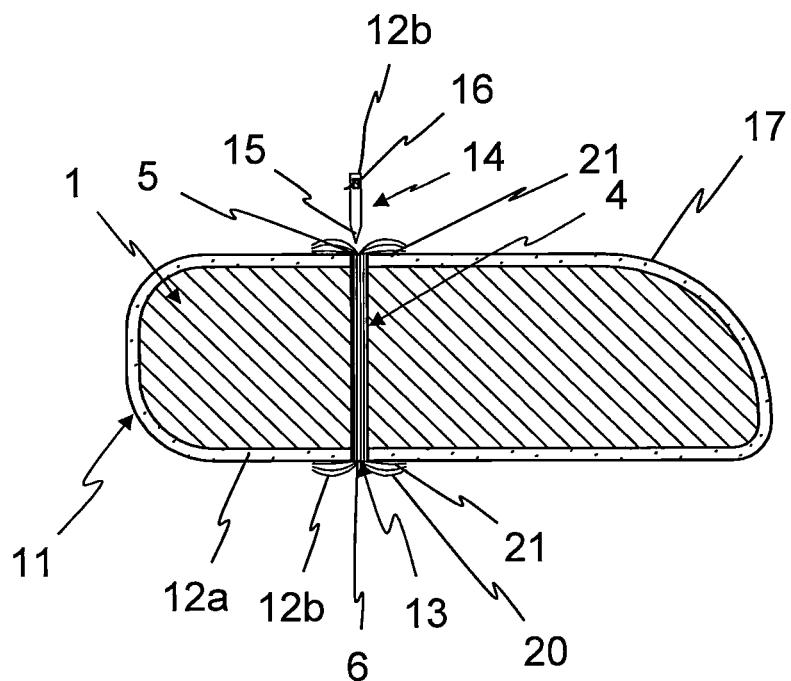


Fig. 4

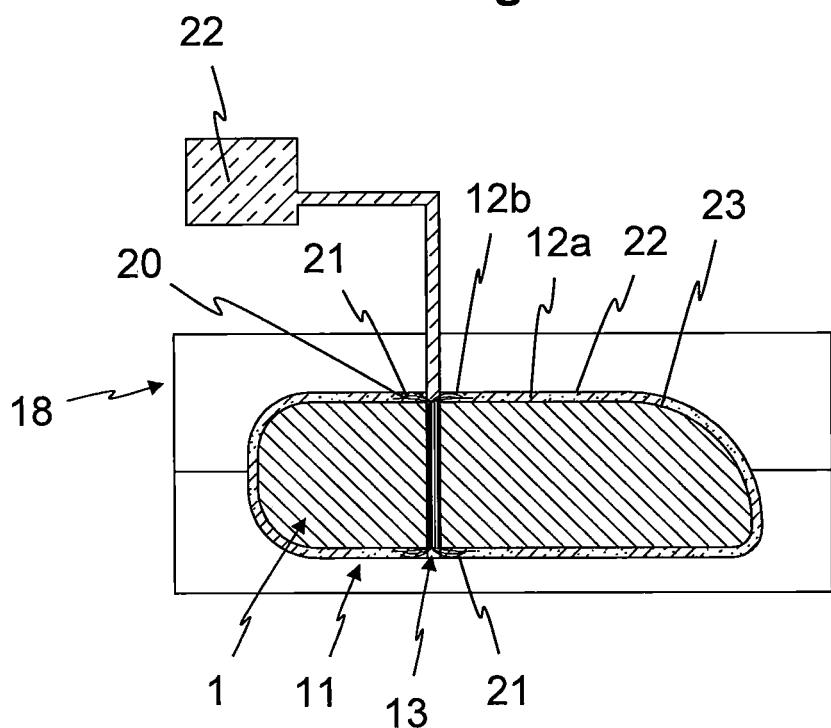


Fig. 5

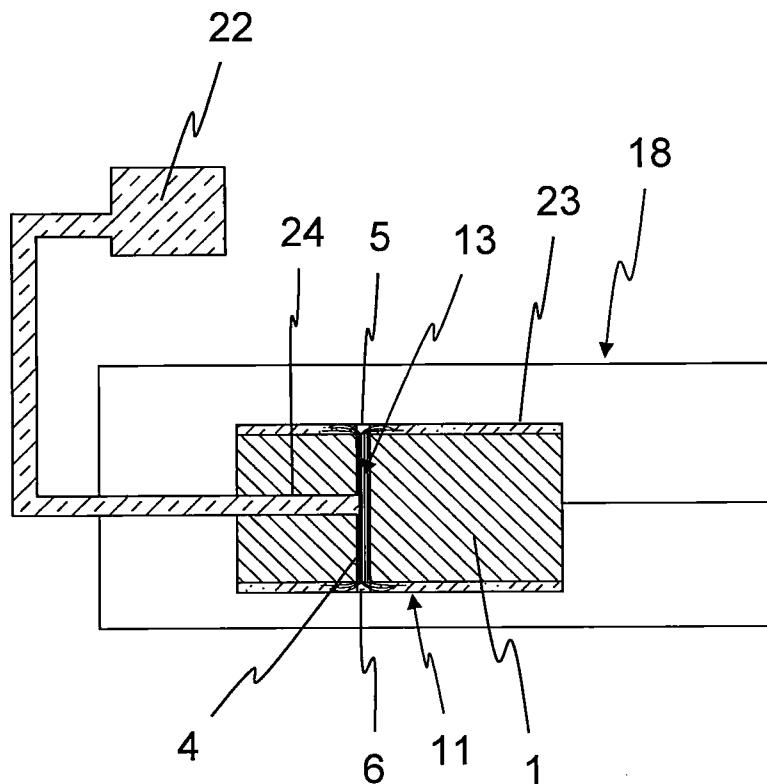


Fig. 6

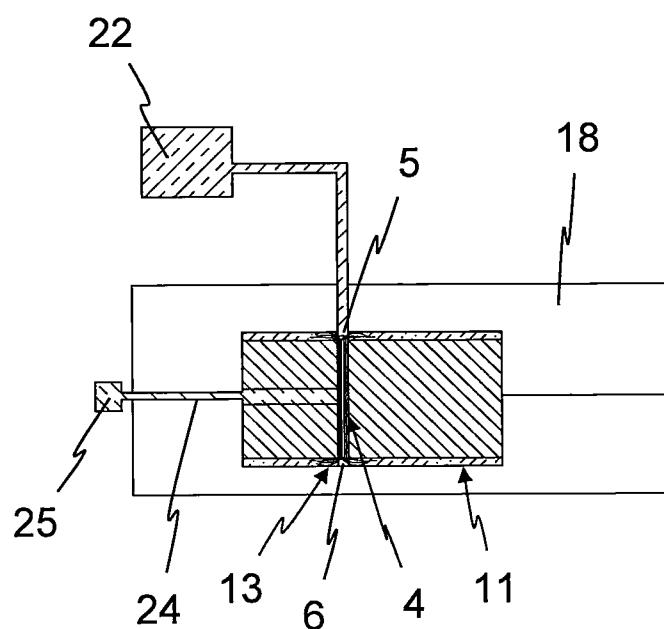


Fig. 7

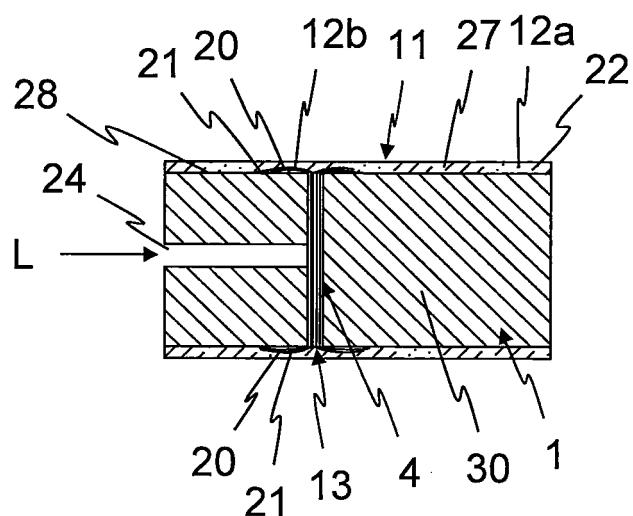


Fig. 8

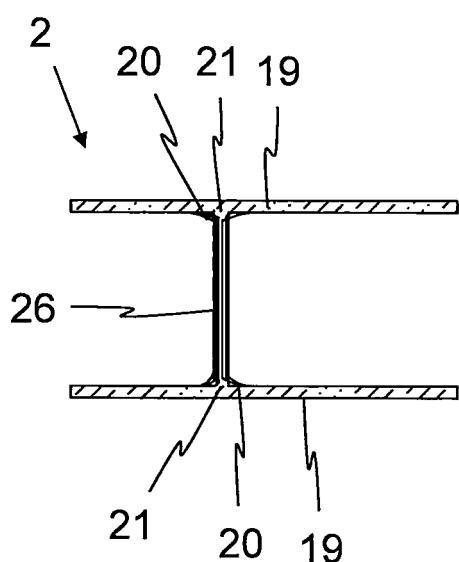


Fig. 9a

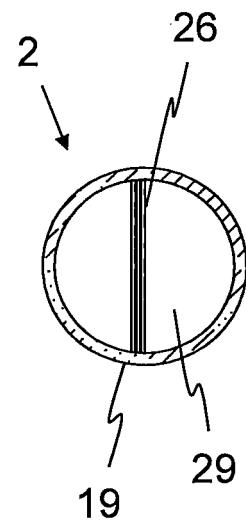


Fig. 9b