

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 515 012 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
11.10.2006 Patentblatt 2006/41

(51) Int Cl.:
F01N 3/023 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **03020688.2**

(22) Anmeldetag: **11.09.2003**

(54) **Vorrichtung zur Entfernung von Russpartikeln aus einem Abgasstrom von Verbrennungsmotoren**

Device for elimination of carbon black particulates from an exhaust gas stream of an internal combustion engine

Dispositif pour l'élimination des particules de suie d'un courant des gas d'échappement d'un moteur de combustion interne

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

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
16.03.2005 Patentblatt 2005/11

(73) Patentinhaber: **Pankl Emission Control Systems
GmbH
8605 Kapfenberg (AT)**

(72) Erfinder:
• **Miebach, Rolf
50321 Brühl (DE)**
• **Pelzer, Wather, Dr.
8600 Bruck an der Mur (AT)**
• **Kolbeck, Christian, Dr.
2120 Obersdorf (AT)**

• **Figoutz, Siegfried
8044 Graz (AT)**

(74) Vertreter: **Wirnsberger, Gernot
Mühlgasse 3
8700 Leoben (AT)**

(56) Entgegenhaltungen:
**EP-A- 1 065 352 EP-A- 1 251 248
DE-A- 3 729 126 DE-A- 3 729 683
DE-A- 3 731 889 DE-A- 10 020 555
JP-A- 9 079 024 US-A- 5 993 502**

• **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2003, no.
08, 6. August 2003 (2003-08-06) & JP 2003 097261
A (AISIN TAKAOKA LTD;TOYOTA MOTOR
CORP), 3. April 2003 (2003-04-03)**

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 1 515 012 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Entfernung von Rußpartikeln aus einem Abgasstrom von Verbrennungsmotoren in einem Modul (1) durch Oxidation der temporär eingefangenen Rußpartikel mit Stickstoffdioxid (NO₂), wobei das Stickstoffdioxid durch Oxidation des im Abgas vorhandenen Stickstoffmonoxids (NO) an einem Katalysator in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit des Abgases bei einer Temperatur oberhalb von etwa 200°C entsteht.

[0002] Zur Absenkung der Rußpartikelemission könnten rein motorseitige Maßnahmen zur Einhaltung der weltweit immer strengerem Emissions-Grenzwerte, wie beispielsweise EURO IV / EURO V oder ULEV / SULEV, für kraftstoffbetriebene Verbrennungsmotoren lediglich mit einem wirtschaftlich nicht vertretbaren Aufwand erzielt werden. Daher kommen heute wie auch zukünftig so genannte Abgasnachbehandlungsanlagen zum Einsatz.

[0003] Grundsätzlich wird dabei zwischen zwei Verfahren zur Abgasnachbehandlung unterschieden, die sich einerseits auf die Minimierung der NO_x-Emissionen, die hier lediglich am Rande erwähnt seien, wie beispielsweise SCR-Katalysatorsysteme und NO_x-Speicherkatalysatoren, und andererseits auf die Minimierung der Rußpartikelemission konzentrieren.

[0004] Durch den Einsatz einer geeigneten Abgasnachbehandlungsanlage für Kraftfahrzeuge in Kombination mit motorseitigen Maßnahmen ist es demnach möglich, die strengen Vorschriften hinsichtlich der Rußpartikelemission und der NO_x-Emissionen einzuhalten.

[0005] So können heute beispielsweise mit klassischen Filteranlagen, wie z. B. keramischen Wall-Flow-Filtern, hinsichtlich der hier interessierenden Rußpartikel bereits Abscheidegrade von >95 % erzielt werden. Durch die Ansammlung von Rußpartikeln und von Asche aus den Motoröladditiven kommt es jedoch bei solchen Anlagen mit der Zeit zu einem unerwünschten Anstieg des Motorgegendruckes, der wiederum zu einem erhöhten Treibstoffverbrauch führt. Aus dem Grund sind derartige Filteranlagen in regelmäßigen Zeitabständen komplett zu demontieren und zu reinigen.

[0006] Weiterentwickelte Varianten derartiger Filteranlagen tragen den erwähnten Nachteilen der im Einsatz befindlichen Filteranlagen insofern Rechnung, als solche Anlagen auf der Filteroberfläche eine katalytische Beschichtung aufweisen. Durch eine derartige Beschichtung als Aktivkomponente wird die Verbrennungstemperatur der Rußpartikel merklich herabgesetzt.

[0007] Die Herabsetzung der Verbrennungstemperatur der Rußpartikel ist insofern von großer Bedeutung, als die Abgase, die von neu entwickelten Verbrennungsmotoren ausgestoßen werden, immer weniger heiß sind. Bei Filteranlagen ohne katalytische Beschichtung der Filteroberfläche liegt die Verbrennungstemperatur der Rußpartikel bei ca. 580°C bis 600°C. Allerdings bleibt auch bei den Varianten derartiger Filteranlagen noch die besondere Schwierigkeit der Entfernung der gefilterten Asche bestehen.

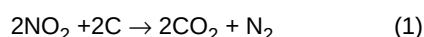
[0008] Einen weiteren Lösungsansatz zur Entfernung des im Filter angesammelten Rußes stellt die thermisch induzierte Regeneration dar. Dabei wird die Filteranlage beispielsweise mit einem Brenner oder elektrisch auf die für die Oxidation der Rußpartikel nötige Temperatur gebracht. Ein solches Verfahren geht selbstverständlich auf Kosten der Gesamtenergiebilanz des Verbrennungsmotors.

[0009] Eine andere Möglichkeit zur kontinuierlichen Entfernung der gefilterten Rußpartikel besteht darin, die Partikel durch Eindüsen eines die Verbrennungstemperatur der Rußpartikel herabsetzenden Additives aus dem Filtersubstrat zu entfernen. Ein solcher Lösungsansatz stellt ebenfalls keine besonders geeignete Lösung dar, weil die zugeführten Additive selbst zur Aschebildung beitragen.

[0010] Andere Lösungsansätze beschäftigen sich wiederum mit der Oxidation der gefilterten Rußpartikel mit NO₂.

[0011] Aus der EP 341832 B1 geht ein Verfahren für die Abgasnachbehandlung von schweren Lastkraftwagen hervor. Bei dem Verfahren wird das Abgas zuerst über einen Katalysator ohne Filterwirkung geleitet, um das im Abgas enthaltene Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid zu oxidieren. Das Stickstoffdioxid enthaltende Abgas wird dann zum Abbrand der in einem stromabwärts angeordneten Filter gesammelten Rußpartikel verwendet. Dabei reicht die Stickstoffdioxidmenge aus, um die Verbrennung der gefilterten Rußpartikel bei unter 400°C zu ermöglichen.

[0012] Weiter ist aus der EP 835684 A2 ein Verfahren zur Abgasnachbehandlung von Lieferwagen und Personenkraftwagen bekannt. Entsprechend dem angegebenen Verfahren wird das Abgas über zwei hintereinander angeordnete Katalysatoren geleitet. Am ersten Katalysator wird das im Abgas enthaltene Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid oxidiert. Am zweiten stromabwärts angeordneten Katalysator, der als Filter wirkt, werden dann die gesammelten Rußpartikel abgelagert und bei einer Temperatur von ca. 250°C teilweise entsprechend der Gleichung (1) zu Kohlendioxid CO₂ oxidiert und das Stickstoffdioxid NO₂ zu Stickstoff reduziert:



[0013] Demnach werden bei dem bekannten Verfahren die gefilterten Rußpartikel ohne die Verwendung eines Brenners oder elektrischen Heizelementes verbrannt, d. h. oxidiert. Dabei besteht der verwendete erste Katalysator aus einem Waben-Durchfluss-Monolithen, der mit einem Oxidationskatalysator beschichtet ist.

[0014] EP 1 065 352 A offenbart zwei aneinander anliegende Metallschäume. Der stromaufwärtige Metallschaum

oxidiert NO zu NO₂ zur Rußoxidation im dahinter liegenden Partikel Filter.

[0015] Aus der DE 3407172 C2 ist eine Vorrichtung zur Abgasnachbehandlung von Dieselmotoren bekannt, die in einem Gehäuse eine Reihe von Filterelementen mit unterschiedlichem Abstand voneinander enthält. Dabei weist zumindest ein Filterelement A eine die Verbrennungstemperatur von Ruß herabsetzende Beschichtung auf. Weiter ist

zumindest ein Filterelement B vorhanden, das einen die Verbrennung von schädlichen gasförmigen Substanzen unterstützenden Katalysator enthält.

[0016] JP 09079024 A offenbart eine Reihenschaltung mehrerer, als Partikel Filter arbeitende, Metallschäume, wobei die Metallschäume teilweise voneinander beabstandet sind und der stromabwärtige Metallschaum Filter eine Oxidationskatalysatorbeschichtung aufweist, um NO zu NO₂ aufzuoxidiieren.

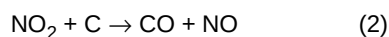
[0017] Aus der WO 99/09307 ist ein Verfahren für die Reduktion der Rußemission von schweren Lastkraftwagen bekannt. Bei dem angegebenen Verfahren wird das Abgas zur Oxidation von Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid über einen Katalysator und danach wie üblich zur Oxidation des in einem Rußfilter gesammelten Rußes geleitet. Neu bei dem angegebenen Verfahren ist, dass ein Teil des gereinigten Abgases danach über einen Kühler geleitet und mit der Ansaugluft des Dieselmotors vermischt wird.

[0018] Die bekannten Verfahren zur Abgasnachbehandlung von verbrennungsmotorisch erzeugten Abgasen weisen noch den Nachteil auf, dass jeweils Filtervorrichtungen verwendet werden, die trotz aller weiteren vorgesehenen Hilfsmaßnahmen die Gefahr mit sich bringen, irgendwann zu verstopfen.

[0019] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist darin zu sehen, eine als ständig offenes System betriebene Vorrichtung zur Abgasnachbehandlung von verbrennungsmotorisch erzeugtem Abgas zu schaffen, die als sich selbst "On-Board" regenerierende Anlage ständig offen ist und im wesentlichen ohne die sonst üblichen Filtervorrichtungen arbeitet und damit ein Verstopfen der Abgasnachbehandlungsanlage verhindert sowie gleichzeitig eine wirkungsvolle Nachbehandlung des hervorgerufenen Abgases erzielt, vor allem hinsichtlich der Entfernung der Rußpartikel aus dem zu behandelnden verbrennungsmotorisch erzeugtem Abgas.

[0020] Nach der Erfindung wird die Aufgabe bei einer gattungsgemäßen Vorrichtung durch die Merkmale des unabhängigen Anspruchs 1 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0021] Dabei hat sich als besonders vorteilhaft erwiesen, dass die in den verbrennungsmotorisch erzeugten Abgasen vorhandenen Rußpartikel mit Hilfe eines auf einer FeCr-Legierung basierenden offenporigen unbeschichteten oder beschichteten Metallschaumes zunächst temporär eingefangen werden. Die Rußpartikel werden dann über die so genannte Gaskatalyse entsprechend den Gleichungen (2) und (3) mit dem an einem vorgeschalteten edelmetallbeschichteten und offenporigen Metallschaum erzeugten Stickstoffdioxid NO₂ oxidiert, d.h. verbrannt:



[0022] Das gemäß der Gleichung (2) entstehende Stickstoffmonoxid NO reagiert an zumindest einem weiteren, am ersten unbeschichteten oder beschichteten Metallschaum anliegend angeordneten edelmetallbeschichteten offenporigen Metallschaum wieder zu Stickstoffdioxid NO₂, welches einem daran anliegend angeordneten mindestens einem weiteren beschichteten oder unbeschichteten Metallschaum zur Oxidation von Rußpartikeln wieder zur Verfügung steht so dass von einer Mehrfachnutzung des Stickstoffmonoxids gesprochen werden kann, die eine nachhaltige Steigerung des für die Reduktion von Rußpartikeln erforderlichen und an dem vorgeschalteten und dem weiteren edelmetallbeschichteten Metallschaum erzeugten Stickstoffdioxids NO₂ hervorruft.

[0023] Der Metallschaum zeichnet sich durch hohe thermische Oxidationsbeständigkeit, hohe Temperaturwechselbeständigkeit, hohe Korrosionsbeständigkeit, insbesondere gegenüber verdünnter Schwefelsäure, und mechanische Festigkeit aus.

[0024] Dabei ist der edelmetallbeschichtete Metallschaum zumindest mit einem Edelmetall aus der Gruppe Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt oder einem Gemisch dieser Edelmetalle beschichtet.

[0025] Weiter ist der beschichtete oder unbeschichtete Metallschaum vorteilhafter Weise mit einer die Verbrennungstemperatur der Rußpartikel herabsetzenden Verbindung beschichtet, wobei vorzugsweise Cer-orthovanadat (CeVO₄) verwendet wird.

[0026] Als besonders vorteilhaft hat sich erwiesen, dass die beschichteten Metallschäume auch nicht von der Asche aus den Motoröladditiven inhibiert werden, da solche Asche die Metallschäume passieren kann und ausgeblasen wird, so dass die bevorzugte Vorrichtung als sich selbst regenerierendes Modul ständig offen bleibt.

[0027] Der erfindungsgemäß zum Einsatz kommende Metallschaum, dessen Geometrie nahezu frei wählbar ist, kann mit zwei unterschiedlichen Verfahren hergestellt werden. Ein Verfahren beruht auf der Imprägnierung eines PU-Schaum-Precursors mit einem so genannten Slurry, der sphärische Metallpartikel mit exakt definierter Partikelgrößenverteilung enthält, und einem anschließendem Sinterprozess. Bei dem anderen Verfahren handelt es sich um ein herkömmliches

Feingussverfahren.

[0028] Ein besonderer Vorteil des verwendeten offenporigen Metallschaumes im Gegensatz zu Wall-Flow-Filtern besteht insbesondere in der ungeordneten Zellgedmetrie, die innerhalb kürzester Wegstrecken eine 3D-Durchmischung, d.h. eine turbulente Durchmischung, des Abgases ermöglicht. Dadurch wird der Wirkungsgrad der Katalysatorvorrichtung erhöht und ein Verstopfen verhindert.

[0029] Vorzugsweise ist der Metallschaum mit einer relativen Dichte im Bereich von 2 bis 20 % ausgebildet, wobei der Metallschaum elektrisch leitend ist.

[0030] Weiterhin ist der Metallschaum bevorzugter Weise mit einer gewissen Porenanzahl ausgestattet, die sich in einem Bereich von 3 bis 80 Poren pro inch (pores per (linear) inch) oder in der Abkürzung (ppi) befindet.

[0031] Die Edelmetallbeschichtung auf dem Metallschaum wird vorzugsweise direkt oder durch Imprägnierung eines Wash-coats mit einem Edelmetall aus der Gruppe Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt oder einem Gemisch dieser Edelmetalle in einer Konzentration von 1,0 g bis 2,5 g Edelmetall pro Liter Metallschaum aufgebracht. Bei einem so ausgebildeten Katalysator handelt es sich um einen Oxidationskatalysator, der in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit selbstverständlich auch Kohlenwasserstoffe (HC) einschließlich der schweren Kohlenwasserstoffe (SOF) ab ca. 200°C und Kohlenmonoxid (CO) ab ca. 150°C oxidiert.

[0032] Weiterhin sind bei der Vorrichtung vorzugsweise Metallschäume mit einer Ce(III)VO_4 (Cer-orthovanadat)-Beschichtung vorgesehen, einer die Verbrennungstemperatur der Rußpartikel herabsetzenden katalytisch aktiven Verbindung, einer so genannten Sauerstoffspeicherverbindung. Ein solcher Katalysator setzt bei direktem Kontakt die Verbrennungstemperatur der Rußpartikel auf ca. 360°C herab, so dass man von einer so genannten Festphasenkatalyse spricht.

[0033] Dabei ist auf den Metallschaum vorteilhafter Weise die für die Verbrennungstemperatur der Rußpartikel herabsetzende Verbindung Cer-orthovanadat mit einem Plasma-Verfahren, einem Wash-coat-Verfahren oder einem Sol-Gel-Verfahren in einer Konzentration von 1,0 g bis 25 g CeVO_4 pro Liter Metallschaum aufgebracht.

[0034] Die Anordnung der edelmetallbeschichteten sowie der beschichteten bzw. unbeschichteten Metallschäume in dem Katalysatormodul ist dabei so, daß mindestens zwei edelmetallbeschichtete offenporige Metallschäume vorgesehen sind, welche jeweils einem unbeschichteten oder beschichteten Metallschaum vorgeschaltet sind. Vorzugsweise sollte die Vorrichtung jedoch zumindest aus einem mit einem Edelmetall beschichteten Metallschaum bestehen. Durch Variation der Porenanzahl und/oder der relativen Dichte des Metallschaumes gelingt es in vorteilhafter Weise, eine über die Länge des Katalysatormodules kontinuierliche Regeneration des zu behandelnden Abgases zu erzielen.

[0035] Dabei ist die Porenanzahl der Metallschäume in Richtung des Abgasstromes variabel gestaltet. Die Porenanzahl der Metallschäume nimmt jedoch vorzugsweise stromabwärts zu. Zwischen den einzelnen oder allen Metallschäumen besteht kein Abstand, sie sind aneinander anliegend angeordnet.

[0036] Darüber hinaus können die Metallschäume besonders vorteilhaft stoffschlüssig in ein metallisches Gehäuse eingebracht werden, und zwar vorzugsweise durch Einlöten, da es sich bei den verwendeten Metallschäumen, wie bereits erwähnt, um eine metallische Verbindung handelt. Dadurch kann bei Verwendung einer stoffschlüssigen Verbindung auf den Einsatz toxikologisch äußerst bedenklicher Quellmatten verzichtet werden, die beispielsweise bei Keramikfiltern standardmäßig verwendet werden.

[0037] Eine besondere Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung besteht darin, dass die Metallschäume mit einer Lagermatte in das metallische Modul eingebracht sind.

[0038] Weiterhin kann in vorteilhafter Weise ein Modul aufgebaut werden, dass aus mehreren gleichartig ausgebildeten Modulen oder verschiedenartig ausgebildeten Modulen zusammengesetzt ist. Dabei sind die Module bevorzugter Weise parallel zur Abgasströmung angeordnet, und zwar je nach Anforderung zu zwei gleichen oder unterschiedlichen Modulen oder zu drei gleichen oder unterschiedlichen Modulen und dergleichen.

[0039] Weitere Vorteile der Erfindung sind nachstehend anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung in verkleinertem Maßstab eines Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung zur Entfernung von verbrennungsmotorisch erzeugten Rußpartikeln nach der Erfindung;

Fig. 2, nicht Gegenstand der Erfindung, eine schematische Darstellung in verkleinertem Maßstab eines weiteren Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung zur Entfernung von verbrennungsmotorisch erzeugten Rußpartikeln nach der Erfindung;

Fig. 3 eine schematische Darstellung in verkleinertem Maßstab eines anderen Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung zur Entfernung von verbrennungsmotorisch erzeugten Rußpartikeln nach der Erfindung;

Fig. 4 eine schematische Darstellung in verkleinertem Maßstab einer Ausführung aus zwei parallel angeordneten Modulen gemäß dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 einer Vorrichtung zur Entfernung von verbrennungsmotorisch

erzeugten Rußpartikeln nach der Erfindung und

Fig. 5 einen Querschnitt in verkleinertem Maßstab entlang dem Schnitt A-B entsprechend der Fig. 4.

[0040] In Fig. 1 ist ein vom Abgas durchströmtes Modul 1 dargestellt, bei dem Metallschäume 2, 3 abwechselnd hintereinander angeordnet sind. Dabei sind die Metallschäume abwechselnd mit einem Edelmetall aus der Gruppe Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt oder einem Gemisch dieser Edelmetalle beschichtet oder unbeschichtet. Die beschichteten Metallschäume 2 sind jeweils stromaufwärts vor den unbeschichteten Metallschäumen 3 in Abgasströmung angeordnet, die jeweils Rußpartikel temporär einfangen.

[0041] Eine andere Anordnung der Metallschäume 2, 3, d.h. die Einfügung der unbeschichteten Metallschäume 3 jeweils stromaufwärts vor den beschichteten Metallschäumen 2 in Abgasströmung ist nicht Gegenstand der Erfindung.

[0042] Fig. 2, nicht Gegenstand der Erfindung, zeigt das Modul 1, bei dem lediglich mit Edelmetall beschichtete Metallschäume 2 angeordnet sind, die selbst Rußpartikel temporär einfangen.

[0043] Das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 zeigt das Modul 1, bei dem abwechselnd mit Edelmetall beschichtete Metallschäume 2 und mit einer die Verbrennungstemperatur von Rußpartikeln herabsetzenden Verbindung beschichtete Metallschäume 4 angeordnet sind. Dabei sind die jeweiligen mit Edelmetall beschichteten Metallschäume 2 stromaufwärts vor den mit einer die Verbrennungstemperatur von Rußpartikeln herabsetzenden Verbindung beschichteten Metallschäumen 4 in Abgasströmung angebracht, die jeweils Rußpartikel temporär einfangen.

[0044] Eine andere Anordnung der Metallschäume 2, 4, d.h. die Einfügung der mit einer die Verbrennungstemperatur von Rußpartikeln herabsetzenden Verbindung beschichteten Metallschäume 4 jeweils stromaufwärts vor den edelmetallbeschichteten Metallschäumen 2 in Abgasströmung ist nicht Gegenstand der Erfindung.

[0045] Bei der so ausgebildeten Ausführung wird der eingefangene Ruß zusätzlich durch direkten Kontakt mit der oberflächlich aufgetragenen als Katalysator wirkenden Beschichtung oxidiert. Die aufgetragene Beschichtung besteht dabei aus einer Sauerstoffspeicherverbindung, wie beispielsweise Cer-orthovanadat Ce(III)VO_4 .

[0046] In Fig. 4 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel mit einem Gesamtmodul 5 dargestellt, das aus zwei parallel angeordneten Modulen 1' gemäß dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 aufgebaut ist, bei dem allerdings der konisch auslaufende Einlassbereich für das Abgas und der konisch zulaufende Auslassbereich für das Abgas entfallen sind. Bei einer solchen Ausführung durchströmt das Abgas jeweils die parallel angeordneten Module 1' wie im Zusammenhang mit Fig. 1 angegeben. Dabei sind die Metallschäume 2, 3 abwechselnd mit einem Edelmetall aus der Gruppe Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt oder einem Gemisch dieser Edelmetalle beschichtet oder unbeschichtet. Vorteilhafterweise sind die beschichteten Metallschäume 2 jeweils stromaufwärts vor den unbeschichteten Metallschäumen 3 in Abgasströmung angeordnet.

[0047] Eine andere Anordnung der Metallschäume 2, 3, d.h. die Einfügung der unbeschichteten Metallschäume 3 jeweils stromaufwärts vor den beschichteten Metallschäumen 2 in Abgasströmung ist nicht Gegenstand der Erfindung.

[0048] Weiterhin sind nicht lediglich zwei parallel angeordnete Module 1' in dem Gesamtmodul 5 vorzusehen, sondern entsprechend den gestellten Anforderungen sind auch mehrere Module 1' in dem Gesamtmodul 5 zur Steigerung des Wirkungsgrades in vorteilhafter Weise unterzubringen.

[0049] Die Fig. 5 zeigt einen Querschnitt durch das in Fig. 4 dargestellte Gesamtmodul 5 entlang der Schnittlinie A-B, wobei jeweils ein Modul 1' parallel zur Abgasströmung angeordnet und vom Abgas durchströmt wird.

[0050] Die parallele Anordnung und die Anzahl der Module 1' in dem Gesamtmodul 5 kann nahezu beliebig an die jeweilige Motorleistung angepasst werden. Dabei kann dem erforderlichen Wirkungsgrad hinsichtlich der Entfernung von Rußpartikeln aus dem verbrennungsmotorisch erzeugten Abgasstrom vorteilhaft Rechnung getragen werden, und zwar durch die Art der Edelmetallbeschichtung oder Edelmetallbeladung, die geometrische Oberfläche des Metallschaumes und die Anzahl der beschichteten Metallschäume.

[0051] So konnten beispielsweise Emissionsreduktionen für Rußpartikel von ca. 85 % bis 90 % erzielt werden, ohne dabei die geforderten zulässigen Stickstoffdioxid-Grenzwerte zu überschreiten.

[0052] Darüber hinaus kann der Wirkungsgrad für die Reduktion der Rußpartikelemission durch eine thermisch induzierte Regeneration noch weiter erhöht werden, wie diese beispielsweise mit einem Brenner oder einer elektrischen Energieeinkopplung durch eine Widerstandsheizung erreicht werden kann.

[0053] Die thermisch induzierte Regeneration kann auch durch Oxidation von spät in den Verbrennungsmotor eingespritztem Kraftstoff erfolgen, einer so genannten Nacheinspritzung, durch welche die Abgastemperatur zunächst von ca. 150 bis 200°C auf ca. 400°C angehoben werden kann.

[0054] Zusätzlich gelingt es durch Oxidation von motorisch nachhaltig erzeugten Kohlenwasserstoffen (CH) am edelmetallbeschichteten Metallschaum oder Oxidationskatalysator die Temperatur im Modul um weitere ca. 200°C auf letztendlich die für die Rußpartikelverbrennung erforderliche Temperatur von ca. 600°C zu erhöhen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Entfernung von Rußpartikeln aus einem Abgasstrom eines Verbrennungsmotors in einem Modul (1) durch Oxidation der temporär in einem unbeschichteten Metallschaum (3) oder beschichteten Metallschaum (4) eingefangenen Rußpartikel mit Stickstoffdioxid NO_2 , wobei das Stickstoffdioxid durch Oxidation des im Abgas vorhandenen Stickstoffmonoxids NO an einem vorgeschalteten edelmetallbeschichteten und offenporigen Metallschaum (2) in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit des Abgases bei einer Temperatur oberhalb von ca. 200°C entsteht, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens zwei edelmetallbeschichtete offenporige Metallschäume (2) vorgesehen sind, welche jeweils einem unbeschichteten Metallschaum (3) oder jeweils einem beschichteten Metallschaum (4) vorgeschaltet sind, wobei die Metallschäume (2, 3, 4) aneinander anliegend angeordnet sind.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Metallschäume (2, 3, 4) aus einer FeCr-Legierung bestehen.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der edelmetallbeschichtete offenporige Metallschaum (2) zumindest mit einem Edelmetall aus der Gruppe Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt oder einem Gemisch dieser Edelmetalle beschichtet ist.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der beschichtete Metallschaum (4) mit einer die Verbrennungstemperatur der Rußpartikel herabsetzenden Verbindung beschichtet ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der beschichtete Metallschaum (4) mit der die Verbrennungstemperatur der Rußpartikel herabsetzenden Verbindung aus Cer-orthovanadat (CeVO_4) beschichtet ist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Modul (1) als offenes, sich selbst regenerierendes Modul ausgebildet ist.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Metallschäume (2, 3, 4) mit einem Pulversinterverfahren oder einem Feingussverfahren hergestellt sind.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Metallschäume (2, 3, 4) mit einer eine 3D-Durchströmung hervorrufenden unregelmäßigen Zellgeometrie mit einer Mischerfunktion ausgebildet sind.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Metallschäume (2, 3, 4) mit einer relativen Dichte im Bereich von 2 bis 20 % ausgebildet sind.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Metallschäume (2, 3, 4) mit einer Porenanzahl in einem Bereich von 3 bis 80 ppi ausgebildet sind.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der edelmetallbeschichtete offenporige Metallschaum (2) direkt oder durch Imprägnierung eines Wash-coats mit einem Edelmetall aus der Gruppe Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt oder einem Gemisch dieser Edelmetalle in einer Konzentration von 1,0 g - 2,5 g Edelmetall pro Liter Metallschaum beschichtet ist.
12. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf den beschichteten Metallschaum (4) die für die Verbrennungstemperatur der Rußpartikel herabsetzende Verbindung Cer-orthovanadat mit einem Plasma-Verfahren, einem Wash-coat-Verfahren oder einem Sol-Gel-Verfahren in einer Konzentration von 1,0 g - 25 g CeVO_4 /Liter Metallschaum aufgebracht ist.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Porenanzahl der Metallschäume (2, 3, 4) in Richtung des Abgasstromes variiert gestaltet ist.
14. Vorrichtung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Porenanzahl der Metallschäume (2, 3, 4) in Richtung des Abgasstromes zunimmt.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Metallschäume (2, 3, 4) mit einem Lötprozess stoffschlüssig in das metallische Modul (1) eingebracht sind.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Metallschäume (2, 3, 4) mit einer Lagermatte in das metallische Modul (1) eingebettet sind.
17. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Gesamt modul (5) aus mehreren gleichartig aufgebauten Modulen (1) oder verschiedenartig aufgebauten Modulen ausgebildet ist.
18. Vorrichtung nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mehreren gleichartig aufgebauten Module (1) oder verschiedenartig aufgebauten Module in dem Gesamt modul (5) parallel zur Abgasströmung angeordnet sind.

Claims

1. An apparatus for removing soot particles from an exhaust gas stream of an internal combustion engine in a module (1) by oxidation of the soot particles with nitrogen dioxide NO_2 , said carbon particles being temporarily trapped in an uncoated metal foam (3) or coated metal foam (4), wherein the nitrogen dioxide is generated by oxidation of the nitrogen oxide NO available in the exhaust gas on an upstream noble-metal-coated and open-pored metal foam (2) in relation to the flow velocity of the exhaust gas at a temperature of greater than approx. 200°C , **characterized in that** at least two noble-metal-coated, open-pored metal foams (2) are provided, which are respectively disposed upstream of an uncoated metal foam (3) or respectively disposed upstream of a coated metal foam (4), with the metal foams (2, 3, 4) being arranged adjacent to one another.
2. The device according to claim 1, **characterized in that** the metal foams (2, 3, 4) are comprised of an FeCr alloy.
3. The device according to claim 1 or 2, **characterized in that** the noble-metal-coated open-pored metal foam (2) is coated at least with a noble metal of the group Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt, or a mixture of such noble metals.
4. The device according to one of claims 1 to 3, **characterized in that** the coated metal foam (4) is coated with a compound that reduces the combustion temperature of the soot particles.
5. The device according to claim 4, **characterized in that** the coated metal foam (4) is coated with a compound comprising cerium orthovanadate (CeVO_4), which reduces the combustion temperature of soot particles.
6. The device according to one of claims 1 to 5, **characterized in that** the module (1) is embodied as open, self-regenerating module.
7. The device according to one of claims 1 to 6, **characterized in that** the metal foams (2, 3, 4) are produced by a powder sintering process or a precision casting process.
8. The device according to one of claims 1 to 7, **characterized in that** the metal foams (2, 3, 4) are embodied with an irregular cell geometry which causes a 3D through-flow and has a mixing function.
9. The device according to one of claims 1 to 8, **characterized in that** the metal foams (2, 3, 4) are embodied with a relative density in the range of from 2 to 20 %.
10. The device according to one of claims 1 to 9, **characterized in that** the metal foams (2, 3, 4) are embodied with a pore count in the range of from 3 to 80 ppi.
11. The device according to one of claims 1 to 10, **characterized in that** noble-metal-coated open-pored metal foam (2) is coated directly, or by impregnation of a wash-coat, with a noble metal from the group Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt, or a mixture of these noble metals, in a concentration of 1.0 g - 2.5 g noble metal per liter of metal foam.
12. The device according to claim 5, **characterized in that** the compound cerium orthovanadate, which reduces the combustion temperature of the soot particles, is applied on the coated metal foam (4) via a plasma process, a wash-coat process or a sol-gel process in a concentration of 1.0 g - 25 g CeVO_4 per liter of metal foam.

13. The device according to one of claims 1 to 12, **characterized in that** the number of pores of the metal foams (2, 3, 4) varies in the direction of the exhaust gas stream.

14. The device according to claim 13, **characterized in that** the number of pores of the metal foams (2, 3, 4) increases in the direction of the exhaust gas flow.

15. The device according to one of claims 1 to 14, **characterized in that** the metal foams (2, 3, 4) are firmly embedded into the metallic module (1) via a soldering process.

16. The device according to one of claims 1 to 15, **characterized in that** the metal foams (2, 3, 4) are embedded with a support mat into the metallic module (1).

17. The device according to claim 1, **characterized in that** a modular assembly (5) is comprised of a plurality of modules (1) of similar type or a plurality of modules of different type.

18. The device according to claim 17, **characterized in that** the plurality of modules (1) of similar type or the plurality of modules of different type are disposed in the modular assembly (5) parallel to the exhaust gas stream.

Revendications

1. Dispositif destiné à éliminer, dans un module (1), des particules de suie des gaz d'échappement d'un moteur à combustion en oxydant lesdites particules par du dioxyde d'azote NO_2 lorsqu'elles sont temporairement retenues dans une mousse métallique sans revêtement (3) ou dans une mousse métallique avec revêtement (4), le dioxyde d'azote étant formé par oxydation du monoxyde d'azote NO présent dans les gaz d'échappement, ladite oxydation étant réalisée en amont à une température supérieure à 200 °C, en fonction du débit des gaz d'échappement et moyennant une mousse métallique pourvue de pores ouverts et revêtue de métaux précieux (2), **caractérisé en ce qu'il** comporte au moins deux mousses métalliques pourvues de pores ouverts et revêtue de métaux précieux (2), qui sont montées, respectivement, en amont d'une seule mousse métallique avec revêtement (3) ou d'une seule mousse métallique avec revêtement (4), les mousses métalliques (2,3,4) étant disposées de manière adjacente.

2. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les mousses métalliques (2, 3, 4) sont constituées d'un alliage FeCr.

3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** la mousse métallique pourvue de pores ouverts et revêtue de métaux précieux (2) est revêtue d'au moins un métal précieux choisi dans le groupe constitué de Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt ou d'un mélange desdits métaux précieux.

4. Dispositif selon une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** la mousse métallique avec revêtement (4) est revêtue d'un composé capable d'abaisser la température de combustion des particules de suie.

5. Dispositif selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** la mousse métallique avec revêtement (4) est revêtue d'un composé à base de d'orthovanadate de cérium (CeVO_4) qui est capable d'abaisser la température de combustion des particules de suie.

6. Dispositif selon une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** le module (1) se présente sous forme d'un module ouvert qui s'autorégénère.

7. Dispositif selon une des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** les mousses métalliques (2, 3, 4) ont été produites par un procédé de frittage des poudres ou par un procédé de coulée de précision.

8. Dispositif selon une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** les mousses métalliques (2, 3, 4) présentent une géométrie cellulaire irrégulière qui provoque un écoulement tridimensionnel lors de la traversée.

9. Dispositif selon une des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** les mousses métalliques (2, 3, 4) présentent une densité relative comprise entre 2 et 20 %.

10. Dispositif selon une des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** les mousses métalliques (2, 3, 4) présentent

un nombre de pores compris entre 3 et 80 ppi.

- 5 11. Dispositif selon une des revendications 1 à 10, **caractérisé en ce que** la mousse métallique pourvue de pores ouverts et revêtue de métaux précieux (2) est revêtue d'un métal précieux choisi dans le groupe constitué de Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt ou d'un mélange desdits métaux précieux, de manière à ce que la concentration du métal précieux par litre de mousse métallique soit comprise entre 1,0 g et 2,5 g, ledit revêtement étant appliqué directement ou par imprégnation d'un support (washcoat).
- 10 12. Dispositif selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** le composé orthovanadate de cérium qui est capable d'abaisser la température de combustion des particules de suie est appliqué sur la mousse métallique avec revêtement (4) dans une concentration comprise entre 1,0 g et 25 g CeVO_4 /litre de mousse métallique à l'aide d'un procédé de type washcoat ou d'un procédé sol-gel.
- 15 13. Dispositif selon une des revendications 1 à 12, **caractérisé en ce que** le nombre de pores des mousses métalliques (2, 3, 4) varie en suivant le parcours des gaz d'échappement.
- 20 14. Dispositif selon la revendications 13, **caractérisé en ce que** le nombre de pores des mousses métalliques (2, 3, 4) augmente en suivant le parcours des gaz d'échappement.
- 25 15. Dispositif selon une des revendications 1 à 14, **caractérisé en ce que** les mousses métalliques (2, 3, 4) sont introduites dans le module métallique (1) par liaison de matière réalisée moyennant un procédé de soudage.
- 30 16. Dispositif selon une des revendications 1 à 15, **caractérisé en ce que** les mousses métalliques (2, 3, 4) sont incorporées dans le module (1) à l'aide d'une natte de montage.
- 35 17. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le module global (5) est constitué de plusieurs modules (1) identiques ou de modules de types différents.
- 40 18. Dispositif selon la revendication 17, **caractérisé en ce que**, dans le module global (5), les modules (1) identiques ou les modules de types différents sont disposés parallèlement au débit de gaz d'échappement.
- 45
- 50
- 55

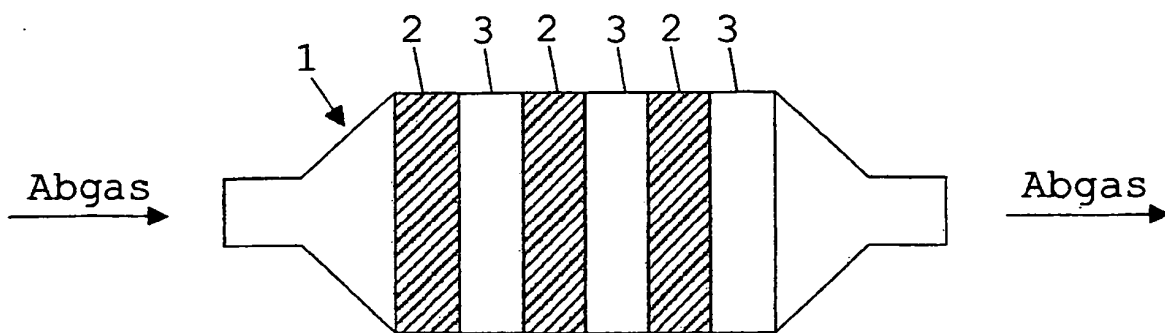


Fig. 1

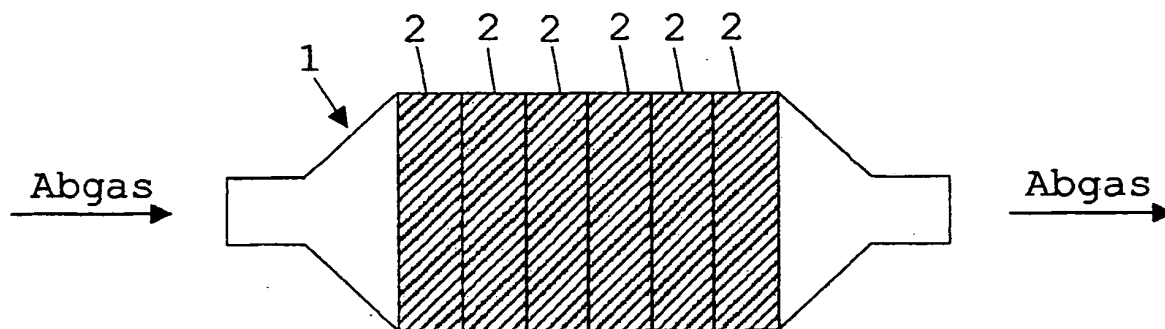


Fig. 2

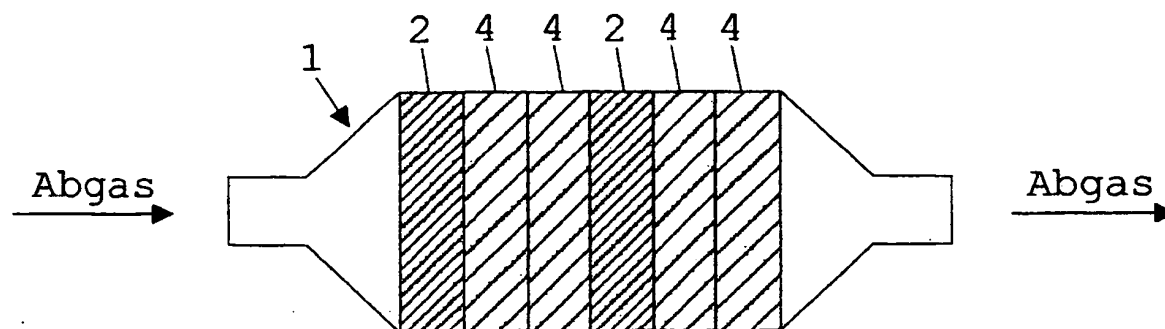


Fig. 3

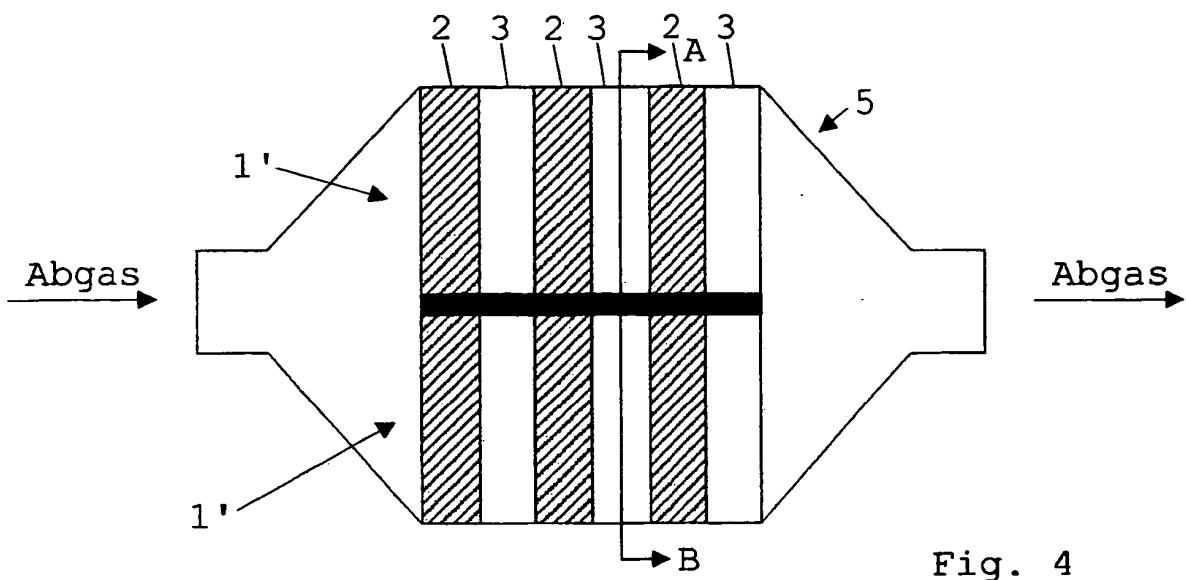


Fig. 4

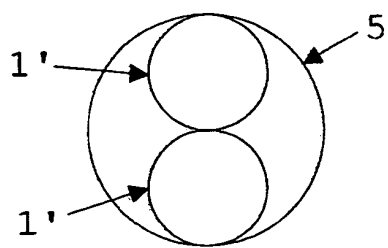


Fig. 5