



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 29 216 T2** 2006.08.31

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 115 574 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 29 216.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US99/08764**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 944 984.6**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 1999/059819**

(86) PCT-Anmeldetag: **21.04.1999**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **25.11.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **18.07.2001**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **28.12.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **31.08.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **C04B 37/00** (2006.01)

**C04B 35/80** (2006.01)

**B32B 31/26** (2000.01)

**B32B 31/12** (2000.01)

(30) Unionspriorität:

**81761**                      **20.05.1998**                      **US**

(73) Patentinhaber:

**Northrop Grumman Corp., Los Angeles, Calif., US**

(74) Vertreter:

**derzeit kein Vertreter bestellt**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, ES, FR, GB, IT, SE**

(72) Erfinder:

**PEARSON, Robert, William, Huntington Beach, US; DAWS, Eric, David, Long Beach, US**

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUR HAFTUNG VON KERAMISCHEN SCHÄUMEN**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung**

## BEREICH DER ERFINDUNG

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich, allgemein gesehen, auf keramische Schaummaterialien, spezifischer gesehen betrifft sie ein Verfahren zum Anhaften und/oder Ausbessern von keramischen Schaummaterialien unter Einsatz eines faserverstärkenden, präkeramischen Harzes.

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

**[0002]** Keramische Schaummaterialien sind in der Technik bekannt. Schaummaterialien können ausgehend von einer Vielzahl von Materialzusammensetzungen gebildet werden und sie schließen mit ein, ohne aber darauf beschränkt zu sein; Siliziumkarbid (SiC), Borkarbid ( $B_4C$ ), Hafniumkarbid (HfC), Tantalcarbid (TaC), Zirkondioxid ( $ZrO_2$ ), Aluminiumoxid ( $Al_2O_3$ ), Hafniumdioxid ( $HfO_2$ ), Magnesiumoxid (MgO), Siliziumdioxid ( $SiO_2$ ), Yttriumoxid ( $Y_2O_3$ ), Siliziumnitrid ( $Si_3N_4$ ), Aluminiumnitrid (AlN), Bornitrid (BN), Hafniumnitrid (HfN), Titanborid ( $TiB_2$ ), Cordierit ( $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ ) und Mullit ( $3Al_2O_3-2SiO_2$ ). Ein Beispiel einer speziellen Anwendung eines keramischen Schaums ist die Abscheidung aus der Gasphase (CVD = Chemical Vapour Deposition) von Siliziumkarbid (CVD-SiC), welcher als ein Grundmaterial für Konstruktionszwecke benutzt wird. Ein solcher Schaum findet insbesondere in der Luft- und Raumfahrtindustrie dort Anwendungen wo die innere Aussteifung von Baustrukturen hohen Temperaturen ausgesetzt ist wie etwa bei den aus keramischen Kompositmaterialien bestehenden Hinterkanten von aerodynamischen Oberflächen. Andere Anwendungen von keramischen Schäumen findet man bei Wärmeaustauschern, Bestandteilen von Kraftmaschinen, Luft- und Raumfahrtstrukturen, Drosselscheiben, Abgasfiltern von Dieselmotoren, Partikelfiltern, Katalysatorträgermaterialien, Radarnasen, Wiedereintrittsschilden, Heizelementen, Geräuschunterdrückern, Lagern, Sonnenkollektoren, thermischen Regeneratoren, Spiegelträgern, Bremsbelägen und Brennhilfsmitteln.

**[0003]** Um die praktische Anwendung von solchen keramischen Schäumen zu erleichtern, besteht nach dem Stand der Technik allerdings noch die Notwendigkeit von Verfahren zum Anhaften und zum Ausbessern von solchen Schäumen. Insbesondere ist es wünschenswert ähnliche keramische Schäume aneinander zu haften, wie beispielsweise in dem Fall wo ein Teil eines keramischen Schaums beschädigt worden ist. Unter diesem Gesichtspunkt ist es oft erwünscht einen aus dem gleichen Typ von Material gebildeten Reparaturstopfen (welcher demzufolge die gleichen mechanischen und chemischen Attribute aufweist) zu benutzen.

**[0004]** Es ist aus diesem Grunde offensichtlich, dass in der Technik ein Bedürfnis besteht an einem Verfahren zum Anhaften von keramischen Schäumen, welches verhältnismäßig einfach aber dennoch sehr wirkungsvoll sein soll.

**[0005]** Die Hintergrundtechnik wird offenbart in der Veröffentlichung „Manufacturing and applications of structural sandwich components“ von Karlsson und Aström (Composites Teil A, Volumen 28, Nummer 2, 1997, Seiten 97–111). In dieser Veröffentlichung werden die Techniken zur Herstellung von Sandwichkomponenten für strukturelle Anwendungen zusammengestellt und diskutiert unter Berücksichtigung der Verarbeitungsstufen, der Merkmale sowohl von der Technik als auch von den hergestellten Komponenten und der Verwendungsbeispiele. Ein Hauptgewicht wird auf die im Handel am gebräuchlichsten Herstellungstechniken gelegt, obschon ebenso weniger gebräuchliche Herstellungswege ebenfalls kurz andiskutiert werden. Die Veröffentlichung hat als Ziel ein Hilfsmittel zu liefern, um die zur Verfügung stehenden Herstellungsverfahren im Hinblick auf die Durchführbarkeit einer spezifischen Anwendung zu vergleichen und einen Ausgangspunkt für weiterreichende Recherchen und Entwicklungsanstrengungen auf dem Gebiet der Sandwichherstellung zur Verfügung zu stellen. Die Veröffentlichung enthält auch eine Besprechung zu rezenten Entwicklungen und zukünftigen Tendenzen sowohl in Punkto Material- als auch Behandlungswegen.

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0006]** Die vorliegende Erfindung besteht in einem Verfahren zum Anhaften eines ersten keramischen Schaums an einen zweiten keramischen Schaum, so wie dies in Anspruch 1 definiert wird, sowie in einem Verfahren zum Reparieren eines ersten keramischen Schaums mit einem beschädigten Teilstück, so wie dies in Anspruch 18 definiert worden ist.

**[0007]** Dementsprechend und in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren geliefert zum Anhaften eines ersten keramischen Schaums an einen zweiten keramischen Schaum. Das Verfahren beginnt mit dem Imprägnieren eines flüssigen Harzes mit Verstärkungsfasern, um ein flüssiges, verstärktes Bindungsharz zu bilden. Das flüssige, verstärkte Bindungsharz wird alsdann auf mindestens einen von den keramischen Schäumen aufgetragen. Die Schäume werden der eine mit dem anderen verbunden, wobei das flüssige, verstärkte Bindungsharz dazwischen angeordnet wird. Das flüssige, verstärkte Bindungsharz wird ausgehärtet, um ein festes, verstärktes Bindungsharz zu bilden. Das flüssige, verstärkte Bindungsharz wird zum Anhaften des ersten und des zweiten keramischen Schaums pyrolysiert, um eine keramische Bindungsschicht zu bilden. Die keramische Bindung ist gekennzeichnet

durch eine poröse keramische Matrix mit darin angeordneten verstärkenden Fasern. Es ist beabsichtigt dass die keramische Matrix den ersten und den zweiten keramischen Schaum aneinanderhaftet, während die Verstärkungsfasern die im Innern der Bindungsschichten angeordnete keramische Matrix strukturell tragen.

**[0008]** Vorzugsweise werden die Verstärkungsfasern von einem keramischen Material gebildet, welches ganz allgemein mit der chemischen Zusammensetzung des Schaums übereinstimmen kann und beispielsweise mit Hilfe von Whiskern aus Siliziumkarbid hergestellt werden kann. Das flüssige, verstärkte Bindungsharz ist im Wesentlichen monomer und es verwandelt sich infolge des Härtens in ein polymeres Material. Dort wo das feste, verstärkte Bindungsharz nicht aus dem Oxidtypus der Keramik besteht, kann der Pyrolyseprozess in einer im Wesentlichen inerten Atmosphäre durchgeführt werden, um eine unerwünschte Oxidation zu verhindern. Zusätzlich kann die keramische Bindungsschicht darüber hinaus durch chemische Bindungen gekennzeichnet sein, welche zwischen der porösen keramischen Matrix und mindestens einem von dem ersten und dem zweiten keramischen Schaum im Verlaufe der Pyrolyse gebildet werden. Es wird in diesem Zusammenhang ein Übergangsmaterial geschaffen, welches in Punkto Zusammensetzung eine Kombination der keramischen Matrix und des angrenzenden Schaums bildet. Um zusätzliche Bindungskräfte zu beschaffen, kann die Bindungsschicht nachfolgend an den anfänglichen Pyrolyseprozess verdichtet werden. Bei einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum Reparieren eines beschädigten keramischen Schaums geliefert und durch die Bildung der Bindungs- bzw. Verbundschicht vereinfacht, so wie dies oben beschrieben worden ist.

**[0009]** Vorteilhafterweise benutzt die vorliegende Erfindung einfache und im Handel erhältliche Komponentenmaterialien, d. h. das flüssige Harz und die Verstärkungsfasern, um die Schäume zusammenzubinden. Zusätzlich sind die allgemeinen Verfahrensschritte des Härtens und der Pyrolyse gut in der Technik bekannt. Dementsprechend sind nicht notwendigerweise ein spezialisiertes Handwerksgeschirr oder spezialisierte Einrichtungen erforderlich, welche von dem abweichen, was normalerweise in der Technik benutzt wird, um ein Härten oder eine Pyrolyse durchzuführen. In dieser Beziehung umfasst die vorliegende Erfindung einen einfachen aus zwei Komponenten bestehenden Verbindungskleber, welcher einer Härtung und einer Pyrolyse ausgesetzt wird, um eine chemische/mechanische Bindung zwischen zwei keramischen Schäumen zu schaffen.

**[0010]** Hieraus folgt, dass die vorliegende Erfindung einen markanten Fortschritt in der Technik darstellt.

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0011]** Diese und auch andere Merkmale der vorliegenden Erfindung werden bei der Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen offensichtlicher werden.

**[0012]** [Fig. 1](#) ist ein Fließdiagramm des Verfahrens zum Aneinanderhaften von keramischen Schäumen gemäß der vorliegenden Erfindung.

**[0013]** [Fig. 2](#) ist ein Fließdiagramm des Verfahrens zum Reparieren von keramischen Schäumen gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

## DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORM

**[0014]** Es wird jetzt auf die Zeichnungen verwiesen, in welchen die Darstellungen lediglich dem Zwecke der Illustration einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dienen und nicht dem Zwecke der Einschränkung des Erfindungsumfanges derselben. Es illustrieren die [Fig. 1–Fig. 2](#) Fließdiagramme der mit dem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung übereinstimmenden Verfahrensschritte.

**[0015]** In Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren geliefert zum Anhaften eines ersten keramischen Schaums an einen zweiten keramischen Schaum. So wie der Ausdruck ‚keramisch‘ in dem vorliegenden Zusammenhang benutzt wird, betrifft er oder bezieht er sich auf solche Materialien, die als ihre wesentliche Komponente anorganische nicht metallische Stoffe enthalten und für einen großen Teil aus diesen gebildet sind. Die Keramikmaterialien erstrecken sich nicht nur auf Materialien wie Töpferwaren, Porzellan, Feuerfestprodukte, strukturelle Tonprodukte, Schmirgelprodukte, Porzellanemail, Zement und Glas, sondern auch, ohne aber darauf beschränkt zu sein, auf nicht metallische magnetische Materialien, ferroelektrische Gegenstände, künstliche Einkristalle sowie Glaskeramik. Es wird ins Auge gefasst, dass die keramischen Schäume aus irgendeiner Anzahl von Zusammensetzungen bestehen können, welche irgendjemandem, der in der Technik auch nur normal bewandert ist, gut bekannt sind. Keramische Schäume können ausgehend von einer Vielzahl von Materialzusammensetzungen gebildet werden und sie schließen mit ein, ohne aber darauf beschränkt zu sein; Siliziumkarbid (SiC), Bor- karbid (B<sub>4</sub>C), Hafniumkarbid (HfC), Tantal- karbid (TaC), Zirkondioxid (ZrO<sub>2</sub>), Aluminiumoxid (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Hafniumdioxid (HfO<sub>2</sub>), Magnesiumoxid (MgO), Siliziumdioxid (SiO<sub>2</sub>), Yttriumoxid (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Siliziumnitrid (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>), Aluminiumnitrid (AlN), Bornitrid (BN), Hafniumnitrid (HfN), Titanborid (TiB<sub>2</sub>), Cordierit (MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>) und Mullit (3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-2SiO<sub>2</sub>).

**[0016]** Bezieht man sich auf [Fig. 1](#), so ist dort ein Fließdiagramm der Schritte des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung illustriert. Das Verfahren beginnt mit dem Imprägnieren eines flüssigen Harzes mit Verstärkungsfasern, um ein flüssiges, verstärktes Bindungsharz herzustellen. Das flüssige Harz ist ein solches, das einer Keramikbildung infolge einer Pyrolyse unterzogen werden kann. Solch ein Harz, das auch als ein präkeramisches Harz und/oder als ein keramisches Vorläuferharz bezeichnet werden kann, wird unter denjenigen Harzen ausgewählt, die den in der Technik eine normale Kenntnis besitzenden Personen, also den Fachleuten, gut bekannt sind. Beispiel von fertigen Produkten mit diesen Schäumen können sein; Siliziumnitrokarbid (SiNC), Siliziumkarbid (SiC), Aluminosilikate ( $3\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}2\text{SiO}_2$ ), Siliziumoxykarbid (SiOC), Starfire (SiC Vorläuferprodukt), Tonen ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) und Siliziumdioxid ( $\text{SiO}_2$  Vorläuferprodukt). Das flüssige Harz besitzt vorzugsweise eine Viskosität und eine Konsistenz, welche hoch genug liegen, um ein Mischen und ein Suspendieren der Verstärkungsfasern zu vereinfachen. Als solches, ob schon dies aber nicht erfordert ist, wird das Harz als ein für die Praxis bestimmter Stoff wahrscheinlich im Wesentlichen von seiner Natur her monomer sein und es macht 60 bis 90 Gewichtsprozent aus im Vergleich zu dem Gewichtsprozentsatz der Verstärkungsfasern.

**[0017]** Die Verstärkungsfasern können die Form von keramischen Fasern annehmen und sie können im Allgemeinen mit der chemischen Zusammensetzung von mindestens einem unter dem ersten und dem zweiten keramischen Schaum aufeinander abgestimmt sein. Demnach, wo der erste und der zweite keramische Schaum aus Siliziumkarbid gebildet sind, bestehen die Verstärkungsfasern vorzugsweise aus Siliziumkarbid. Die Fasern bestehen vorzugsweise aus Fasern vom Whiskertyp und sie weisen ein Schlankheitsverhältnis von mehr als fünfzehn auf. Man zieht physikalische Eigenschaften der Fasern in Betracht, welche sich beispielsweise auf den Schmelzpunkt, die Degradationstemperatur, die thermische Ausdehnung und die thermische Leitfähigkeit beziehen können, und es wird denselben Rechnung getragen, wenn das Material für die Fasern ausgewählt wird.

**[0018]** Das flüssige, verstärkte Bindungsharz wird auf mindestens einen von den keramischen Schäumen aufgetragen. Die Schäume werden der eine mit dem anderen verbunden mit Hilfe des flüssigen, verstärkten Bindungsharzes, der zwischen denselben angeordnet wird. Das flüssige, verstärkte Bindungsharz wird dann ausgehärtet, um ein festes verstärktes Bindungsharz zu bilden. Der Fachmann auf diesem Gebiet wird abzuschätzen wissen, dass die Härtungstemperatur und die Dauer der Härtung von dem besonderen eingesetzten flüssigen Harz abhängig sein werden. Solche Härtungstemperaturen können

jedoch in typischer Weise zwischen  $38^\circ\text{C}$  und  $177^\circ\text{C}$  ( $100$  und  $350$  Grad Fahrenheit) liegen. Je nach den physischen Ausmaßen und der Konfiguration der Schäume, kann ein Härteofen oder ein tragbares Heizgerät benutzt werden.

**[0019]** Das feste, verstärkte Bindungsharz wird einer Pyrolyse unterzogen, um eine keramische Bindungsschicht zu ergeben. Die keramische Bindungsschicht ist gekennzeichnet durch eine poröse, keramische Matrix mit darin angeordneten Verstärkungsfasern. Wie der Fachmann abzuschätzen wissen wird, sind die Pyrolysetemperatur und die Dauer der Pyrolyse von dem besonderen eingesetzten präkeramischen Harz abhängig. Solche Pyrolysetemperaturen können jedoch in typischer Weise zwischen  $538^\circ\text{C}$  und  $1093^\circ\text{C}$  ( $1000$  und  $2000$  Grad Fahrenheit) liegen. Je nach den physischen Ausmaßen und der Konfiguration der Schäume, kann ein Härteofen oder ein tragbares Heizgerät benutzt werden. Es wird dem Rechnung getragen, dass infolge der verhältnismäßig hohen Temperatur und anderer während der Pyrolyse bestehender Umgebungsbedingungen, der dazwischen liegende Härtungsprozess den Volumenverlust des Harzmaterials mäßigen wird. Für das spezifizierte, besondere präkeramische Harz wird ins Auge gefasst, dasselbe unter denjenigen auszuwählen, welche dem Fachmann auf diesem Gebiet gut bekannt sind. Ein solches Harz wird sich keramisieren, um eine keramische Matrix zu bilden, welche mit der Betriebstemperatur des ersten und des zweiten keramischen Schaums verträglich ist. Die Verträglichkeit bezieht sich auf die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Materials, welche sich auf den Schmelzpunkt, die Degradationstemperatur, die thermische Ausdehnung und die thermische Leitfähigkeit erstrecken, ohne aber auf diese begrenzt zu sein.

**[0020]** Von Wichtigkeit ist es, dass die Verstärkungsfasern an Ort und Stelle abbinden, weil der Härtungsprozess zu einem verfestigten Material führt, und dadurch für die keramische Matrix eine mit derselben verbundene Tragstruktur ergeben. Unter diesem Gesichtspunkt besetzt das feste, verstärkte Bindungsharz anfänglich ein Verbundlinienvolumen. Nach der Pyrolyse besetzt die keramische Verbundschicht im Wesentlichen das Verbundlinienvolumen und weist lokalisierte Hohlräume auf, welche innerhalb einer porösen keramischen Matrix und um die Verstärkungsfasern herum angeordnet sind. Es wird ins Auge gefasst, dass in Abwesenheit von Verstärkungsfasern, nach der Pyrolyse, das verfestigte Harz sich keramisiert und das Verbundlinienvolumen nicht vollständig ausgefüllt wird und dasselbe kann einem selbst zerstörerischen Schrumpfen unterliegen.

**[0021]** Während des Pyrolysevorganges können der erste und der zweite Schaum mit dem keramisierten Harz reagieren. Dadurch kann die keramische

Bindungsschicht weitgehender durch chemische Bindungen gekennzeichnet werden, welche zwischen der porösen keramischen Matrix und mindestens einem von dem ersten und dem zweiten keramischen Schaum während der Pyrolyse gebildet werden. Es wird von diesen chemischen Bindungen angenommen, dass sie die Verbund- bzw. Klebkraft zwischen der Bindungsschicht und den Schäumen heraufsetzen. Ferner kann während der Pyrolyse ein Übergangsmaterial gebildet werden, welches zwischen der porösen keramischen Matrix und den Schäumen angeordnet ist. Das Übergangsmaterial ist das Produkt aus der chemischen Reaktion zwischen der keramischen Matrix und den Schäumen. Zum Beispiel, dort wo die keramischen Schäume Siliziumkarbid (SiC) sind und das verfestigte Harz aus einem  $\text{SiO}_x\text{C}_y$  Material besteht, kann während der Pyrolyse ein  $\text{SiO}_x\text{C}_y$  Material geschaffen werden. Andere Beispiele erstrecken sich auf den Einsatz von:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Schaum und Harzen auf der Basis von  $\text{SiO}_2$ , welche  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  bilden;  $\text{Si}_3\text{N}_4$  Schaum und Harzen auf der Basis von SiNC, welche  $\text{Si}_x\text{N}_y\text{C}_z$  bilden;  $\text{ZrO}_2$  Schaum und Harzen auf der Basis von  $\text{SiO}_x\text{C}_y$ , welche  $\text{ZrSiO}_x\text{C}_y$  bilden; und  $\text{Y}_2\text{O}_3$  Schaum und Harzen auf der Basis von  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ , welche  $\text{Y}_2\text{Al}_x\text{Si}_y\text{O}_z$  bilden. Das Übergangsmaterial kann unerwünschte physikalische Merkmale aufweisen, welche im Zusammenhang stehen mit beispielsweise dem Schmelzpunkt, der Degradationstemperatur, der thermischen Ausdehnung und der thermischen Leitfähigkeit. In der Praxis ist es zum Beispiel, dadurch weil der erste und der zweite keramische Schaum einer besonderen Betriebstemperatur unterzogen werden, nicht wünschenswert, dass das Übergangsmaterial einen Schmelzpunkt aufweist, welcher niedriger ist als eine solche Betriebstemperatur oder aber die Bindungsschicht wird nicht ausreichend fest an dem Schaum kleben. Dementsprechend, und so wie es der Fachmann abwägen kann, wird das spezielle verfestigte Harz selektiv so ausgewählt werden, dass eine chemische Reaktion mit dem ersten und mit dem zweiten keramischen Schaum vermieden wird, was zu einem Übergangsmaterial mit unerwünschten physikalischen Eigenschaften führen kann.

**[0022]** Es wird beachtet, dass dort wo das verfestigte Harz nicht aus einer Keramik von dem oxidischen Typ besteht, das Pyrolyseverfahren in einer inerten Atmosphäre durchgeführt werden kann, um eine unerwünschte Oxidation zu vermeiden. Beispiele von Atmosphären, welche die Oxidation unterbinden, sind inerte Atmosphären wie etwa Helium, Argon, Stickstoff und andere, welche dem Fachmann wohl bekannt sind.

**[0023]** Ferner, um die Bindungs- oder Verbundschicht weitgehender zu stärken, kann die keramische Bindungsschicht verdichtet werden. Vorzugsweise umfasst ein solches Verdichtungsverfahren ein Imprägnieren eines sekundären, flüssigen Harzes hi-

nein in die keramische Bindungsschicht, ein Härten des sekundären, flüssigen Harzes, um ein sekundäres, festes Harz zu bilden, und ein Pyrolysieren der Bindungsschicht, um das sekundäre, feste Harz zu keramisieren.

**[0024]** Bezieht man sich jetzt auf die [Fig. 2](#), dann wird in einem anderen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ein Verfahren geliefert für das Ausbessern eines beschädigten keramischen Schaums. Das Verfahren sieht vor, einen ersten keramischen Schaum, welcher einen beschädigten Teilabschnitt aufweist, dadurch zu reparieren, dass anfänglich der beschädigte Teilabschnitt des ersten keramischen Schaums entfernt wird, um eine Eingriffsfläche auf dem ersten keramischen Schaum zu erzeugen. Ein zweiter keramischer Schaum wird derart zugeschnitten und geformt, dass er hinein in die Eingriffsfläche des ersten keramischen Schaums passt, wo der beschädigte Teilabschnitt entfernt worden ist. Es werden Verstärkungsfasern in dem flüssigen Harz suspendiert, um ein flüssiges, verstärktes Bindungsharz zu bilden, so wie dies oben diskutiert worden ist. Das flüssige, verstärkte Bindungsharz wird aufgetragen auf mindestens einen von dem ersten und dem zweiten keramischen Schaum, welche dann miteinander zusammengefügt werden, wobei das Harz zwischen den beiden zu liegen kommt. Wie oben diskutiert, solch ein flüssiges, verstärktes Bindungsharz kann gehärtet und anschließend pyrolysiert werden, um eine keramische Bindungsschicht zu schaffen, welche dazu bestimmt ist an dem ersten und dem zweiten keramischen Schaum anzuhafte.

**[0025]** Um das oben beschriebene, erfindungsgemäße Verfahren erproben zu können, wurde ein 152 mm (6 Zoll) auf 152 mm (6 Zoll) auf 25 mm (1 Zoll) dicker Basisschaum (American CVD-SiC foam) dadurch beschädigt, dass mehrere Male mit einem Kugelhammer auf denselben eingeschlagen wurde. Daraus ergab sich ein beschädigter Bereich, der in etwa 20 mm (0,8 Zoll) im Durchmesser und 2,5 mm (0,1 Zoll) als Tiefe aufwies. Der beschädigte Bereich wurde unter Einsatz eines Vertikalfräsgerätes entfernt, was zu einer internen Höhlung führte, welche durch einen halbkugelförmigen heraus gefrästen Bereich mit einem Durchmesser von 76 mm (3 Zoll) und einer Tiefe von 10 mm (0,4 Zoll) begrenzt war. Ein 102 mm (4 Zoll) auf 152 mm (6 Zoll) großes Stück Schaum (American CVD-SiC foam) wurde benutzt, um einen Ausbesserungspfropfen zu erzeugen, welcher ins Innere des ausgerundeten Bereiches des beschädigten Basisschaums eingesetzt werden soll. Dem Pfropfen wurde ein solches Ausmaß verliehen, dass er ungefähr 2,5 mm (0,1 Zoll) aus dem Basisschaum hervorragte nachdem er ins Innere des ausgefrästen Bereiches hinein gesetzt worden war. Es wurde eine flüssige Verbundmischung erzeugt, welche sich zusammensetzte aus 24 Gewichtsprozent Whiskern aus Siliziumkarbid zu 76 Gewichtsprozent

des katalysierten Harzes 489D (hergestellt von AlliedSignal, Inc.) und diese Verbundmischung wurde auf die innere Oberfläche des ausgefrästen Bereiches des beschädigten Basisschaums aufgetragen. Der Ausbesserungspfropfen wurde alsdann in den ausgefrästen Bereich des beschädigten Basisschaums hinein gepresst, um ein Schaumsystem zu rekonstruieren. Das Schaumsystem wurde auf 350 Grad erhitzt, um das flüssige Harz zu Härten und ein festes Harz zu bilden. Die Schäume, einschließlich des jetzt erhärteten Harzes, wurden dann in einer inerten Atmosphäre mit Hilfe einer normalen Blackglas-Pyrolse (hergestellt von AlliedSignal, Inc.) pyrolysiert, um das Harz zu keramisieren. Nach dem Abschluss der Ausbesserung wurde eine metallische Befestigung mit einem Durchmesser von 51 mm (5 Zoll) mit dem Ausbesserungspfropfen mit einem Durchmesser von 3 Zoll verbunden. Der Basisschaum wurde zusammengepresst und es wurde eine senkrecht zu dem Basisschaum und über ein Befestigungsmittel wirkende Zugkraft ausgeübt, bis es zum Versagen der Reparaturstelle kam. Die Reparaturstelle versagte bei einer Belastung von 1,59 kN (358 pounds), Das Versagen erfolgte über eine grobe, nach mehreren Arten entstandene Bruchfläche im Innern des Pfropfenmaterials angrenzend an die Verbundlinie. Das Schaummaterial des Ausbesserungspfropfens blieb fest an dem Basisschaum anhaften, wobei die Verbundlinie vollkommen intakt war.

**[0026]** Zusätzliche Änderungen und Verbesserungen der vorliegenden Erfindung können den Fachleuten auf diesem Gebiet leicht in den Sinn kommen. Demnach ist die spezielle beschriebene und illustrierte Kombination von Verfahrensschritten lediglich dazu bestimmt nur eine bestimmte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darzustellen und sie ist in keiner Weise darauf abzustellen, eine Begrenzung von alternativen und entsprechend den anhängenden Ansprüchen im Rahmen der Erfindung liegenden Vorrichtungen darzustellen.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Anhaften eines ersten keramischen Schaums an einen zweiten keramischen Schaum, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- (a) ein Imprägnieren eines flüssigen Harzes mit Verstärkungsfasern, um ein flüssiges, verstärktes Bindungsharz herzustellen;
- (b) ein Auftragen des flüssigen, verstärkten Bindungsharzes auf mindestens einen von dem ersten und dem zweiten keramischen Schaum;
- (c) ein Verbinden des ersten und des zweiten keramischen Schaums den einen mit dem anderen mit Hilfe des flüssigen, verstärkten Bindungsharzes, welches dazwischen angeordnet wird;
- (d) ein Aushärten des flüssigen, verstärkten Bin-

dungsharzes, um ein festes, verstärktes Bindungsharz herzustellen; und

(e) ein Pyrolysieren des festen, verstärkten Bindungsharzes zum Anhaften des ersten und des zweiten keramischen Schaums, um eine keramische Bindungsschicht zu bilden, wobei die besagte keramische Bindungsschicht gekennzeichnet ist durch eine poröse Keramikmatrix mit darin angeordneten Verstärkungsfasern.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei welchem das feste, verstärkte Bindungsharz ein Bindungslinienvolumen ausfüllt und die keramische Bindungsschicht im Wesentlichen das Bindungslinienvolumen ausfüllt.

3. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei welchem die keramische Bindungsschicht weiterhin gekennzeichnet ist durch Hohlräume, welche innerhalb einer porösen keramischen Matrix angeordnet sind.

4. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei welchem die Verstärkungsfasern durch ein keramisches Material gebildet werden.

5. Verfahren gemäß Anspruch 4, bei welchem die Verstärkungsfasern durch Siliziumkarbid gebildet werden.

6. Verfahren gemäß Anspruch 4, bei welchem die Verstärkungsfasern sich im Wesentlichen decken mit der chemischen Zusammensetzung von mindestens einem von dem ersten und dem zweiten keramischen Schaum.

7. Verfahren gemäß Anspruch 6, bei welchem mindestens einer von dem ersten und dem zweiten keramischen Schaum durch Siliziumkarbid gebildet wird und die Verstärkungsfasern durch Siliziumkarbid gebildet werden.

8. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei welchem die Verstärkungsfasern aus Whiskerfasern bestehen.

9. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei welchem die Verstärkungsfasern ein Aspektverhältnis von größer als 15 aufweisen.

10. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei welchem der Schritt (a) ein Bereitstellen von 10 bis 40 Gewichtsprozent an Verstärkungsfasern umfasst.

11. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei welchem der Schritt (a) ein Suspendieren von Verstärkungsfasern in einem flüssigen Harz umfasst.

12. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei welchem das feste, verstärkte Bindungsharz ein polymeres Material enthält.



13. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei welchem das Pyrolysieren in einer im Wesentlichen inerten Atmosphäre ausgeführt wird, um die Oxidation des festen, verstärkten Bindungsharzes zu mildern.

14. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei welchem die keramische Bindungsschicht weiterhin gekennzeichnet ist durch chemische Bindungen, welche zwischen einer porösen, keramischen Matrix und mindestens einem von dem ersten und dem zweiten keramischen Schaum während der Pyrolyse gebildet werden.

15. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei welchem die keramische Bindungsschicht weiterhin gekennzeichnet ist durch ein Übergangsmaterial, welches während der Pyrolyse erzeugt und zwischen einer porösen, keramischen Matrix und mindestens einem von dem ersten und dem zweiten keramischen Schaum angeordnet wird.

16. Verfahren gemäß Anspruch 1, welches weiterhin den Schritt (f) bezüglich eines Verdichtens der keramischen Bindungsschicht umfasst.

17. Verfahren gemäß Anspruch 16, bei welchem der Schritt (f) enthält; ein Imprägnieren eines sekundären flüssigen Harzes in die keramische Bindungsschicht hinein, ein Aushärten des sekundären flüssigen Harzes, um ein sekundäres festes Harz zu bilden und ein Pyrolysieren der Bindungsschicht, um das sekundäre feste Harz zu keramisieren.

18. Verfahren zum Reparieren eines ersten, einen beschädigten Teil aufweisenden keramischen Schaums, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- (a) ein Entfernen des beschädigten Teiles des ersten keramischen Schaums, um eine Eingriffsoberfläche auf dem ersten keramischen Schaum zu bilden;
- (b) ein Herstellen eines zweiten keramischen Schaums, welcher so dimensioniert und konfiguriert ist, dass er mit der Eingriffsoberfläche des ersten keramischen Schaums dort in Eingriff tritt, wo der beschädigte Teil entfernt wurde;
- (c) ein Imprägnieren eines flüssigen Harzes mit Verstärkungsfasern, um ein flüssiges, verstärktes Bindungsharz herzustellen;
- (d) ein Auftragen des flüssigen, verstärkten Bindungsharzes auf mindestens einen von dem ersten und dem zweiten keramischen Schaum;
- (e) ein Verbinden des ersten und des zweiten keramischen Schaums den einen mit dem anderen und dem flüssigen, verstärkten Bindungsharz, welches dazwischen angeordnet ist;
- (f) ein Aushärten des flüssigen, verstärkten Bindungsharzes, um ein festes, verstärktes Bindungsharz herzustellen; und
- (g) ein Pyrolysieren des festen, verstärkten Bindungsharzes zum Anhaften des ersten und des zwei-

ten keramischen Schaums, um eine keramische Bindungsschicht zu bilden, wobei die besagte keramische Bindungsschicht gekennzeichnet ist durch eine poröse Keramikmatrix mit darin angeordneten Verstärkungsfasern.

19. Verfahren gemäß Anspruch 18, bei welchem das feste, verstärkte Bindungsharz ein Bindungslinienvolumen ausfüllt und die keramische Bindungsschicht im Wesentlichen das Bindungslinienvolumen ausfüllt.

20. Verfahren gemäß Anspruch 18, bei welchem die keramische Bindungsschicht weiterhin durch Hohlräume gekennzeichnet ist, welche innerhalb einer porösen, keramischen Matrix angeordnet sind

21. Verfahren gemäß Anspruch 18, bei welchem die Verstärkungsfasern durch ein keramisches Material gebildet werden.

22. Verfahren gemäß Anspruch 21, bei welchem die Verstärkungsfasern durch Siliziumkarbid gebildet werden.

23. Verfahren gemäß Anspruch 21, bei welchem die Verstärkungsfasern sich im Wesentlichen decken mit der chemischen Zusammensetzung von mindestens einem von dem ersten und dem zweiten keramischen Schaum.

24. Verfahren gemäß Anspruch 23, bei welchem mindestens einer von dem ersten und dem zweiten keramischen Schaum durch Siliziumkarbid gebildet wird und die Verstärkungsfasern durch Siliziumkarbid gebildet werden.

25. Verfahren gemäß Anspruch 18, bei welchem die Verstärkungsfasern aus Whiskerfasern bestehen.

26. Verfahren gemäß Anspruch 18, bei welchem die Verstärkungsfasern ein Aspektverhältnis von größer als 15 aufweisen.

27. Verfahren gemäß Anspruch 18, bei welchem der Schritt (c) ein Bereitstellen von 10 bis 40 Gewichtsprozent an Verstärkungsfasern umfasst.

28. Verfahren gemäß Anspruch 18, bei welchem der Schritt (c) ein Suspendieren von Verstärkungsfasern in einem flüssigen Harz umfasst.

29. Verfahren gemäß Anspruch 18, bei welchem das feste, verstärkte Bindungsharz ein polymeres Material enthält.

30. Verfahren gemäß Anspruch 18, bei welchem das Pyrolysieren in einer im Wesentlichen inerten Atmosphäre ausgeführt wird, um die Oxidation des festen, verstärkten Bindungsharzes zu mildern.

31. Verfahren gemäß Anspruch 18, bei welchem die keramische Bindungsschicht weiterhin gekennzeichnet ist durch chemische Bindungen, welche zwischen einer porösen, keramischen Matrix und mindestens einem von dem ersten und dem zweiten keramischen Schaum während der Pyrolyse gebildet werden.

32. Verfahren gemäß Anspruch 18, bei welchem die keramische Bindungsschicht weiterhin gekennzeichnet ist durch ein Übergangsmaterial, welches während der Pyrolyse erzeugt und zwischen einer porösen, keramischen Matrix und mindestens einem von dem ersten und dem zweiten keramischen Schaum angeordnet wird.

33. Verfahren gemäß Anspruch 18, welches weiterhin den Schritt (h) bezüglich eines Verdichtens der keramischen Bindungsschicht umfasst.

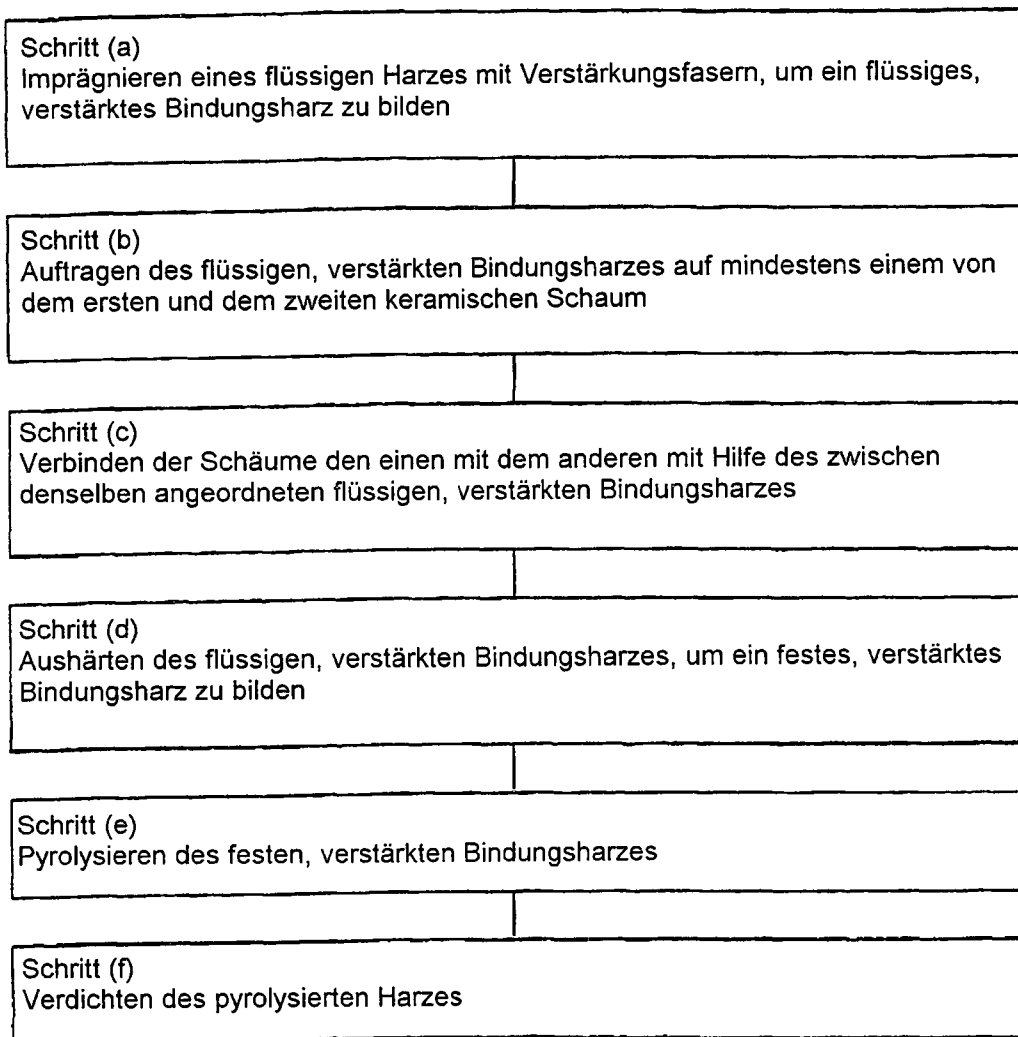
34. Verfahren gemäß Anspruch 33, bei welchem der Schritt (h) umfasst; ein Imprägnieren eines sekundären flüssigen Harzes in die keramische Bindungsschicht hinein, ein Aushärten des sekundären flüssigen Harzes, um ein sekundäres festes Harz herzustellen und ein Pyrolysieren der Bindungsschicht, um das sekundäre feste Harz zu keramisieren.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen



Anhängende Zeichnungen

Figur 1



Figur 2

