



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 14 908 T2** 2008.03.13

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 581 463 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 14 908.1**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US03/40177**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 816 754.0**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2005/014504**

(86) PCT-Anmeldetag: **16.12.2003**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **17.02.2005**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **05.10.2005**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **11.07.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **13.03.2008**

(51) Int Cl.⁸: **C04B 35/80** (2006.01)

F23D 14/00 (2006.01)

C04B 35/622 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

438662 P 08.01.2003 US

(73) Patentinhaber:

3M Innovative Properties Co., St. Paul, Minn., US

(74) Vertreter:

derzeit kein Vertreter bestellt

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,
GR, HU, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,
TR**

(72) Erfinder:

**WOOD, Thomas E., Saint Paul, MN 55133-3427,
US; SCHUTTS, Scott M., Saint Paul, MN
55133-3427, US**

(54) Bezeichnung: **KERAMIK-FASER-VERBUNDWERKSTOFF UND HERSTELLUNGSVERFAHREN DAFÜR**

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

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft Verbundstoffmaterialien aus Keramikfasern.

[0002] Keramikmaterialien sind bei vielen Anwendungen, einschließlich beispielsweise denjenigen, bei denen eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen hohe Temperaturen erforderlich ist, nützlich. Jedoch weisen viele Keramikmaterialien eine relativ hohe Wärmemasse auf und/oder sind gegen Temperaturwechsel empfindlich.

[0003] Gasbrenner arbeiten typischerweise bei hohen (beispielsweise Verbrennungs-)Temperaturen und sind daher aus Materialien konstruiert, die in der Lage sind, derartigen Temperaturen zu widerstehen. Anorganische Materialien wie Keramikarten sind in derartigen Brennern zumindest teilweise aufgrund ihrer Widerstandsfähigkeit gegen hohe Temperaturen und Verbrennung verwendet worden.

[0004] Bei einigen Brennerkonstruktionen (beispielsweise Strahlungsbrennern oder Blauflammenbrennern) erfolgt die Verbrennung von Gas innerhalb oder in der Nähe eines Körpers aus Keramikmaterial. Typischerweise steigt nach dem Anzünden derartiger Brenner die Temperatur des Keramikmaterials schnell auf die Arbeitstemperatur des Brenners hinauf. Variationen des Wärmedehnungskoeffizienten (das heißt WDK), die innerhalb des Körpers des Keramikmaterials vorkommen, führen typischerweise zu einer Beanspruchungshäufung innerhalb des Keramikmaterials bei steigender Temperatur. Ist diese Beanspruchung ausreichend stark, so kann sie zum Bruch der anorganischen Matrix und einem dadurch hervorgerufenen Versagen des Brenners führen.

[0005] Gegenwärtige Ansätze zur Gasbrennerherstellung umfassen die Verwendung von Keramik- und/oder Metallbrennerplatten und/oder -strahlern. Jedoch weisen derartige Brenner Nachteile wie beispielsweise einen hohen Druckabfall oder eine hohe Wärmemasse auf, die eine Brennerineffizienz, unerwünschte Emissionen (beispielsweise NO_x-Emissionen) und/oder Zerbrechlichkeit (beispielsweise Empfindlichkeit gegen mechanischen Stoß oder Wärmewechsel) verursachen können. So besteht weiterhin ein Bedarf für Materialien, die in Gasbrennern verwendet werden können.

[0006] In einer Ausgestaltung bietet die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Herstellen eines Keramikfaserverbundstoffs umfassend:

das Bilden eines Rohsubstrats aus Komponenten umfassend Keramikfasern und wahlweise ein organisches Bindemittel;

das Imprägnieren des Rohsubstrats mit einer ersten Imprägnierdispersion, um ein imprägniertes Substrat bereitzustellen, wobei die erste Imprägnierdispersion Wasser, einen Nanoton und mindestens eines von einem Keramikvorläufermaterial oder einem Keramikmaterial umfasst;

das Trocknen des imprägnierten Substrats unter Bereitstellung eines getrockneten Substrats;

das Calcinieren des getrockneten Substrats unter Bildung eines calcinierten Substrats (in einigen Ausführungsformen in Form eines Papiers); und

das Brennen des calcinierten Substrats unter Bildung eines Keramikfaserverbundstoffs umfassend Keramikfasern, die durch mindestens ein teilweise keramisches Bindemittel miteinander verbunden sind, wobei der Keramikfaserverbundstoff eine Porosität (wie hier weiter unten bestimmt) von weniger als 65 Prozent (beispielsweise weniger als 60, 55, 50, 45, 40, 35, 30, 25, 20 oder sogar weniger als 15 Prozent) aufweist.

[0007] In einer anderen Ausgestaltung bietet die vorliegende Erfindung einen Keramikfaserverbundstoff umfassend Keramikfasern, die durch ein mindestens teilweise keramisches Bindemittel miteinander verbunden sind, wobei das mindestens teilweise keramische Bindemittel chemisch stabilisierten β -Cristobalit (wie unten beschrieben) umfasst und wobei die Porosität des Keramikfaserverbundstoffs weniger als 65 Prozent (beispielsweise weniger als 60, 55, 50, 45, 40, 35, 30, 25, 20 oder sogar weniger als 15 Prozent) beträgt. Derartige Keramikfaserverbundstoffe können beispielsweise bei der Herstellung von Brennern wie Strahlungsbrennern und Blauflammenbrennern verwendet werden.

[0008] Keramikfaserverbundstoffe einigen erfindungsgemäßen Ausführungsformen gemäß sind mechanisch beständig (das heißt selbsttragend, steif), weisen eine relativ niedrige Wärmemasse (beispielsweise im Vergleich mit Metallen) auf und sind gegen Wärmewechsel und thermische Wechselbeanspruchung widerstandsfähig.

[0009] Derartige Keramikfaserverbundstoffe sind als Komponenten bei der Herstellung von Gasbrennern nützlich, die eines oder mehrere unter guter Wärmebeständigkeit, hoher Effizienz, hohem Wärmeausstoß oder geringen NO_x-Emissionen aufweisen.

[0010] Wie hier verwendet, bedeutet:

„Nanoton“ einen Ton in Form äußerst feiner Teilchen, wobei die durchschnittliche primäre Größe der Tonteilchen (das heißt die durchschnittliche größte Größe) weniger als 100 Nanometer (beispielsweise weniger als 50 Nanometer) beträgt;

„Trocknen“ die Entfernung von mehr als 90 Gewichtsprozent der Lösungsmittel (einschließlich Wasser), die durch die erste Imprägnierdispersion eingeführt werden;

„Calcinieren“ das Erhitzen auf mindestens eine Temperatur, bei der irgendwelche verbleibenden flüchtigen Bestandteile (einschließlich aller organischen Materialien und Wasser), die in einem getrockneten Substrat vorliegen, entfernt werden, bei gleichzeitiger Überführung irgendwelcher keramischer Vorläufermaterialien, die eventuell vorliegen, zu Metalloxid(en); und

„Brennen“ das Erhitzen auf mindestens eine Temperatur, bei der chemische Bindungen sich zwischen miteinander in Kontakt stehenden Keramikteilchen eines calcinierten Substrats bilden, was typischerweise zu erhöhter Festigkeit und Dichte führt.

[0011] [Fig. 1](#) ist eine schematische Querschnittsansicht eines beispielhaften Brenners einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gemäß;

[0012] [Fig. 1a](#) ist eine Ansicht, in Einzelheiten, einer beispielhaften Ausführungsform von [Fig. 1](#);

[0013] [Fig. 1b](#) ist eine Ansicht, in Einzelheiten, einer beispielhaften Ausführungsform von [Fig. 1](#);

[0014] [Fig. 2](#) ist ein Schablonenmuster, das zum Durchlöchern des in [Fig. 3](#) gezeigten Keramikfaserverbundstoffs verwendet wird.

[0015] [Fig. 3](#) ist eine Fotomikrografie eines beispielhaften erfindungsgemäßen Keramikfaserverbundstoffs;

[0016] [Fig. 4](#) ist ein Schablonenmuster, das zum Durchlöchern des in [Fig. 5](#) gezeigten Keramikfaserverbundstoffs verwendet wird; und

[0017] [Fig. 5](#) ist eine Fotomikrografie eines beispielhaften erfindungsgemäßen Keramikfaserverbundstoffs.

[0018] Das Rohsubstrat umfasst Keramikfasern, die wahlweise durch ein organisches Bindemittelmaterial miteinander verbunden sind.

[0019] Bei der praktischen Ausführung der vorliegenden Erfindung verwendete Keramikfasern können kontinuierlich sein oder können eine Einzellänge (beispielsweise Stapelfasern) aufweisen und beispielsweise in Form einzelner (beispielsweise gerader, gekräuselter oder Vorgarn-)Fasern, Garnen oder einem Textilmaterial (beispielsweise Gewebe, Gestrick oder Vliesstoff) vorliegen. Typischerweise sind Keramikfasern ausreichend feuerfest, um dem Erhitzen auf eine Temperatur von 700°C für länger als 100 Stunden ohne signifikantes Bruchigwerden und/oder Erhitzen auf eine Temperatur von 1200°C für mindestens eine kurze Zeitspanne (beispielsweise 1 Minute) zu widerstehen. Die Keramikfasern können glasartige und/oder kristalline Phasen enthalten und unter Anwendung von Materialien, die beispielsweise Metalloxide, Metallnitride, Metallcarbide oder eine Kombination derselben enthalten, hergestellt werden. Beispielsweise können die Keramikfasern hauptsächlich oder vollständig Fasern umfassen, die aus Metalloxiden, einschließlich beispielsweise Aluminiumoxid, Aluminiumoxid-Siliciumdioxid, Aluminiumoxid-Boroxid-Siliciumdioxid, Siliciumdioxid, Zirkoniumdioxid, Zirkoniumdioxid-Siliciumdioxid, Titandioxid, Titandioxid-Siliciumdioxid, Seltenerdoxiden oder einer Kombination derselben gebildet sind.

[0020] Typischerweise weisen die Keramikfasern Durchmesser im Bereich von 1 Mikrometer bis 25 Mikrometer (beispielsweise 5 Mikrometer bis 8 Mikrometer) auf, obwohl Fasern mit größeren oder kleineren Durchmessern ebenfalls nützlich sein können. Als Stapelfasern weisen die Keramikfasern typischerweise eine durchschnittliche Länge im Bereich von 3 Millimetern bis 50 Millimetern auf, obwohl längere oder kürzere Fasern ebenfalls nützlich sein können. Keramikfasern verschiedener Längen, Durchmesser und/oder Zusammensetzungen können gemischt werden. Typischerweise führt die Verwendung längerer Fasern (beispielsweise von 5 Zentimetern (cm) oder länger) im Rohsubstrat zu einer höheren physikalischen Integrität des Rohsubstrats.

[0021] Beispielhafte, im Handel erhältliche Keramikfasern umfassen Glasfasern, Nichtoxidfasern (beispielsweise Siliciumcarbid, Siliciumoxycarbid, Siliciumtitanoxycarbid) sowie diejenigen Fasern, die durch 3M Company (Saint Paul, Minnesota) unter der Handelsbezeichnung „NEXTEL“ (beispielsweise „NEXTEL 312“, „NEXTEL 440“, „NEXTEL 550“, „NEXTEL 610“, „NEXTEL 650“ und „NEXTEL 720“), von belChem Fiber Materials

GmbH (Freiberg, Deutschland) unter der Handelsbezeichnung „BELCO TEX“ und von Hitco Carbon Composites, Inc. (Gardena, Kalifornien) unter der Handelsbezeichnung „REFRASIL“ auf dem Markt angeboten werden.

[0022] Wahlweise können organische Fasern im Rohsubstrat enthalten sein. Geeignete organische Fasern können beispielsweise diejenigen Fasern umfassen, die aus Acryl-, Cellulose- (beispielsweise Fasern aus nördlichem Weichholz langer Länge und synthetischer Cellulose), Polyester, Polyolefin, Nylon, Polyimid und Kombinationen derselben gebildet sind. Die organischen Fasern können fibrilliert sein.

[0023] Wahlweise können die Keramikfasern durch ein organisches Bindemittel vor dem Imprägnieren mit der ersten Imprägnierdispersion miteinander verbunden werden. Dieses organische Bindemittel kann irgendein organisches Material sein, das in der Lage ist, an den Keramikfasern nach dem Trocknen des Rohsubstrats anzuhaften (das heißt, es muss mindestens einen Rückstand an den Fasern hinterlassen). Das Bindemittel kann beispielsweise ein organisches Polymer (beispielsweise Acrylpolymer, Styrol-Butadien-Copolymer, Polybutadien, Polyvinylchlorid, Acrylnitril-Butadien-Copolymer und Polyvinylacetat) oder ein polymerisierbares Harz (beispielsweise Phenolharz, thermoplastischen oder duroplastischen Latex), thermoplastische Fasern oder eine Kombination derselben umfassen. Das Bindemittel kann in einem geeigneten Lösungsmittel (beispielsweise Wasser, organischem Lösungsmittel) gelöst oder suspendiert sein. Das organische Bindemittel kann dem Rohsubstrat einen Grad an thermoplastischem Charakter verleihen, der beispielsweise erwünscht sein kann, wenn das Rohsubstrat thermisch geformt werden soll. Typischerweise wird das Rohsubstrat nach dem Aufbringen des organischen Bindemittels mindestens teilweise getrocknet und/oder ausgehärtet, um Wasser und andere flüchtige Verbindungen vor dem Imprägnieren mit der ersten Imprägnierdispersion zu entfernen.

[0024] Typischerweise verleiht das organische Bindemittel dem Rohsubstrat Flexibilität und Handhabungsfestigkeit. Das organische Bindemittel, wird es verwendet, wird typischerweise in das Rohsubstrat und/oder das getrocknete Substrat in einer Menge im Bereich von beispielsweise 1 Gewichtsprozent bis 10 Gewichtsprozent, auf das Gesamtgewicht des Rohsubstrats bezogen, eingearbeitet, obwohl andere Mengen an organischem Bindemittel ebenfalls verwendet werden können.

[0025] Das Rohsubstrat kann auch lockermachende Mittel wie beispielsweise Glaskugeln, Cellulosesplitter, organische Kugeln und/oder Kugelagglomerate enthalten.

[0026] Das Rohsubstrat kann durch verschiedene Techniken, einschließlich Nasslege- und Luftlegeverfahren gebildet werden. Bei einem beispielhaften Verfahren kann das Rohsubstrat unter Anwendung herkömmlicher Nasslege-Papierherstellungsverfahren und -vorrichtungen hergestellt werden. Beispielsweise kann eine Aufschlammung von Keramikfasern, wahlweisem organischem Bindemittel und anderen Komponenten in einem flüssigen Vehikel (beispielsweise wässrigem oder organischem Lösungsmittel) unter Anwendung eines Lösungsmischers oder einer Mischmaschine hergestellt werden. Ein Koagulierungsmittel (beispielsweise polyanionischer Komplexbildner, anionisches oder kationisches Polymer, Ammoniumaluminiumsulfat oder ein anderes Metallsalz) kann der Aufschlammung zum Koagulieren des wahlweisen organischen Bindemittels und zum Verursachen eines Anhaftens des organischen Bindemittels an den Keramikfasern zugegeben werden. Die Aufschlammung wird auf ein feines Sieb oder Filz nass aufgelegt und das flüssige Vehikel (beispielsweise durch Pressen oder unter reduziertem Druck) entfernt, um ein Blatt aus verschlungenen Fasern und organischen Bindemitteln zurückzulassen. Das gepresste Papier kann, falls erwünscht, vor dem Imprägnieren mit der ersten Imprägnierdispersion noch weiter getrocknet werden. Als Alternative kann die oben erwähnte Aufschlammung beispielsweise geformt oder vakuumgeformt werden.

[0027] Bei einem beispielhaften Luftauflegeverfahren zum Bilden des Rohsubstrats werden die Keramikfasern mit Hilfe einer herkömmlichen Bahnbildungsmaschine wie derjenigen, die unter der Handelsbezeichnung „RANDO WEBGER“ von Rando Machine Corporation (Macedon, New York) auf dem Markt angeboten wird, zu einer nichtgewobenen Matte geformt. Typischerweise wird die nichtgewobene Matte noch weiter durch Nadelheften und/oder Hydroverwirrung unter Anwendung von im Stand der Technik allgemein bekannten Verfahren verschlungen, obwohl dies nicht erforderlich ist.

[0028] Keramikfasern können im Rohsubstrat willkürlich angeordnet oder mindestens teilweise mit Bezug aufeinander orientiert sein.

[0029] Das Rohsubstrat wird dann mit einer ersten Imprägnierdispersion imprägniert. Beispielhafte Verfahren zum Imprägnieren des Rohsubstrats umfassen Spritzen, Sättigungsbeschichten und Walzenbeschichten. Typischerweise wird die erste Imprägnierdispersion auf das Rohsubstrat aufgebracht (beispielsweise homogen

darin hineinimprägniert), obwohl es in einigen Fällen wünschenswert sein kann, die erste Imprägnierdispersion nicht homogen, beispielsweise auf nur einen Teil des Rohsubstrats (beispielsweise in Form eines Musters) aufzubringen.

[0030] Der Imprägnierungsvorgang kann beispielsweise bei Umgebungsdruck oder unter aufgebrachtem oder reduziertem Druck durchgeführt werden, um das Eindringen der ersten Imprägnierdispersion zu beschleunigen und alle mitgerissenen Gase aus dem Rohsubstrat zu entfernen. Das wahlweise Aufbringen von reduziertem Druck kann während das Substrat in die erste Imprägnierdispersion eingetaucht oder ihr auf andere Weise ausgesetzt ist, oder nachher erfolgen.

[0031] Wahlweise kann zum Verbessern des Imprägnierens des Rohsubstrats mit der ersten Imprägnierdispersion ein Durchdringungsmittel in die erste Imprägnierdispersion eingearbeitet werden. Das Durchdringungsmittel kann beispielsweise irgendeines einer Reihe verschiedener organischer Moleküle sein, das das Benetzen des organischen Bindemittel enthaltenden Körpers des Rohsubstrats durch die erste Imprägnierdispersion verbessert. Das Durchdringungsmittel erleichtert typischerweise das Benetzen des organischen Bindemittel enthaltenden Rohsubstratkörpers durch Reduzieren der Oberflächenspannung der ersten Imprägnierdispersion und durch Reduzieren der Oberflächenenergie an der Grenzfläche zwischen der ersten Imprägnierdispersion und dem Substratkörper. Das Durchdringungsmittel ist typischerweise in der ersten Imprägnierdispersion ausreichend löslich, um in einer Menge vorzuliegen, die es dazu befähigt, als Durchdringungsmittel während des Imprägnierens wirksam zu sein. Das Durchdringungsmittel und die Komponenten der ersten Imprägnierdispersion sollten mit einander verträglich sein (das heißt, keine signifikante Ausflockung oder Teilchentrennung hervorrufen).

[0032] Beispiele nützlicher Durchdringungsmittel umfassen Alkohole, organische Amine, Tenside und wasserlösliche Polymere und Makromoleküle.

[0033] Beispielhafte geeignete Alkohole können als Durchdringungsmittel in wässrigen Imprägnierdispersionen verwendet werden, einschließlich Alkohole wie Isopropylalkohol, Ethylalkohol, tert.-Butylalkohol, Butylalkohol, Propylalkohol, sec.-Butylalkohol und andere Alkohole, die mindestens eine mäßige Löslichkeit in Wasser aufweisen.

[0034] Beispielhafte geeignete organische Amine, die verwendet werden können, umfassen Nitrat- und Halogenidsalze quarternärer organischer Amine, die mindestens einen daran angeknüpften organischen Anteil aufweisen, wobei der Anteil eine Kohlenstoffkette umfasst, die längenmäßig mehr als zwei Kohlenstoffatome beträgt.

[0035] Beispielhafte geeignete Tenside umfassen nichtionische (beispielsweise Sorbitanfettsäureester, Polyoxyethylensorbitanfettsäureester und Polyoxyethylenstearate) und anorganische Tenside (beispielsweise Dioctylnatriumsulfosuccinat, Natriumlaurylsulfat und Natriumdodecylbenzolsulfonat). Im Handel erhältliche Tenside umfassen: nichtionische Tenside, beispielsweise diejenigen, die von Uniqema (Bridgewater, New Jersey) unter den Handelsbezeichnungen „SPAN“, „TWEEN“ und „MYRJ“ vertrieben und diejenigen, die von BASF Corporation (Mount Olive, New Jersey) unter den Handelsbezeichnungen „PLURONIC“ und „TETRONIC“ vertrieben werden; und anionische Tenside, beispielsweise diejenigen, die von Stepan Company (Winnetka, Illinois) unter der Handelsbezeichnung „POLYSTEP“ vertrieben und diejenigen, die von Rhodia, Inc. (Cranbury, New Jersey) unter der Handelsbezeichnung „ALIPAL“ vertrieben werden.

[0036] Wasserlösliche Polymere und Makromoleküle wie beispielsweise diejenigen, die Hydroxylgruppen, Carboxylatgruppen, Ethylenoxid- oder Propylenoxidverknüpfungen, eine Amidofunktionalität, Sulfonatgruppen, Phosphatgruppen, eine Aminofunktionalität oder wasserlösliche cyclische Gruppen wie Pyrrole besitzen, können ebenfalls als Durchdringungsmittel nützlich sein. Die Konzentration des Durchdringungsmittels hängt typischerweise von der Natur der Imprägnierdispersion und dem ausgewählten Durchdringungsmittel ab.

[0037] Die erste Imprägnierdispersion umfasst eine Dispersion von einem Nanoton und mindestens einem Keramikvorläufermaterial oder einem Keramikmaterial in einem flüssigen Vehikel. Das flüssige Vehikel kann beispielsweise ein wässriges Lösungsmittel (beispielsweise Wasser) oder ein organisches Lösungsmittel sein.

[0038] Nanotonteilchen können beispielsweise in Form von Plättchen oder Flocken vorliegen. Beispielhafte Nanotone umfassen Bentonittone, beispielsweise diejenigen, die einen hohen Montmorillonitgehalt aufweisen. Neben ihrer feinen Teilchengröße und Wasserdispersierbarkeit weisen Montmorillonittone typischerweise die Fähigkeit auf, kationenausgetauscht zu werden, um den Gehalt an Kationen, wie beispielsweise Natrium und

Kalium im Montmorillonitton zu reduzieren.

[0039] Bei der Pyrolyse (beispielsweise beim Brennen) von Calciummontmorillonit bei oder über 850°C wird typischerweise ein chemisch stabilisierter β -Cristobalit gebildet, der Materialeigenschaften aufweist, die zur Bildung eines dauerhaften Keramikfaserverbundstoffs beitragen. Chemisch stabilisierter β -Cristobalit hat auch den zusätzlichen Vorteil seiner Materialcharakteristiken (beispielsweise einen geringen Wärmeausdehnungskoeffizienten und Hochtemperaturbeständigkeit). Aufgrund des niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten in Verbindung mit der hohen Temperaturwechselbeständigkeit ist chemisch stabilisierter β -Cristobalit eines der besten feuerfesten Materialien für Anwendungen, wo Temperaturen von weniger als 1450°C auftreten.

[0040] Chemisch stabilisierter β -Cristobalit weist im Prinzip die gleiche Kristallstruktur wie β -Cristobalit, ein Hochtemperaturpolymorph von SiO_2 (das heißt Siliciumdioxid) auf. Chemisch stabilisierter β -Cristobalit wird nach dem Dehydratisieren des Calciummontmorillonits in einem Brennvorgang gebildet. Während chemisch stabilisierter β -Cristobalit die Kristallstruktur von β -Cristobalit aufweist, ist die chemische Zusammensetzung von chemisch stabilisiertem β -Cristobalit nicht diejenige von reinem Siliciumdioxid. Reines Siliciumdioxid ist ein saures Oxid, während chemisch stabilisierter β -Cristobalit bezüglich seiner Chemie einem Mineral vom Feldspattyp näherkommt als einem basischen Oxid.

[0041] Der β -Cristobalit ist ein Hochtemperatur-, Niederdruckpolymorph von Siliciumdioxid, bei dem die Siliciumdioxidtetraedren in Form eines diamantähnlichen Gitters mit gemeinsamen Ecken angeordnet sind. β -Cristobalit besitzt eine würfelförmige Symmetrie, während α -Cristobalit tetragonal ist. Im Falle von reinem Siliciumdioxid macht die vollständig ausgedehnte Hochtemperaturbetastruktur beim Kühlen bei 265°C eine reversible Verschiebungsumwandlung zu einer zusammengebrochenen Alphastruktur durch. Dabei findet gleichzeitig eine Volumenreduzierung von 3,2 Prozent statt. Diese Umwandlung wirkt sich oft negativ auf die physikalischen Eigenschaften des Keramikmaterials, das den Cristobalit enthält, aus. Die Temperatur der Umkehr von beta zu alpha bei chemisch stabilisiertem oder dotiertem Cristobalit ist variabel und hängt vom Dotierniveau und der Natur der Dotierkationen ab. Um β -Cristobalit bis herunter zur Raumtemperatur zu stabilisieren und den Cristobalit dadurch als kristalline Komponente in Keramikmaterialien, die für feuerfeste Anwendungen verwendet werden sollen, wünschenswert zu machen, wird die Struktur typischerweise mit einem ausreichenden Niveau an Packungskationen dotiert (das heißt chemisch stabilisiert), die beispielsweise gleichförmig in der Kristallstruktur verteilt sind. Calciummontmorillonit enthält die erforderlichen Kationen (Calcium, Natrium und Aluminium), die zum Stabilisieren des β -Cristobalits auf unter die Raumtemperatur erforderlich sind. So können durch Verwendung von Calciummontmorillonit als Nanotonbindemittel äußerst feuerfeste und dauerhafte Keramikfaserverbundstoffe hergestellt werden, die chemisch stabilisierten β -Cristobalit umfassen.

[0042] Falls erwünscht kann der Montmorillonitton mit Glasvorläufermaterialien kombiniert werden, um ein chemisch stabilisiertes β -Cristobalitglas zu bilden, das vorgespannt und wärmewechselfest ist. Unter Anwendung verschiedener allgemein bekannter Techniken kann Calciummontmorillonit mit anderen Kationen wie beispielsweise Cu^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{2+} , Sr^{2+} , K^+ und NH_4^+ usw. unter Bildung, nach dem Brennen, einer Reihe verschiedener chemisch stabiler β -Cristobalite, die verschiedene Zusammensetzungen aufweisen, innerausgetauscht werden.

[0043] Montmorillonitnanotone sind im Handel beispielsweise unter der Handelsbezeichnung „BENTOLITE“ (beispielsweise „BENTOLITE SSP“) von Southern Clay Products, Inc. (Gonzales, Texas) erhältlich.

[0044] Keramikvorläufermaterialien sind Materialien, die auf das Brennen hin Hochtemperaturkeramikmaterial (beispielsweise feuerfestes Keramikmaterial) bilden und umfassen Metallhydroxide (beispielsweise Aluminiumtrihydrat), Metall-oxyhydroxide (beispielsweise Böhmit (aluminiumoxyhydroxid), Eisenoxyhydroxid), Metallsalze und Metallsalzlösungen (beispielsweise Lösungen von Silicaten, Übergangsmetallsalzen, Seltenerdmetallsalzen, Aluminiumsalzen einschließlich basischen Metallsalzlösungen wie basischen Aluminiumsalzlösungen und basischen Zirkoniumsalzlösungen) und Metallkomplexlösungen wie Carboxylate (beispielsweise Calciumoxalat, Magnesiumoxalat, Kupferoxalat, Seltenerdoxalate), Phosphate, Alkoxide, Alkoholate, Aminkomplexe und Hydroxide.

[0045] Keramikteilchen, die in der ersten Imprägnierdispersion verwendet werden können, umfassen Pulver von Metalloxiden (Siliciumdioxid, alpha-Aluminiumoxid, Übergangsaluminiumoxide, Böhmit, Cordierit, Mullit, Eisenoxid, Zirkoniumdioxid, Cer(IV)oxid, Magnesiumoxid, Seltenerdoxide), Aluminate (beispielsweise Bariumaluminat, Calciumaluminat), Aluminosilicate, Carbide (beispielsweise Siliciumcarbid), Oxycarbide (beispielsweise Siliciumoxycarbid), Nitride (beispielsweise Siliciumnitrid, Titanitrid, Bornitrid), Oxynitride, Boride (beispielsweise Titanborid) und Phosphate (beispielsweise Zirkoniumphosphat, Seltenerdphosphate) und Kombi-

nationen derselben.

[0046] Typischerweise können das Keramikvorläufermaterial und/oder die Keramikteilchen dem Rohsubstrat in Mengen von mindestens 5 Prozent (beispielsweise mindestens 10 Prozent, mindestens 20 Prozent) bis zu 30 oder sogar 40 Prozent (beispielsweise bis zu 30 Prozent), auf das kombinierte Gewicht der Keramikfasern, des Keramikvorläufermaterials und der Keramikteilchen in dem Rohsubstrat und der ersten Imprägnierdispersion alle zusammen genommen bezogen, zugesetzt werden, obwohl andere Mengen ebenfalls nützlich sind.

[0047] Der Nanoton, die Keramikvorläufermaterialien und/oder Keramikteilchen können in kolloidaler Form (beispielsweise als kolloidales Siliciumdioxid, kolloidalen Nanoton, kolloidalen Böhmit) in der ersten Imprägnierdispersion vorliegen.

[0048] Um kationische Teilchen wie Aluminiumoxide und Zirkoniumdioxide in die erste Imprägnierdispersion einzuarbeiten, kann es wünschenswert sein, ihre Oberflächenladung von kationisch auf anionisch umzuwandeln. Auf diese Weise können die Nanotonteilchen ungehindert sowohl mit den Keramikfasern als auch den Oxidteilchen in dem Rohsubstrat in Wechselwirkung treten (das heißt sich chemisch binden, elektrostatisch anziehen oder beides). Verfahren zum Umwandeln normalerweise kationischer Teilchen zu anionischen Teilchen umfassen folgende Technologien: (1) Behandeln der Oxidteilchen mit einem polyanionischen Material wie beispielsweise Polycarbonsäure-funktionellen Polymeren und ihren Salzen, polysulfonierten funktionellen Polymeren und ihren Salzen, Polyphosphat-funktionellen Polymeren und ihren Salzen, Polymethacrylsäuren und ihren Salzen und dergleichen, so dass das polyanionische Material an den Oberflächen der Oxidteilchen adsorbiert wird, wodurch die Oxidteilchen negativ geladen werden; (2) Behandeln der Oxidteilchen mit einem mehrwertigen anionischen Salz oder mit mehrwertigen anionischen Komplexen wie Tatraten, Citraten oder dergleichen, so dass das anionische Salz oder der anionische Komplex an der Oberfläche des kationischen Teilchens absorbiert wird, wodurch das Oxidteilchen negativ geladen wird; und (3) Beschichten des Oxidteilchens mit einem Oxidkolloid oder einer Beschichtung, die selbst negativ geladen ist. Ein Beispiel letzterer Methode ist die Bildung von mit Siliciumdioxid beschichteten Oxidteilchen, die durch Behandeln der Oxidteilchen mit Natriumsilicat oder einem anderen hydrolysierbaren Metallkomplex gebildet werden, um durch Hydrolyse eine Oxidbeschichtung des Silicats auf den Oberflächen der Oxidteilchen abzusetzen.

[0049] Die erste Imprägnierdispersion kann wahlweise des Weiteren ein oder mehrere Zusatzmittel wie ein Viskositätsmodifizierungsmittel (beispielsweise Thixotrope, Verdickungsmittel) umfassen. Beispielhafte Viskositätsmodifizierungsmittel umfassen wasserlösliche Polymere und Latizes.

[0050] Nach dem Imprägnieren des Rohsubstrats mit der ersten Imprägnierdispersion wird es unter Bildung eines getrockneten Substrats getrocknet. In einigen Fällen kann es wünschenswert sein, das imprägnierte Rohsubstrat sofort nach dem Imprägnieren zu trocknen. Verfahren zum Trocknen sind allgemein bekannt und umfassen beispielsweise Öfen, Mikrowellenerhitzung, Konvektionserhitzung und Infraroterhitzung.

[0051] Das trockene Substrat wird unter Bildung eines calcinierten Substrats calciniert. Verfahren zum Calcinieren und Brennen sind allgemein bekannt und umfassen beispielsweise das Erhitzen in einem Mikrowellenofen, Kastenofen, Röhrenofen, Tunnelofen und/oder Bandofen.

[0052] Typischerweise erfolgt das Calcinieren durch Erhitzen des getrockneten Substrats bei einer Temperatur im Bereich von 350°C bis 600°C für eine Zeitspanne von 5 Minuten bis 12 Stunden, obwohl andere Zeitspannen und Temperaturen ebenfalls nützlich sein können.

[0053] Wahlweise kann bzw. können ein oder mehrere zusätzliche Imprägnierdispersionen (die gleich wie die erste Imprägnierdispersion oder davon verschieden sein können) in mindestens eines der getrockneten oder calcinierten oder gebrannten Substrate einprägniert werden. Derartige zusätzliche Dispersionen (beispielsweise eine zweite Dispersion) umfassen typischerweise mindestens ein Keramikvorläufermaterial oder ein Keramikmaterial und können wahlweise des Weiteren beispielsweise einen Katalysator oder einen Nanoton umfassen.

[0054] Das calcinierte Substrat wird unter Bildung eines erfindungsgemäßen Keramikfaserverbundstoffs gebrannt. Typischerweise wird das Brennen durch Erhitzen des getrockneten Substrats bei einer Temperatur im Bereich von 800°C bis 1300°C für eine Zeitspanne von 5 Minuten bis 12 Stunden durchgeführt, obwohl andere Zeitspannen und Temperaturen angewendet werden können. Der so gebildete Keramikfaserverbundstoff, der Keramikfasern umfasst, wird zusammen mit mindestens einem teilweise keramischen Bindemittel gebunden. Durch Regulieren der Menge an organischen Komponenten und/oder der Dichte des Rohsubstrats ist es mög-

lich, die Porosität des Keramikfaserverbundstoffs zu regulieren.

[0055] In einigen erfindungsgemäßen Ausführungsformen kann das Calcinieren und Brennen in einem einzigen Verfahrensschritt durchgeführt werden.

[0056] Erfindungsgemäße Keramikfaserverbundstoffe weisen eine Porosität (ausschließlich irgendwelcher Perforierungen) von weniger als 65 Prozent (beispielsweise weniger als 60, weniger als 55, weniger als 50, weniger als 45, weniger als 40, weniger als 35, weniger als 30, weniger als 25, weniger als 20 oder sogar weniger als 15 Prozent) auf und können eine Porosität von mehr als 10 Prozent (beispielsweise mehr als 15, mehr als 20, mehr als 25, mehr als 30, mehr als 35, mehr als 40, mehr als 45, mehr als 50, mehr als 55 oder sogar mehr als 60 Prozent), auf das Gesamtvolumen des Keramikfaserverbundstoffs bezogen, aufweisen. Die Porosität in dem Keramikfaserverbundstoff kann beispielsweise durch Verwenden eines Keramikfasergewebes oder einer Keramikfasermatte mit einem offenen Gewebe oder durch Bilden eines Vorläufersubstrats (beispielsweise des Rohsubstrats, getrockneten Substrats oder calcinierten Substrats) erzeugt werden, um eine Vielzahl an Öffnungen in diesem Substrat in willkürlicher, regelmäßiger oder periodischer Anordnung zur Verfügung zu haben.

[0057] Wie hier verwendet wird „Porosität“ (in Prozent) für einen vorgegebenen Keramikfaserverbundstoff bei 22°C durch Teilen seines Porenvolumens durch das Gesamtvolumen des Keramikfaserverbundstoffs (das heißt Porenvolumen plus Volumen der festen Phase des Keramikfaserverbundstoffs) und Multiplizieren mit 100 bestimmt.

[0058] Das Porenvolumen von Keramikfaserverbundstoffen kann durch Wiegen einer trockenen Probe von Keramikfaserverbundstoff, Sättigen desselben mit Wasser und Wiegen des gesättigten Keramikfaserverbundstoffs bestimmt werden. Das Porenvolumen ist gleich dem Gewicht des Wassers in dem gesättigten Keramikfaserverbundstoff, durch die Dichte von Wasser geteilt.

[0059] Das Volumen der festen Phase eines Keramikfaserverbundstoffs kann durch die Methode von Archimedes bestimmt werden, wobei der Keramikfaserverbundstoff (in trockener Form) gewogen wird, daraufhin in eine Menge Wasser eingetaucht und im eingetauchten Zustand gewogen wird. Der Unterschied zwischen dem Trocken- und dem Tauchgewicht der Probe ist gleich dem Gewicht des Wassers, das durch die Probe verdrängt wird. Das Gewicht des verdrängten Wassers wird in das Volumen des verdrängten Wassers (was dem Volumen der festen Phase entspricht) durch Teilen des Gewichts des verdrängten Wassers durch die Dichte des Wassers umgerechnet.

[0060] Im spezifischen Falle regelmäßig gestalteter Materialien kann eine einfache geometrische Berechnung zum Bestimmen des Volumens der festen Phase benutzt werden. Zuerst werden die Dimensionen des Keramikfaserverbundstoffs (beispielsweise mit Hilfe eines Mikrometers) gemessen und das Volumen des Materials wird durch Anwenden der entsprechenden Formel für die geometrische Form (beispielsweise im Falle eines rechteckigen Prismas entspricht das Volumen der Breite mal der Länge mal der Höhe) berechnet. Das Volumen der festen Phase ist gleich dem errechneten Volumen des Keramikfaserverbundstoffs minus des Porenvolumens (wie oben bestimmt).

[0061] Typischerweise liegt das Volumen der Keramikfasern in einem Bereich von mindestens 10 Prozent (beispielsweise mindestens 15, 20 oder sogar mindestens 25 Prozent) bis zu 50 Prozent (beispielsweise bis zu 25, 30, 35, 40 oder 45 Prozent) des Gesamtvolumens des mindestens teilweise keramischen Bindemittels und der Keramikfasern, obwohl höhere und niedrigere Prozentsätze ebenfalls nützlich sind.

[0062] Der Keramikfaserverbundstoff (beispielsweise zur Verwendung als Brennerunterlage) kann so hergestellt werden, dass er dünn (beispielsweise weniger als 1 Millimeter dick) oder dick (beispielsweise mehr als 0,5 Zentimeter dick) ist, obwohl eine andere Dicke ebenfalls nützlich sein kann. Die Dicke kann beispielsweise durch Variieren der Dicke des Rohsubstrats reguliert werden. Dünne Keramikfaserverbundstoffe können durch Anwendung einer dichten, gepressten, nicht gewobenen Matte oder Papiers als Rohsubstrat erreicht werden, während dickere Keramikfaserverbundstoffe beispielsweise unter Anwendung eines dickeren, wahlweise lockeren oder nadelgehefteten nichtgewobenen Rohsubstrats hergestellt werden können.

[0063] Das mindestens teilweise keramische Bindemittel erfindungsgemäßer Verbundstoffe kann mindestens im Wesentlichen gleichförmig durch den Keramikfaserverbundstoff hindurch verteilt sein oder Regionen höherer und niedrigerer Konzentration aufweisen.

[0064] Erfindungsgemäße Keramikfaserverbundstoffe können zum Tragen einer Reihe verschiedener Arten von Katalysatoren verwendet werden, um die Reduktion anderer Schmutzstoffe (beispielsweise NO_x) in der Abluft aus der Verbrennungsvorrichtung zu reduzieren. Eine Art und Weise des Katalysierens eines erfindungsgemäßen Keramikfaserverbundstoffs besteht darin, Katalysatorvorläufer, katalytische Materialien oder eine Kombination derselben an einer oder mehreren Stellen im Substratherstellungsvorgang einzuführen. Derartige katalytische Komponenten können im anfänglichen Vorgang der Rohsubstratbildung oder in einem oder mehreren Imprägnierungsschritten oder einer Kombination derselben eingeführt werden. Beispielhafte katalytische Materialien umfassen Materialien, die Metalle umfassen wie beispielsweise Platin, Palladium, Rhodium, Eisen, Nickel, Silber, Rhutenium, Kupfer, Gold und Kombinationen und Legierungen dieser Metalle und Verbindungen dieser Metalle und Metalloxide wie Eisenoxid, Kupferoxid, Erdalkalioxide und Erdalkalialuminate, Seltenerdoxide, Seltenerdaluminate, Ceroxid, Vanadiumoxid, Manganoxid, Kobaltoxid, Verbindungen aus Übergangsmetall der ersten Zeile und Seltenerdoxid und Mischungen, Oxide mit Perowskit- und Perowskit-verbundenen Kristallstrukturen, Metallphosphate und Phosphatoxidmischungen und NO_x -Reduktionskatalysatoren (beispielsweise Rhodium auf Aluminiumoxid, Cer(IV)oxid oder Aluminiumoxid-Cer(IV)oxid getragen). Der bzw. die Katalysator(en) kann/können als Teilchen von Katalysatormaterial(ien) oder Katalysatormaterial(ien) auf Trägerteilchen vorliegen, wobei die Teilchen an der Oberfläche des Keramikfaserverbundstoffs adsorbiert sind.

[0065] In einer erfindungsgemäßen Ausführungsform kann das katalytische Metall oder die katalytische Metallverbindung auf das Rohsubstrat als Metalllösung aufgebracht werden. Das Metallsalz kann dann beispielsweise zur aktiven Metallform chemisch geändert (beispielsweise chemisch reduziert) oder thermisch zur aktiven Metallform zersetzt und an die Keramikfasern oder das Keramikkomponentenmaterial adsorbiert werden. Das katalytische Metall oder die Metallverbindung kann als kolloidale Dispersion gebildet oder an einem kolloidalen Träger adsorbiert werden und dann auf die Keramikfasern und das Keramikkomponentenmaterial durch Eintauchen oder andere Imprägnierungstechniken aufgebracht werden. Katalytische Metalle oder Metallverbindungen können auch durch herkömmliche Gasphasenabsatztechniken aufgebracht werden.

[0066] Erfindungsgemäße Keramikfaserverbundstoffe können irgendeine eine Gestalt aufweisen (beispielsweise eine Platte, die im Wesentlichen planar oder nichtplanar sein kann, ein Kegel, ein Zylinder oder ein Fingerhut sein), wobei die Wahl typischerweise von der beabsichtigten Anwendung abhängt. Beispielhafte Verfahren zum Gestalten des Keramikfaserverbundstoffs umfassen beispielsweise Formen, Prägen und Zuschneiden des Rohsubstrats zu einer Form, die während der verschiedenen oben beschriebenen Vorgänge zum Bilden des geformten Keramikfaserverbundstoffs beibehalten wird.

[0067] Als Alternative oder zusätzlich dazu können die erfindungsgemäßen Keramikfaserverbundstoffe beispielsweise durch einen Laser, Stempel und/oder Wasserstrahl durchlöchert werden. Die Durchlöcherungen können mindestens einen Schlitz (beispielsweise längsgezogene Öffnungen) oder runde Löcher umfassen und können weniger als 40 Prozent (beispielsweise weniger als 35, 30, 25, 20 oder sogar weniger als 15 Prozent) des Oberflächenbereichs des Keramikfaserverbundstoffs umfassen. Das Durchlöchern kann an einem oder mehreren des Rohsubstrats bzw. der Rohsubstrate, des getrockneten Substrats bzw. der getrockneten Substrate, des calcinierten Substrats bzw. der calcinierten Substrate und/oder des Keramikfaserverbundstoffs durchgeführt werden.

[0068] Erfindungsgemäße Keramikfaserverbundstoffe können beispielsweise bei der Herstellung verschiedener Brenner verwendet werden. Bei einer derartigen Verwendung kann es wünschenswert sein, Durchlöcherungen im Keramikfaserverbundstoff so anzuordnen, dass sie von Kontaktstellen mit irgendeinem Gehäuse, an das sie montiert sind (beispielsweise mindestens 1 oder 2 Zentimeter) entfernt sind. Dies kann dazu beitragen, das Erhitzen des Gehäuses während des Betriebes des Brenners zu reduzieren.

[0069] In einigen Ausführungsformen können die erfindungsgemäßen Keramikfaserverbundstoffe als Brennerplatte in einem Strahlungs- oder Blauflammenbrenner verwendet werden. Unter Bezugnahme auf [Fig. 1](#), umfasst der Brenner **100** ein Gehäuse **112**, das eine Gaseinlassöffnung **110** aufweist. Die Brennerplatte **113** (in [Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#) als **113a** und **113b** gezeigt), die einen erfindungsgemäßen Keramikfaserverbundstoff umfasst, und wahlweise Löcher **160a**, **160b** darin (wie in [Fig. 1a](#) bzw. [Fig. 1b](#) gezeigt) aufweist, kontaktiert das Gehäuse **112** unter Bildung einer Abdichtung, die Gas daran hindert, um die Brennerplatte **113** herum zu entweichen. Im Betrieb wird eine vorgemischte gasförmige Kraftstoff-Luftmischung **120** durch eine Gaseinlassöffnung **110** in den Brenner **100** eingeführt. Durch Einstellen der Gasströmungsrate kann die Verbrennung innerhalb der Brennerplatte **113** stabilisiert werden, die sich wiederum erhitzt und Wärmeenergie **115** ausstrahlt. Typischerweise sollte die Brennerplatte **113** für die gasförmige Kraftstoff-Luftmischung **120** ausreichend durchlässig sein (indem sie beispielsweise ausreichend porös und/oder durchlöchert ist), dass sie während des Ein-

satzes keinen unerwünscht hohen Rückdruck entwickelt. Durch Erhöhen des Druckabfalls über die Brennerplatte **113** ist es typischerweise möglich, zu verursachen, dass die Verbrennung (beispielsweise mit einer sichtbaren blauen Flamme) auf der Außenfläche der Brennerplatte **113** erfolgt. Brenner, die unter derartigen Bedingungen arbeiten, werden allgemein Blauflammenbrenner genannt.

[0070] Beispielhafte erfindungsgemäße perforierte poröse Keramikfaserverbundstoffe, die zur Verwendung in Brennern geeignet sind, sind in [Fig. 1a](#) (Strahlungsbrenner) und [Fig. 1b](#) (Blauflammenbrenner) gezeigt.

[0071] Weitere Einzelheiten bezüglich der Konstruktion und des Funktionierens poröser Strahlungsbrenner sind beispielsweise in den US-Patentschriften Nr. 4,977,111 (Tong et al.); 5,077,089 (Otto); 5,993,192 (Schmidt et al.); und 6,190,162 B1 (Smith et al.) zu finden.

[0072] Zusätzlich zu der Tatsache, dass sie als Brennerkomponenten funktionieren, können einige Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Keramikfaserverbundstoffe auch in den Bereichen der Gas- und Fluidfiltrierung und/oder Wärmeisolierung (beispielsweise Fahrzeug- oder Motorenisolierung) angewendet werden.

[0073] Die vorliegende Erfindung lässt sich unter Bezugnahme auf die folgenden nichteinschränkenden Beispiele noch vollständiger verstehen, in denen alle Teile, Prozentsätze, Verhältnisse und so weiter auf das Gewicht bezogen sind, es sei denn, es wird etwas Anderes angegeben.

BEISPIELE

[0074] Es sei denn, es wird etwas Anderes angegeben, so wurden alle in den Beispielen verwendete Reagenzien von allgemeinen Chemikalienlieferanten wie Aldrich Chemical Company, Milwaukee, Wisconsin, erhalten oder sind dort erhältlich oder sie können durch bekannte Verfahren synthetisiert werden.

[0075] Folgende Begriffe und Abkürzungen werden in den folgenden Beispielen verwendet:

NC1	Ein unter der Handelsbezeichnung „BENTOLITE SSP“ von Southern Clay Products erhaltener Calciummontmorillonitnanoton
CPM1	Siliciumcarbidteilchen mit einer durchschnittlichen Teilchengröße von 4 Mikrometern, die unter der Handelsbezeichnung „1200-W BLACK SiC“ von Electro Abrasives Corporation (Buffalo, New York) erhalten worden sind
CPM2	Siliciumcarbidteilchen mit einer durchschnittlichen Teilchengröße von 9 Mikrometern, die unter der Handelsbezeichnung „800-W BLACK SiC“ von Electro Abrasives Corporation (Buffalo, New York) erhalten worden sind
LTX1	Unter der Handelsbezeichnung „RHOPLEX AC-261“ von Rohm and Haas Company (Philadelphia, Pennsylvania) erhaltener Acrylpolymerlatex
SURF1	Unter der Handelsbezeichnung „AEROSOL OTS“ von Cytec Industries, Inc. (Charlotte, North Carolina) erhaltenes ~70 gewichtsprozentige Lösung von Dioctylnatriumsulfosuccinat in Erdöldestillaten

[0076] Die in den folgenden Beispielen aufgeführten Porositäten wurden der Methode von Archimedes gemäß bestimmt, es sei denn, es wird etwas Anderes angegeben.

Allgemeines Verfahren zum Herstellen eines Keramikfaserverbundstoffs

[0077] Die angegebene Imprägnierdispersion wurde auf ein Stück Keramikpapier (6 Zoll × 6 Zoll × 1/8 Zoll (15 cm × 15 cm × 0,32 cm)) aufgebracht, das aus 1/2-Zoll (1,2 cm) großen Aluminiumborsilicatifasern bestand, die unter der Handelsbezeichnung „3M NEXTEL 312“ von 3M Company erhalten worden waren und eine Mas-

se je Flächeneinheit von 150 Gramm pro Quadratmeter (g/m^2) aufwiesen. Das Keramikpapier wurde dem Verfahren der „Nasslegemethode II“ der US-Patentschrift Nr. 5,955,177 (Sanocki et al) gemäß hergestellt. Das Keramikpapier wurde mit der angegebenen Imprägnierdispersion gesättigt, was zu einem entsprechenden imprägnierten Keramikpapier führte.

[0078] Das imprägnierte Keramikpapier wurde sofort nach dem Herstellen auf einer durchlöchernten Stahlplatte in einem Zwangsluftkreislaufofen (unter der Handelsbezeichnung „DESPATCH V SERIES“ von Despatch Industries (Minneapolis, Minnesota) erhalten) 30 Minuten lang bei 65°C getrocknet, um ein entsprechendes getrocknetes beschichtetes Papier zu erhalten.

[0079] Das getrocknete beschichtete Papier wurde dann in einem Kastenofen (unter der Handelsbezeichnung „BOX OVEN“ von Lindberg/Blue M (Ashville, North Carolina) erhalten) unter Erhitzen dem folgenden Temperaturprofil gemäß calciniert und gebrannt: von der Raumtemperatur auf 250°C mit 2 Grad pro Minute, Halten 1 Stunde lang bei 250°C , Erhöhen mit 2 Grad pro Minute auf 450°C , Halten 1 Stunde bei 450°C , Erhöhen mit 2 Grad pro Minute auf 850°C , Halten bei 850°C für 1 Stunde. Nach dem Abkühlen auf die Raumtemperatur wurde ein entsprechender Keramikfaserverbundstoff erhalten.

Allgemeines Verfahren zum Durchlöchern eines Keramikfaserverbundstoffs

[0080] Der angegebene Keramikfaserverbundstoff wurde von Hand mit Hilfe einer Nadel zur Bildung der Löcher und einer Pinzette zur Bildung der Schlitze durchlöchert, um verschiedene Muster zur Bewertung als Brennermaterial sowohl im Blauflammen- als auch im Strahlungsmodus herzustellen.

Festigkeits- und Steifigkeitstest

[0081] Die Festigkeit und Steifigkeit der Keramikfaserverbundstoffe wurden mit Hilfe einer Materialprüfvorrichtung, die unter der Handelsbezeichnung „MTS SINTECH 10D“ von SINTECH, einer Sparte der MTS Systems Corporation (Eden Prairie, Minnesota) erhalten wurde, gemessen.

[0082] Der 2 Zoll \times 2 Zoll (5 cm \times 5 cm) große Prüfkörper des zu prüfenden Keramikfaserverbundstoffs wurde zwischen zwei Metallplatten, von denen jede ein 2,85 cm großes Loch aufwies, in einem an die Prüfvorrichtung angeschlossenen Prüfstand montiert. Der Prüfstand mit den Platten wurde immobilisiert und ein Stab mit einer flachen Spitze und einem Durchmesser von 2,85 mm wurde mit dem Prüfkörper in der Mitte des Lochs in Kontakt gebracht. Der Test wurde bei einer Kreuzkopfgeschwindigkeit von 1 mm/Minute durchgeführt und die Kraft, die zum Hindurchdrücken des Stabs durch die Keramikfaserverbundstoffe erforderlich war, wurde mit Hilfe einer Belastungszelle einer Kapazität von 25 N aufgezeichnet. Die Spitzenbelastung wurde als die höchste Belastung in der Belastungsverdrängungskurve bestimmt und in Gramm aufgezeichnet. Die Steifigkeit wurde als Neigung des linearen Teils der anfänglichen Steigung in der Belastungsverdrängungskurve gemessen und in Newton/Millimeter (N/mm) aufgezeichnet.

Wärmerisstest

[0083] Keramikfaserverbundstoffe wurden durch Temperaturwechsel an den Prüfkörpern unter Anwendung eines Propanflammrohrs (unter der Handelsbezeichnung „TS2000“ von BernzOmatic (Medina, New York) erhalten) geprüft. Der 2 Zoll \times 2 Zoll (5 cm \times 5 cm) große Prüfkörper des zu prüfenden Keramikfaserverbundstoffs wurde bei Raumtemperatur von einer Büroklemme gehängt und der Mittelpunkt des Prüfkörpers wurde der Flamme des Propanflammrohrs in einer Entfernung von 1,3 cm 1 Minute lang ausgesetzt. Die Prüfkörper wurden nach dem thermischen Schock visuell auf Risse hin untersucht. Die Ergebnisse wurden als entweder gerissen oder nicht gerissen aufgezeichnet.

Test zum Beurteilen des Brenners

[0084] Eine Probe des zu prüfenden Keramikfaserverbundstoffs (Stücke von 6 Zoll \times 6 Zoll (15 cm \times 15 cm)) wurde in das Brennergehäuse eines Testbrenners, der unter der Handelsbezeichnung „PREMIX TEST FIRE STATION“ von Heatco, Inc. (Acworth, Georgia) erhalten wurde, montiert. Der Brenner wurde angezündet und die Gas- und Luftströme wurden eingestellt, um zu versuchen, eine gleichförmige Flammenretention im Strahlungs- und Blauflammenmodus zu erzeugen. Das „Abfallverhältnis“ (das heißt der Unterschied zwischen der höchsten Gas/Luftströmungsrate und der niedrigsten Gas/Luftströmungsrate, mit der der Brenner funktioniert, ohne dass die Flamme ausgeht) wurde durch Bestimmen der maximalen und geringsten beständigen Flammenbedingungen bestimmt, die durch Ändern der Gas/Luftströmungsrate erhalten werden konnten.

Herstellung der Imprägnierdispersion 1

[0085] Es wurde ein großer Becher mit 3400 g entionisiertem Wasser beaufschlagt. Während das Wasser mit einer Magnetrührstange schnell gerührt wurde, wurden 600 g NC1 zugegeben und die Mischung wurde 3 Stunden lang schnell gerührt, was zu einer glatten (von großen Teilchen freien) Dispersion (Dispersion A) führte. In einem kleinen Becher wurden 40 g der Dispersion A mit 31,5 g entionisiertem Wasser mit einer Magnetrührstange 10 Minuten lang gemischt. Während das Mischen immer noch erfolgte, wurden 21,5 g Keramikvorläufermaterial CPM1 zugegeben, gefolgt vom Zugeben von 7,0 g LTX1. Die Mischung wurde unter Anwendung einer Mischvorrichtung hoher Schergeschwindigkeit, die unter der Handelsbezeichnung „OMNI 5000 MIXER“ von Omni International, Inc. (Warrenton, Virginia) erhalten wurde, gut gemischt. Als Nächstes wurden 2 Tropfen SURFT hinzugegeben und das Mischen (mit einer geringeren Rührgeschwindigkeit zum Minimieren der Blasenbildung) 3 Stunden fortgesetzt, was zur Imprägnierdispersion 1 führte.

Beispiel 1

[0086] Zwei Stück Keramikpapiere (15 cm × 15 cm) wurden mit der Imprägnierdispersion 1 imprägniert, dem Allgemeinen Verfahren zum Herstellen von Keramikfaserverbundstoff (oben) gemäß getrocknet, calciniert und gebrannt, was zu einem Keramikfaserverbundstoff CFC1 führte, der eine Porosität von 61,6 Prozent aufwies. Die so gebildeten Keramikfaserverbundstoffe wurden in verschiedenen Mustern dem allgemeinen Verfahren zum Durchlöchern eines Keramikfaserverbundstoffs (oben) gemäß durchlöchert, was zu den Keramikfaserverbundstoffen CFC1a und CFC1b führte.

[0087] Der Keramikfaserverbundstoff CFC1a wurde unter Anwendung einer Schablone mit Durchlöcherungen dem in [Fig. 2](#) gezeigten Quadratmuster von 15,2 cm auf 15,2 cm (6 Zoll auf 6 Zoll) entsprechend durchlöchert. Ein Teil des Keramikfaserverbundstoffs CFC1a ist in [Fig. 3](#) gezeigt.

[0088] Der Keramikfaserverbundstoff CFC1a wurde unter Anwendung einer Schablone mit Durchlöcherungen dem in [Fig. 4](#) gezeigten Quadratmuster von 15,2 cm auf 15,2 cm (6 Zoll auf 6 Zoll) entsprechend durchlöchert. Ein Teil des Keramikfaserverbundstoffs CFC1a ist in [Fig. 5](#) gezeigt.

[0089] Die Keramikfaserverbundstoffe CFC1a und CFC1b wurden dem Brennerbewertungstest gemäß bewertet.

[0090] Im Blauflammenmodus wies der Keramikverbundstoff CFC1a eine ausreichende Flammenretention ohne Rückstrahl auf, hatte jedoch ein geringes Abfallverhältnis.

[0091] Im Blauflammenmodus wies der Keramikfaserverbundstoff CFC1b eine sehr beständige Flammenretention ohne Rückstrahl auf und hatte ein hohes Abfallverhältnis.

Beispiel 2

[0092] Ein Keramikfaserverbundstoff wurde wie für den Keramikfaserverbundstoff CFC1a in Beispiel 1 beschrieben hergestellt. Ein Katalysator wurde auf einen Teil (etwa die Hälfte) des Keramikfaserverbundstoffs CFC1a wie folgt aufgebracht:

Ein aus Cer(IV)oxid-Zirkoniumdioxid bestehender Keramikoxidationskatalysator wurde auf folgende Weise hergestellt: Ein gemischtes Sol wurde durch Zusetzen, unter schnellem Rühren, von 100,0 g eines acetatstabilisierten wässrigen kolloidalen Cer(IV)oxids von 20 Gewichtsprozent, das unter der Handelsbezeichnung „CeO₂ACT“ von Nyacol Corporation (Ashland, Massachusetts) erhalten worden war, zu einer Mischung von 65,0 g eines wässrigen Zirkoniumdioxidsols von 22 Gewichtsprozent (unter der Handelsbezeichnung „ZIRCONIUM ACETATE“ von Magnesium Elektron, Inc. (Flemington, New Jersey) erhalten) und 100 ml entionisiertem Wasser hergestellt. Das so gebildete gemischte Sol wurde tropfenweise unter schnellem Rühren einer Lösung von 35 ml konzentriertem Ammoniumhydroxid in 450 ml entionisiertem Wasser zugegeben. Nach der Zugabe wurde das so gebildete Gel durch Zentrifugieren (mit 5000 UpM für 15 Minuten) abgetrennt und getrocknet. Das getrocknete Gel wurde in einem Ofen 4 Stunden lang langsam von der Raumtemperatur auf eine Endtemperatur von 800°C erhitzt, zu welchem Zeitpunkt es dann noch 1 Stunde länger calciniert und gebrannt wurde, um einen Keramikoxidationskatalysator zu bilden. Der gebrannte Keramikoxidationskatalysator wurde auf die Raumtemperatur abgekühlt, dann unter Anwendung eines Mörsers und Stößels pulverisiert. Der pulverisierte Keramikoxidationskatalysator wurde zusammen mit einem Liter entionisiertem Wasser und 1 ml konzentriertem Ammoniumhydroxid mit Hilfe eines mit Gummi ausgeschlagenen 2-liter Mahlbechers im Kugelmühlverfahren gemahlen, der mit etwa 4600 g eines Zirkoniumdioxidmahlmediums von 1,27 cm, das von US

Stoneware (Fast Palestine, Ohio) erhalten worden war, beaufschlagt war. Das Mahlen wurde 48 Stunden lang fortgesetzt, um eine gleichförmige und glatte Dispersion von Cer(IV)oxid-Zirkoniumdioxid zu bilden.

[0093] Ein Teil (30 ml) der Dispersion von Cer(IV)oxid-Zirkoniumdioxid wurde tropfenweise auf die Oberfläche des oben hergestellten Keramikfaserverbundstoffs (CFC2) aufgebracht. Dieser beschichtete Keramikfaserverbundstoff wurde 1 Stunde lang im Ofen bei 95°C getrocknet, was zu einem mit Cer(IV)oxid-Zirkoniumdioxid behandelten Keramikfaserverbundstoff (CFC3) führte.

[0094] Eine Lösung von Chloroplatin(IV)säure wurde durch Verdünnen von 1 ml einer wässrigen Lösung von 10 Gewichtsprozent Chloroplatin(IV)säure mit 9 ml Wasser hergestellt. Der mit Cer(IV)oxid-Zirkoniumdioxid behandelte Keramikfaserverbundstoff (CFC3) wurde mit dieser Lösung durch Aufgeben der Lösung von Chloroplatin(IV)säure tropfenweise auf die Oberfläche des Keramikfaserverbundstoffs behandelt, um eine gleichförmig behandelte Oberfläche zu bilden. Dieser behandelte Keramikfaserverbundstoff wurde dann 1 Stunde bei 400°C erhitzt, was zu einem mit Katalysator behandelten Keramikfaserverbundstoff (CFC4) führte.

[0095] Der Keramikfaserverbundstoff (CFC4) wurde dem Brennerbewertungstest unterworfen und im Blaulammenmodus (wie für den unkatalysierten Teil des Keramikfaserverbundstoffs eingestellt) beurteilt. Es ergaben sich keine Anzeichen von Rückstrahlung, und die Flammenretention war sehr beständig und die Flammenhöhe war gleichförmig. Es wurde beobachtet, dass die Modulation zwischen niedrigen und hohen Brenntintensitäten ausgezeichnet war. Der katalysierte Teil des Keramikfaserverbundstoffs brannte im Strahlungsmodus, während der unkatalysierte Teil im Flammenmodus brannte.

Beispiel 3

[0096] Die Imprägnierdispersion 2 wurde der Herstellung der Imprägnierdispersion 1 entsprechend hergestellt, mit der Ausnahme, dass die Menge von 31,5 g entionisiertem Wasser durch eine Menge von 21,5 g entionisiertem Wasser ersetzt wurde.

[0097] Die Vorgehensweise von Beispiel 1 wurde wiederholt, mit der Ausnahme, dass die Imprägnierdispersion 1 durch die Imprägnierdispersion 2 (oben) ersetzt wurde, und mit der Ausnahme, dass das verwendete Keramikpapier durch ein 5 cm × 5 cm × 3,5 cm großes Blatt mit einer Masse pro Flächeneinheit von 206 g/m² ersetzt wurde. Die Porosität des so gebildeten Keramikfaserverbundstoffs (CFC5) wurde wie folgt bestimmt: Ein 2,8 cm × 4,1 cm großer und ein 3,5 cm × 2,0 cm großer Abschnitt des zu prüfenden Keramikfaserverbundstoffs wurde von der ursprünglichen Probe mit Hilfe einer Rasierklinge ausgeschnitten. Die Dimensionen jedes Stücks wurden mit Hilfe eines elektronischen Digitaltasters, der unter der Handelsbezeichnung „FOWLER & NSK MAXI-CAL“ (Fred. V. Fowler Co., Inc., Des Plaines, Illinois) erhalten wurde, gemessen. Die Porositäten der Stücke wurden unter Anwendung der geometrischen Methode zum Bestimmen des Volumens jedes Prüfkörpers gemessen. Die durchschnittliche Porosität der beiden Prüfkörper zusammengenommen erwies sich als 50,1 Prozent betragend.

Beispiele 4–27 und Vergleichsbeispiele A–E

Herstellung von Imprägnierdispersionen für die Beispiele 4–27 und die Vergleichsbeispiele A–E:

[0098] Ein großer Becher wurde mit 3400 g entionisiertem Wasser beaufschlagt. Während das Wasser mit einer Magnetrührstange schnell gerührt wurde, wurden 600 g NC1 hinzugegeben und die Mischung wurde 3 Stunden lang gemischt, was zu einer glatten (von großen Teilchen freien) Dispersion führte. In einem kleinen Becher wurde eine Menge dieser Dispersion mit Wasser (in Mengen wie in Tabelle 1 (unten) angegeben) mit einer Magnetrührstange 10 Minuten lang gemischt. Während des Mischens wurde eine Menge von Siliciumcarbid hinzugegeben, gefolgt von der Zugabe einer Menge LTX1 (in Mengen, die in Tabelle 1 (unten) angegeben sind). Nach gutem Mischen wurden 2 Tropfen SURFT hinzugegeben und das endgültige Sol wurde 3 Stunden lang gemischt, jedoch langsamer, um die Bildung von Blasen nach der Zugabe des SURF1 zu vermeiden, um die Imprägnierdispersion zu ergeben.

[0099] Während des fortdauernden Mischens wurde eine Menge Siliciumcarbid hinzugegeben, gefolgt von der Zugabe einer Menge LTX1 (in Mengen wie in Tabelle 1 (unten) angegeben). Die Mischung wurde unter Anwendung einer Mischvorrichtung von hoher Schergeschwindigkeit (unter der Handelsbezeichnung „OMNI 5000 MIXER“ von Omni International, Inc., erhalten) gut gemischt. Als Nächstes wurden 2 Tropfen SURF1 hinzugegeben und das Mischen wurde (bei geringerer Mischgeschwindigkeit zum Minimieren der Bildung von Blasen) 3 Stunden fortgesetzt, was zu der angegebenen Imprägnierdispersion führte.

[0100] Die so gebildeten Imprägnierdispersionen wurden anstelle der Imprägnierdispersion 1 eingesetzt und das Verfahren von Beispiel 1 wurde wiederholt, mit der Ausnahme, dass die Dimensionen des Keramikpapiers 2 Zoll × 2 Zoll × 1/8 Zoll (5 cm × 5 cm × 0,14 cm) betrugen.

[0101] Die so gebildeten Keramikfaserverbundstoffe wurden dem Festigkeits- und Steifigkeitstest und dem Test auf Wärmerissbildung gemäß bewertet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 (unten) aufgezeichnet.

TABELLE 1

Beispiel	Typ SiC	SiC, g	LTX1, g	NC1, g	Entionisiertes Wasser, g	Spitzen- belastung, g	Steifig- keit, N/mm	Porosität, Prozent
Beispiel 4	CPM2	5	4	78,4	12,6	529	11,7	60,0
Beispiel 5	CPM2	5	7	78,4	9,6	711	29,9	58,5
Beispiel 6	CPM2	5	10	78,4	6,6	840	28,2	57,0
Vergleichs- beispiel A	CPM2	10	4	54,9	31,1	1198	45,0	68,0
Beispiel 7	CPM2	10	4	78,4	7,6	577	19,1	60,5
Vergleichs- beispiel B	CPM2	10	7	54,9	28,1	1053	40,6	73,7
Beispiel 8	CPM2	10	7	78,4	4,6	732	30,4	50,0
Vergleichs- beispiel C	CPM2	10	10	54,9	25,1	963	31,2	67,5
Beispiel 9	CPM2	10	10	78,4	1,6	413	6,3	54,4
Beispiel 10	CPM2	20	4	54,9	21,1	1957	46,0	62,8
Beispiel 11	CPM2	20	7	54,9	18,1	2003	39,2	60,5

Beispiel	Typ von SiC	SiC, g	LTX1, g	NCl, g	Ention- iertes Wasser, g	Spitzen- belastung, g	Steifig- keit, N/mm	Porosität, Prozent
Beispiel 12	CPM2	20	10	54,9	15,1	2129	43,8	63,0
Beispiel 13	CPM1	5	4	78,4	12,6	893	35,0	52,0
Beispiel 14	CPM1	5	7	78,4	9,6	828	37,6	49,5
Beispiel 15	CPM1	5	10	78,4	6,6	958	33,9	45,7
Beispiel 16	CPM1	10	4	54,9	31,1	1145	46,3	59,0
Beispiel 17	CPM1	10	4	78,4	7,6	904	32,5	47,2
Beispiel 18	CPM1	10	7	31,4	51,6	443	17,0	61,6
Vergleichs- beispiel D	CPM1	10	10	31,4	48,6	437	16,8	76,4
Beispiel 19	CPM1	10	10	54,9	25,1	759	36,0	60,3
Beispiel 20	CPM1	10	10	78,4	1,6	773	28,4	46,9
Beispiel 21	CPM1	20	4	54,9	21,1	2339	53,4	58,6
Vergleichs- beispiel E	CPM1	20	10	31,4	38,6	1614	43,7	69,7
Beispiel 22	CPM1	20	10	54,9	15,1	2223	48,4	52,8

Beispiel	Typ von SiC	SiC, g	LTX1, g	NCl, g	Entionisiertes Wasser, g	Spitzen- belastung, g	Steifig- keit, N/mm	Porosität, Prozent
Beispiel 23	CPM1	25	7	50	18	1480	28,2	51,5
Beispiel 24	CPM1	18	7	50	25	1266	32,1	62,4
Beispiel 25	CPM1	19,85	7	45	28,3	1266	35,7	58,4
Beispiel 26	CPM1	21,5	7	40	31,5	1331	41,8	61,6
Beispiel 27	CPM1	23,3	7	45	24,8	1560	34,4	59,2

[0102] Duplikate jeder der Beispiele 4–27 und Vergleichsbeispiele A–E wurden auf Wärmerissbildung hin getestet.

[0103] Im Wärmerissbildungstest: wiesen die Beispiele 18 und Beispiele 23–27 keine Rissbildung auf; bei den Beispielen 4, 6, 8, 9, 11, 15 und 17 und dem Vergleichsbeispiel B wiesen bei allen Prüfkörpern einer von zwei Risse auf; und bei den übrigen Beispielen und Vergleichsbeispielen wiesen beide Prüfkörper Risse auf. Während Beispiele, bei denen die Prüfkörper Risse bildeten, für Brenneranwendungen geeignet oder ungeeignet

sein können, können sie für andere Anwendungen (beispielsweise Filtermedien, Isolierung) nützlich sein.

Beispiel 33

[0104] Ein 15 cm × 15 cm großes Stück Keramikfaserverbundstoff CFC1 wurde dem Verfahren von Beispiel 1 gemäß hergestellt. Die Porosität dieses Stücks wurde wie folgt gemessen: neun 3 cm × 3 cm große Abschnitte Keramikfaserverbundstoff CFC1 wurden von der ursprünglichen Probe mit Hilfe einer Rasierklinge ausgeschnitten. Die Dimensionen jedes Abschnitts wurden mit Hilfe eines elektronischen Digitaltasters, der unter der Handelsbezeichnung „FOWLER & NSK MAXI-CAL“ (Fred V. Fowler Co., Inc., Des Plaines, Illinois) erhalten wurde, gemessen. Die Porositäten der Abschnitte wurden unter Anwendung der geometrischen Methode gemessen, um das Volumen jedes Abschnitts zu bestimmen. Die durchschnittliche Porosität der beiden Abschnitte zusammengenommen betrug 61,1 Prozent.

[0105] Verschiedene Modifikationen und Änderungen dieser Erfindung werden den mit dem Stand der Technik vertrauten Fachleuten offensichtlich werden, ohne vom Umfang der Ansprüche abzuweichen, und man sollte sich im Klaren darüber sein, dass diese Erfindung nicht übermäßig auf die veranschaulichten, hier aufgeführten Ausführungsformen beschränkt ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Keramikfaserverbundstoffs umfassend:
das Bilden eines Rohsubstrats aus Komponenten umfassend Keramikfasern;
das Imprägnieren des Rohsubstrats mit einer ersten Imprägnierdispersion, um ein imprägniertes Substrat bereitzustellen, wobei die erste Imprägnierdispersion Wasser, einen Nanoton und mindestens eines von einem Keramikvorläufermaterial oder einem Keramikmaterial umfasst;
das Trocknen des imprägnierten Substrats unter Bereitstellung eines getrockneten Substrats;
das Calcinieren des getrockneten Substrats unter Bildung eines calcinierten Substrats; und
das Brennen des calcinierten Substrats unter Bildung eines Keramikfaserverbundstoffs umfassend Keramikfasern, die durch mindestens ein teilweise keramisches Bindemittel miteinander verbunden sind, wobei der Keramikfaserverbundstoff eine Porosität von weniger als 65 Prozent aufweist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Rohsubstrat aus Komponenten gebildet ist, umfassend Keramikfasern und ein organisches Bindemittelmaterial.
3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das mindestens teilweise keramische Bindemittel chemisch stabilisierten β -Cristobalit umfasst.
4. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend das Imprägnieren einer zweiten Dispersion in mindestens eines aus getrockneten, calcinierten oder gebrannten Substraten, wobei die zweite Dispersion mindestens eines von einem Keramikvorläufermaterial oder einem Keramikmaterial umfasst.
5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die zweite Dispersion des Weiteren mindestens eines aus einem Katalysator oder einem Nanoton umfasst.
6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Porosität des Keramikfaserverbundstoffs weniger als 20 Prozent beträgt.
7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die erste Imprägnierdispersion mindestens eines aus einem Metalloxid oder einem Metalloxidvorläufer umfasst.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei mindestens eines aus dem Metalloxid oder dem Metalloxidvorläufer kolloidal ist.
9. Keramikfaserverbundstoff umfassend Keramikfasern, die durch ein mindestens teilweise keramisches Bindemittel miteinander verbunden sind, wobei das mindestens teilweise keramische Bindemittel chemisch stabilisierten β -Cristobalit umfasst und wobei die Porosität des Keramikfaserverbundstoffs weniger als 65 Prozent beträgt.
10. Brenner umfassend einen Keramikfaserverbundstoff nach Anspruch 9.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

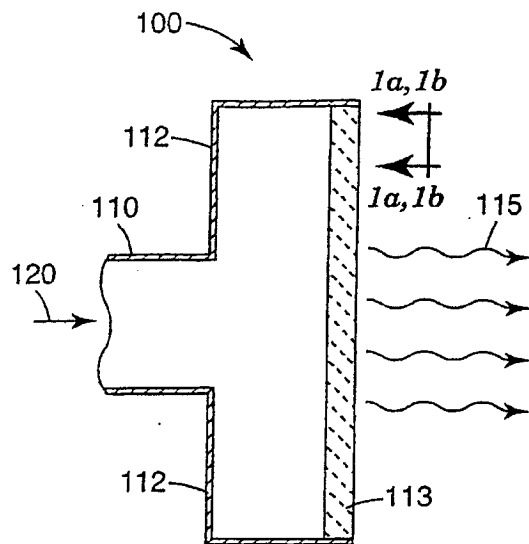


Fig. 1

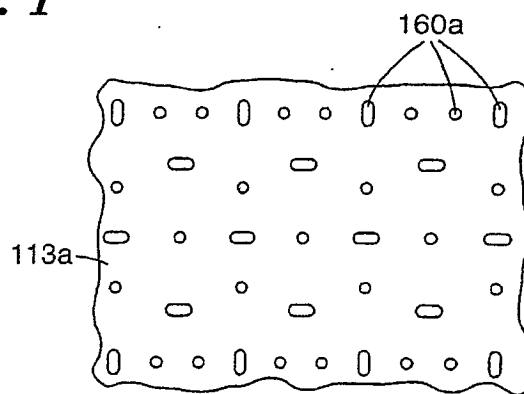


Fig. 1a

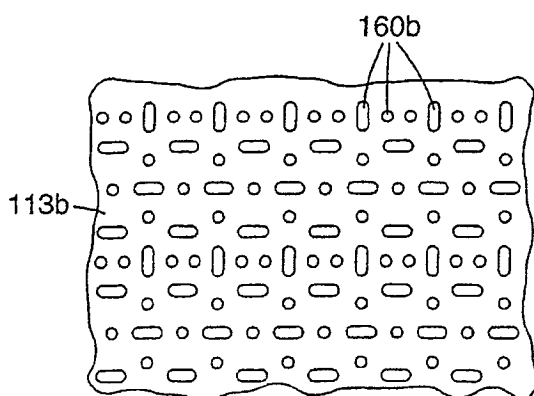


Fig. 1b

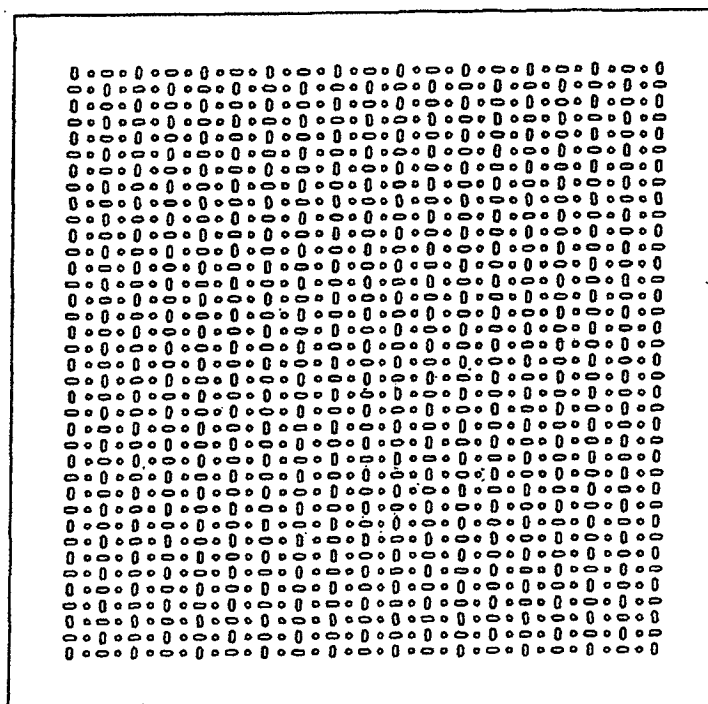


Fig. 2

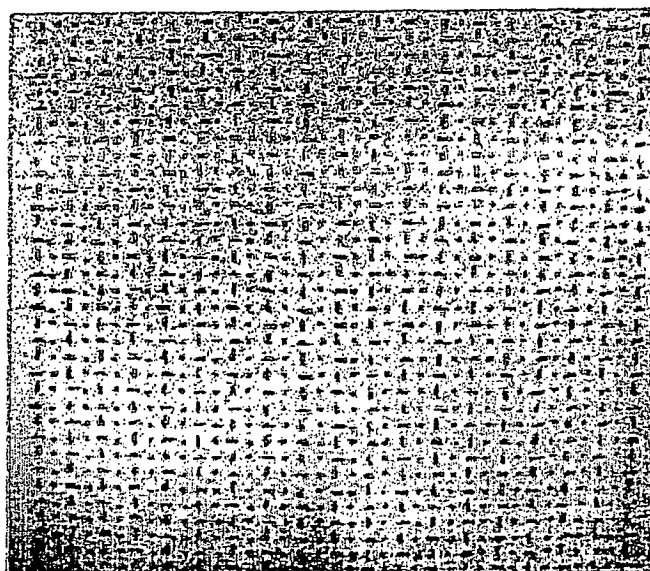


Fig. 3

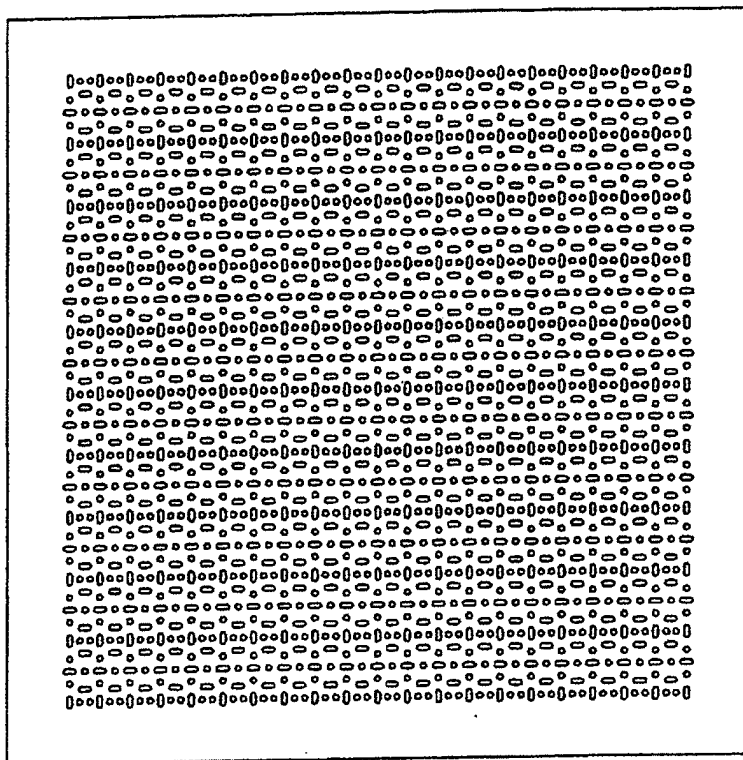


Fig. 4

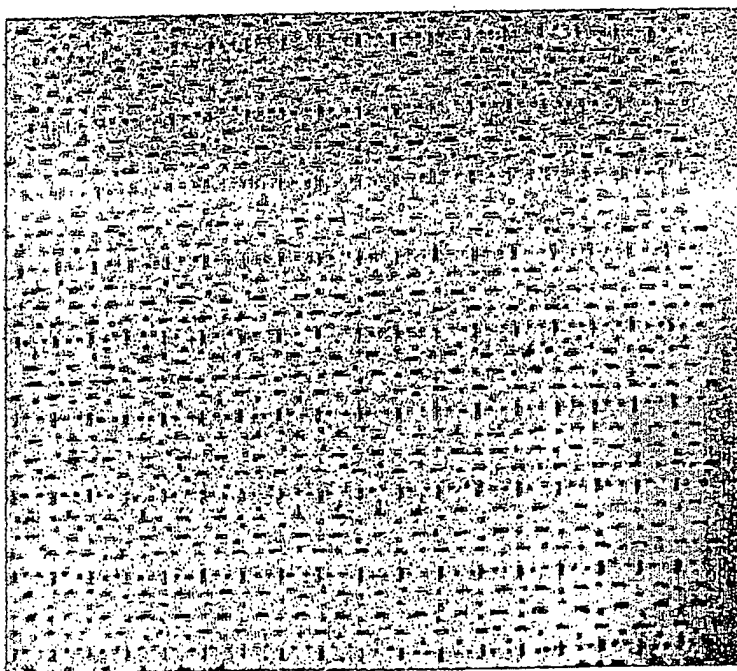


Fig. 5