

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 701 016 A2

(51) Int. Cl.: B01D 53/04 (2006.01)
F02C 3/22 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 00687/10

(22) Anmeldedatum: 05.05.2010

(43) Anmeldung veröffentlicht: 15.11.2010

(30) Priorität: 07.05.2009 US 12/436,849

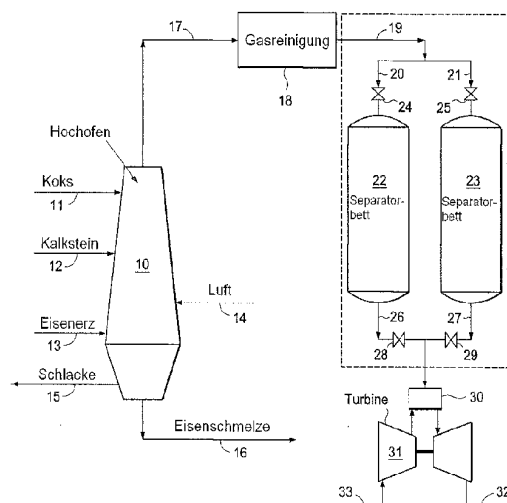
(71) Anmelder:
General Electric Company, 1 River Road
Schenectady, New York 12345 (US)

(72) Erfinder:
Sam David Draper,
Greenville, South Carolina 29615-4614 (US)
Shahryar Rabiei,
Greenville, South Carolina 29615-4614 (US)

(74) Vertreter:
R. A. Egli & Co. Patentanwälte, Horneggstrasse 4
8008 Zürich (CH)

(54) Verfahren zum Entfernen von Stickstoff aus Gichtgas um eine zusätzliche Einspeisung in eine Gasturbinenmaschine zu bilden.

(57) Verfahren zum kontinuierlichen Entfernen von Stickstoff aus einem Sauerstoff, Stickstoff und unverbrannte Kohlenwasserstoffe enthaltenden Hochofenabgasstrom (17), um eine zusätzliche Speisung für eine Gasturbinenmaschine (31) zu bilden, die Restkohlenwasserstoffbrennstoff enthält, wobei zunächst in dem Hochofenabgasstrom (17) mitgeführte Feststoffpartikel entfernt werden, um einen im Wesentlichen partikelfreien Gasstrom (19) zu erzeugen, der partikelfreie Gasstrom (19) durch wenigstens ein Separatorbett (22) geleitet wird, das Adsorptionsmaterial enthält, welches Stickstoff aus Luft adsorbieren kann, wobei im Wesentlichen der gesamte Stickstoff als Interstitialstickstoff auf Feststoffen in dem Separatorbett adsorbiert wird, nicht adsorbierte Kohlenwasserstoffkomponenten und Sauerstoffkomponenten, die aus dem Separator austreten, in eine Gasturbinenmaschine (31) eingespeist werden und der adsorbierte Stickstoff aus dem Separatorbett entfernt wird.



Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein, Verfahren um Ausnutzen der überschüssigen Wärme und mechanischen Energie, die in Gichtgasen, d.h. Hochofenabgasen enthalten sind und insbesondere auf ein Verfahren zur Behandlung von Hochtemperatur-Hochofenabgasen, die Restmengen von unverbranntem Kohlenwasserstoffbrennstoff enthalten, um auf diese Weise ein reines zusätzliches Verbrennungsgas und ein Betriebsfluid für eine Gasturbine herzustellen.

[0002] Es ist bekannt, dass ein Hochofenbetrieb, der Eisenerz zu handelsüblichem Eisen oder Stahl reduziert an signifikanten thermischen Unzulänglichkeiten krankt. Ein typischer Hochofen benutzt etwa lediglich 66% der metallurgischen Anlage zur Herstellung von Roheisen zugeführten Gesamtwärmeenergie, wobei erhebliche Mengen Luft erforderlich sind, um den Koksbeizsatz zu verbrennen. Es ist ausserdem bekannt, dass Hochofenabgasströme oft nutzbare Mengen unverbrannter Kohlenwasserstoffe enthalten, die abgelassen, behandelt oder während des Eisenerzreduktionsprozesses ungenutzt gelassen werden müssen.

[0003] Bemühungen in der Vergangenheit, die während oder nach Hochofenarbeitsprozessen anfallende Wärmeenergie zu bewahren, haben sich vorzugsweise darauf konzentriert, die Menge Brennstoff zu verringern, die erforderlich ist, um den eigentlichen Schmelzprozess auszuführen, indem etwa die Menge Kokereigas, Erdgas oder Heizöl zum Erwärmen des Eisenerzes reduziert wurde. Andere Verfahren haben versucht, nach der Theorie, dass die Wirtschaftlichkeit jedes metallurgischen Prozesses durch Erhöhen der Eingangstemperatur der Brenngaseinspeisung verbessert werden könne, Wärme aus den Hochofenabgasen zu recyceln, um dadurch die eigentliche Eisenerzextraktion zu unterstützen.

[0004] Ausserdem wurden in den kurz zurückliegenden Jahren eine Anzahl technischer Verfahrensweisen vorgeschlagen, um den thermischen Wirkungsgrad eines Schmelzprozesses dadurch zu verbessern, dass die Wärme und der potentielle Arbeitsinhalt der Hochofenabgase in nachgeordneten Prozessen besser ausgenützt werden, wozu der Antrieb von umlaufenden Gerätschaften, die elektrische Energie erzeugen durch Gasströme gehört. Diese bekannten Prozesse leiden aber an beträchtlichen, thermischen Unzulänglichkeiten, wie auch an Betriebsproblemen, die von der Gegenwart von Feststoffpartikeln in dem Abgas herrühren. Ausserdem kann bei kleineren Schmelzöfen das Leistungsvermögen einer zugeordneten Gasturbine zur Erzeugung elektrischer Energie wirtschaftlich nicht gerechtfertigt sein.

[0005] Die Anfangsinvestition zum Kauf und zur Installation der erforderlichen Stromerzeugungsausrüstung kann prohibitiv teuer sein, wodurch die Zeit zum Wiedergewinnen der Investition in einem anschliessenden Prozess unakzeptable lang sein kann. Viele sogenannte «kombinierte» Anlagen haben auch nicht ausreichend Platz, um die verhältnismässig komplexe und teure Ausrüstung aufzunehmen, die erforderlich ist, um elektrische Energie aus Hochofenabgasen zu erzeugen, und zwar insbesondere wegen der Notwendigkeit grosse Mengen Stickstoff zu versorgen, die in Gestalt von Umgebungsluft zu Beginn des Schmelzprozesses in den Hochofen eingeführt wurden. Ein üblicher Abgasstrom eines gebräuchlichen Hochofens enthält etwa 45 bis 50 Volumen% Stickstoff.

[0006] Auf diese Weise können bis heute die meisten konventionellen Anlagen, die Hochofenabgas behandeln, den Heizwert oder das Arbeitspotential des Abgases beim Austritt aus dem Hochofen nicht vollständig rückgewinnen. Das Gas tritt aus dem Ofen typischerweise mit einem Druck zwischen 1,5 und 2,0 bar mit einem verhältnismässig hohen fühlbaren Wärmeinhalt (Gastemperatur typischerweise in dem Bereich zwischen 150° und 200°C) aus. Die Abgase enthalten auch Stickstoff und eine Restmenge unverbrannten Kohlenwasserstoffbrennstoffs in gasförmiger Form. Es wurden schon Versuche unternommen, die Restbrennstoffkomponenten zurück zu gewinnen und/oder das aus den austretenden Hochofengasen gewinnbare Arbeitsvermögen auszunutzen. Diesen Anstrengungen war aber immer nur ein begrenzter Erfolg beschieden und zwar wegen der Gegenwart von Stickstoff, Kohlendioxid und Kohlenmonoxid in dem Abgas, die insbesondere bei einer Gasturbinenmaschine dazu führen, den Heizwert für jegliche spätere Verwendung abzusinken.

[0007] Es besteht deshalb eine Möglichkeit, den thermischen Gesamtwirkungsgrad einer kombinierten Brennstoffversorgung einer Gasturbinenmaschine zu verbessern, vorausgesetzt, dass die Menge Stickstoff, die der Turbinenmaschine zugeführt wird, signifikant verringert werden kann. In der Vergangenheit wurden Molekularsiebe in kleinem Umfang dazu benutzt N₂ von der Umgebungsluft unter Verwendung von im Handel erhältlichen «Sauerstoffkonzentratoren» abzutrennen. Ein als «Druckwechseladsorption (PSA = Pressure Swing Adsorption)» bekanntes Verfahren wurde schon erfolgreich dazu verwendet, eine spezielle Gasart aus einer Mischung von Gasen, basierend auf den molekularen Eigenschaften der Gasart und deren Affinität für ein Adsorptionsmaterial abzuscheiden. PSA arbeitet bei fast Umgebungstemperaturen und unterscheidet sich dadurch von einer Gasseparation bewirkenden kryogenen Destillationstechniken. Spezielle Adsorptionsmaterialien dienen als Molekularsieb, das vorzugsweise eine Zielgasart bei hohem Druck adsorbiert. Der Prozess wechselt dann zu einem niedrigen Druck, um das Adsorbierte zu desorbieren.

[0008] Aus verschiedenen Gründen können gebräuchliche Sauerstoffkonzentratoren, die die PSA-Technologie, anwenden, nicht in grösserem Massstab effektiv dazu eingesetzt werden, Hochofenabgase zu behandeln oder eine zusätzliche Brennstoffversorgung für eine Gasturbinenmaschine zu erzeugen. Gebräuchliche Sauerstoffkonzentratoren sind beispielsweise einfach nicht effektiv bei der Entfernung anderer Nebenprodukte der Hochofenverbrennung, wie Kohlenmonoxid, Kohlendioxid oder Argon, die in dem Hochofenabgasstrom vorliegen.

[0009] Abgase von einem Schmelzhochofen bieten ein weiteres wesentliches Problem, das das Rohgas zur Verwendung in nachgeschalteten Gasturbinenmaschinen ungeeignet macht. Das Gas kann nicht unmittelbar in die Brennkammer oder in irgendeine Stufe einer Energie erzeugenden Gasturbinenmaschine eingespeist werden und zwar wegen der Gegenwart von in dem ursprünglichen Hochofenbetrieb erzeugten und in dem Abgas mitgeführten Feststoffpartikeln. Die Hersteller von Gasturbinenmaschinen fordern normalerweise eine maximale Eintrittspartikelbelastung von etwa 5 mg/Nm^3 . Bevor deshalb irgendein Hochofengas sich für den Einsatz in einer Gasturbinenmaschine eignet, muss es einer Reinigung unterzogen werden, um das Gas aus seinem ursprünglichem «schmutzigen» Zustand (typischerweise $8,10 \text{ g/Nm}^3$) auf die Standardwerte zu überführen, die für eine Gasturbinenspeisung erforderlich sind.

Kurze Beschreibung der Erfindung

[0010] Das Verfahren zum Abscheiden von Stickstoff aus einem Hochofenabgasstrom gemäss der vorliegenden Erfindung beinhaltet die grundsätzlichen Schritte: (1) Entfernen von mitgeführten Feststoffpartikeln in dem Hochofenabgasstrom (der normalerweise etwa 45 bis 50% Stickstoff, Sauerstoff, restliche Kohlenwasserstoffbrennstoffverbindungen und Kohleteilchen enthält), um einen im Wesentlichen partikelfreien Gasstrom zu erzeugen; (2) Durchleiten des partikelfreien Stroms durch wenigstens ein Separatorbett, das ein Adsorptionsmaterial enthält, welches Stickstoff aus Luft in dem Gasstrom adsorbieren kann; (3) Adsorbieren des im Wesentlichen gesamten in dem Gasstrom vorhandenen Stickstoffs als Interstitialstickstoff auf Feststoffen, die in wenigstens einem Separatorbett vorliegen; (4) Einspeisen von jeglichen nicht adsorbierten Kohlenwasserstoffbrennstoff- und Sauerstoffkomponenten, die aus dem Separator austreten in eine Gasturbinenmaschine als zusätzlicher Brennstoff; und (5) Entfernen des adsorbierten Stickstoffs aus dem Separatorbett.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0011] Fig. 1 ist ein Prozessflussdiagramm einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, das die hauptsächlichen Anlagenteile und die wesentlichen Prozessströme zur Entfernung im Wesentlichen des gesamten in einem Hochofenabgasstrom vorhandenen freien Stickstoffs vor dem Einleiten des Stroms in eine Gasturbinenmaschine veranschaulicht.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0012] Wie oben erwähnt, gehören zu den die Hauptbestandteile der Hochofenabgase bildenden Gasen Stickstoff, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Sauerstoff, geringe Mengen inerte Verbindungen (zum Beispiel Argon) und restliche unverbrannte Kohlenwasserstoffbrennstoffbestandteile. Das Separator-/Konzentrator-system der vorliegenden Erfindung entfernt einen wesentlichen Teil des freien Stickstoffs, wodurch die Menge gewinnbaren Sauerstoffs und gewinnbarer gasförmiger Kohlenwasserstoffe erhöht wird. Bei beispielhaften Ausführungsformen der Erfindung verringert der Schritt der Entfernung mitgeführter Feststoffpartikel die Partikelkonzentration von etwa $8,10 \text{ g/Nm}^3$ bis auf ein Niveau von etwa 5 mg/Nm^3 . Zu den für die Ausführung des Verfahrens brauchbaren Adsorbentien zählt vorzugsweise ein Molekularsieb, das Kugeln (Perlen) aus Zeolith, aktiviertem Kohlenstoff, Silikagel oder Aluminiumoxid enthält. Das erfindungsgemässe Verfahren erstreckt sich auf die Verwendung mehrerer Separatorbetten, die parallel zueinander arbeiten, d.h. wo zunächst wenigstens eines der Separatorbetten Stickstoff adsorbiert während die übrigen Betten so betrieben werden, dass sie bereits adsorbierten Stickstoff abladen.

[0013] Bezeichnend ist, dass die vorliegende Erfindung Hochofenabgas in einer solchen Weise zunächst verarbeitet und dann benutzt, dass der Gesamtwirkungsgrad einer nachfolgenden Gasturbinenmaschine verbessert wird. Der N_2 -Gehalt der meisten Hochofenabgase liegt typischerweise zwischen 45 und 50 Volumen% auf trockener Basis. Obwohl die Abgase verwendbare Mengen Sauerstoff und Kohlenwasserstoffbrennstoff enthalten, senkt die Menge des in dem Hochofenabgas enthaltenen Stickstoff den Heizwert des Gases deutlich ab. Die Menge Stickstoff und Verbrennungsnebenprodukte in dem Gasstrom gestaltet es auch schwierig und teuer irgendwelche verbleibenden Kohlenwasserstoffbrennstoffe unter Verwendung gebräuchlicher Gasreinigungsverfahren zu isolieren. Demgemäss verwendet bei einer beispielhaften Ausführungsform die Erfindung Molekularsiebbetten in einem im Vergleich zu üblichen Sauerstoff-«Konzentratoren» wesentlich grösseren Rahmen, um Stickstoff und möglicherweise andere Gase, wie CO und CO_2 , selektiv zu entfernen, wodurch sich der Sauerstoffprozentatz beträchtlich erhöht, während der Wärmehalt und das potentielle Arbeitsvermögen des Abgases vergrössert werden. Gebräuchliche Sauerstoffkonzentratoren wurden in der Vergangenheit schon zur Herstellung von hochreinem Sauerstoff (typischerweise in dem Bereich von 50 bis 95%, abhängig von der Einspeisung in die Konzentratoren) verwendet, jedoch nicht unter Strömungsbedingungen, die für Hochofenabgasströme typisch sind. Es wurde nun gefunden, dass eine Abwandlung der Molekularsiebeigenschaften für den Hochofenabgasstrom und die Entfernung von Stickstoff unter den im nachfolgenden beschriebenen Prozessablaufbedingungen den thermischen Gesamtwirkungsgrad einer nachgeordneten Gasturbine wesentlich verbessern. Sobald Gas, wie etwa Stickstoff, entfernt sind, können Gasrückgewinnungstechnologien wie Amin- oder Membranseparatoreinheiten dazu verwendet werden, den Gasheizwert sogar noch weiter zu erhöhen. Ausserdem wird durch die Rückgewinnung der thermischen Energie und der Arbeitsenergie in dem Hochofenabgas das Schmelzen wesentlich energieeffizienter und vom Umweltstandpunkt aus gesehen «grüner».

[0014] Die hier als «Stickstoffabscheidebetten» bezeichneten Separatorbetten arbeiten nach dem gleichen allgemeinen Prinzip wie Sauerstoffkonzentratoren, die unter «Druckwechseladsorption» oder «PSA» bekannt sind. Das PSA-Verfahren beruht hier auf Druckwechsel bei verschiedenen Adsorptionsseparatorbetten, die parallel arbeiten, um die Menge eines

speziellen Bestandteils (Stickstoff) in der den Betten zugeführten Gasmischung zu verringern. Bei den meisten Druckwechseladsorptionsverfahren neigen Gase unter Druck dazu, unter erhöhtem Druck an Feststoffoberflächen angezogen (adsorbiert) zu werden. Wenn der Druck reduziert wird, kann das Gas freigegeben oder «desorbiert» und aus dem System abgeschieden werden.

[0015] Ein abgewandeltes PSA-Verfahren hat sich beim Abscheiden von Stickstoff aus Hochofenabgas als zweckmässig erwiesen, weil der Stickstoff dazu neigt, an Feststoffoberflächen des Bettmaterials in einer anderen Masse als andere Bestandteile, insbesondere Sauerstoff angezogen zu werden. Eine beispielhafte Ausführungsform der Erfindung verwendet wenigstens zwei Betten, die parallel zueinander arbeiten. Wenn ein Bett das Ende seiner Kapazität zur Adsorption von Stickstoff erreicht, kann das Bett durch Absenkung des Drucks und Freisetzung des adsorbierten Stickstoffs regeneriert werden. Das Bett ist dann bereit, einen weiteren Zyklus zur Herstellung eines an Stickstoff verarmten aber an Sauerstoff und restlichen Kohlenwasserstoffbrennstoffkomponenten reicheren abgegebenen Gases zu beginnen. Da der PSA-Prozess Stickstoff bevorzugt vor Sauerstoff adsorbiert enthält die mit dem Adsorbens in Kontakt stehende Luft einen wesentlich höheren Volumenprozentsatz Sauerstoff. Das mit Sauerstoff angereicherte Gas kann aus der Adsorptionszone (zum Beispiel als zusätzliche Einspeisung in eine Gasturbinenbrennkammer) abgezogen werden, während der adsorbierte Stickstoff unter Bedingungen verringerten Drucks ausgetrieben wird.

[0016] Es wurde gefunden, dass verschiedene Arten PSA-Bettmaterialien einschliesslich Zeolith oder Methyloxid in Kügelchen bei der Entfernung von Stickstoff aus dem Abgasstrom wirksam sind und zwar unabhängig von der Gegenwart anderer Bestandteile, wie Kohlenmonoxid und inerte Verbindungen. Wiederum kann durch Verwendung einer Mehrzahl von Druckwechseladsorptionsbetten, die wie hier beschrieben, parallel zueinander arbeiten, der durch die Betten durchströmende Stickstoff in einer Tandemarbeitweise wirksam abgeschieden werden, wodurch der Anteil von in dem Abgas verbleibendem Restsauerstoff und unverbrannten Kohlenwasserstoffkomponenten erhöht wird.

[0017] Das in Fig. 1 dargestellte Verfahren veranschaulicht jeden von zwei parallel arbeitenden Separatoren (Konzentratoren), wobei jeder Separator ein Haupteinlass- und ein Auslassgassteuerventil für das einer Behandlung unterzogene Hochofenabgas aufweist, ebenso wie ein Molekularsiebbett, das die Stickstoff adsorbierenden Medien (typischerweise in Kügelchenform) enthält. Während des Beladungszyklus des ersten Molekularsiebbettes sind das erste Einlass- und Auslassventil geöffnet und das zweite Einlass- und Auslassventil sind geschlossen, um so zu ermöglichen, dass der Stickstoff in der Abgasbeschickung in dem ersten Separator adsorbiert wird. Mit fortschreitendem Adsorptionsprozess nimmt die Menge des freien Stickstoffs, d.h. des Stickstoffs der nicht adsorbiert werden kann, der aus dem ersten Separator austritt über die Zeit graduell zu bis die Menge ein Konzentrationsgrenzwertniveau erreicht, bei dem die Einspeisung in den ersten Separator auf den parallel dazu arbeitenden zweiten Separator umgeschaltet werden muss.

[0018] Während des Beladungszyklus des zweiten Molekularsiebbettes sind das erste Einlass- und Auslassventil geschlossen und das zweite Einlass- und Auslassventil sind geöffnet, um einen Durchstrom durch das Separatorbett in die Gasturbine zu ermöglichen. Nach Abschluss des Beladungszyklus des jeweiligen Molekularsiebbettes kann ein Auslassventil dieses speziellen Separators geöffnet werden, um das Austreiben des auf den Adsorbenskügelchen angesiedelten Interstitialstickstoffs aus dem Separator zu ermöglichen, während der zweite Separator noch beladen wird.

[0019] Zu Adsorbentien für PSA-Systeme, die bei der Ausführung der in Fig. 1 dargestellten Erfindung brauchbar sind, gehören typischerweise poröse Materialien, die wegen ihrer grossen Oberflächenbereiche ausgewählt sind. Typische Adsorbentien umfassen aktivierten Kohlenstoff (Aktivkohle), Silikagel, Aluminiumoxid und Zeolithkügelchen («beads»). Wenn gleich das auf den Oberflächen adsorbierte Gas typischerweise aus einer einzigen Gasschicht besteht, können doch die Kügelchen einen wesentlichen Bruchteil ihres Gewichtes an Stickstoff adsorbieren. Dabei haben Zeolithe und aktivierter Kohlenstoff («Kohlenstoffmolekularsiebe») charakteristische Siebeigenschaften, die sie in die Lage versetzen, auf der Grundlage ihrer Grösse Gasmoleküle auszuschliessen und die Fähigkeit der grösseren Moleküle adsorbiert zu werden, zu beschränken. In diesem Falle adsorbieren die Betten vorzugsweise freien Stickstoff und gestatten, dass Sauerstoff und Restkohlenwasserstoffe kontinuierlich von den Separatoren abgezogen werden.

[0020] Im Einzelnen auf Fig. 1 Bezug nehmend beinhaltet eine gebräuchliche Hochofenanlage den Hochofen 10 selbst der für die Aufnahme einer Eisenerzbeschickung 13, von Koks 11, Kalkstein 12 und Umgebungsluft 14 als primäre Verbrennungsreaktanten bemessen ist, die das Eisenerz zur Herstellung einer Eisenschmelze 16 reduzieren. Die sich ergebende Abfallschlacke 15 wird, wenn der Hochofen in einem kontinuierlichen Betrieb betrieben wird, von dem Hochofen in kontinuierlicher Weise abgezogen. Der aus dem Hochofen austretende Gasstrom beinhaltet einen beträchtlichen Anteil Stickstoff, unverbrauchten Sauerstoff, Argon und eine Restmenge unverbrannter Kohlenwasserstoffe, die während des Hochofenbetriebs erzeugt wurden, wobei alles dieses in einem Abgasstrom vereinigt ist, der aus dem Ofen bei 17 austritt. Die Feststoffpartikelkomponenten, die aus dem System entfernt werden müssen, bevor der Gasstrom bei irgendeinem nachgeordneten Turbinenbetrieb eingesetzt werden kann, werden, wie allgemein dargestellt, in einem mit «Gasreinigung» bezeichneten Schritt 18 abgeschieden, der beispielsweise einen elektrostatischen Abscheider beinhalten kann.

[0021] Der sich ergebende reine, d.h. partikelfreie, Hochofenabgasstrom 19 strömt durch Stickstoffseparatoren (Konzentratoren) 22, 23, die, wie dargestellt, parallel zueinander arbeiten, um die kontinuierliche Verwendung des Hochofenabgases als Speisegas für eine Gasturbine 31 zu ermöglichen. Bei einer Betriebsfolge weisen die Separatoren 26, 27 jeweils eine Haupteinlass- und Auslassleitung 20, 21 bzw. 26, 27 mit entsprechenden Gassteuerventilen 24, 25 bzw. 26, 27 zur Steuerung des Hochofenabgases auf, das unter Verwendung zueinander paralleler aufeinander folgend arbeiten-

der Separatoren einer Behandlung unterzogen wird. Jeder der Separatoren verfügt über ein Molekularsiebbett, das die Stickstoff adsorbierenden Medien (typischerweise in Kügelchenform) enthält. Während des Beladungszyklus des ersten Molekularseparatorbetts sind das erste Einlass- und Auslassventil 24 bzw. 28 geöffnet, während das zweite Einlass- und Auslassventil 25 bzw. 29 geschlossen sind, um so zu ermöglichen, dass der Stickstoff der Abgasbeschickung in dem ersten Separator adsorbiert wird.

[0022] Sobald in dem ersten Separator ein Adsorptionsniveaugrenzwert erreicht ist, werden die Ventile 24, 28 geschlossen, während die Ventile 25, 29 in dem Separator 23 geöffnet werden, um einen kontinuierlichen Stickstoffentfernungsprozess zu ermöglichen. Der in dem jeweiligen Separator adsorbierte Stickstoff kann aus dem System dadurch entfernt (abgezogen) werden, dass der Druck in dem jeweiligen voll beladenen Separator, wie oben beschrieben, abgesenkt wird. Fig. 1 veranschaulicht auch wie der sich ergebende, im Wesentlichen stickstofffreie und partikelfreie Produktstrom von den Separatoren 22, 23 unmittelbar in die Brennkammer 30 der Gasturbinenmaschine 31 eingespeist werden kann, die mit den üblichen Einlass- und Auslassströmen 33, 32 veranschaulicht ist.

[0023] Wie im Vorstehenden erläutert, nutzt die vorliegende Erfindung durch die Verwendung eines modifizierten PSA-Verfahrens wiederholte Zyklen wechselnder Druckfolgen in verschiedenen Stickstoffadsorptionsbetten aus. Das Endergebnis ist ein kontinuierlicher, über die Zeit effizienterer Konzentratorbetrieb und die Möglichkeit, Hochofenabgase in einem wesentlich grösseren Rahmen zu behandeln als bei den kleinen gebräuchlichen Sauerstoffkonzentratoren. Mehrbettsysteme, wie sie in Fig. 1 dargestellt sind, dienen somit dazu den Konzentratorwirkungsgrad zu erhöhen und den Gesamtgasdurchsatz durch eine nachgeordnete Gasturbinenmaschine zu vergrößern.

[0024] Fig. 1 veranschaulicht ausserdem die Verwendung einer Staubextraktionskomponente (die allgemein als «Gasreinigungs»-Stufe dargestellt ist, welche beispielsweise einen elektrostatischen Abscheider beinhalten kann), die zur Behandlung von Hochofenabgasen erforderlich ist bevor das Gas durch die parallelen Konzentratoren strömt. Für die vorliegende Erfindung zweckmässige Partikelextraktionssysteme können sowohl Vorreinigungs- als auch Feinstaubpartikelstufen aufweisen. Beispielsweise kann eine Vorreinigungsstufe ein vertikales Druckgefäss aufweisen, das unmittelbar mit der Ofengicht verbunden ist, so dass Hochofengas aus dem Hauptabgasrohr vertikal in das Druckgefäss eintritt. Eine Querschnittsvergrößerung nach dem Eintritt in das Druckgefäss ergibt eine Verringerung der Gasgeschwindigkeit. Die größten Partikel fallen vertikal aus dem Gasstrom aus, bevor der Strom den Staubfänger an der Oberseite des Druckgefässes verlässt. Die abgeschiedenen Partikel werden sodann in einem Staubbunker gesammelt und am Boden des Druckgefässes entfernt. Das vorgereinigte Hochofengas strömt von dem Staubfänger in eine Feinreinigungsstufe, die normalerweise wenigstens einen Gaswäscher oder elektrostatischen Abscheider (z.B. die Reinigungsstufe 18 in Fig. 1) beinhaltet, der die verbleibenden kleinsten mitgeführten Partikel entfernt.

[0025] Das Hochofengas kann auch durch einen (nicht dargestellten) Zyklonseparator geleitet werden, nachdem es den Staubfänger verlassen hat und bevor es durch die Feinreinigungsstufe durchgeleitet wird. Ein Zyklonseparator weist üblicherweise einen oder mehrere parallel geschaltete Separatoren auf. Das Hochofengas wird tangential mit hoher Geschwindigkeit eingespeist, so dass die Partikel durch die Zentrifugalkraft auf die Aussenwand des Zyklonseparators geschleudert werden und an dieser Aussenwand nach unten in einem Staubbunker gleiten.

[0026] Wenngleich die Erfindung im Zusammenhang mit dem was gegenwärtig als die praktikabelste und bevorzugte Ausführungsform betrachtet wird, beschrieben wurde, so versteht sich doch, dass die Erfindung nicht auf die geoffenbarte Ausführungsform beschränkt ist, sondern dass im Gegenteil, sie verschiedene Abwandlungen und äquivalente Anordnungen, die im Rahmen und im Schutzzumfang der beigefügten Patentansprüche liegen, mit umfasst.

[0027] Verfahren zum kontinuierlichen Entfernen von Stickstoff aus einem Sauerstoff, Stickstoff und unverbrannte Kohlenwasserstoffe enthaltenden Hochofenabgasstrom 17, um eine zusätzliche Speisung für eine Gasturbinenmaschine 31 zu bilden, die Restkohlenwasserstoffbrennstoff enthält, wobei zunächst in dem Hochofenabgasstrom 19 mitgeführte Feststoffpartikel entfernt werden, um einen im Wesentlichen partikelfreien Gasstrom 19 zu erzeugen, der partikelfreie Gasstrom 19 durch wenigstens ein Separatorbett 22 geleitet wird, das Adsorptionsmaterial enthält, welches Stickstoff aus Luft adsorbieren kann, wobei im Wesentlichen der gesamte Stickstoff als Interstitialstickstoff auf Feststoffen in dem Separatorbett adsorbiert wird, nicht adsorbierte Kohlenwasserstoffkomponenten und Sauerstoffkomponenten, die aus dem Separator austreten, in eine Gasturbinenmaschine 31 eingespeist werden und der adsorbierte Stickstoff aus dem Separatorbett entfernt wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Entfernen von Stickstoff aus einem Luft und unverbrannte Kohlenwasserstoffe enthaltenden Hochofenabgasstrom (17) um eine zusätzliche Einspeisung in eine Gasturbinenmaschine (31) zu bilden, das die folgende Schritte beinhaltet:
Entfernen von in dem Hochofenabgasstrom (17) mitgeführten Feststoffpartikeln um einen im Wesentlichen partikelfreien Gasstrom (19) auszubilden;
Durchleiten des im Wesentlichen partikelfreien Gasstroms (19) durch ein Separatorbett (22), das ein Adsorptionsmaterial enthält, welches Stickstoff aus Luft in dem partikelfreien Gasstrom (19) adsorbieren kann;
Adsorbieren im Wesentlichen des gesamten Stickstoffs in dem partikelfreien Gasstrom (19) als Interstitial-Stickstoff auf Feststoffen in dem Separatorbett (22);

Zuführen von nicht adsorbierten Kohlenwasserstoffbrennstoff - und Sauerstoffkomponenten in dem im Wesentlichen partikelfreien Gasstrom (19) zu der Gasturbinenmaschine (31), und Austreiben von Stickstoff aus dem Separatorbett (22).

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Schritt des Entfernens der mitgeführten Feststoffpartikel den Partikelanteil von etwa $8,1 \text{ g/Nm}^3$ bis zu einer Höhe von etwa 5 mg/Nm^3 verringert.
3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Schritte zur Entfernung von Stickstoff aus dem Hochofenabgasstrom (17) in einem kontinuierlichen Prozess durchgeführt werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Adsorptionsmaterial ein Molekularsieb bildet, das Kügelchen aus Zeolith, aktiviertem Kohlenstoff, Silikagel oder Aluminiumoxid enthält.
5. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Anteil von in dem Hochofenabgasstrom (17) vorhandenem Stickstoff etwa 45 bis 50 Volumen% beträgt.
6. Verfahren nach Anspruch 1, das ausserdem den Schritt des Durchleitens des partikelfreien Gasstroms (19) durch eine Amin- oder Membranseparationseinheit vor dem Einspeisen des Gasstroms in die Gasturbinenmaschine (31) umfasst.,
7. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Schritt des Durchleitens des partikelfreien Gasstroms (19) durch ein Separatorbett ausserdem das Durchleiten des Gasstromes (19) durch mehrere Separatorbetten (22,23) umfasst, die jeweils parallel zueinander arbeiten.
8. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Schritt des Entfernens mitgeführter Partikel beinhaltet, dass der Hochofenabgasstrom (17) zunächst durch einen elektrostatischen Abscheider (18) durchgeleitet wird.
9. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Schritt des Entfernens mitgeführter Partikel beinhaltet, dass der Hochofenabgasstrom zuerst durch einen Zyklonseparator durchgeführt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem wenigstens eines der Separatorbetten (22, 23) zum Adsorbieren von Stickstoff betrieben wird, während wenigstens eines der übrigen Separatorbetten (22, 33) zum Austreiben adsorbierten Stickstoffs aus dem jeweiligen Bett betrieben wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem das eine der übrigen Separatorbetten (22,23) periodisch dadurch regeneriert wird, dass der Betriebsdruck des Bettes zur Freisetzung von Stickstoff abgesenkt wird.
12. System zum Entfernen von Stickstoff aus einem Luft und unverbrannte Kohlenwasserstoffe enthaltenden Abgasstrom (17), um eine zusätzliche Einspeisung in eine Gasturbinenmaschine (31) zu bilden, das aufweist:
einen elektrostatischen Abscheider (18), der so bemessen ist, dass er in dem Abgasstrom (17) mitgeführte Feststoffpartikel entfernt, um einem im Wesentlichen partikelfreien Gasstrom (19) auszubilden;
wenigstens ein Separatorbett (22), das Adsorptionsmaterial enthält, welches Stickstoff aus Luft in dem partikelfreien Gasstrom (19) adsorbieren kann;
erste Gastransportventile (24, 28), durch die der Stickstoff enthaltende partikelfreie Gasstrom (19) in und durch das Separatorbett (22) leitbar ist;
zweite Gastransportventile (25, 29), durch die der partikelfreie Gasstrom (19) strömungsabwärts von dem Separatorbett (22) in die Brennkammer der Gasturbinenmaschine (31) einleitbar ist.
13. System zum Entfernen von Stickstoff aus einem Abgasstrom (17) nach Anspruch 12, bei dem das Adsorptionsmaterial ein Molekularsieb bildet, das Kügelchen aus Zeolith, aktiviertem Kohlenstoff oder Silikagel oder Aluminiumoxid enthält.
14. System zum Entfernen von Stickstoff aus einem Abgasstrom (17) gemäss Anspruch 12, bei dem der Anteil von in dem Abgasstrom (17) vorhandenem Stickstoff etwa 45 bis 50 Volumen% beträgt.
15. System zum Entfernen von Stickstoff aus einem Abgasstrom (17) nach Anspruch 12, bei dem das Separatorbett mehrere Separatorbetten (22,23) umfasst, die jeweils parallel zueinander arbeiten.

Figur 1

