

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 708 901 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

31.03.1999 Patentblatt 1999/13

(21) Anmeldenummer: **94925377.7**

(22) Anmeldetag: **22.07.1994**

(51) Int Cl.⁶: **F23D 14/16**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP94/02419

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 95/03511 (02.02.1995 Gazette 1995/06)

(54) **KERAMISCHES VERBRENNUNGSTRÄGERELEMENT FÜR FLÄCHENBRENNER**

CERAMIC COMBUSTION SUPPORT ELEMENT FOR SURFACE RADIANT BURNERS

SUPPORT DE COMBUSTION CERAMIQUE POUR BRULEURS RADIANTS EN SURFACE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT CH DE ES FR GB IT LI NL SE

(30) Priorität: **22.07.1993 DE 4324644**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
01.05.1996 Patentblatt 1996/18

(73) Patentinhaber: **Gossler Thermal Ceramics GmbH**
21465 Reinbek (DE)

(72) Erfinder:

- **KLINGE, Bernd**
D-04155 Leipzig (DE)
- **GUTKNECHT, Michael**
D-21521 Dassendorf (DE)
- **WEISE, Bernd**
D-12679 Berlin (DE)
- **BIRNKRAUT, Ingo**
D-20251 Hamburg (DE)

(74) Vertreter: **Schmidt-Evers, Jürgen, Dipl.-Ing. et al**
Patentanwälte Mitscherlich & Partner,
Sonnenstrasse 33
80331 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:

EP-A- 0 056 757	EP-A- 0 187 508
EP-A- 0 410 569	EP-A- 0 530 630
WO-A-84/04376	AU-A- 2 574 267
DE-B- 1 303 596	DE-C- 3 444 398
FR-A- 2 222 329	US-A- 3 208 247
US-A- 3 322 179	US-A- 4 039 480
US-A- 4 643 667	US-A- 4 814 300
US-A- 4 889 481	

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN** vol. 12, no. 137
(M-690), 26.April 1988 & **JP 62 258917 A**
(YOSHINARI YUJI), 11.November 1987, in der
Anmeldung erwähnt

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).

EP 0 708 901 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein keramisches Verbrennungsträgerelement, vorzugsweise in Form eines keramischen Verbundkörpers in Oberflächenstrahlungsbrennern für industrielle Umwandlungs- und Erwärmungsprozesse im Temperaturbereich bis insbesondere etwa 1300°C.

[0002] Oberflächenstrahlungsbrenner sind insbesondere für Raumbeheizungs- und Trocknungszwecke im Infrarotbereich sowie als schadstoffarme Verbrennungseinheiten im Heizungs- und Kesselbereich in vielfältigen Versionen im Einsatz. Hier werden vor allem die Möglichkeiten eines schadstoffarmen Betriebes bei Anwendungstemperaturen bis 1000°C genutzt.

[0003] Es lassen sich im allgemeinen zwei Grundtypen unterscheiden, nämlich Vielflammenflächenbrenner und quasi-flammenlose Oberflächenbrenner.

[0004] Vielflammenflächenbrenner zeichnen sich dadurch aus, daß sich von der Brenneroberfläche ausgehend viele Einzelflammen bilden, die sich in bestimmten Leistungsbereichen zu einer Flammenfront vereinigen können.

[0005] Es werden u. a. stabile gelochte oder geschlitzte Flammenträgerelemente eingesetzt, um die Lebensdauer gegenüber metallischen Flammenträgern zu verbessern, wie es z.B. in DE-A-40 41 061 beschrieben, ist aus der ein keramisches Verbrennungsträgerelement zu entnehmen ist. Aus Gründen der Flammenrückschlagsicherheit bleibt die Wärmeauskopplung relativ gering. Die Stickoxidbildung ist höher als in vergleichbaren quasi-flammenlosen Oberflächenbrennern. Der Arbeitsbereich wird durch eine höhere CO- und CxHy-Fracht zusätzlich eingengt. Das trifft auch für haufwerksporige Keramiken, wie z.B. in EP-A-0 056 757 beschrieben, zu. Die hier eingesetzten Binder, Ton oder Bentonit, lassen in Verbindung mit der erforderlichen Flammenrückschlagsicherheit nur bei geringem Temperaturgefälle über die Schichtdicke der Keramik eine hinreichende Lebensdauer im zyklischen Betrieb erwarten. Hinzu kommt bei dem beschriebenen niedrigen Druckverlust der Keramik im Falle der einseitig geschlossenen Zylinderform eine zu erwartende Ungleichmäßigkeit der Flammenverteilung mit erhöhtem Energieaustrag zum geschlossenen Kopfe hin.

[0006] Eine zweite Gruppe bilden die quasi-flammenlosen Oberflächenbrenner. Bei diesem Brennertyp sitzt die Flammenwurzel in einem gewissen Leistungsbereich in der Oberflächenschicht des Verbrennungsträgers und bringt diese zum Glühen. Durch die Auskopplung von erheblichen Anteilen an Strahlungswärme wird die Verbrennungstemperatur der durch den Flammen träger geleiteten Brennstoff-Luftgemische abgesenkt und die NOx-Bildung deutlich unterdrückt. Oberhalb einer bestimmten Brennerleistung und bei hohem Verbrennungsluftüberschuß löst sich auch bei diesen Brennern die Flamme von der Oberfläche ab und bewirkt eine Verschlechterung der Abgashygiene. Eine wesentliche Form dieses Brennertyps basiert auf Strahlungsverbrennungselementen aus keramischen Fasern, die durch Vakuumformgebung in Verbindung mit Bindern vorzugsweise auf einem Metallsieb abgeschieden werden. Ausgestaltungen dieser Form sind z.B. in EP-A-0 382 674, EP-A-0 397 591; US-A-4 416 619; DE-A-3 311 953; US-A-3 179 156; US-A-3 275 497 und US-A-4 519 770 beschrieben.

[0007] Die in EP-A-0 382 674 und EP-A-0 397 591 beschriebenen Flammenträgerlösungen lassen einen sehr geringen Regelbereich erwarten. Die gemäß Beschreibung mit Alumina-Coating vernetzte dicke Faserschicht ist mechanisch anfällig, insbesondere empfindlich gegen jegliche Handhabung, gegen Erschütterung und neigt verstärkt zu Erosion beim thermischen Alterungsprozeß. Die geschlossene Brennerkopfform läßt eine Stauwirkung mit ungleicher Verteilung der Flamme auf dem Keramikmantel und damit eine Verschlechterung der Abgashygiene sowie erhöhte Erosion von Fasern in diesem Bereich (Hot-Spot-Bildung) erwarten.

[0008] Allgemein setzt die Binderstruktur mit den angestrebten Gamma- und Theta-Phasen des Al₂O₃ als Hauptbinderbestandteil, wie in US-A-4 416 619 und DE-A-3 311 953 beschrieben, sowohl für die Wärmebehandlung zur Beseitigung des Porenbildners als auch für die spätere Einsatztemperatur der Faserkeramiken Grenzen, die bei etwa 1100°C liegen. Es ist weniger die gaschemische Wirkung entscheidend, es sei denn, daß die große Oberfläche der Gamma- und Theta-Phasen in Verbindung mit katalytischen Zusätzen benötigt wird. Wichtig ist hier die Versprödung der Oberflächenschicht durch Phasenübergang des Al₂O₃ in die Alpha-Phase oberhalb etwa 982,2°C (siehe DE-A-3 311 953). Beim Einsatz von amorphen Aluminium-Silikat-Fasern des z.B. in US-A-3 179 156 und US-A-3 275 497 beschriebenen Typs kommt deren Rekristallisationsreaktion hinzu. In Verbindung mit der durch die Vakuumformgebung bewirkten Ausbildung von Vorzugslagen der Fasern ist bei längerem Betrieb um 1000°C und darüber hinaus Reißbildung bis hin zur Abplatzgefahr in der sich ausbildenden versprödeten Faseroberschicht zu erwarten.

[0009] Die speziell in DE-A-3 311 953 und US-A-4 416 619 vorgeschlagenen Maßnahmen zur Vorkerbung der Oberfläche sollen längere Risse und größere Abschalungen verhindern, stellen aber langfristig selbst Vorzugsgebiete für Reißwachstum und Erosion dar.

[0010] Ein weiterer Nachteil dieser Keramik ist die Neigung zur punktuellen Erosion an Schwachstellen und in Gebieten erhöhten Drucks, insbesondere im Kopfbereich einseitig geschlossener Zylinder. Die einsetzende Hot-Spot-Bildung schreitet mit der thermischen Alterung fort und verschlechtert die ansonsten anfänglich sehr günstige Abgashygiene dieses Brennertyps hinsichtlich NOx-, CO- und CxHy-Fracht und beeinflusst das Brennerstartverhalten negativ.

[0011] Strahlungsbrenner auf der Basis von keramischen Fasergeweben als Flammenträger auf porösem Metallträ-

ger, wie in US-A-4 599 066; US-A-4 721 456 oder z.B. in DE-A-3 504 601 beschrieben, versuchen, die Nachteile der vakuumgeformten Faserkeramik hinsichtlich Festigkeit und Langzeitstabilität zu vermeiden.

[0012] Bei hohen Leistungen und hohen Betriebstemperaturen wird die Befestigung des Fasergewebes auf dem Metallschirm durch Eigendehnung problematisch. Örtliche Abheberscheinungen des Faservlieses mit der Gefahr des Flammenrückschlags sind gegeben. Die mit US-A-4 721 456 angestrebte Verbesserung beinhaltet metallische Befestigungselemente, die die Einsatztemperatur begrenzen und druck- und leistungsabhängige mögliche Veränderungen der Porenform über längere Betriebsdauer und Zyklen nicht verhindern.

[0013] Metallische Faserstrahlungsbrenner, wie z.B. in EP-A-0 157 432, EP-A-0 227 131 und EP-A-0 390 255 beschrieben, haben mechanische Vorteile, besitzen aber eine werkstoffbedingte Einsatzgrenze von 1150°C Oberflächentemperatur, sind aufgrund der erforderlichen hochwertigen Sonderstahlfaserqualitäten sehr teuer und erwartungsgemäß heißkorrosionsanfälliger als Keramiken bei kritischen Abgasbestandteilen, wie z.B. Halogenwasserstoffen.

[0014] EP 0 187 508 A3 bezieht sich auf ein Verbrennungsträgerelement, das aus einem porösen, durch Formen und Sintern eines Ausgangsmaterials aus keramischen Pulver, Binder und anorganischen Fasern gebildeten porösen Verbrennungskörper besteht, der zusätzlich zu seiner Porosität eine Vielzahl vorzugsweise gebohrter Durchgangslöcher aufweist, siehe insbesondere S. 5, letzter Abs. bis S. 7, erster Abs.

[0015] EP-A-0 410 569 A1 bezieht sich auf einen plattenförmigen porösen Verbrennungskörper, der von einem Metallsieb getragen ist und aus zwei, sich quer zur Durchgangsrichtung erstreckenden Blöcken besteht, von denen der zweite Block eine Porosität mit größeren Durchgangsöffnungen aufweist. Eine Erklärung über den tatsächlichen Strömungswiderstand ist nicht zu entnehmen. Der zweite Block kann mit Metalloxid beschichtet oder imprägniert sein, siehe Sp. 7, Z. 45 bis 55.

[0016] EP-A-0 530 630 A1, offenbart einen porösen Verbrennungskörper mit mehreren Zonen, in denen die Struktur, bzw. Porosität sich von innen nach außen verfeinert. Auch aus dieser Druckschrift ist eine Erklärung über den tatsächlichen Strömungswiderstand nicht zu entnehmen.

[0017] Aus der AU-B-25742/67 ist ein poröser Verbrennungskörper zu entnehmen, der zur Vermeidung eines Flammenrückschlags eine poröse Schicht aufweist, die durch Auftrag einer Aluminiumpulver und -fasern aufweisenden Schlämme gebildet ist.

[0018] FR-A-2 222 329 bezieht sich auf einen porösen Verbrennungskörper mit unterschiedlichem Strömungswiderstand, so daß sich im Betrieb eine Pilotflamme ergibt.

[0019] In WO-A-84 04376 ist ein Fasern enthaltender poröser Verbrennungskörper beschrieben, dessen Mantelfläche abgedichtet ist, siehe insbesondere S. 5, letzter Abs.

[0020] Aus US-A-3 208 247 ist ein plattenförmiger, hülsenförmiger oder kugelförmiger poröser Verbrennungskörper schaumförmiger oder faserförmiger Struktur beschrieben, der an seiner Brennofläche beschichtet sein kann, siehe insbesondere Sp. 3. In Z. 16 bis 21 ist ein Ausbrennstoff zur Verbesserung der porösen Struktur beschrieben.

[0021] US-A-4 189 294 bezieht sich auf eine flammenlose Verbrennung in einer Katalysatorzone und ist als weiter entfernt liegender Stand der Technik zu werten.

[0022] In der US-A-4 889 481 sind ein plattenförmiger oder hülsenförmiger poröser Verbrennungskörper aus Keramikmaterial beschrieben, wobei der Körper zwei Schichten unterschiedlicher Porosität aufweist, siehe Sp. 4, Z. 22. Des weiteren kann die äußere Stirnfläche des der ersten Schicht und im wesentlichen alle Flächen der zweiten Schicht mit einer Keramik-Beschichtung versehen sein, siehe abstract.

[0023] Aus der US-A-4 814 300 ist ein Formkörper aus porösem keramischen Material zu entnehmen, bestehend aus einem aufschäumbaren Ausgangswerkstoff mit einem Gemisch aus Alkalisilikaten, Alkalialuminaten und keramischen Partikeln. Hierbei handelt es sich um einen porösen Körper für verschiedene Verwendungszwecke, unter anderem auch Brennofen.

[0024] US-A-4 643 667 beschreibt einen porösen Verbrennungskörper, bestehend aus zwei Schichten, von denen die erste Schicht eine geringe und die zweite Schicht eine höhere Wärmeleitfähigkeit besitzt. Außerdem sind die beiden Schichten von unterschiedlicher Porosität, siehe Sp. 5, Z. 25 und folgend.

[0025] Aus US-A-3 322 179 ist ein poröser Verbrennungskörper zu entnehmen, der aus im wesentlichen kugelförmigen Partikeln besteht, wobei die Größe der Partikel von innen nach außen zunimmt. Die Partikel sind zusammengebacken (gesintert), siehe Sp. 4, letzter Abs., und sie können einen katalytischen Überzug aufweisen.

[0026] In dem Auszug der japanischen Patentveröffentlichung JP-A-62 258 917 ist ein poröser Verbrennungskörper beschrieben, der aus kugelförmigen keramischen Partikeln besteht, die durch einen Binder miteinander zu einem festen Körper verbunden sind.

[0027] In der US-A-4 039 480 ist ein Verfahren zum Herstellen von im wesentlichen kugelförmigen Pelets und deren Verwendung als Katalysator beschrieben. Die kugelförmigen Pelets enthalten einen brennbaren Stoff, und sie sind außen mit einem keramischen Pulver beschichtet. Sie lassen sich aufgrund dieser Beschichtung unter Hitzeeinwirkung zusammensintern, wobei der brennbare Stoff ausgebrannt wird und hohle Keramikbälle gebildet werden. Die Keramik kann ein Aluminosilikat wie Mullit sein.

[0028] In der US-A-4 889 481 ist ein Verbrennungsträgerelement beschrieben, bestehend aus einem keramischen

Material, das eine Vielzahl Durchlaßöffnungen aufweist, wobei das Verbrennungsträgerelement ein mehrschichtiger Verbundkörper mit zwei oder drei Schichten ist, von denen die dritte Schicht chemisch aufgedampft ist.

[0029] Aus der JP-A-62258917 ist ein Verbrennungsträgerelement beschrieben, das aus kugelförmigen Aggregaten aus keramischen Material in einer Schicht aufgebaut ist.

[0030] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verbrennungsträgerelement zu schaffen, das bei Gewährleistung einer großen Korrosionsfestigkeit, Stabilität und Lebensdauer zum einen dem Brennstoff eine gute Durchströmung und zum anderen eine gute und störungsfreie Verbrennung auch bei hohen Temperaturen, insbesondere bis etwa 1300°C, ermöglicht.

[0031] Weitere Ausgestaltungsmerkmale in einem ausreichenden Leistungsbereich von mindestens 1:2,5 eine hohe Verbrennungsgüte mit minimaler NO_x-Bildung und nahezu vollständiger Vermeidung von CO- und C_xH_y-Bildung zu erreichen.

[0032] Eine weitere Forderung für ein Verbrennungsträgerelement besteht darin, daß es sich einfach und kostengünstig mit befriedigender Porosität sowie thermischer und mechanischer Stabilität herstellen läßt.

[0033] Anderen Ausgestaltungsmerkmalen liegt der Zweck zugrunde, ein Verbrennungsträgerelement so auszugestalten, daß an seiner Verbrennungsoberfläche ein bestimmtes, insbesondere gleichmäßiges Abströmungsgeschwindigkeitsprofil bzw. eine bestimmte, insbesondere gleichmäßige Flammenverteilung entsteht.

[0034] Es ist im weiteren auch noch Zweck weiterer Ausgestaltungsmerkmale, ein Verbrennungsträgerelement zu schaffen, das bei Gewährleistung einer einfachen Ausgestaltung eine einfache Halterung des Verbrennungsträgerelements mit einem geringen Montage- oder Halterungsaufwand in einem Brenner gestattet.

[0035] Das erfindungsgemäße Verbrennungsträgerelement nach Anspruch 1 weist eine poröse, kugel- oder hohlkugelförmige Haufwerkskeramik auf. Eine solche Haufwerkskeramik läßt sich einfach und kostengünstig herstellen und führt außerdem bei zufriedenstellender Festigkeit zu einer vorteilhaften Porosität und einer störungsfreien und gleichmäßigen Gasdurchströmung. Das erfindungsgemäße Verbrennungsträgerelement kann als Nachmischer und Gemischverteiler für das durchströmende Brennstoff-Luftgemisch dienen. Aufgrund der vorhandenen porösen Haufwerkskeramik besitzt das Verbrennungsträgerelement einen hinreichenden Strömungswiderstand, um einen Flammenrückschlag zu verhindern. Außerdem ist die Porosität von befriedigender Gleichmäßigkeit, was zu einem weitgehend gleichmäßigen Strömungsgeschwindigkeitsprofil führt. Es ist im weiteren vorteilhaft, die erfindungsgemäße Keramik vorzubrennen und zwar mindestens bis zu einer solchen Temperatur, daß sie ausreichend Festigkeit besitzt, um als Flammenhalter langer Lebensdauer fungieren zu können.

[0036] Das erfindungsgemäße Verbrennungsträgerelement nach Anspruch 1 und auch das mehrschichtige keramische Verbrennungsträgerelement nach Anspruch 9 eignen sich sowohl für Vielflammenflächenbrenner als auch für quasi-flammenlose Oberflächenbrenner, wobei das Verbrennungsträgerelement sich insbesondere für einen quasi-flammenlosen Oberflächenbrenner eignet und zwar insbesondere deshalb, weil die zweite oder eine weitere, abströmseitig angeordnete Schicht die Halterung der Flammenwurzel in ihrer Oberflächenschicht begünstigt. Aufgrund der Ausbildung dieses Verbrennungsträgerelements als Verbundteil ist das erfindungsgemäße Verbrennungsträgerelement nicht nur von großer thermischer sondern auch mechanischer Stabilität.

[0037] Die erfindungsgemäße Ausgestaltung nach Anspruch 9 verbessert die Gasabströmung, wobei die Gefahr von Flammenrückschlägen beseitigt oder zumindest weitgehend vermindert wird.

[0038] Es ist bei Flächenbrennern ohne gesonderte Strömungsleit- und Verteilungseinrichtungen festzustellen, daß im Zentrum der Brennstoffströmung sich abstromseitig höhere Strömungsgeschwindigkeiten einstellen, was zu einer ungleichmäßigen Flammenbildung führt.

[0039] Die durch die erfindungsgemäßen Merkmale erzielbare Beeinflussung des strukturellen Schichtaufbaus kann durch die Kombination eines Gastreibeprozesses mit einem Ausbrennprozess erfolgen, wobei ein verbrennungstechnisch günstiges offenes Makro- und Mikroporenspektrum im Bereich äquivalenter Porendurchmesser von > 0 bis ca. 1 mm in den Schichten erzielt wird und gleichzeitig eine multidirektionale Vernetzung (Armierung) des Haufwerks durch Faserwerkstoffe bewirkt wird, die die Temperaturwechselbeständigkeit der Schichten sehr positiv beeinflusst.

[0040] Die erfindungsgemäßen Ausgestaltungen eignen sich sowohl für eine scheibenförmige Form als auch für eine hülsenförmige oder topfförmige Form des Verbrennungsträgerelements.

[0041] Durch die Erfindung wird eine Flammenträgerkeramik für einen vorzugsweise nach dem Vormischprinzip arbeitenden quasi-flammenlosen Gas-Strahlungsbrenner bereitgestellt, die vorzugsweise in Verbindung mit einer Abgasnachverbrennung Wärmeerzeugungs- und Wärmebehandlungsprozesse bis 1300°C ermöglicht, dabei zusätzlich den Einsatz kohlenwasserstoffhaltiger Abgase als Brennstoff direkt oder bei niedriger Konzentration als Verbrennungsluft, der dann ein gebräuchliches Brenngas, z.B. Erdgas, beizumischen ist, gestattet und bei spezieller Werkstoffauswahl außerdem halogenhaltige Bestandteile im Abgas sicher thermisch nachverbrennen kann.

[0042] Durch die Erfindung werden außerdem im Flammenträgerbereich korrosionsempfindliche, feingliedrige, metallische Konstruktionselemente, wie z.B. Siebgewebe, Feinlochgewebe, Feinlochbleche und Metallfaservliese, vermieden.

[0043] In den Unteransprüchen sind Weiterbildungsmerkmale enthalten, die die erfindungsgemäßen Lösungsmerk-

male weiter verbessern und Voraussetzungen für eine bessere Ausnutzung der durch die Erfindung erzielbaren Vorteile führen.

[0044] Die erfindungsgemäßen Verbrennungsträgerelemente eignen sich vorzugsweise für eine Mehrschicht-Verbundkeramik, insbesondere mit zwei oder drei Schichten.

[0045] Nachfolgend werden die Erfindung und weitere durch sie erzielbare Vorteile anhand von Ausführungsbeispielen und einer Zeichnung näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 ein erfindungsgemäßes scheibenförmiges Verbrennungsträgerelement im axialen Schnitt,
 Fig. 2 und 3 abgewandelte Ausgestaltungen des Verbrennungsträgerelements nach Anspruch 1,
 Fig. 4 ein erfindungsgemäßes hülsenförmiges Verbrennungsträgerelement im axialen Schnitt, das an seinem abströmseitigen Ende geschlossen ist,
 Fig. 5 ein erfindungsgemäßes hülsenförmiges Verbrennungsträgerelement in abgewandelter Ausgestaltung.

[0046] Bei allen vorbeschriebenen Ausführungsbeispielen besteht das Verbrennungsträgerelement E aus drei Schichten 1, 2 und 3, die bezüglich der Durchströmungsrichtung quer aufeinanderliegen und einen Verbundkörper bilden. Die anströmseitige Brennstoff-Luftgemisch-Strömung ist mit 4 bezeichnet. Im Brennbetrieb der Verbrennungsträgerelemente E bildet das Brennstoff-Luftgemisch an der abströmseitigen Brennfläche 5 der dritten Schicht 3 (oder der zweiten Schicht 2 bei einem zweischichtigen Verbundkörper) eine nur in den Fig. 1 und 4 andeutungsweise dargestellte Flammenfront 6, deren Abströmungsgeschwindigkeitsprofil gleichmäßig ist, wie die Vielzahl kleiner Pfeile in der Flammenfront 6 verdeutlicht.

[0047] Bei den Ausführungsbeispielen gemäß Fig. 1 bis 3 kann zur Halterung des Verbrennungsträgerelements E ein rohrförmiger Halter 7 dienen, der das Verbrennungsträgerelement E an seinem Umfang umschließt. Vorzugsweise ist das Verbrennungsträgerelement E zur Abströmseite hin stufenförmig oder konisch verjüngt, wodurch eine Stufenfläche 8 gebildet ist, die vom Halter 7 hintergriffen sein kann, um ein ungewolltes Herausrutschen des Verbrennungsträgerelements aus dem Halter 7 zu verhindern.

[0048] Das Brennstoff-Luftgemisch 4 wird dem Verbrennungsträgerelement E anströmseitig zugeführt, z.B. im Halter 7, dabei stellt sich im Zentrum der Strömung 4 ein erhöhter Staudruck ein, der ohne besondere Leiteinrichtungen abströmseitig zu einem in diesem Bereich vergrößerten Abströmungsgeschwindigkeitsprofil führt. Um in einem solchen Fall ein gleichmäßiges Abströmungsgeschwindigkeitsprofil zu erhalten, kann z.B. der Strömungswiderstand des Verbrennungsträgerelements E im Zentrum größer ausgebildet werden, als im das Zentrum umgebenden Bereich, wobei das Maß der Gasdurchlässigkeit radial progressiv zunimmt. Dies kann z.B. durch eine unterschiedliche Porosität erreicht werden.

[0049] Bei den Ausführungsbeispielen nach Fig. 2 und 3 wird diese unterschiedliche Gasdurchlässigkeit durch eine zum Zentrum hin progressiv ausgebildete Dicke der Schicht 1 geschaffen. Beim Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 ist die Schicht 1 anströmseitig im Zentrum verdickt und zwar vorzugsweise im Sinne einer Wölbung 9. Im Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 ist eine solche Verdickung an der Schicht 1 abströmseitig vorgesehen, vorzugsweise ebenfalls durch eine Wölbung 9. Die Schichten 2 und 3 sind im wesentlichen gleich dick bemessen und an die Verdickung der Schicht 1 angepaßt, so daß gemäß Fig. 1 und 2 bis auf den Rand der Schicht 3 die Schichten 2 und 3 eben und gemäß Fig. 3 gewölbt geformt sind.

[0050] Ein ähnliches Problem ergibt sich bei einem hülsen- oder topfförmigen Verbrennungsträgerelement nach Fig. 4 und 5. Bei einer solchen Form stellt sich der vergrößerte Strömungsdruck im vorderen Bereich des Verbrennungsträgerelements ein, was durch physikalische Gesetzmäßigkeiten vorgegeben ist.

[0051] Um bei einem hülsenförmigen Verbrennungsträgerelement E ein gleichmäßiges Abströmungsgeschwindigkeitsprofil 6 an seiner Umfangsfläche zu erreichen, ist der Hohlraum 11 zur Abströmseite hin konvergent, insbesondere konisch, ausgeführt, so daß bei einer zylindrischen Form der Mantelfläche 12 der ersten Schicht 1 sich eine zur Abströmseite hin divergierende Dicke d für die erste Schicht 1 ergibt.

[0052] Bei einer Ausführungsform des Verbrennungsträgerelements E im Sinne einer abströmseitig geschlossenen Hülse gemäß Fig. 4 und 5 führt der vorbeschriebene Strömungsdruck im vorderen Bereich des Hohlraums 11 ebenfalls zu einem vergrößerten Abströmungsgeschwindigkeitsprofil an der mit gerundeten Ecken abgeflachten Stirnseite 13 (Fig. 4) oder an der insbesondere halbkugelförmig gerundeten Stirnseite 13 (Fig. 5) des Verbrennungsträgerelements E. Um auch an der Stirnseite 13 ein gleichmäßiges Abströmungsgeschwindigkeitsprofil zu erhalten, kann die erste Schicht 1 eine Dicke d₁ aufweisen, die größer bemessen ist als die Dicke d im sich rückseitig anschließenden Bereich der ersten Schicht 1. Das vordere Ende des Hohlraumes 11 ist bezüglich seiner Form an die Außenform der ersten Schicht 1 angepaßt.

[0053] Wie es die Fig. 4 und 5 zeigen, kann eine solche Strömungsveränderung, insbesondere -reduzierung auch durch einen verdichteten Bereich 14 der ersten Schicht 1 im stirnseitigen Endbereich erreicht werden. Ein solcher verdichteter Bereich 14 kann durch einen mehr oder weniger dichten Auftrag bzw. Überzug mit einem geeigneten Mittel

geschaffen werden. Dabei kann ein solches Mittel die Schicht 1 nicht nur überziehen, sondern es kann auch in die Schicht 1 penetrieren. Bei den Ausgestaltungen gemäß Fig. 4 und 5 ist ein solcher verdichteter Bereich 14 jeweils außenseitig auf der Schicht 1 im Zentrumbereich des Verbrennungsträgerelements E geschaffen und durch die zweite Schicht 2 abgedeckt. Ein solcher Überzug bzw. eine solche Verdichtung braucht nicht völlig dicht zu sein, sie kann auch eine geringere Porosität bzw. Gasdurchlässigkeit aufweisen, wie die erste Schicht 1.

[0054] Um im Halterungsbereich der Verbrennungsträgerelemente E mit einfachen Mitteln eine Abdichtung am Halter 7 zu verbessern und somit eine quer gerichtete Leckströmung am Halter 7 zu vermeiden, ist jeweils die vom Halter 7 umgebene Umfangsfläche bzw. Halterungsfläche im Sinne eines vorbeschriebenen verdichteten Bereichs abgedichtet, so daß in diesem Flächenbereich ein Austritt des Brennstoff-Luftgemisches nicht möglich ist. Dieser verdichtete Bereich 14a erstreckt sich bis zu der zweiten Schicht 2 oder ggf. auch vorhandenen dritten Schicht 3. Vorzugsweise erstreckt sich der verdichtete Bereich 14a an der Rückseite der ersten Schicht 1 auch um ein paar Millimeter radial einwärts. Dieser radiale Abschnitt ist mit 14b bezeichnet. Ggf. kann ein entsprechender radialer Abschnitt 14c auch abströmseitig an der ersten Schicht 1 angeordnet sein, wie es insbesondere Fig. 3 zeigt. In einem solchen Fall kann die zweite Schicht 2 oder auch die dritte Schicht 3 den Abschnitt 14c überdecken.

[0055] In vergleichbarer Weise ist auch der anströmseitige Halterungsbereich bei einer hülsenförmigen Schicht 1 mit einem verdichteten Bereich 14a versehen, wie es die Fig. 4 und 5 zeigen. Hier überragt die hülsenförmige Schicht 1 die Schicht 2 oder ggf. auch Schicht 3 anströmseitig um einen zur Halterung erforderlichen Abschnitt 15, wobei die Mantelfläche dieses Abschnitts 15 im Sinne des verdichteten Bereichs 14a abgedichtet ist. Vorzugsweise erstreckt sich der verdichtete Bereich 14a nicht nur mit einem radialen Abschnitt 14b an der abströmseitigen Stirnseite der ersten Schicht 1, sondern auch mit einem Abschnitt 14d auf der Innenwandung des Hohlraums 11.

[0056] Bei einer vorbeschriebenen Abdichtung 14 oder 14a handelt es sich vorzugsweise um einen Schlickerüberzug.

[0057] Bevorzugte Schichtstärken liegen für Schicht 1 zwischen etwa 10 und 50 mm, für die zweite Schicht 2 zwischen etwa 1 und 4 mm und für die dritte Schicht 3 zwischen etwa 1 und 4 mm je nach Brennstoffart, Leistung, Bauform und Vordruck des Brennstoff/Luft-Gemisches. Die besonders bevorzugte Schichtstärke für die zweite Schicht 2 beträgt 1,5 mm - 2,5 mm und für die dritte Schicht 3 1 bis 2 mm. Insbesondere in einem Leistungsbereich von etwa 150 kW/m² bis etwa 400 kW/m² (Brennstoffeinsatzleistung bezogen auf die Oberfläche des Verbrennungsträgerelements) und Gemischvordrücken von etwa 20 bis 80 mm WS, bezogen auf Erdgas-, Luftgemische, ergeben sich unter diesen Bedingungen stabile Verbrennungsverhältnisse, die eine große Variationsbreite des Verbrennungsluftverhältnisses gestatten und eine nahezu vollständige oxidative Umsetzung des Brennstoffs gewährleisten.

[0058] Die erste Schicht 1 besteht vorzugsweise aus Hohlkugel-Mullitkeramik. Unter Verwendung analoger Aggregatgrößen, Körnungen, Bindermengen und -arten ist die Herstellung auch mit anderen Hohlkugelwerkstoffen des Hochtemperaturbereiches, wie beispielsweise Korund, Zirkonoxid, Titanoxid, Cordierit usw. realisierbar.

[0059] In Verbindung mit dem Anwendungsfall Verbrennungstechnik/Abgasbehandlung und vorzugsweise dem vorgenannten Mehrschichtaufbau der Gesamtkeramik hat sich eine Mullitkeramik der folgenden Zusammensetzung als vorteilhaft herausgestellt:

Aggregat: Hohlkugelmullit mit Aggregatgrößen
von 0,5 - 5 mm, vorzugsweise 0,7 - 1,5 mm
Al₂O₃-Gehalt : 72 - 77 Gew.-%; vorzugsweise : 72,9 Gew.-%
SiO₂-Gehalt : 22 - 27 Gew.-%; vorzugsweise : 24,9 Gew.-%

Anteil in der Keramik : 75 - 92 % Gew.-%
vorzugsweise : 78 - 82 Gew.-%
(bezogen auf wasserfreie Substanz)

Binder: Mischbinder auf der Basis Tonerde, pyrogene Kieselsäure und Kieselsol mit den Hauptbestandteilen:
Al₂O₃-Gehalt : 72 - 80 Gew.-%; vorzugsweise : 72 - 75 %
SiO₂-Gehalt : 19 - 27 Gew.-%; vorzugsweise : 23 - 26 %

Anteil in der Keramik : 5 - 15 % Gew.-%
vorzugsweise : 7 - 10 Gew.-%
(bezogen auf wasserfreie Substanz)

zur Verbesserung der Grünfestigkeit kann dem Binder in weiterer Ausgestaltung ein Verfestiger, z.B. bis zu 1 Gew.-% Monoaluminiumphosphat, vorzugsweise in einem Flüssigbinder, zugesetzt werden.

Zuschlagstoff/Füller: Mullitfeinkorn mit der Körnung 0,15 mm
 vorzugsweise 0 - 0,08 mm, z.B. als Schmelzmullitqualität mit den Hauptbestandteilen
 Al_2O_3 -Gehalt : ca. 76 Gew.-%
 SiO_2 -Gehalt : ca. 23 Gew.-%

5

Anteil in der Keramik : 3 - 10 Gew.-%
 (bezogen auf wasserfreie Substanz)

[0060] Zur Herstellung eines Grünkörpers wird der Binder, beginnend mit der Mischung der Trockenbestandteile, unter Zugabe des Kieselols bis zur gleichmäßigen Verteilung aller Bestandteile gerührt. Der Wassereintrag erfolgt über das Kieselol, ggf. zusätzlich auch durch den Phosphatflüssigbinder und in erweiterter Ausgestaltung durch einen handelsüblichen organischen Verdicker, wie z.B. Methylzellulose, Carboxymethylzellulose oder Hydroxyethylzellulose, der zur Verbesserung der Verarbeitungskonsistenz wahlweise zugesetzt werden kann.

10

[0061] Den trocken vorgemischten Aggregaten und Zuschlagstoffen (Füllern) wird unter Fortsetzung des Mischvorganges kontinuierlich der angemachte Binder zugesetzt und bis zur Erreichung einer gleichmäßigen Konsistenz fortgemischt.

15

[0062] Danach erfolgt das Abformen vorzugsweise durch Einrütteln in eine entsprechende Form, Stampfen oder isostatisches Pressen. Der Grünkörper wird etwa zwei Stunden bis etwa 180°C getrocknet. Strömungstechnisch erwünschte Dichtgebiete 14 oder 14a, 14b, 14c, werden mit einem Schlickerüberzug aus Binder, versetzt mit einem erhöhten Fülleranteil, überzogen bzw. penetriert. Danach erfolgt der Brennprozeß zwischen etwa 1200 und 1600°C Garbrandtemperatur.

20

[0063] Die eingangs beschriebene Abgleichung des Strömungswiderstandes zur Verbesserung der Gleichmäßigkeit des Abströmgeschwindigkeitsprofils der Abgase wird durch eine gezielte Anpassung der Schichtstärke in Verbindung mit der Körpergeometrie gelöst.

25

[0064] Die eingangs hinsichtlich ihrer funktionalen Wirkung erläuterte zweite Schicht 2 wird erfindungsgemäß vorzugsweise am Beispiel eines feststoffverstärkten Mullitfaserhaufwerks beschrieben. Ausgestaltungen unter Zugrundelegung anderer kristalliner (ein- und/oder polykristalliner) Hochtemperaturfasern oder Fasergemische mit Anwendungstemperaturen etwa oberhalb 1500°C, wie z.B. Al_2O_3 -Fasern mit 95 % Al_2O_3 oder mit mehr als 99,5 % Al_2O_3 , ZrO_2 -Fasern oder Siliziumnitrid-Fasern sind unter Einsatz entsprechender kolloidaler Lösungen und Füller möglich. Der Faserdurchmesser soll dabei vorzugsweise in einem engen Spektrum oberhalb 3µm liegen. Besonders bevorzugt sind Fasern mit einem Durchmesser von 10µm und größer. Die Faserlänge soll im Bereich 0 - 5 mm liegen, vorzugsweise 0 - 3 mm betragen.

30

[0065] Das keramische Ausgangsmaterial enthält

35

- kristalline (ein- und/oder polykristalline) Fasern oder Fasergemische des o.g. Spektrums, z.B. polykristalline Mullitfaser mit der chemischen Zusammensetzung
 ca. 72 Gew.-% Al_2O_3
 ca. 28 Gew.-% SiO_2
 als Hauptbestandteile, mit einem mittleren Faserdurchmesser $\geq 3\mu\text{m}$
 und einer Faserlänge von 0 - 3 mm

40

Anteil im Ausgangsmaterial : 40 - 80 Gew.-%
 vorzugsweise 50 - 70 Gew.-%
 (bezogen auf wasserfreie Substanz)

45

- anorganische Füller in der chemischen Zusammensetzung, abgestimmt auf die Zusammensetzung der Faserqualität mit einer Körnung von 0 - 0,080 mm
 z.B. Schmelzmullit-Feinkorn mit der chemischen Zusammensetzung
 ca. 76 Gew.-% Al_2O_3
 ca. 23 Gew.-% SiO_2 in den Hauptbestandteilen

50

Anteil im Ausgangsmaterial : 10 - 40 Gew.-%
 (bezogen auf wasserfreie Substanz)

55

- anorganische Binder, vorzugsweise Mischbinder, abgestimmt auf die Faser- und Füllerqualität aus kolloidalen Lösungen/Vorstufen von Al_2O_3 , SiO_2 und ZrO_2 .
 z.B. Mischbinder aus kolloidalem Al_2O_3 und kolloidalem SiO_2
 eingestellt auf einem Gehalt an Hauptbestandteilen von

72 - 95 Gew.-% Al_2O_3 ,
 28 - 5 Gew.-% SiO_2
 vorzugsweise:
 77 Gew.-% Al_2O_3 ,
 23 Gew.-% SiO_2

Anteil im Ausgangsmaterial : 10 - 50 Gew.-%
 (bezogen auf wasserfreie Substanz)

[0066] In einer erweiterten Ausgestaltung kann dem vorgenannten keramischen Ausgangsmaterial ein Zusatz von Ton in einer Größenordnung von 0 - 30 Gew.-% (bezogen auf das wasserfreie keramische Ausgangsmaterial) zugesetzt werden.

[0067] Dem keramischen Ausgangsmaterial wird ein Ausbrennstoff in vorzugsweise faseriger oder splittriger Form mit Durchmesser kleiner etwa 0,5 mm und einer Länge von kleiner oder gleich etwa 3 mm zugefügt, z.B. in Form von Kunstfaserschnitt, Naturfaserschnitt oder Holzmehl.

Der zugesetzte Anteil beträgt: 30 - 70 Gew.-%, (bezogen auf das wasserfreie Ausgangsmaterial).

[0068] Dem keramischen Ausgangsmaterial wird weiterhin ein handelsüblicher Verdicker, vorzugsweise in Form einer Zellulose, z.B. in der Qualität Methylzellulose, Carboxymethylzellulose oder Hydroxyethylzellulose mit einem Anteil von 0,2 - 5 Gew.-% Trockensubstanz (bezogen auf das trockene Ausgangsmaterial) in 1 prozentiger, wässriger Lösung zugefügt.

[0069] Dem keramischen Ausgangsmaterial wird außerdem ein gasentwickelnder Stoff zugesetzt, der in Verbindung mit einer Temperaturerhöhung eine Treibreaktion in der Schicht mit entsprechender Porosierung bewirkt.

Der relative Anteil beträgt 10 - 30 Gew.-% (reaktive Substanz, bezogen auf das wasserfreie Ausgangsmaterial).

[0070] Als Treibreaktion kann beispielsweise die Sauerstoffabspaltung bei der thermisch/katalytischen Zersetzung von H_2O_2 vorteilhaft angewendet werden, wobei vorzugsweise etwa 10 - 30 prozentige, wässrige Lösungen zum Einsatz kommen.

[0071] Die zweite Schicht 2 kann beispielsweise hergestellt werden, indem ein Faserschnitt der Länge 3 mm vorgenannter Mullitfaser naß dispergiert wird, um die Fasern schonend aufzuschließen.

[0072] Der Faserlösung wird der ausbrennfähige Zuschlagstoff, z.B. als Holzmehl (Siebdurchgang 0,5 mm) mit länglich splittriger Form, zugesetzt und bis zur gleichmäßigen Verteilung wieder gerührt. Danach werden in schrittweiser Folge der anorganische Füller, z.B. Mullitfeinkorn, der Binder, z.B. der Al_2O_3 - SiO_2 Mischbinder mit 77 % Al_2O_3 und 23 % SiO_2 , sowie der organische Verdicker, z.B. Hydroxyethylzellulose in 1 prozentiger, wässriger Lösung zugesetzt und unter Rühren gleichmäßig verteilt. Die Masse wird ggf. durch Kühlung der Einzelkomponenten unter 20°C gehalten. Als letzter Schritt wird der gasentwickelnde Stoff, z.B. H_2O_2 , in 10 prozentiger oder vorzugsweise 30 prozentiger, wässriger Lösung, zugesetzt und gleichmäßig in der Masse verteilt. Über die Wasserzugabe wird die Masse auf Verarbeitungskonsistenz gebracht und vorzugsweise durch Spachtel- oder Streich- oder Spritzauftrag auf die vorgebrannte Trägerkeramik aufgetragen. Die Keramik wird bei 40°C ca. 12 Stunden getrocknet. Dabei bildet sich infolge des durch die Feststoffpartikel in Verbindung mit der Wärmezufuhr induzierten Zerfallsprozesses des H_2O_2 unter Sauerstoffabspaltung eine gleichmäßige feinporöse Struktur mit der angestrebten multidirektionalen Faseranordnung aus. Vor dem Auftrag weiterer Schichten erhält die getrocknete zweite Schicht 2 vorzugsweise einen Verschleiß, mit dem die Schichtstärke eingestellt wird, z.B. 2 mm. Ein Verschleiß nach dem Trocknen ist auch für die erste Schicht 1 vorteilhaft.

[0073] Die eingangs hinsichtlich ihrer funktionellen Wirkung als Flammenträgerschicht erläuterte dritte Schicht 3 wird hier am Beispiel eines Mullitfaserhaufwerks mit modifiziertem Aufbau erläutert. Eine erweiterte Ausgestaltung unter Zugrundelegung einer zur zweiten Schicht 2 abweichenden Faserqualität, insbesondere in Richtung einer höheren thermischen Belastbarkeit, z.B. Fasern mit 95 % Al_2O_3 oder 99,5 % Al_2O_3 und mehr, bzw. Zirkonoxidfasern oder Siliziumnitrid-Fasern oder Fasergemische in Verbindung mit einer Anpassung der oxidischen Füllermaterialien und kolloidalen Bindern auf der Basis Al_2O_3 und ZrO_2 , sind möglich. Die bezüglich der zweiten Schicht 2 beschriebenen geometrischen Anforderungen an die Fasermaterialien hinsichtlich Durchmesser und Länge gelten auch für die dritte Schicht 3.

[0074] Das keramische Ausgangsmaterial von der dritten Schicht 3 wird gebildet durch

- kristalline (ein- und/oder polykristalline) Fasern oder Fasergemische des vorgenannten Spektrums,

EP 0 708 901 B1

z.B. polykristalline Mullitfaser mit der für Schicht 2 beschriebenen chemischen Zusammensetzung und Fasergeometrie

Anteil im Ausgangsmaterial : 20 - 60 Gew.-%
vorzugsweise 30 - 50 Gew.-%
(bezogen auf wasserfreie Substanz)

- anorganische Füller in der chemischen Zusammensetzung, abgestimmt auf die Zusammensetzung der Faserqualität mit einer Körnung von 0 - 0,080 mm
z.B. Schmelzmullit-Feinkorn der unter Schicht 2 beschriebenen chemischen Zusammensetzung

Anteil im Ausgangsmaterial: 5 - 40 Gew.-%
vorzugsweise 10 - 30 Gew.-%
(bezogen auf wasserfreie Substanz)

- anorganische Binder, vorzugsweise Mischbinder, abgestimmt auf die Faser- und Füllerqualität aus kolloidalen Lösungen/Vorstufen von Al_2O_3 , SiO_2 und ZrO_2 z.B. Mischbinder aus kolloidalem Al_2O_3 / SiO_2 wie für Schicht 2 beschrieben

Anteil im Ausgangsmaterial: 5 - 30 Gew.-%
vorzugsweise 10 - 20 Gew.-%
(bezogen auf wasserfreie Substanz)

- strahlungsaktives anorganisches Zuschlagmaterial mit einer bevorzugten Körnung von 0 - 0,15 mm, z.B. SiC , Cr_2O_3 , Cr_2O_3 -Spinelle, Fe_2O_3 -Spinelle usw.

Anteil im Ausgangsmaterial : 20 - 60 Gew.-%
(bezogen auf wasserfreie Substanz)

[0075] In einer erweiterten Ausgestaltung kann dem vorgenannten keramischen Ausgangsmaterial ein Zusatz von Ton in einer Größenordnung von 0 - 10 Gew.-%
(bezogen auf das wasserfreie keramische Ausgangsmaterial) zugesetzt werden.

[0076] Dem keramischen Ausgangsmaterial wird ein Ausbrennstoff in vorzugsweise faseriger oder splittriger Form in der für Schicht 2 beschriebenen Geometrie und Werkstoffausgestaltung zugemischt.

Der zugesetzte Anteil beträgt: 30 - 50 Gew.-%
(bezogen auf das wasserfreie keramische Ausgangsmaterial).

[0077] Dem keramischen Ausgangsmaterial wird weiterhin ein handelsüblicher Verdicker der für Schicht 2 beschriebenen Qualität, mit einem Anteil von 0,1 - 5 Gew.-% Trockensubstanz
(bezogen auf das wasserfreie Ausgangsmaterial)

in 1 prozentiger wässriger Lösung zugefügt.

[0078] Dem keramischen Ausgangsmaterial wird außerdem ein gasentwickelnder Stoff gemäß der Beschreibung der Schicht 2 zugesetzt, wobei der reaktive Anteil 1 - 10 Gew.-% reaktive Substanz
(bezogen auf das wasserfreie keramische Ausgangsmaterial)

beträgt.

[0079] Schicht 3 wird in analoger Weise zu Schicht 2 hergestellt. Der aufgeschlossenen Faserlösung mit beispielsweise polykristallinen Mullitfasern des gleichen Längen- und Durchmesserpektrums und der gleichen chemischen Zusammensetzung, wie bei Schicht 2 beschrieben, wird in der Grundausführung der gleiche Ausbrennstoff von Art und Größe, aber variiert in der Menge, zugesetzt. Als feste Zuschlagstoffe werden beispielsweise Schmelzmullit-Feinkorn und SiC -Feinkorn in den für Schicht 3 beschriebenen Gewichtsanteilen vorgemischt und der Masse zugesetzt und eingearbeitet. Analog zu Schicht 2 wird dann beispielsweise der genannte Al_2O_3 - SiO_2 - Binder und danach der Verdicker in veränderten Gewichtsanteilen zugefügt und gleichmäßig verteilt. Dem gasentwickelnden Stoff wird, wie bei Schicht 2, aber in verändertem Gewichtsanteil, reaktive Substanz zugesetzt und die Keramik bis zum Abschluß

des Trocknungsprozesses analog behandelt. In erweiterter Ausgestaltung kann anstelle der Mullitfaser eine andere beschriebene kristalline Faser des Typs Al_2O_3 oder ZrO_2 usw. oder ein Gemisch von Fasern einschließlich/ ausschließlicher Mullitfaser von Vorteil sein.

[0080] Eine durch Verschleiß nach dem Trocknen gebildete Oberfläche ist für die dritte Schicht 3 ebenfalls vorteilhaft. Hierdurch wird die Gasauströmung verbessert und es kann auch die Schichtdicke eingestellt werden.

[0081] In einer weiteren erweiterter Ausgestaltung kann der Ausbrennstoff von seiner Qualität her variiert werden, z.B. Kunstfaserschnitt der Länge von etwa 3 mm mit einem Durchmesser von kleiner als etwa 0,5 mm.

[0082] In einer anderen erweiterter Ausgestaltung kann der Mischbinder variiert werden, indem beispielsweise eine kolloidale Lösung/Vorstufe von ZrO_2 zugesetzt wird, die die kolloidale SiO_2 -Lösung teilweise oder völlig ersetzen kann.

[0083] Nach Abschluß des Treibvorgangs und der Trocknung, vorzugsweise etwa zwölf Stunden bei etwa 40°C , wird die Keramik je nach dem stofflichen Aufbau der Schichten zwischen etwa 1200°C und 1600°C gebrannt. Über einen Verschleiß der äußeren Schicht 3 oder ggf. auch zweiten Schicht 2 wird die Schichtstärke reproduzierbar, beispielsweise auf etwa 2 mm, eingestellt.

[0084] Die konkreten Anforderungen des jeweiligen Anwendungsprozesses, insbesondere die Abgasbestandteile im Falle der Behandlung von gasförmigen Abprodukten durch thermische Oxidation, bestimmen die Werkstoffauswahl. Vordruck und Leistungsanforderungen nehmen entscheidend Einfluß auf die Geometrie. Bei Kenntnis des Verbrennungsmechanismus lassen sich die Widerstände durch den Drei- oder ggf. auch Mehrschichtaufbau so steuern und durch Luftanalogie-Strömungsversuche untersetzen, daß die Flammenwurzel über einen weiten Leistungsbereich und ein breites Luftverhältnis in der Keramik der äußeren Schicht gehalten werden kann und so ein NO_x -armes und nahezu C_xH_y - und CO -freies Abprodukt die Brennoberfläche verläßt.

[0085] Im Brennbetrieb wird die erste Schicht 1 vom Brennstoff-Luft-Gemisch 4 angeströmt und durchströmt. Sie verteilt dabei entsprechend dem Strömungswiderstand das Gemisch möglichst gleichmäßig über die Brennoberfläche 5 und bewirkt eine geringfügige Vorwärmung und Nachvermischung. In der Schicht 2 erfolgt die Intensivierung der Vorwärmung und eine weitere Vergleichmäßigung des Strömungsprofils. Das Gemisch wird bis auf Reaktionstemperatur gebracht. Die eigentliche Flamme sitzt als Front in bzw. unmittelbar auf der Schicht 3 und bringt diese zum Glühen. Die abströmenden Abgase sind durch das Bezugszeichen 6 verdeutlicht.

[0086] Eine derartige Keramik wird über eine geeignete Medienzuführung inklusive Befestigung 7 gasdicht gehalten.

[0087] Das in der Keramik zugeführte verbrennungsfähige Gemisch wird durch eine geeignete Vorrichtung an der Oberfläche gezündet, die Verbrennungsabgase einer Brennkammer zugeführt und eine prozeßabhängig mehr oder wenig intensive Wärmeabnahme realisiert.

Patentansprüche

1. Verbrennungsträgerelement (E) für Flächenbrenner, insbesondere für quasiflammenlose Oberflächenbrenner, bestehend aus

- einem eine Vielzahl Durchlaßöffnungen aufweisenden keramischen Material,
- wobei das Verbrennungsträgerelement (E) ein mehrschichtiger Verbundkörper mit zwei oder drei Schichten (1, 2, 3) ist,
- wobei die erste Schicht (1) aus kugelförmigen oder hohlkugelförmigen Aggregaten aufgebaut ist und eine poröse Haufwerkskeramik bildet,
- wobei die zweite und/oder dritte Schicht (2, 3) aus einem feststoffverstärkten Haufwerk aus Mullitfasern oder anderen kristallinen (ein und/oder polykristallinen) temperaturbeständigen Fasern oder Fasergemischen besteht bzw. bestehen,
- wobei das Material der zweiten Schicht (2) eine größere Temperaturbeständigkeit als das Material der ersten Schicht (1) aufweist,
- und wobei die erste Schicht (1) eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit bezogen auf die Schichtdicke als die zweite Schicht (2) aufweist.

2. Verbrennungsträgerelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das keramische Material eine Mullitkeramik ist.

3. Verbrennungsträgerelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das keramische Material aus Kurund, Zirkonoxid, Titanoxid oder Cordierit besteht.

4. Verbrennungsträgerelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß der Faserdurchmesser etwa 3 µm und mehr, vorzugsweise etwa 10 µm und mehr, und die Faserlänge bis etwa 5 mm, vorzugsweise etwa 3 mm, beträgt.
5. Verbrennungsträgerelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß das Material der dritten Schicht eine größere Temperaturbeständigkeit als das Material der ersten oder zweiten Schicht aufweist.
6. Verbrennungsträgerelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß dem keramischen Ausgangsmaterial der betreffenden Schicht (1, 2, 3) ein vorzugsweise faseriger oder splittiger Ausbrennwerkstoff zugemischt ist.
7. Verbrennungsträgerelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß dem keramischen Ausgangsmaterial der betreffenden Schicht (1, 2, 3) ein gasentwickelnder Stoff zugemischt ist, der bei einer Temperaturerhöhung, z.B. beim Trocknen, eine Treibreaktion in der Schicht mit entsprechender Porosierung bewirkt.
8. Verbrennungsträgerelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Abströmfläche der ersten und zweiten und/oder dritten Schicht (1, 2, 3) spanabhebend bearbeitet, insbesondere geschliffen ist.
9. Verbrennungsträgerelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Schichten (1, 2, 3) aus einem porösen keramischen Material bestehen und die bezüglich der ersten Schicht (1) abströmseitig angeordnete zweite Schicht (2) und/oder eine ggf. vorhandene, abströmseitig von der zweiten Schicht (2) angeordnete dritte Schicht (3) einen höheren Strömungswiderstand aufweist als die erste Schicht (1) oder ggf. die dritte Schicht (3) einen höheren Strömungswiderstand aufweist als die zweite Schicht (2).
10. Verbrennungsträgerelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die zweite Schicht (2) eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit bezogen auf die Schichtdicke als die dritte Schicht (3) aufweist.
11. Verbrennungsträgerelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die erste Schicht (1) dicker bemessen ist als die zweite Schicht (2) und/oder die dritte Schicht (3) und insbesondere die zweite Schicht (2) dicker bemessen ist als dritte Schicht (3), wobei vorzugsweise die Dicke der ersten Schicht (1) etwa zwischen 10 und 50mm beträgt, die Dicke der zweiten Schicht (2) zwischen etwa 1 mm und 4mm beträgt und die Dicke der dritten Schicht (3) etwa zwischen 1 mm und 4mm beträgt, wobei eine bevorzugte Schichtdicke für die zweite Schicht (2) 1,5 mm bis 2,5mm beträgt und für die dritte Schicht 1 mm bis 3mm beträgt.
12. Verbrennungsträgerelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die erste Schicht (1) und/oder die zweite Schicht (2) und/oder die dritte Schicht (3) jeweils aus einem Aggregatmaterial und einem Bindermaterial und vorzugsweise auch einem Zuschlagstoff bzw. Füller besteht bzw. bestehen.
13. Verbrennungsträgerelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß in der ersten und/oder zweiten und/oder dritten Schicht (2, 3) ein gasentwickelnder Stoff zum Zweck eines Gastreibeprozesses in der Schicht (2, 3) mit entsprechender ggf. zusätzlicher Porosierung enthalten ist.
14. Verbrennungsträgerelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß die zweite oder dritte Schicht (2, 3) ein wärmeabstrahlungsförderndes Material aufweist, z.B. SiC, Cr₂O₃, Cr₂O₃-Spinelle, Fe₂O₃-Spinelle usw. vorzugsweise mit einer Körnung von 0 bis 0,15mm.

- 5 **15.** Verbrennungsträgerelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die zweite und/oder dritte Schicht (3) einen darin verteilt angeordneten Ausbrennstoff in vorzugsweise faseriger oder splittriger Form aufweist bzw. aufweisen.
- 10 **16.** Verbrennungsträgerelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die erste Schicht (1) und/oder die zweite Schicht (2) und/oder die dritte Schicht (3) abströmseitig spanabhebend bearbeitet, insbesondere geschliffen ist bzw. sind.
- 15 **17.** Verbrennungsträgerelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß es platten- bzw. scheibenförmig oder hülsenförmig ausgebildet ist, vorzugsweise in Form einer abströmseitig geschlossenen Hülse, insbesondere durch die Schicht (1) oder die Schichten (1, 2 oder auch 3) geschlossene Hülse.

20

Claims

- 25 **1.** Combustion support element (E) for surface burners, in particular for quasi-flameless surface burners, consisting of
- a ceramic material having a plurality of throughflow openings,
 - whereby the combustion support element (E) is a multilayer composite body with two or three layers (1,2,3),
 - whereby the first layer (1) is formed of ball-like or hollow ball-like aggregate and forms a porous conglomeration ceramic,
 - 30 - whereby the second and/or third layer (2,3) is or are of a solid reinforced conglomeration of mullite fibres or other crystalline (single and/or poly-crystalline) temperature resistant fibres or fibre mixtures,
 - whereby the material of the second layer (2) has a greater temperature resistance than the material of the first layer (1),
 - 35 - and whereby the first layer (1) has a lesser thermal conductivity, referred to the layer thickness, than the second layer (2).
- 40 **2.** Combustion support element according to claim 1, characterized in that, the ceramic material is a mullite ceramic.
- 45 **3.** Combustion support element according to claim 1, characterized in that, the ceramic material is of corundum, zirconium oxide, titanium oxide or cordierite.
- 50 **4.** Combustion support element according to any preceding claim, characterized in that, the fibre diameter is about 3 µm and more, preferably about 10 µm and more, and the fibre length is up to about 5 mm, preferably about 3 mm.
- 55 **5.** Combustion support element according to any preceding claim, characterized in that, the material of the third layer has a greater temperature resistance than the material of the first or second layer.
6. Combustion support element according to any preceding claim, characterized in that, there is mixed into the ceramic starting material of the relevant layer (1,2,3) a preferably fibrous or splintery burn-out material.

7. Combustion support element according to any preceding claim,
characterized in that,
there is mixed with the ceramic starting material of the relevant layer (1,2,3) a gas developing material that with
an increased temperature, e.g. upon drying, effects a driver reaction in the layer with corresponding porosification.
8. Combustion support element according to any preceding claim,
characterized in that,
the outflow surface of the first and second and/or third layer (1,2,3) is worked in a manner which removes material,
in particular is abraded.
9. Combustion support element according to any preceding claim,
characterized in that,
the layers (1,2,3) are of a porous ceramic material and the second layer (2), arranged on the outflow side with
regard to the first layer (1), and/or a possibly present third layer (3), arranged on the outflow side of the second
layer (2), has a higher flow resistance than the first layer (1) or if applicable the third layer (3) has a higher flow
resistance than the second layer (2).
10. Combustion support element according to any preceding claim,
characterized in that,
the second layer (2) has a lower thermal conductivity, referred to the layer thickness, than the third layer (3).
11. Combustion support element according to any preceding claim,
characterized in that,
the first layer (1) is thicker than the second layer (2) and/or the third layer (3) and in particular the second layer
(2) is thicker than the third layer (3), whereby preferably the thickness of the first layer (1) is between about 10
and 15 mm, the thickness of the second layer (2) is between about 1 mm and 4 mm and the thickness of the third
layer (3) is between about 1 mm and 4 mm, whereby a preferred layer thickness for the second layer (2) is 1.5
mm to 2.5 mm and for the third layer is 1mm to 3 mm.
12. Combustion support element according to any preceding claim,
characterized in that,
the first layer (1) and/or the second layer (2) and/or the third layer (3) is or are in each case of an aggregate material
and a binder material preferably also a supplementary material or filler.
13. Combustion support element according to any preceding claim,
characterized in that,
there is contained in the first and/or second and/or third layer (2,3) a material which develops gas, for the purpose
of a gas driving process in the layer (2,3) with corresponding, possibly additional, porosification.
14. Combustion support element according to any preceding claim,
characterized in that,
the second or third layer (2,3) has a material promoting heat radiation emission, e.g. SiC, Cr₂O₃, Cr₂O₃-spinel,
Fe₂O₃-spinel etc., preferably having a grain size from 0 to 0.15 mm.
15. Combustion support element according to any preceding claim,
characterized in that,
the second and/or third layer (3) has a material which can be burned out arranged distributed therein, preferably
in fibrous or splintery form.
16. Combustion support element according to any preceding claim,
characterized in that,
the first layer (1) and/or the second layer (2) and/or third layer (3) is, on the outflow side, worked in a way removing
material, in particular abraded.
17. Combustion support element according to any preceding claim,
characterized in that,
it is formed plate- or disc-like or sleeve-like, preferably in the form of a sleeve closed to the outflow side, in particular
a sleeve closed by means of the layer (1) or the layers (1,2 or also 3).

Revendications

1. Elément support de combustion (E) destiné à des brûleurs radiants à combustion en surface, notamment à des brûleurs radiants à combustion en surface quasiment sans flammes, comprenant
 - un matériau céramique pourvu grand nombre d'ouvertures de passage,
 - l'élément support de combustion (E) étant un corps composite multicouches, à deux ou trois couches (1, 2, 3),
 - la première couche (1) étant constituée d'agréats en forme de sphères ou de sphères creuses et formant une céramique agrégée poreuse,
 - la deuxième et/ou la troisième couche (2,3) étant formée(s) d'un mat de fibres de mullite ou d'autres fibres cristallines (mono- et/ou poly-cristallines) résistantes à la température,
 - le matériau de la deuxième couche (2) présentant une résistance à la température plus élevée que le matériau de la première couche (1),
 - et la première couche (1) présentant une conductibilité thermique rapportée à l'épaisseur plus faible que la deuxième couche (2).
2. Elément support de combustion selon la revendication 1, caractérisé par le fait que le matériau céramique est une céramique de mullite.
3. Elément support de combustion selon la revendication 1, caractérisé par le fait que le matériau céramique est formé de corindon, d'oxyde de zirconium, d'oxyde de titane ou de cordiérite.
4. Elément support de combustion selon une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que le diamètre des fibres est d'environ 3 µm et plus, de préférence d'environ 10 µm et plus, et la longueur des fibres va jusqu'à environ 5 mm, de préférence jusqu'à environ 3 mm.
5. Elément support de combustion selon une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que le matériau de la troisième couche présente une résistance à la température plus élevée que le matériau de la première couche ou de la deuxième couche.
6. Elément support de combustion selon une des revendications précédentes, caractérisé par le fait qu'un matériau éliminable par combustion, de préférence sous la forme de fibres ou de particules, est incorporé dans le matériau céramique de base de la couche concernée (1, 2, 3).
7. Elément support de combustion selon une des revendications précédentes, caractérisé par le fait qu'une substance formatrice de gaz est incorporée dans le matériau céramique de base de la couche concernée (1, 2, 3), laquelle substance en présence d'une élévation de température, par exemple lors du séchage, engendre une réaction de gonflement dans la couche, accompagnée d'une formation correspondante de pores.
8. Elément support de combustion selon une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que la surface de sortie de la première, de la deuxième et/ou de la troisième couche (1, 2, 3) est usinée par un procédé par enlèvement de copeaux, par exemple est polie.
9. Elément support de combustion selon une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que les couches (1, 2, 3) sont en un matériau céramique poreux et que la deuxième couche (2), disposée côté aval par rapport à la première couche (1), et/ou la troisième couche (3), lorsqu'elle existe, disposée côté aval par rapport à la deuxième couche (2), présente une résistance à l'écoulement supérieure à la première couche (1) ou que la troisième couche (3) présente une résistance à l'écoulement supérieure à la deuxième couche (2).
10. Elément support de combustion selon une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que la deuxième couche (2) présente une conductibilité thermique rapportée à l'épaisseur de couche inférieure à celle de la troisième couche (3).
11. Elément support de combustion selon une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que la première couche (1) a une épaisseur supérieure à la deuxième couche (2) et/ou à la troisième couche (3) et plus particulièrement que la deuxième couche (2) a une épaisseur supérieure à la troisième couche (3), de préférence l'épaisseur de la première couche (2) étant comprise entre 10 mm et 50 mm, l'épaisseur de la deuxième couche (2) étant comprise entre 1 mm et 4 mm et l'épaisseur de la troisième couche (3) étant comprise entre 1 mm et 4 mm, une

épaisseur de couche préférée étant comprise entre 1,5 mm et 2,5 mm pour la deuxième couche et entre 1 mm et 3 mm pour la troisième couche,.

- 5 12. Élément support de combustion selon une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que la première couche (1) et/ou la deuxième couche (2) et/ou la troisième couche (3) est/sont constituée(s) chaque fois d'un agrégat et d'un liant et de préférence également d'un additif ou d'une charge.
- 10 13. Élément support de combustion selon une des revendications précédentes, caractérisé par le fait qu'une substance formatrice de gaz est incorporée dans la première couche (1) et/ou la deuxième couche (2) et/ou la troisième couche (3) aux fins de libérer du gaz dans la couche (2, 3) avec apparition d'une porosité supplémentaire correspondante.
- 15 14. Élément support de combustion selon une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que la deuxième ou la troisième couche (2, 3) comporte un matériau favorisant le rayonnement thermique, par exemple du SiC, du Cr_2O_3 , des spinelles de Cr_2O_3 , des spinelles de Fe_2O_3 etc, avec une dimension de grains allant de 0 à 0,15 mm.
- 20 15. Élément support de combustion selon une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que la deuxième et/ou la troisième couche (2, 3) comporte/comportent un matériau éliminable par combustion réparti à l'intérieur de ladite couche, de préférence sous la forme de fibres ou de particules.
- 25 16. Élément support de combustion selon une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que la première couche (1) et/ou la deuxième couche (2) et/ou la troisième couche (3) est/sont usinée(s) par enlèvement de copeaux côté aval, en particulier est/sont polie(s).
- 30 17. Élément support de combustion selon une des revendications précédentes, caractérisé par le fait qu'il est conformé en plaque, en disque ou en manchon, en particulier en manchon fermé par la couche (1) ou les couches (1, 2 ou 3).

FIG. 1

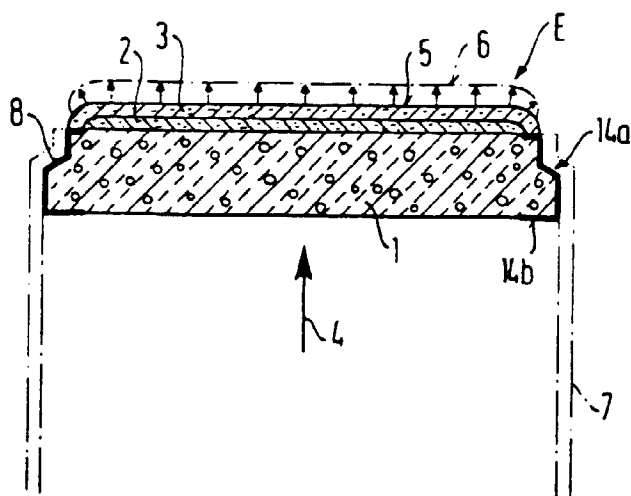


FIG. 4

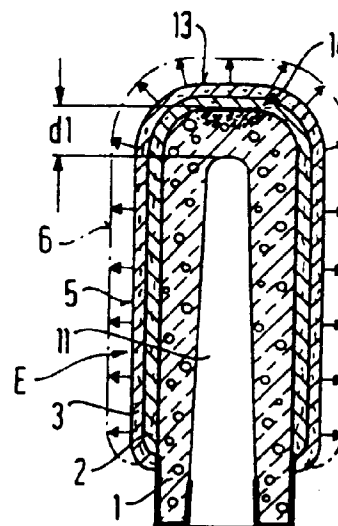


FIG. 2

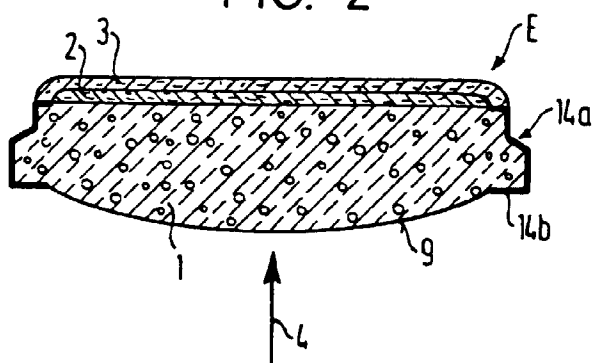


FIG. 5

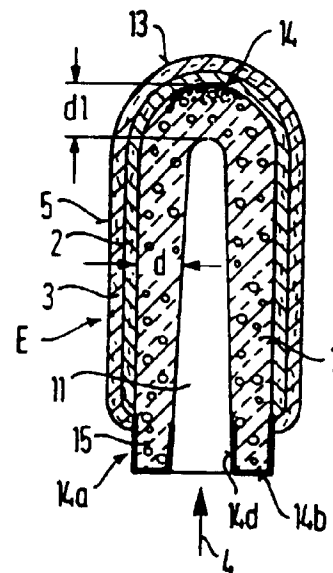


FIG. 3

