(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 1 089 039 B1

(12) # EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
16.11.2005 Patentblatt 2005/46

(51) Int Cl.[7]: **F23Q 3/00**, H01T 13/39

(21) Anmeldenummer: **00119052.9**

(22) Anmeldetag: **02.09.2000**

(54) **Elektrodeneinrichtung mit Elektrodenstab**

Electrode comprising an electrode rod

Electrode comprenant une baguette d'électrode

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT DE FR IT

(30) Priorität: **28.09.1999 DE 19946298**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
04.04.2001 Patentblatt 2001/14

(73) Patentinhaber: **Aichelin GesmbH**
2340 Mödling (AT)

(72) Erfinder:
- **Harbeck, Wolfgang, Dr.**
  07819 Leubsdorf (DE)
- **Noack, Jürgen**
  09599 Freiberg (DE)
- **Than, Eberhard, Dr.**
  09127 Chemnitz (DE)

(74) Vertreter: **Gahlert, Stefan et al**
Witte, Weller & Partner,
Patentanwälte,
Postfach 105462
70047 Stuttgart (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 554 852
DE-A- 4 431 143

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 1 089 039 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Elektrodenstab sowie eine Elektrodeneinrichtung mit einer Elektrode zur Übertragung oder Ableitung einer Elektrodenspannung von einem Elektrodenstumpf, mit einem derartigen Elektrodenstab.

[0002] Moderne Industrieöfen weisen ein Brennerrohr auf, in dem eine Brennkammer gebildet ist, in die über geeignete Zuführungen Verbrennungsluft und Brennstoff zugeführt werden. Um eine zuverlässige Zündung des Brennstoff/Luft-Gemisches zu ermöglichen, ist ferner in der Regel eine separate Zündkammer vorgesehen, in die ein Elektrodenstab hineinreicht, der mit einer geeigneten Zündelektrode ausgerüstet ist und mit einer geeigneten Zündspannung versorgt wird.

[0003] Eine derartiger Brenner mit einem Elektrodenstab, der an seinem vorderen, in die Zündkammer hineinreichenden Ende in einem Isolierrohr geführt ist, und an seinem hinteren Ende mit einer Zündelektrode verbunden ist, ist beispielsweise aus der DE 41 38 434 C1 bekannt.

[0004] Derartige Elektrodenstäbe bestehen in der Regel aus Kanthaldraht, also aus einer speziellen Legierung, die für Hochtemperaturanwendungen geeignet ist. Durch das Isolierrohr wird der Elektrodenstab bei hohen Betriebstemperaturen an der gewünschten Stelle festgelegt und gegen Verbiegen und sonstige Beanspruchungen geschützt, insbesondere wenn der Kanthaldraht thermisch überbeansprucht wird und so an Festigkeit verliert.

[0005] Bei höheren Temperaturen treten in der Brennkammer am Kanthaldraht thermisch bedingte Verschleißerscheinungen (Abbrand und Verspröden von Material oder Verbiegungen) auf, so daß die Zünd- und insbesondere die Überwachungsfunktion des Elektrodenstabes nicht mehr gewährleistet werden kann.

[0006] Eine derartige Stabelektrode ist somit als Verschleißteil anzusehen. Durch den so notwendigen häufigen Wechsel des Elektrodenstabes besteht ein hoher Wartungsaufwand.

[0007] Es sind auch Elektrodenstäbe durch Benutzung bekannt geworden, bei denen versucht wurde, den Elektrodenstab aus einer monolithischen Keramik herzustellen, nämlich aus schmelzinfiltrierter SiSiC-Keramik. Hierbei wurde das zur Befestigung und Isolierung benötigte Keramikrohr, das in der Regel aus Al_2O_3 bestand, auf den Elektrodenstab aufgeschoben und mit einem geeigneten Kleber befestigt. Zur Verbindung zwischen dem SiSiC-Stab und der zugehörigen Elektrode wurde ein metallischer Spannstift verwendet.

[0008] Der bekannte Elektrodenstab hat sich als außerordentlich spröde erwiesen, so daß bei mechanischer Belastung eine erhebliche Bruchgefahr besteht. Bereits bei der Montage des Spannstiftes, also bei der Verbindung des Elektrodenstabes mit der zugehörigen Elektrode, bestand eine erhebliche Bruchgefahr. Demnach ist bei Verwendung des bekannten aus SiSiC-Keramik bestehenden Elektrodenstabes bei Transport, Montage und Demontage größte Sorgfalt erforderlich.

[0009] Aus der DE-A-44 31 143 ist eine Zündkerze für eine Brennkraftmaschine bekannt, die ein zylindrisches Metallrohr aufweist, in dem ein stabförmiger Innenleiter eingesetzt ist, der von einem Isolator umgeben ist und mit einem strombegrenzenden Widerstand im Stromkreis der Zündkerze. Der Widerstand ist so angeordnet, daß er in Richtung auf die Funkenstrecke der Zündkerze vorgezogen ist. Der Widerstand besteht aus einem gut wärmeleitenden Werkstoff, wie Siliziumcarbid, dessen gewünschte elektrische Leitfähigkeit über Dotierungen eingestellt ist.

[0010] Eine derartige Zündkerze ist speziell für eine Brennkraftmaschine ausgelegt, nicht jedoch für die Anwendung etwa in Industrieöfen geeignet.

[0011] Aus der EP-A-0 554 852 ist ferner eine Zündkerze mit Isolator, Mittelelektrode, Körper und Körperelektrode bekannt, bei der die Körperelektrode aus einem Silber-Nickel-Faserverbundwerkstoff gebildet ist, der aus einer Silbermatrix besteht, in die Nickelfasern eingelagert sind.

[0012] Auch eine derartige Zündkerze ist für den Einsatz in Brennkraftmaschinen ausgelegt und nicht für den Einsatz bei Industrieöfen geeignet.

[0013] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine verbesserte Elektrodeneinrichtung anzugeben, die einen einseitig abgestützten Elektrodenstab aufweist, der eine hohe Lebensdauer und eine möglichst geringe Bruchanfälligkeit aufweist und insbesondere in Verbindung mit Brennern für Industrieöfen einsetzbar ist.

[0014] Ferner soll ein für eine derartige Elektrodeneinrichtung geeigneter Elektrodenstab angegeben werden.

[0015] Die Erfindung wird durch eine Elektrodeneinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und durch einen Elektrodenstab mit den Merkmalen des Anspruchs 16 gelöst.

[0016] Es hat sich gezeigt, daß ein derartiger Verbundwerkstoff über gute Festigkeitseigenschaften verfügt, eine hohe Oxidations- und Temperaturbeständigkeit besitzt und über eine hohe Temperaturwechselbeständigkeit verfügt. Des weiteren hat sich gezeigt, daß ein derartiger Verbundwerkstoff die notwendige elektrische Leitfähigkeit aufweist.

[0017] Für den zuvor beschriebenen Verwendungszweck hat sich der erfindungsgemäße Verbundwerkstoff als derart ideal erwiesen, daß der Elektrodenstab an einem Brennerrohr nicht vorzeitig ausgetauscht werden muß, sondern eine derart hohe Standzeit aufweist, daß ein Austausch nur noch in Kombination mit dem gesamten Brennerrohr in Sonderfällen erforderlich wird. Der erfindungsgemäße Elektrodenstab stellt somit kein Verschleißteil mehr dar.

[0018] Bei Siliziumcarbid handelt es sich bekanntlich um einen Werkstoff mit Halbleitereigenschaften, der sich für den vorstehend beschriebenen Zweck als ausreichend elektrisch leitfähig erwiesen hat.

[0019] In bevorzugter Ausführung der Erfindung bestehen die Fasern aus Siliziumcarbid oder Kohlenstoff.

[0020] Derartige Fasern weisen eine hohe Warmfestigkeit auf und sind zur Verbesserung der Festigkeit und Verringerung der Bruchanfälligkeit eines derartigen Verbundwerkstoffes besonders geeignet. Darüber hinaus weisen Siliziumcarbid-Fasern eine gute Oxidationsbeständigkeit auf. Sofern Kohlenstoff-Fasern verwendet werden, sollte dafür Sorge getragen werden, daß diese Fasern möglichst vollständig von der Siliziumcarbid-Matrix umschlossen sind, da Kohlenstoff-Fasern naturgemäß leicht oxidierbar sind. Andererseits wird durch Kohlenstoff-Fasern die elektrische Leitfähigkeit zusätzlich verbessert.

[0021] Gemäß einer weiteren Ausführung der Erfindung weist die aus Siliziumcarbid bestehende Matrix kohlenstoffhaltige Zusätze, vorzugsweise Ruß und/oder Graphit auf.

[0022] Durch derartige Zusätze wird die elektrische Leitfähigkeit des Verbundwerkstoffes erheblich verbessert. Ferner erleichtern derartige Zusätze die Herstellung des Verbundwerkstoffes bei Verwendung von Sinterverfahren, Drucksintern oder ähnlichen Verfahren, gegebenenfalls auch bei Verwendung von Granulierverfahren.

[0023] Gemäß einer weiteren Ausführung der Erfindung sind die Fasern oberflächenbeschichtet.

[0024] Durch eine derartige Oberflächenbeschichtung, die beispielsweise aus pyrolytischem Kohlenstoff, Pech oder dergleichen bestehen kann, werden die Fasern bei der späteren Schmelzinfiltration bzw. Pyrolyse gegen Reaktionen geschützt, so daß die verbesserten, durch die Fasern bedingten Festigkeitseigenschaften weitgehend erhalten bleiben. Zusätzlich wird durch die beschichteten Fasern der Verbundwerkstoff bruchtolerant, da die beschichteten Fasern eine Rißausbreitung zumindest teilweise stoppen können.

[0025] Gemäß einer weiteren Ausführung der Erfindung sind die Fasern in der Matrix gerichtet mit einer Vorzugsrichtung längs und quer zu dem Elektrodenstab angeordnet.

[0026] Durch einen derartigen Faserverlauf wird die Festigkeit des Elektrodenstabes besonders an die an einem stabförmigen Körper auftretenden Belastungen angepaßt.

[0027] Die zur Verstärkung verwendeten Fasern können erfindungsgemäß als Langfasern ausgebildet sein, die sich als Gewebe über die Gesamtlänge des Elektrodenstabes erstrecken, oder auch als Kurzfasern ausgebildet sein mit einer Länge in der Größenordnung von etwa 2 bis 10 mm und mittleren Durchmessern in der Größenordnung von etwa 2 bis 20 µm.

[0028] Gemäß einer weiteren Ausführung der Erfindung sind die Fasern zu Faserbündeln (Rovings) zusammengefaßt.

[0029] Bei der Verwendung von Langfasern können diese als sogenannte Prepregs in Form einer Laminatstruktur verarbeitet werden, in der gegebenenfalls mehrere Schichten aus verwebten Fasern (Cross-Ply-Schichten) und/oder unidirektionalen Fasern (UD-Schichten) vorgesehen sind.

[0030] Durch die Verwendung derartiger Cross-Ply-Schichten und/oder UD-Schichten läßt sich dem Elektrodenstab eine gezielte Textur geben, um besonders gut an die mechanische Beanspruchung angepaßte Festigkeitseigenschaften zu erzielen.

[0031] Der hierzu verwendete Schichtenverbund, der zum Laminataufbau verwendet werden kann, kann bevorzugt als bereits zusammenhängender, vorgefertigter Prepreg in eine Preßform eingebracht werden. Der Prepreg läßt sich unter Hitzeeinwirkung bei erhöhter Temperatur (einige hundert Grad Celsius) gut ausformen (wie ein Kunststoff), da die organischen Binderbestandteile plastifiziert werden und der gesamte Prepreg in die Form "hineinfließt".

[0032] An diese an sich bekannte Verfahrensroute schließt sich eine Carbonisierung der organischen Bestandteile durch Pyrolyse bei einer Temperatur in der Größenordnung von etwa 1000°C unter Luftabschluß an, um einen porösen Formkörper herzustellen, der anschließend in an sich bekannter Weise mit einer Siliziumschmelze schmelzinfiltriert wird, um so einen faserverstärkten Formkörper mit Siliziumcarbid-Matrix herzustellen.

[0033] Bei einer bevorzugten Alternative wird eine Preform aus verwebten Fasern hergestellt, das als Laminat aus einem Gewebe oder Gelege unter Zugabe eines Pricursors und eines Lösungsmiitels hergestellt wird. Nach einer Vorheizung auf ca. 200 °C zum Austreiben der organischen Bestandteile erfolgt eine gesteuerte Erhitzung auf 1000 bis 1100 °C zur Austreibung der organischen Bestandteile und zur Erzeugung der SiC-Matrix aus dem Precursor bzw. Prepreg. Wegen der dabei auftretenden Blasen muß der Vorgang mehrfach wiederholt werden.

[0034] Bei weiteren Herstellungsvariante wird Siliziumcarbid-Pulver verwendet, in dem die Fasern als Kurzfasern statistisch geteilt sind, wobei diese Faserbündeln zusammengefaßt sein können, wobei der Formkörper durch ein Sinterverfahren, vorzugsweise durch ein Drucksintern bei ausreichend hoher Temperatur (in der Größenordnung von etwa 1800 bis 1900 °C) unter Luftabschluß hergestellt wird.

[0035] In bevorzugter Weiterbildung der Erfindung weist der Elektrodenstab zwei Endabschnitte und einen mittleren Abschnitt auf, wobei der mittlere Abschnitt einen rechteckförmigen, vorzugsweise einen quadratischen Querschnitt besitzt.

[0036] Bei einer derartigen Formgebung läßt sich eine Vielzahl von Elektrodenstäben auf kostengünstige Weise herstellen, indem diese aus plattenförmigem Material durch Sägen abgetrennt werden.

[0037] In bevorzugter Weiterbildung dieser Ausführung weisen die beiden Endabschnitte einen kreisförmigen Querschnitt auf.

[0038] Auf diese Weise wird die Verbindung mit einer

Elektrode, z.B. einer Zündelektrode, am einen Ende und die Verwendung einer Führungshülse aus Keramik am anderen Ende erleichtert.

[0039] Die Oberfläche der Elektroden wird vorzugsweise geschliffen, wobei die kreisförmigen Querschnitte an den Endabschnitten gleichfalls durch Schleifen erzeugt werden können.

[0040] Eine erfindungsgemäße Elektrodeneinrichtung weist eine Elektrode zur Übertragung oder Ableitung einer Elektrodenspannung von einem Elektrodenstumpf auf, der mit einem erfindungsgemäßen Elektrodenstab verbunden ist.

[0041] Der Elektrodenstab kann beispielsweise in Verbindung mit einer Zündelektrode, einer Zünd- und Überwachungselektrode, einer Überwachungselektrode oder einer Masseelektrode verwendet werden.

[0042] In bevorzugter Weiterbildung der Erfindung ist der Elektrodenstab an einem seiner beiden Endabschnitte mittels eines Spannstiftes mit dem Elektrodenstumpf verbunden.

[0043] Auf diese Weise wird eine einfach herstellbare und dauerhafte Verbindung des Elektrodenstabes mit dem Elektrodenstumpf der Elektrode ermöglicht.

[0044] Bei dem Spannstift handelt es sich um eine vorzugsweise aus Metall, z.B. aus Federstahl, bestehende Hülse, die beispielsweise längsgeschlitzt sein kann.

[0045] Gemäß einer weiteren Ausführung der Erfindung ist auf einem zweiten der Endabschnitte des Elektrodenstabes ein keramisches Isolierrohr vorgesehen, das auf einer dem Mittelabschnitt abgewandten Seite mittels einer Verklebung oder einer angesinterten Nase am Endabschnitt fixiert ist.

[0046] Auf diese Weise wird die Führung des Elektrodenstabes im Bereich einer Zündkammer eines Brennerrohres ermöglicht und eine genaue Positionierung im Bereich des Endabschnittes gewährleistet.

[0047] In alternativer Weise kann ein zweiter der Endabschnitte des Elektrodenstabes in ein extern befestigtes, keramisches Isolierrohr einschiebbar sein.

[0048] Diese Ausführung hat den Vorteil, daß am Elektrodenstab selbst keinerlei Manipulationen erforderlich sind, so daß die Führung in Radialrichtung ausschließlich durch das keramische Isolierrohr gewährleistet ist, in das der Endabschnitt hineingeschoben ist. Die Axialposition, des Elektrodenstabes ist bei dieser Ausführung durch die Verbindung mit dem Elektrodenstumpf über den Spannstift gewährleistet.

[0049] Gemäß einer weiteren Ausführung der Erfindung ist über den Spannstift ein Wärmeschrumpfschlauch aufgeschrumpft.

[0050] Diese Maßnahme hat den Vorteil, daß die mechanische und elektrische Verbindung zwischen dem Elektrodenstumpf der Elektrode und dem Elektrodenstab dauerhaft fixiert und gegen Umwelteinflüsse geschützt wird, und daß eine elektrische Isolation in diesem Bereich sichergestellt wird. Da in diesem Bereich die Temperaturbelastung nur noch relativ gering ist, kann ein derartiger Wärmeschrumpfschlauch ohne weiteres beim Einsatz einer solchen Elektrodeneinrichtung in einem Industriebrenner verwendet werden.

[0051] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die Zeichnung. Es zeigen:

Fig. 1 einen Ausschnitt aus einem Brennerrohr mit Gaslanzette zur Zuführung von Brennstoff im Bereich einer Zündkammer, in die ein erfindungsgemäßer Zündstab hineinragt;

Fig. 2 eine erfindungsgemäße Elektrodeneinrichtung, die eine Elektrode zur Übertragung oder Ableitung einer Elektrodenspannung von einem Elektrodenstumpf aufweist, und die mit einem Elektrodenstab an dessen einem Ende verbunden ist, der an seinem anderen Ende mit einer Isolierhülse versehen ist;

Fig. 3 einen vergrößerten Ausschnitt aus dem Matrixwerkstoff, aus dem der Elektrodenstab besteht, in schematischer, vereinfachter Darstellung;

Fig. 4 eine ähnliche Darstellung wie Fig. 3, jedoch mit einem anders aufgebauten Siliziumcarbid-Verbundwerkstoff und

Fig. 5 eine ähnliche Darstellung wie Fig. 3, jedoch mit einem weiter abgewandelten Aufbau des Siliziumcarbid-Verbundwerkstoffes.

[0052] In Fig. 1 ist ein Ausschnitt aus einem keramischen Brennerrohr 10 in längs geschnittener Darstellung gezeigt, das Teil eines Industriebrenners für eine Ofenfeuerung ist.

[0053] Im Brennerrohr 10 ist an einer Gaslanze 14 eine Platte 26 gehalten, in der zentrale Ausströmöffnungen 28 vorgesehen sind, über die über die Gaslanze 14 zugeführter Brennstoff in Richtung der Pfeile 22 in eine Brennkammer 12 austreten kann, die am vorderen Ende des Brennerrohrs 10 gebildet ist und nach hinten durch die Platte 26 abgetrennt ist. An einer Seite der Platte 26 ist ferner eine Zündkammer 24 ausgebildet, in die aus der Gaslanze 14 zugeführter Brennstoff in Richtung des Pfeiles 20 austreten kann. Die Zündkammer 24 ist von einem erfindungsgemäßen Elektrodenstab 32 durchsetzt, der in einem keramischen Isolierrohr 34 an der Platte 26 geführt ist und mit seinem Ende bis in die Brennkammer 12 hineinreicht.

[0054] Durch axiale Öffnungen 27 in der Platte 26 wird ferner Verbrennungsluft in Richtung des Pfeiles 18 in die Brennkammer 12 zugeführt.

[0055] Der Elektrodenstab 32 ist Teil einer insgesamt mit der Ziffer 30 bezeichneten Elektrodeneinrichtung, die in ihrer Gesamtheit in Fig. 2 dargestellt ist. Hierbei

ist zu beachten, daß die in Fig. 2 dargestellt Elektrodeneinrichtung nicht maßstäblich mit der Elektrodeneinrichtung 30 gemäß Fig. 1 übereinstimmen muß.

[0056] Die Elektrodeneinrichtung 30 weist eine Elektrode 44 zur Übertragung oder Ableitung einer Elektrodenspannung von einem zylindrisch ausgebildeten Elektrodenstumpf 46 auf, der mit dem Elektrodenstab 32 mechanisch und elektrisch leitend verbunden ist. Bei der Elektrode 44 kann es sich beispielsweise um eine Zündelektrode handeln.

[0057] Der Elektrodenstab 32 weist einen mittleren Abschnitt 36 auf, der einen quadratischen Querschnitt besitzt, sowie einen ersten Endabschnitt 38 auf der Seite der Elektrode 44 und einen zweiten Endabschnitt 40 auf der Seite der Zündkammer 24. Beide Endabschnitte 38, 40 sind zylinderförmig ausgebildet.

[0058] An seinem ersten, der Elektrode 44 zugewandten Endabschnitt 38 ist dieser durch einen aufgeklemmten Spannstift aus Federstahl am Elektrodenstumpf 46 der Elektrode 44 befestigt. Der Spannstift 48, der als Hülse ausgebildet sein kann, die gegebenenfalls längsgeschlitzt ist, ist zusätzlich durch einen aufgeschrumpften Schrumpfschlauch 50 fixiert und isoliert. Durch diesen Schrumpfschlauch 50 wird die mechanische und elektrische Verbindung zwischen dem Elektrodenstumpf 46 und dem ersten Endabschnitt 38 dauerhaft gegen Umwelteinflüsse geschützt und gegen ein Lockern gesichert und elektronisch isoliert.

[0059] Am gegenüberliegenden zweiten Endabschnitt 40 ist das Isolierrohr 34 aufgesteckt, das am mittleren Abschnitt 36 anliegt und an seinem gegenüberliegenden Ende durch eine Verklebung 42 mit einem geeigneten Kleber oder durch eine angarnierte Nase aus faserverstärktem SiC-Matrixwerkstoff festgelegt ist.

[0060] Bei einer alternativen Ausführung der Elektrodeneinrichtung 30 wird auf die Befestigung des Isolierrohrs 34 am Endabschnitt 40 verzichtet, so daß der Elektrodenstab 32 mit seinem Endabschnitt 40 einfach in das Isolierrohr 34 hineingeschoben werden kann und darin lediglich in Radialrichtung gehalten ist. In diesem Fall ist das Isolierrohr 34 an der Platte 26 befestigt oder auf eine andere Weise extern festgelegt.

[0061] Die erfindungsgemäße Elektrodeneinrichtung 30 zeichnet sich insbesondere dadurch aus, daß sie einen Elektrodenstab 32 aus einem mit hochwarmfesten Fasern verstärkten Verbundwerkstoff mit Siliziumcarbid-Matrix besitzt, wie im folgenden näher erläutert wird.

[0062] Der Verbundwerkstoff, aus dem der Elektrodenstab 32 besteht, weist eine Matrix aus Siliziumcarbid auf, in der gegebenenfalls Zusätze, vorzugsweise SiC-Pulver, Ruß und/oder Graphit, enthalten sind, und die gegebenenfalls Füllstoffe enthalten kann.

[0063] Um die notwendigen mechanischen Eigenschaften bei den erhöhten Temperaturen in der Brennkammer zu gewährleisten und um gleichzeitig eine ausreichende Elastizität des Werkstoffes sicherzustellen, ist die Matrix mit hochwarmfesten Fasern verstärkt.

[0064] Bei diesen Fasern handelt es sich vorzugsweise um Fasern aus Siliziumcarbid (SiC). Gegebenenfalls können hierzu auch Kohlenstoff-Fasern (C-Fasern) oder andere Fasern, die B, N, C, Si enthalten, verwendet werden.

[0065] Der Faseranteil an der Siliziumcarbid-Matrix kann in einem Bereich von etwa 5 bis 70 Vol.-% liegen und liegt vorzugsweise in einem Bereich von etwa 20 bis 40 Vol.-%. Die Fasern können als Kurzfasern 58 ausgebildet sein, die in der Siliziumcarbid-Matrix 52 gemäß Fig. 5 mit einer Vorzugsrichtung in Richtung der Längserstreckung des Elektrodenstabes 32 angeordnet sein können.

[0066] Daneben können die Fasern auch statistisch verteilt in der Matrix 52 angeordnet sein und gegebenenfalls zu Kurzfaserbündeln zusammengefaßt sein, wie dies schematisch mit der Ziffer 56 in Fig. 4 angedeutet ist.

[0067] Bei einer weiteren Ausführung, die schematisch in Fig. 3 dargestellt ist, sind die Fasern 54 als Langfasern ausgebildet, die sich beispielsweise in Längsrichtung des Elektrodenstabes 32 erstrecken können wie in Fig. 3 angedeutet ist.

[0068] Darüber hinaus können die Fasern auch in Form einer Gewebestruktur aus verwebten Fasern (Cross-Ply-Schichten) oder aus unidirektionalen Fasern (UD-Schichten) ausgebildet sein, wobei mehrere Lagen verschiedener Strukturen gegebenenfalls in Form einer Laminatstruktur zusammengefaßt sein können.

[0069] Um eine große Anzahl von Elektroden auf kostengünstige Weise herstellen zu können, wird vorzugsweise plattenförmiges Material aus dem Verbundwerkstoff hergestellt, aus dem einzelne Elektroden durch Sägen abgetrennt werden. Die Oberflächen der Elektroden werden zweckmäßigerweise anschließend geschliffen, wobei die zylindrischen Endabschnitte 38, 40 gleichfalls durch Schleifen erzeugt werden.

[0070] Der Verbundwerkstoff aus einer Siliziumcarbid-Matrix mit eingebetteten hochwarmfesten Fasern, die vorzugsweise aus Siliziumcarbid oder Kohlenstoff bestehen, kann grundsätzlich auf zwei unterschiedliche Weisen hergestellt werden. Eine erste Möglichkeit besteht in der Mischung aus Siliziumcarbid-Pulver, dem zweckmäßigerweise Binder und gegebenenfalls weitere Zusätze, wie etwa Ruß und/oder Graphit und gegebenenfalls Füllmaterial zugesetzt werden, und in dem die einzubettenden Fasern statistisch verteilt eingebettet werden.

[0071] Um eine homogene Mischung zu erzeugen, kann auch ein bekanntes Granulierverfahren verwendet werden. Aus dem so hergestellten Grünling werden zunächst bei erhöhter Temperatur von einigen 100°C die organischen Bestandteile ausgetrieben und anschließend unter Luftabschluß in einem Temperaturbereich von etwa 1800 bis 1900°C ein Sintervorgang durchgeführt, um den gewünschten Formkörper zu erzeugen. Vorzugsweise kann dies durch einen Drucksinterprozeß erreicht werden, um einen hochdichten Formkörper zu erreichen.

[0072] Eine Alternative zur Herstellung des Verbundwerkstoffes besteht über die an sich bekannte Silizier-technik durch Schmelzinfiltration mit einer Siliziumschmelze, wobei zunächst eine Mischung aus den Fasern und einem kohlenstoffhaltigen Material (Precursor) unter Zusatz von Bindemitteln und Füllmitteln hergestellt wird, diese Mischung anschließend zu einem Grünling in einem Preßwerkzeug gepreßt wird, der Grünling anschließend unter Luftabschluß zur Herstellung eines porösen Formkörpers bei etwa 800 bis 1000°C pyrolisiert wird und dieser anschließend mit einer Siliziumschmelze schmelzinfiltriert wird.

[0073] Auf diese Weise kann ein Formkörper mit einer Siliziumcarbid-Matrix hergestellt werden, in dem die Fasern aus Siliziumcarbid oder aus Kohlenstoff reaktionsgebunden eingebettet sind.

[0074] Bei dieser Herstellungsvariante werden die Fasern vorzugsweise zuvor mit einer Oberflächenbeschichtung versehen, um eine Reaktion mit der Siliziumschmelze zu vermeiden. Soweit Kurzfasern verarbeitet werden, werden diese vorzugsweise zu Faserstoffbündeln zusammengefaßt, die durch eine Imprägnierung zusammengehalten werden.

[0075] Bei einer weiteren Herstellungsvariante wird zunächst ein Prepreg aus hochwarmfesten Fasern hergestellt, die mit kohlenstoffhaltigen Bindemitteln unter Zusatz von Füllmitteln zu einem unter Hitzeeinwirkung formbaren Schichtverband verbunden sind. Anschließend wird das Prepreg in ein Preßwerkzeug eingebracht und unter Hitzeeinwirkung bei Temperaturen von einigen 100°C gepreßt. Der so hergestellt Formkörper wird anschließend unter Luftabschluß zu einem C/C-Material pyrolisiert und sodann mit einer Siliziumschmelze unter Luftabschluß bei Temperaturen von ca. 1500 bis 1600°C schmelzinfiltriert.

[0076] Bei einer weiteren Variante werden die Fasern, die als Faserbündel (Rovings) vorliegen, mit einer Schicht z.B. aus C, SiC oder anderen kohlenstoffhaltigen Materialien beschichtet. Die Fasern haben einen Durchmesser von <10 µm und sind in Rovings von 1000 oder mehr Filamenten zusammengefaßt. Diese Bündel werden als Ganzes durch einen CVD-Prozeß beschichtet. Die beschichteten Fasern werden als Gelege (dabei kann die Richtung übereinanderliegender Fasern beliebig sein), Gewebe oder in gewickelter Form eingesetzt. Die zur Herstellung verwendeten Gewebe mit Langfasern 54 gemäß Fig. 3 werden in Stücke geschnitten und mit einem Schlicker, bestehend aus Carbosilan (Precursor für die SiC-Matrix), Lösungsmittel (Xylol) und SiC-Pulver getränkt. Die getränkten Gewebe werden laminatartig übereinander gelegt und unter Druck bei ca. 200°C in einen Prepreg (bzw. Preform) umgewandelt. Bei diesem Prozeß wird das Lösungsmittel ausgetrieben und das Carbosilan in Polycarbosilan umgewandelt. Der stabile Körper wird anschließend auf 1100°C aufgeheizt und ausreichend lange gehalten, bis sich das Polycarbosilan zu SiC zersetzt hat (Pyrolyse). Die dabei entstehenden gasförmigen Zersetzungsprodukte erzeugen Poren im Werkstoff. Aus diesem Grunde wird der Vorgang des Tränkens und anschließenden Aufheizens mehrfach wiederholt, bis ein ausreichend dichter Körper erzielt ist. Die erhaltene Platte aus Faserkeramik wird anschließend durch Sägen und Schleifen weiterverarbeitet, um die gewünschten Elektrodenstäbe zu erhalten.

[0077] Sofern Kohlenstoff-Fasern oder andere leicht oxidierbare Fasern verwendet werden, ist es sinnvoll, die Elektrodenstäbe nach dem Schneid- und gegebenenfalls Schleifvorgang nochmals mit einem oxidationsbeständigen Material, z.B. mit SiC, zu beschichten, z.B. durch ein CVD-Verfahren.

Patentansprüche

1. Elektrodeneinrichtung mit einer Elektrode (44) zur Übertragung oder Ableitung eine Elektrodenspannung von einem Elektrodenstumpf (46) und mit einem Elektrodenstab (32), der mit dem Elektrodenstumpf (46) verbunden ist, wobei sich der Elektrodenstab (32) in Längsrichtung über einen Bereich, der ein Vielfaches der Breite des Elektrodenstabs (32) beträgt, ungestützt vom Elektrodenstumpf (46) aus erstreckt, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Elektrodenstab (32) aus einem mit hochwarmfesten Fasern (54, 58) verstärkten Verbundwerkstoff mit Siliziumcarbid-Matrix (52) besteht.

2. Elektrodeneinrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Fasern (54, 58) aus Siliziumcarbid oder Kohlenstoff bestehen.

3. Elektrodeneinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Matrix (52) aus Siliziumcarbid Zuschlagstoffe, vorzugsweise Ruß und/oder Graphit und/oder SiC-Pulver aufweist.

4. Elektrodeneinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Fasern (54, 58) oberflächenbeschichtet sind.

5. Elektrodeneinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Fasern (54, 58) in der Matrix (52) gerichtet mit einer Vorzugsrichtung längs und quer zu dem Elektrodenstab (32) angeordnet sind.

6. Elektrodeneinrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Fasern (54) als Langfasern ausgebildet sind.

7. Elektrodeneinrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Fasern (58) als Kurzfasern ausgebildet sind.

8. Elektrodeneinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Fasern zu Faserbündeln (56) zusammengefaßt sind.

9. Elektrodeneinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Elektrodenstab (32) zwei Endabschnitte (38, 40) und einen mittleren Abschnitt (36) aufweist, und daß der mittlere Abschnitt (36) einen rechteckförmigen, vorzugsweise einen quadratischen Querschnitt aufweist.

10. Elektrodeneinrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** die beiden Endabschnitte (38, 40) einen kreisförmigen Querschnitt aufweisen.

11. Elektrodeneinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Elektrodenstab an seiner Oberfläche eine oxidationsbeständige Beschichtung aufweist.

12. Elektrodeneinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Elektrodenstab (32) an einem ersten (38) seiner beiden Endabschnitte (38, 40) mittels eines Spannstiftes (46) mit dem Elektrodenstumpfe (46) verbunden ist.

13. Elektrodeneinrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Spannstift (48) von einem aufgeschrumpften Schlauch (50) umschlossen ist.

14. Elektrodeneinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** auf einem zweiten (40) der Endabschnitte (38, 40) ein keramisches Isolierrohr (34) vorgesehen ist, das auf einer dem Mittelabschnitt (36) abgewandten Seite mittels einer Verklebung (42) oder einer angesinterten Nase am Endabschnitt (40) fixiert ist.

15. Elektrodeneinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** ein zweiter (40) der Endabschnitte (38, 40) in ein extern befestigtes, keramisches Isolierrohr (34) einschiebbar ist.

16. Elektrodenstab für eine Elektrodeneinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Elektrodenstab (32) aus einem mit hochwarmfesten Fasern (54, 58) aus Siliziumcarbid oder Kohlenstoff verstärkten Verbundwerkstoff mit Siliziumcarbid-Matrix (52) besteht.

Claims

1. An electrode rod, **characterized in that** the electrode rod consists of a composite material having a silicon carbide matrix (52) reinforced with highly temperature resistant fibers (54, 58) of silicon carbide or of carbon.

2. The electrode rod of claim 1, **characterized in that** the matrix (52) of silicon carbide comprises supplementary materials, preferably soot and/or graphite and/or SiC powder.

3. The electrode rod of any of the preceding claims, **characterized in that** the fibers (54, 58) are surface coated.

4. The electrode rod of any of the preceding claims, **characterized in that** the fibers (54, 58) are arranged within the matrix aligned in a preferred direction logitudinally and perpendicularly to the electrode rod (32).

5. The electrode rod of claim 4, **characterized in that** the fibers (54) are configured as long fibers.

6. The electrode rod of claim 4, **characterized in that** the fibers (58) are configured as short fibers.

7. The electrode rod of any of the preceding claims, **characterized in that** the fibers are consolidated to fiber bundels.

8. The electrode rod of any of the preceding claims, **characterized in that** the electrode rod (32) comprises to end sections (38, 40) and an intermediate section (36), and **in that** the intermediate section comprises a rectangular, preferably a quadratic, cross section.

9. The electrode rod of claim 8, **characterized in that** the two end sections (38, 40) have a circular cross section.

10. The electrode rod of any of the preceding claims, **characterized in that** the electrode rod comprises a corrosion resistant coating at its outer surface.

11. An electrode rod device comprising an electrode (44) for transmitting or conducting an electrode voltage from an electrode stub (46), and further comprising an electrode rod (32) being connected with the electrode stub (46), **characterized in that** the electrode rod (32) is configured according to one of claims 1 to 10.

12. The electrode device of claim 11, **characterized in that** the electrode rod (32) is connected with the

electrode stub (46) at a first one (38) of its two end sections (38, 40) by means of a biasing pin (46).

13. The electrode device of claim 12, **characterized in that** the biasing pin is enclosed by a shrunk on hose (50).

14. The electrode device of any of claims 11, 12 or 13, **characterized in that** a ceramic insulation tube (34) is provided on a second one (40) of the end sections (38, 40), the tube being secured to the end section (40) at a side facing away from the middle section (36) by means of an adhesive or by means of a sintered lug.

15. The electrode device of any of claims 11 to 13, **characterized in that** a second one (40) of the end sections (38, 40) is slidable into an externally secured ceramic insulation tube (34).

Revendications

1. Tige d'électrodes, **caractérisée en ce que** la tige d'électrodes est constituée d'un matériau composite renforcé en fibres résistant à chaud (54, 58), en carbure de silicium ou en carbone, avec une matrice en carbure de silicium (52).

2. Tige d'électrodes selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la matrice (52) en carbure de silicium est dotée de substances additives, de préférence du noir de carbone et/ou du graphite et/ou de la poudre SIC.

3. Tige d'électrodes selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** les fibres (54, 58) sont munies d'un revêtement de surface.

4. Tige d'électrodes selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** les fibres (54, 58) sont disposées de façon orientée dans la matrice (52), dans une direction préférentielle longitudinale et transversale à la tige d'électrodes (32).

5. Tige d'électrodes selon la revendication 4, **caractérisée en ce que** les fibres (54) sont conçues sous la forme de fibres longues.

6. Tige d'électrodes selon la revendication 4, **caractérisée en ce que** les fibres (58) sont conçues sous la forme de fibres courtes.

7. Tige d'électrodes selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** les fibres sont rassemblées en faisceaux de fibres (56).

8. Tige d'électrodes selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la tige d'électrodes (32) présente deux segments d'extrémités (38, 40) et un segment médian (36) et **en ce que** le segment médian (36) présente une section transversale rectangulaire, de préférence carrée.

9. Tige d'électrodes selon la revendication 8, **caractérisée en ce que** les deux segments d'extrémités (38, 40) ont une section transversale circulaire.

10. Tige d'électrodes selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** sur sa surface, la tige d'électrodes est munie d'un revêtement inoxydable.

11. Dispositif d'électrodes avec une électrode (44) pour la transmission ou la dérivation d'une tension d'électrode d'un tronc d'électrodes (46) et avec une tige d'électrodes (32), qui est reliée à un tronc d'électrodes (46), **caractérisé en ce que** la tige d'électrodes (32) est conçue selon l'une quelconque des revendications 1 à 10.

12. Dispositif d'électrodes selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** sur un premier (38) de ses segments d'extrémités, la tige d'électrodes (32) est reliée au tronc d'électrodes (46) à l'aide d'une tige de tension.

13. Dispositif d'électrodes selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** la tige de tension (48) est entourée d'un flexible fretté (50).

14. Dispositif d'électrodes selon la revendication 11, 12 ou 13, **caractérisé en ce que** sur un second (40) des segments d'extrémité (38, 40), un tube d'isolation céramique (34) est prévu, qui sur une face opposée au segment médian (36) est fixé au segment d'extrémité par collage (42) ou par un ergot aggloméré par frittage.

15. Dispositif d'électrodes selon l'une quelconque des revendications 11 ou 12, **caractérisé en ce qu'**un second (40) des segments d'extrémité (38, 40) est insérable dans un tuyau isolant (34) céramique fixé en externe.

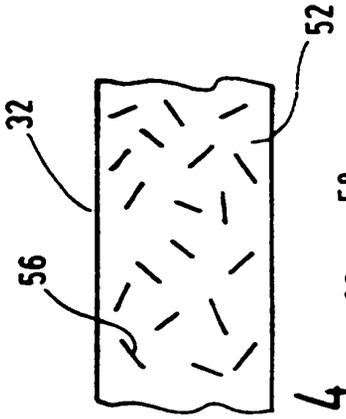

Fig. 4

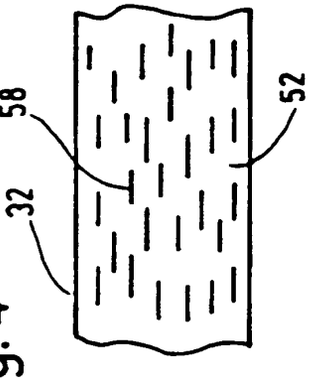

Fig.5

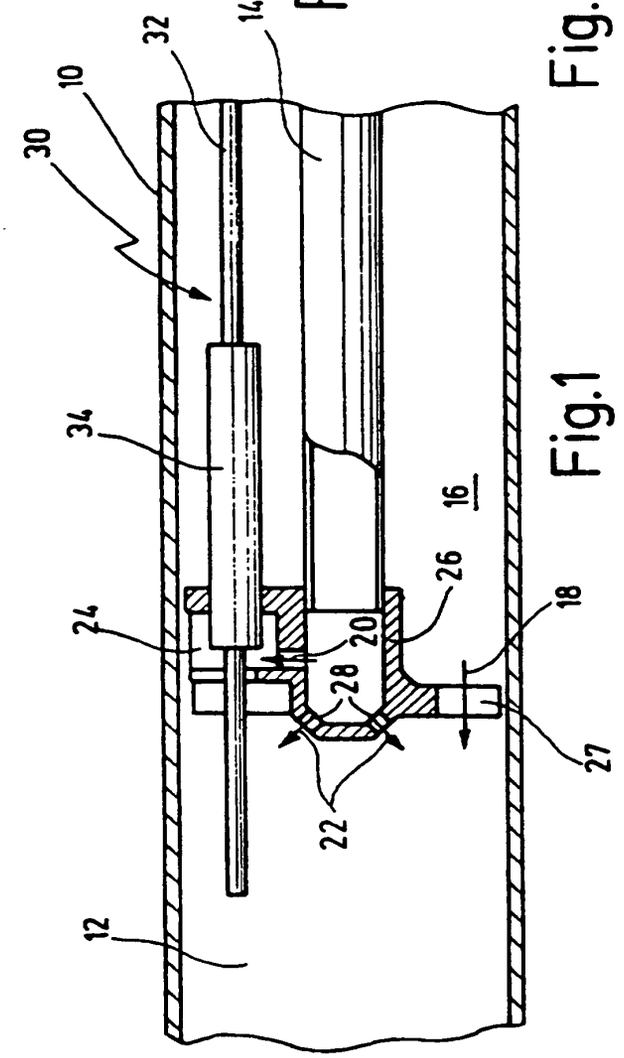

Fig.1

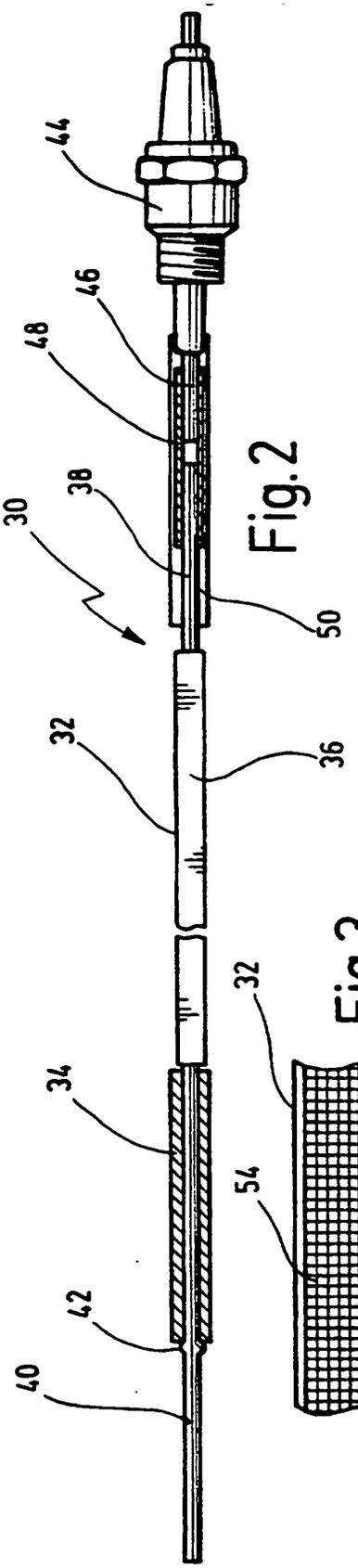

Fig.2

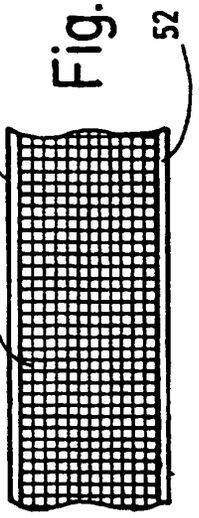

Fig.3