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

(11) **EP 1 673 172 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
13.02.2008 Patentblatt 2008/07

(21) Anmeldenummer: **04763842.4**

(22) Anmeldetag: **06.08.2004**

(51) Int Cl.:
B02C 19/18 *(2006.01)*

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2004/008802

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2005/044457 (19.05.2005 Gazette 2005/20)

(54) **PROZESSREAKTOR UND BETRIEBSVERFAHREN FÜR DIE ELEKTRODYNAMISCHE FRAGMENTIERUNG**

PROCESSING REACTOR AND OPERATIONAL METHOD FOR ELECTRODYNAMIC FRAGMENTATION

REACTEUR DE TRAITEMENT ET PROCEDE DE MISE EN ACTION POUR LA FRAGMENTATION ELECTRODYNAMIQUE

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

(30) Priorität: **08.10.2003 DE 10346650**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
28.06.2006 Patentblatt 2006/26

(73) Patentinhaber: **Forschungszentrum Karlsruhe GmbH**
76133 Karlsruhe (DE)

(72) Erfinder:
- **HOPPE, Peter**
  76297 Stutensee (DE)
- **SINGER, Josef**
  76344 Eggenstein-Leopoldshafen (DE)
- **GIESE, Harald**
  76297 Stutensee (DE)
- **STEMMERMANN, Peter**
  76133 Karlsruhe (DE)
- **SCHWEIKE, Uwe**
  76185 Karlsruhe (DE)
- **EDINGER, Wolfram**
  76199 Karlsruhe (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A- 19 534 232
FR-A- 1 341 851
US-A- 3 207 447
US-A- 5 758 831

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 1 673 172 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Prozessreaktor für die elektrodynamische Fragmentierung von in eine Prozessflüssigkeit getauchten, stückigen, mineralischen Materialien durch gepulste Hochspannungsentladungen und ein Verfahren zum Betreiben des Prozessreaktors.

[0002] In seinem grundsätzlichen Aufbau besteht ein solcher Prozessreaktor aus:

> einem geschlossenen Reaktionsbehälter mit trichterförmigem Boden und zentralem Auslass darin. Eine mit Hochspannung beaufschlagbare Elektrode, die Hochspannungselektrode, ragt von oben in diesen hinein. Diese Elektrode ist bis auf ihren frei stehenden Endbereich mit einer elektrischen Isolation ummantelt. Die Hochspannungselektrode ist entlang ihrer Achse verschiebbar, so dass das Ende derselben dem Auslass, dessen metallische Umrandung die andere, auf elektrischem Bezugspotential befindliche Gegenelektrode repräsentiert, am trichterförmigen Boden des Reaktionsbehälters zentral gegenübersteht. Material wird über eine Öffnung in der Wand des Reaktionsbehälters zur Fraktionierung kontinuierlich oder schubweise zugeführt.

[0003] Der überwiegende Teil der bisher bekannt gewordenen Fragmentierungsanlagen arbeitet im Schubbetrieb, im fachlichen Sprachgebrauch auch Batch-Mode genannt, d.h. eine geringe Menge im Bereich von einigen Kilogramm des zu behandelnden Materials wird in den Prozessraum meist von Hand eingebracht und über der Masseelektrode, meist einem Siebboden, deponiert und mittels der Hochspannungsentladungen fragmentiert. Wenn die gewünschte Zahl der Entladungen erreicht ist, wird der Siebdurchgang und, soweit vorhanden, die Siebauflage getrennt entladen. Typischer Vertreter dieser Betriebsweise ist die Franka-0-Anlage DE19534232 C2 (Fign. 5, 6) bzw. ähnliche Anlagen, die beispielsweise in der Veröffentlichung [1] beschrieben werden.

[0004] Für industriell relevante Massendurchsätze ist dieser Batch-Mode nicht sonderlich geeignet. Die in [2] angegebene Vorrichtung ist für die kontinuierliche Befüllung, ist aber u.a. wegen des verwendeten Siebes nicht für größere Massendurchsätze geeignet.

[0005] In der US 6 039 274 (Fig. 1) wird ebenfalls ein kontinuierlicher Materialstrom im Zusammenhang mit einem Sieb bzw. Schwingsieb angegeben, allerdings ist ungelöst: der Durchsatz, die Behandlungsdauer und die Sieblebensdauer.

[0006] Die in der DE 197 27 534 C2 und GB 1 284 426 patentierten, kontinuierlich arbeitenden Verfahren beruhen auf dem Einsatz des elektrohydraulischen Prinzips, d.h. nur der Einwirkung der Schockwellen infolge einer HV-Entladung unter Wasser. Allgemein kann gesagt werden, dass ein wesentlicher Schwachpunkt aller Anlagen mit Siebboden im Prozessgefäß darin liegt, dass abgesehen von den nur relativ kleinen möglichen Massendurchsätzen die größte Zuschlagkomponente, der ein Entkommen aus dem Prozessbereich ermöglicht wird, stets kleiner ist, als die Maschenweite des Siebes. In der Praxis sind die Verhältnisse noch ungünstiger: ist eine Zuschlagkomponente aus dem Material herausgelöst und liegt sie nicht zwangsläufig über einem Loch des Bodensiebs, sondern gelangt dort erst im Verlauf einiger weiterer Entladungen hin, kann sie eine oder weitere Fragmentierung/-en erfahren. Dieser Effekt ist immer dann unerwünscht, wenn neben der grundsätzlichen Forderung nach Zerkleinerung eines Materials auch die Erhaltung der Größe bestimmter Komponenten in einem heterogen Material eine wichtige Rolle spielt. Als Beispiel sei hier die Aufbereitung von Beton angeführt, bei der das Arbeiten über einer Siebelektrode unvermeidlich zu einer unerwünschten Verschiebung der Sieblinie des ursprünglichen Zuschlagmaterials zu kleineren Fraktionen führt. Ein direktes Anmischen neuen Betons auf der Basis dieses Rezyklats ist somit ausgeschlossen. Soll diese Sieblinienverschiebung oder der unerwünschte Mahlprozess vermieden werden, so muss ein Sieb mit größerer Löcheranzahl und mit größerem Lochdurchmesser eingesetzt werden. Dies hat jedoch zur Folge, dass mit größerer Lochzahl die Bruchwahrscheinlichkeit des Siebes zunimmt und dass durch die größeren Löcher nicht nur die Zuschlagkomponenten in der gewünschten Originalgröße, sondern auch kleinere Zuschlagbestandteile mit Restanhaftungen der Zementmatrix und Matrixkonglomerate entkommen. Dies wiederum widerspricht der Forderung nach einer möglichst vollständigen Separation der Komponenten.

[0007] Siebe haben zudem den gravierenden Nachteil einer nicht zu umgehende Tendenz zum Verstopfen infolge von Fremdkörpern im Betonschutt, wie Nägel und Armierungsreste, welche die Funktionsfähigkeit einer technischen Anlage beeinträchtigen.

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, für eine vorzugsweise kontinuierliche und effiziente elektrodynamische Fragmentierung von spröden, stückigen, mineralischen Materialien für industriell relevante Massendurchsätze einen Prozessreaktor bereitzustellen.

[0009] Die Aufgabe wird durch einen Prozessreaktor gemäß den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 und durch ein Verfahren gemäß den Verfahrensschritten des Anspruchs 11 gelöst.

[0010] Der Auslass am trichterförmigen Boden mündet in ein Staurohr, unter dem sich eine Transporteinheit für den Materialabtransport befindet, die das durch das Staurohr absackende prozessierte Fragmentiergut abtransportiert. In der Öffnung der Wand des Reaktionsgefäßes endet eine Materialzuführungseinrichtung, mit der zu fraktionierendes Material in das Reaktionsgefäß eingeleitet wird. Im Reaktionsgefäß vor dem Materialeinlass sitzt eine Staueinrichtung, die den Materialzustrom und die Füllstandshöhe im Reaktionsraum reguliert oder mit der der Materialzustrom reguliert wird.

[0011] Nach Anspruch 11 wird die mittlere Verweildau-

er T_M des Materials in der Reaktionszone durch die Geschwindigkeit des Materialabzuges durch das Staurohr unterhalb der Reaktionszone bestimmt. Diese Geschwindigkeit wird durch die Austrittsfläche A_u am Staurohrausgang, den einstellbaren Abstand a zwischen der unteren Öffnung des Staurohres und der Transport-/Materialab-zugseinheit und deren Geschwindigkeit v_0 festgelegt. Aus der Kombination dieser Parameter ergibt sich die Förderrate dV/dt. Die Länge 1 des Staurohres wird so gewählt, dass sich beim Fragmentieren ein stabiler Schüttwinkel des auf der Transporteinheit auffallenden, fragmentierten Guts ausbildet. Schließlich wird der Fragmentierungsgrad des prozessierten Guts über die mittlere Zahl der Hochspannungspulse n, die auf die Menge m des in der Reaktionszone befindlichen Materials einwirken, und die Förderrate dV/dt sowie die pro Hochspannungsimpuls in das Material eingetragene Energiemenge und die Pulsfolgefrequenz f der Hochspannungspulse eingestellt.

[0012] In den Unteransprüchen 2 bis 9 sind Merkmale beschrieben, mit welchen spezifischen Baukomponenten die Einrichtung aufgebaut werden kann.

[0013] Nach Anspruch 2 ist der zentrale Auslass am trichterförmigen Boden ein metallisches Staurohr mit der oberen lichten Eintrittsfläche A_o, dem Auslass, der unteren lichten Austrittsfläche A_u und der Flächenbeziehung $A_o < A_u$. Dieser Auslass hat einen konischen Rand und fügt sich bündig und glatt in den konischen Teil des trichterförmigen Bodens ein. Die metallische Umrandung des Auslass bildet die Gegenelektrode in dem Zweielektrodensystem des Prozessreaktors und ist an ein Bezugspotential, meist Erdpotential, angeschlossen.

[0014] Im Falle des kreisförmigen Querschnitts und damit senkrecht sitzenden Staurohrs stehen Durchmesser und Querschnitt über $A = \pi d^2/4$ in Beziehung. Im Allgemeinen kann das Staurohr runden oder polygonalen Querschnitt haben und senkrecht oder schräg vom Reaktor wegführen. Auf dem trichterförmigen Boden sitzt die metallische Wand des Reaktionsgefäßes auf, sie ist an das gleiche Bezugspotential wie das Staurohr gelegt.

[0015] Das Staurohr mündet senkrecht oder schräg in einen Abzugskanal, und steht mit einem einstellbarem Abstand a über der Transporteinheit für den Materialabtransport.

[0016] In die Öffnung der Wand des Reaktionsgefäßes mündet eine Materialzuführungseinrichtung, mit der zu fragmentierendes Gut in das Reaktionsgefäß eingebracht wird.

[0017] Eine Staueinrichtung sitzt in dem oder ragt in das Reaktionsgefäß, die die Füllstandshöhe oder der Materialzustrom reguliert.

[0018] Die Hochspannungselektrode ist, wie in Anspruch 3 beschrieben, aus elektrisch gut leitfähigem, abbrandarmen Metall. Nach Anspruch 4 kann sie massiv also vollzylindrisch oder röhrenförmig also hohlzylindrisch sein mit jeweils rundem oder polygonalem Querschnitt.

[0019] Die Stirn mit dem mittleren Durchmesser d_e steht der konischen Aufweitung am Auslassrohr steht unter Bildung eines konisch ringförmigen Spaltes zwischen der Hochspannungselektrode und der auf dem Bezugspotential liegenden Elektrode mit der umfänglich konstanten Weite g parallel gegenüber und bildet damit die konisch ringförmige Reaktionszone für das Fragmentieren.

[0020] Die Materialzuführungseinrichtung ist nach Anspruch 5 beispielsweise ein aus der Fördertechnik bekannter Rüttler oder ein Transportband. Die Staueinrichtung im Reaktionsgefäß ist nach Anspruch 6 beispielsweise eine an der Wand des Reaktionsgefäßes geführte, höhenverstellbare Prallwand, die in geschlossener Stellung auch mit ihrem Bodenrand das Reaktionsgefäß berührt oder dort aufsitzt. Andrerseits kann die Staueinrichtung nach Anspruch 7 eine an der Innenwand des Reaktionsraums waagrecht oder helikal umlaufende Gruppe aus mindestens einer Rinne sein, entlang deren Bodenlinie sich Löcher befinden, an denen jeweils ein Rohr mit mindestens der lichten Weite des Lochdurchmessers ansetzt, damit durchfallendes Gut nicht verklemmen kann. Die Rohre führen nahe der Reaktorwand nach unten und münden in das eigentliche Reaktionsvolumen.

[0021] Als Transporteinheit kommt beispielsweise in Frage:

[0022] Ein Stauscheibe nach Anspruch 8, auf der das aufgeschüttete, fraktionierte Gut weggedreht und beispielsweise über ein Abscheidebrett runtergelenkt wird, oder ebenfalls ein Transportband nach Anspruch 9.

[0023] Der Beginn der Entladungskanäle an den beiden Elektroden ist entscheidend für den zuverlässigen Langzeitbetrieb der Fragmentieranlage. An den Austrittsflächen sollen sie in einem vorgesehenen Gebiet beginnen, damit der Elektrodenabbrand nicht lokal festsitzt, sondern bei jeder Entladung möglichst statistisch gleichmäßig verteilt auftritt. Zwei Oberflächenzustände können nach Anspruch 10 dazu beitragen, nämlich die ringförmige Stirn der Hochspannungselektrode ist im vorgesehenen Startgebiet der Entladungskanäle an ihrer Oberfläche glatt oder derart rau gestaltet, dass durch die Formgebung statistisch gleichverteilt lokale Überhöhungen des elektrischen Feldes zustande kommen.

[0024] Bei der elektrodynamischen Fragmentierung wird mit gepulsten Hochspannungsentladungen prozessiert. Die elektrische Entladung geht in diesem Regime zumindest überwiegend durch das zu fragmentierende Gut und nicht darum herum nur durch die Prozessflüssigkeit.

[0025] Der Prozessreaktor erfüllt folgende Anforderungen:

- kontinuierliche und kontrollierte Zu- und Abfuhr des zu fragmentierenden Materials zum und aus dem Reaktionsvolumen;
- Anordnung von Hochspannungs- und Masselektrode derart, dass große Materialdurchsätze erzielt werden.

[0026] Durch diese Maßnahmen werden die folgenden Vorteile erreicht:

- Die Füllhöhe des Materials im Prozessreaktor wird konstant gehalten. Dies ist ein wesentlicher Punkt, da beim Versagen der Staueinrichtung der Prozessreaktor in dem Fall, in dem die Anlieferung des Materials schneller erfolgt als die Bearbeitung und Abfuhr - ein Szenario, das bei Betriebsstörungen leicht eintreten kann - sukzessive mit zugeliefertem Material aufgefüllt werden würde. Dies hätte zwei nachteilige Auswirkungen:

  Erstens, die Materialkinetik im Prozessraum wird durch die Überschichtung mit großen Materialmengen eingeengt. Das Material kann sich bei der Bearbeitung unter der Einwirkung der Schockwellen bei jedem Puls weniger frei umschichten und die Fraktionierung erfolgt weniger gleichmäßig.
  Zweitens, die hohe Überschichtung des Reaktionsraumes mit nachfolgendem Material führt erfahrungsgemäß zu Kavernenbildung, als Silo-Effekt bezeichnet. Diese Kavernen sind teilweise durch Ausbildung einer Art Gewölbedecke von so großer Stabilität, dass die Materialnachförderung total zum Erliegen kommt.

- Die mittlere Verweildauer des zu fragmentierenden Gutes im Reaktionsvolumen kontrolliert, um den gewünschten Grad der Fragmentierung durch eine mittlere Zahl von Entladungen je Masseeinheit des durchgesetzten Materials zu erreichen.
- Das fragmentierte Material wird aus dem Reaktionsvolumen kontrolliert und kontinuierlich abgeführt.

[0027] Die Gestaltung der Elektrodengeometrie bringt die folgenden Vorteile:

- Die Hochspannungsentladungen gehen bevorzugt durch das zu fragmentierende Material, es wird elektrodynamisch fraktioniert, d.h. Entladungswege durch das Material explodieren dasselbe zunächst, darauf folgende Schockwelleneinwirkung mahlt das Material weiter durch äußere Einwirkung.
- Keine Entladungen treten an der Oberfläche der Isolation der Hochspannungselektrode auf.

[0028] Entsprechend konstruktive, feldentlastende Maßnahmen, wie in der DE 101 26 646 A1 beschrieben, werden im Bereich des Isolationsendes durch die Formgebung der Hochspannungselektrode getroffen.

[0029] Gegenüber den bisher üblicherweise verwendeten, zylindrischen HV-Elektroden, die einer Masseplatte oder einem Siebboden in Abständen von ca. 20 bis 40 mm gegenüberstehen (siehe z.B. DE 195 34 232 C2), weist die hier angegebene Elektrodenanordnung die Vorteile auf:

- der Reaktionsraum ist bei gleichem Elektrodenabstand auf Grund seiner konischen Ringform wesentlich größer, demnach kann mehr Material durchgesetzt und bearbeitet werden;
- der Abbrand beider Elektroden ist wegen derer größerer Oberflächen und der statistisch über deren Umfang verteilt auftretenden Funken geringer;
- die Masseelektrode, das Staurohr, weist nicht die üblichen siebähnlichen Strukturen mit den damit verbundenen Problemen der mechanischen Stabilität sowie der Verstopfung auf;
- eine Kompensation des Elektrodenabbrandes wird durch eine vertikale Verschiebung in z-Richtung der HV-Elektrode gemeinsam mit deren Isolator 2 durchgeführt und damit auch der Elektrodenabstand g an die optimalen Prozessparameter angepasst;
- wegen der stochastischen Natur der Verteilung der Materialbrocken in der Reaktionszone bzw. der Funkenbildung ist das Staurohr insgesamt die Masseelektrode und hat daher auch eine axiale Ausdehnung

[0030] Im Folgenden wird der Aufbau des Prozessreaktors gemäß den Ansprüchen 2, 7 und 8 anhand der Zeichnung vorgestellt.

[0031] Figur 1 zeigt den Prozessreaktor im axialen Schnitt, Figur 2 vergrößert das Reaktionsgebiet mit naher Umgebung und Staurohr.

[0032] Das zu fragmentierende Material wird über das schwingfähig gelagerte Rohr 5, den Rüttler, vom Materialaufnahmetrichter in den tonnenförmigen Reaktionsbehälter 1 aus Blech gefördert/gerüttelt. Die zugeführte Materialmenge ist durch die Intensität des Schwingförderantriebs 6 einstellbar. Um ein Überfüllen des Reaktionsbehälters 1 zu vermeiden aber auch zum Schutz der Hochspannungselektrode 3 samt Isolator 2 ist die Prallplatte 7 höhenverstellbar eingebaut. Mit der einstellbaren Durchlassweite w zwischen der Prallplattenunterkante und der trichterförmigen Wand des Reaktionsbehälters 1 wird die Höhe der Schüttung des zu prozessierenden Guts im Reaktionsraum oberhalb der Reaktionszone 8 unabhängig von der Intensität des Schwingförderers 6 oder des Materialtransportes nach oben hin begrenzt. Dadurch wird die Aufenthaltsdauer des Materials vor seiner Prozessierung reduziert. Die Beschränkung der Gesamtmenge an Material im Reaktionsbehälter 1 ist darüber hinaus für den Fall von Reparaturarbeiten von Bedeutung.

[0033] Das tellerähnlich geformte Ende 4 der Hochspannungselektrode 3 mit dem mittleren Durchmesser d_e der Stirn bildet den Ringspalt der Breite g mit der gegenüberliegenden trichterförmigen Masseelektrode 9. Die Hochspannungsentladungen treten bevorzugt an den Orten höchster Feldstärke auf, d.h. zwischen dem Ende 4 der Hochspannungselektrode 3, einem hiermit in Kontakt stehenden mineralischen Materialbrocken mit geringerer relativer Dielektrizitätskonstanten ε_r als die Prozessflüssigkeit, hier Wasser, und dem Reaktionsbehälter 1 hier auf Masse-/Erdpotential. Bei der räumlich

und zeitlich statistischen Berührung des Fragmentierguts mit den Elektroden 4 und 9, treten so auch die HV-Entladungen statistisch verteilt über den Umfang der Elektroden 4, 9 auf.

[0034] Zu- und Ablauf der bei der elektrodynamischen Fragmentierung benötigten Prozessflüssigkeit - meist Wasser - erfolgen über Öffnungen im Boden des Reaktionsbehälters 11, 12.

[0035] Oberhalb der Reaktionszone 8 ist ausreichend zu fragmentierendes Material aufgeschüttet und der Materialdurchsatz durch diese Zone geometrisch nicht begrenzt, auch sei der Pulsgenerator/elektrische Energiespeicher genügend stark ausgelegt. Dann wird die mittlere Verweildauer T_M des Materials in der Reaktionszone durch die Geschwindigkeit des Materialabzugs durch das Staurohr 9 bestimmt. Das Staurohr 9 ist stark konisch mit seinem der Hochspannungselektrode 3 gegenüberstehenden Bereich, hat hier kreisrunden Querschnitt und öffnet sich schwach konisch nach unten. Der Eintritt von der Reaktionszone 8 in das Staurohr hat die kleinere lichte Weite d_o und damit die kreisförmige Eintrittsfläche A_o und der Austritt die größere lichte Weite d_u mit der entsprechend größeren Austrittsfläche A_u. Die Abzugsgeschwindigkeit v_0 bzw. Förderrate dV/dt aus der Reaktionszone 8 wird, bedingt durch den einstellbaren Abstand a zwischen dem Ausgang des Staurohrs 9 und der Transporteinheit 10, die hier ein Transportband ist, das sich mit der einstellbaren Geschwindigkeit v_o bewegt, von der rückstauenden Oberfläche des Austrags auf dem Transportband bestimmt. Die Länge 1 des Staurohrs 9 wird so gewählt, dass sich unter Wasser und trotz der Erschütterungen durch den Fragmentierungsprozess ein stabiler Schüttwinkel auf der rückstauenden Oberfläche ausbildet. Unter diesen Bedingungen wird die mittlere Zahl n der Hochspannungspulse, die auf die Menge m des durchgesetzten Materials einwirkt, durch die Stauparameter a, v_0 sowie die Pulsfolgefrequenz f der Hochspannungspulse festgelegt. Über diese Parameter wird der Fragmentierungsgrad des durchgesetzten Materials gesteuert. Bei konstanten Stauparametern führt die Erhöhung/Reduktion der Pulsfolgefrequenz f zu einer höheren/geringeren Fragmentierung. Werden die Grenzen der Leistungsfähigkeit des Pulsgenerators erreicht oder wirken der Elektrodenabstand g und/oder der elektrodenseitige Durchmesser d_o des Staurohrs begrenzend, müssen die Stauparameter angepasst werden, d.h. der Abstand a zum rückstauenden Element und/oder die Geschwindigkeit v_o der rückstauenden Oberfläche reduziert werden.

Bezugszeichenliste:

[0036]

1. Reaktionsbehälter
2. Hochspannungsisolator
3. Hochspannungselektrode
4. Ende/Stirn der Hochspannungselektrode
5. Rohr/Rüttler
6. Schwingförderantrieb
7. Prallplatte
8. Reaktionszone
9. Staurohr, Masseelektrode
10. Transporteinheit
11. Düse
12. Siebfilter

Referenzen:

[0037]

[1] Hammon J. et al. "Electric pulse rock sample disintegrator", Proc. 28th IEEE Int. Conf on Plasma Science and 13th IEEE Int. Pulsed Power Conf. (PPPS-2001), Las Vegas, USA, June 17-22, 2001, pp 1142-1145

[2] Andres, J. in: Int. Journal of Mineral Processing, 4 (1977) 33-38

Patentansprüche

1. Prozessreaktor für die elektrodynamische Fragmentierung von in eine Prozessflüssigkeit getauchten, stückigen, mineralischen Materialien durch gepulste Hochspannungsentladungen, bestehend aus:

einem Reaktionsbehälter mit trichterförmigem Boden,
einer von oben in diesen ragenden, mit Hochspannung beaufschlagbaren Elektrode, die Hochspannungselektrode, die bis auf ihren Endbereich mit einer elektrischen Isolation ummantelt ist,
wobei die Hochspannungselektrode entlang ihrer Achse verschiebbar ist, so dass das Ende derselben dem zentralen Auslass, wo sich die andere, die auf elektrischem Bezugspotential befindliche Elektrode befindet, am trichterförmigen Boden des Reaktionsbehälters in variablem Abstand gegenübersteht, **dadurch gekennzeichnet, dass**:

der Auslass am trichterförmigen Boden in ein Staurohr mündet, unter dem sich eine Transporteinheit (10) für den Materialabtransport befindet, die das durch das Staurohr absackende prozessierte Fragmentiergut abtransportiert,
in die Öffnung der Wand des Reaktionsgefäßes (1) eine Materialzuführungseinrichtung (5) mündet, mit der zu fraktionierendes Material in das Reaktionsgefäß (1) eingeleitet wird,
im Reaktionsgefäß (1) vor dem Materialein-

lass eine Staueinrichtung (7) sitzt, die den Materialzustrom und die Füllstandshöhe im Reaktionsraum reguliert oder mit der der Materialzustrom reguliert wird,

2. Prozessreaktor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass**
der zentrale Auslass am trichterförmigen Boden ein metallisches Staurohr (9) der Länge 1 mit der oberen lichten Weite do und der unteren lichten Weite du und do < du ist, einen konischen Rand hat und bündig und glatt in den konischen Teil des trichterförmigen Bodens eingelassen ist und die auf Bezugspotential liegende Elektrode bildet,
die auf den trichterförmigen Boden des Reaktionsgefäßes (1) aufsitzende Wand ebenfalls metallisch ist und diese und das Staurohr (9) auf einem gemeinsamen elektrischen Potential, dem Bezugspotential, liegen.

3. Prozessreaktor nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass**
die Hochspannungselektrode (3) aus elektrisch gut leitfähigem, abbrandarmen Metall ist,
außerhalb des Reaktionsraumes an ihr ein isolierender Schlauch zur Kühlwasserzuführung angeschlossen ist,
am der Elektrode auf Bezugspotential gegenüberliegenden freien Ende trichterförmig aufgeweitet ist und,
wobei die Stirn mit dem Durchmesser de der konischen Aufweitung am Auslassrohr (9) unter Bildung eines konisch ringförmigen Spaltes zwischen der Hochspannungselektrode (3) und der auf dem Bezugspotential liegenden Elektrode (9) mit der umfänglich konstanten Weite g parallel gegenübersteht und damit die konisch ringförmige Reaktionszone (8) für das Fragmentieren bildet,

4. Prozessreaktor nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass**
Hochspannungselektrode (3) vollzylindrisch oder hohlzylindrisch ist und runden oder polygonalen Querschnitt hat.

5. Prozessreaktor nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass**
die Materialzuführungseinrichtung (5) ein Rüttler oder ein Transportband ist.

6. Prozessreaktor nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass**
die Staueinrichtung (7) eine höhenverstellbare Prallwand ist.

7. Prozessreaktor nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass**
die Staueinrichtung (7) eine an der Innenwand des Reaktionsraums waagrecht oder helikal umlaufende Gruppe aus mindestens einer Rinne ist, entlang deren Bodenlinie sich Löcher befinden, an denen jeweils ein Rohr mit mindestens der lichten Weite des Lochdurchmessers ansetzt, und die Rohre nahe der Reaktorwand nach unten führen und kurz vor dem Reaktionsboden enden.

8. Prozessreaktor nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass**
die Transporteinheit (10) für den Materialabtransport eine Stauscheibe ist.

9. Prozessreaktor nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass**
die Transporteinheit (10) für den Materialabtransport ein Transportband ist.

10. Prozessreaktor nach einem der Ansprüche 8 und 9, **dadurch gekennzeichnet, dass**
die ringförmige Stirn der Hochspannungselektrode (3) an ihrer Oberfläche glatt oder derart gestaltet ist, dass durch die Formgebung lokale Überhöhungen des elektrischen Feldes zustande kommen.

11. Verfahren zur elektrodynamischen Fragmentierung von in eine Prozessflüssigkeit getauchten, stückigen, mineralischen Materialien durch gepulste Hochspannungsentladungen mit einem Prozessreaktor gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, bestehend aus den Schritten:

das zu fragmentierende Material wird über eine Materialzuführungseinrichtung regulierbar in den tonnenförmigen Reaktionsbehälter (1) eingeleitet,
die Höhe der Materialschüttung im Reaktionsbehälter (1) wird über eine Staueinrichtung nach oben hin begrenzt,
die mittlere Verweildauer TM des Materials in der Reaktionszone (8) wird durch die Geschwindigkeit des Materialabzuges durch ein Staurohr (9) unterhalb der Reaktionszone (8) bestimmt, wobei diese Geschwindigkeit durch die Förderrate dV/dt der Transport-/Materialabzugseinheit (10) bestimmt wird,
die Länge 1 des Staurohres (9) so gewählt wird, dass sich beim Fragmentieren ein stabiler Schüttwinkel des auf der Transporteinheit (10) abfallenden, fragmentierten Guts ausbildet,
der Fragmentierungsgrad des prozessierten Guts wird über die mittlere Zahl der Hochspannungspulse n, die auf die Menge m des in der Reaktionszone befindlichen Materials einwirken, und die Förderrate dV/dt sowie die pro Hochspannungsimpuls in das Material eingetragene Energiemenge und die Pulsfolgefrequenz f der Hochspannungspulse eingestellt,

Claims

1. Process reactor for the fragmentation of lumpy mineral materials immersed in a process liquid in an electro-dynamic manner by means of pulsed high-voltage discharges, the said process reactor comprising:

   a reaction container with a funnel-shaped bottom,
   an electrode that extends from above into the said reaction container and can be impinged upon by high-voltage, the high-voltage electrode, being encased up to its end region by an electric insulating means, wherein the high-voltage electrode is displaceable along its axis such that, the end of the said high-voltage electrode is located on the funnel-shaped bottom of the reaction container, at a variable spacing, opposite the central outlet, where the other electrode, at electric reference potential, is situated, **characterised in that**:

   the outlet on the funnel-shaped bottom opens out into a Pitot tube, under which there is situated a transport unit (10) for removing the material, the said transport unit removing the processed fragmented product to be packed into sacks by the pressure tube,
   a material supplying device (5) opens out into the opening in the wall of the reaction vessel (1), the said material supplying device introducing material to be fractioned into the reaction vessel (1), and
   a dynamic pressure device (7) is situated upstream of the material inlet in the reaction vessel (1), the said dynamic pressure device controlling the material flow and the filling level in the reaction chamber or the material flow being controlled by means of the said dynamic pressure device.

2. Processing reactor according to claim 1, **characterised in that** the central outlet at the funnel-shaped bottom is a metallic Pitot tube (9) of the length l with the upper clearance do and the lower clearance du, where do < du, has a conical edge, is admitted into the conical part of the funnel-shaped bottom in a flush and smooth manner and forms the electrode at reference potential, the wall mounted on the funnel-shaped bottom of the reaction vessel (1) is also metallic and the said wall and the Pitot tube (9) are at a common electrical potential, the reference potential.

3. Processing reactor according to claim 2, **characterised in that** the high-voltage electrode (3) is made of low-combustion metal that is highly electrically conducting,
   an insulating hose to the cold water supply is connected to the said high-voltage electrode externally of the reaction chamber,
   the free end situated opposite the electrode at reference potential is widened in the shape of a funnel and,
   wherein the face with the diameter de, in an equidistant manner and at the extensively constant width g, is located opposite the conical widening at the outlet tube (9), thereby forming a conically ring-shaped gap between the high-voltage electrode (3) and the electrode (9) that is at reference potential, and consequently forms the conically ring-shaped reaction zone (8) for the fragmenting.

4. Processing reactor according to claim 3, **characterised in that** high-voltage electrode (3) is fully cylindrical or hollow cylindrical and has a round or polygonal cross-section.

5. Processing reactor according to claim 4, **characterised in that** the material supplying device (5) is a vibrator or a conveyor belt.

6. Processing reactor according to claim 5, **characterised in that** the dynamic pressure device (7) is a vertically adjustable baffle wall.

7. Processing reactor according to claim 5, **characterised in that** the dynamic pressure device (7) is a group made up by at least one channel circulating in a horizontal or helical manner on the inside wall of the reaction chamber, holes being located along the bottom line of the said channel, to each of which a tube with at least the clearance of the diameter of the hole is affixed, and the tubes lead downwards in the vicinity of the reactor wall and end shortly before the reaction bottom.

8. Processing reactor according to one of claims 5 to 7, **characterised in that** the transport unit (10) is a baffle plate for the removal of the material.

9. Processing reactor according to one of claims 5 to 7, **characterised in that** the transport unit (10) is a conveyor belt for the removal of the material.

10. Processing reactor according to one of claims 8 and 9, **characterised in that** the surface of the ring-shaped face of the high-voltage electrode (3) is developed smoothly or in such a manner that through the shaping local magnifications of the electric field come about.

11. Method for fragmenting lumpy mineral materials immersed in a process liquid in an electro-dynamic

manner by means of pulsed high-voltage discharges including a processing reactor in accordance with one of claims 1 to 9, the said method comprising the steps:

the material to be fragmented is introduced into the barrel-shaped reaction container (1) in a controllable manner by means of a material supplying device,
the height of the loose material in the reaction container (1) is limited upwards by means of a dynamic pressure device,
the mean dwell time TM of the material in the reaction zone (8) is determined by means of a Pitot tube (9) underneath the reaction zone (8) through the speed of the material removal, wherein the said speed is determined by the discharge rate dV/dt of the transport / material removal unit (10),
the length l of the Pitot tube (9) is selected such that during the fragmenting process the fragmented product falls on the transport unit (10) at a stable angle of repose,
the degree of fragmentation of the processed product is set by means of the average number of the high-voltage pulses n, which have an effect on the quantity m of the material situated in the reaction zone, and the discharge rate dV/dt as well as the amount of energy registered in the material per high-voltage pulse and the pulse repetition frequency f of the high-voltage pulse.

Revendications

1. Réacteur de traitement pour la fragmentation électrodynamique de matériaux minéraux morcelés plongés dans un liquide de traitement à l'aide de décharges à haute tension pulsées, comprenant :

- un récipient de réaction avec un fond en forme d'entonnoir,
- une électrode pouvant être alimentée en haute tension, cette électrode haute tension, faisant saillie par le haut dans le récipient, est enrobée par une isolation électrique, à l'exception de sa zone terminale,

l'électrode haute tension pouvant être déplacée le long de son axe, de telle sorte que son extrémité se situe face à la sortie centrale, où l'autre électrode, reliée à un potentiel de référence électrique, se trouve au fond en forme d'entonnoir du récipient de réaction, à une distance variable,
caractérisé en ce que
la sortie du fond en forme d'entonnoir débouche dans un tube de retenue sous lequel une unité de transport (10) évacue le produit fragmenté traité qui descend du tube de retenue,
dans l'ouverture de la paroi du récipient de réaction (1) débouche un dispositif d'amenée de matériau (5) à fractionner introduit dans le récipient de réaction (1), et
dans le récipient de réaction (1), face à l'entrée, un dispositif de retenue (7) en régule l'afflux et le niveau de remplissage de la chambre de réaction.

2. Réacteur de traitement selon la revendication 1, **caractérisé en ce que**
la sortie centrale du fond en forme d'entonnoir est un tube de retenue (9) métallique de longueur 1 dont la largeur libre supérieure do et la largeur libre inférieure du, sont telles que do < du,
une bordure conique s'engage par complémentarité de formes et de façon lisse dans la partie conique du fond en forme d'entonnoir et forme l'électrode reliée au potentiel de référence,
la paroi métallique placée sur le fond en forme d'entonnoir du récipient de réaction (1) est également métallique et reliée ainsi que le tube de retenue (9) au même potentiel électrique de référence.

3. Réacteur de traitement selon la revendication 2, **caractérisé en ce que**
l'électrode haute tension (3) est en métal bon conducteur d'électricité peu exposé à l'usure,
à l'extérieur de la chambre de réaction un flexible isolant est raccordé à celle-ci pour amener de l'eau de refroidissement, elle est évasée en forme d'entonnoir à l'extrémité libre située face à l'électrode reliée au potentiel de référence, et
le front de diamètre moyen de se situe parallèlement en face de l'évasement conique sur le tube de sortie (9) en formant une fente annulaire conique entre l'électrode haute tension (3) et l'électrode reliée au potentiel de référence (9) avec une largeur g périphérique constante, et forme ainsi la zone de réaction (8) annulaire conique pour la fragmentation.

4. Réacteur de traitement selon la revendication 3, **caractérisé en ce que**
l'électrode haute tension (3) est entièrement de forme cylindrique ou cylindrique creuse et sa section transversale est circulaire ou polygonale.

5. Réacteur de traitement selon la revendication 4, **caractérisé en ce que**
le dispositif d'amenée de matériau (5) est un vibreur ou une bande de transport.

6. Réacteur de traitement selon la revendication 5, **caractérisé en ce que**
le dispositif de retenue (7) est une paroi de rebondissement réglable en hauteur.

7. Réacteur de traitement selon la revendication 5,

caractérisé en ce que
le dispositif de retenue (7) est un groupe d'au moins un canal tournant de façon horizontale ou hélicoïdale sur la paroi intérieure de la chambre de réaction,
le long de la ligne de fond des trous sont prévus auxquels est raccordé respectivement un tube d'une largeur libre au moins égale au diamètre de trou, et les tubes mènent près de la paroi de réacteur vers le bas et débouchent juste avant le fond de réaction.

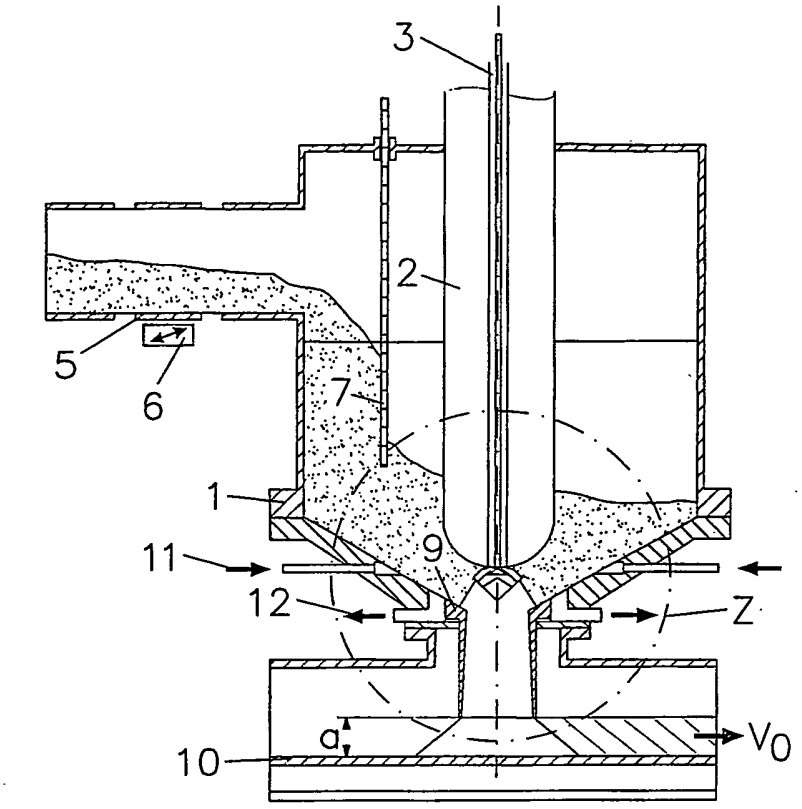
8. Réacteur de traitement selon l'une des revendications 5 à 7,
caractérisé en ce que
l'unité de transport (10) pour l'évacuation du matériau est une plaque de retenue.

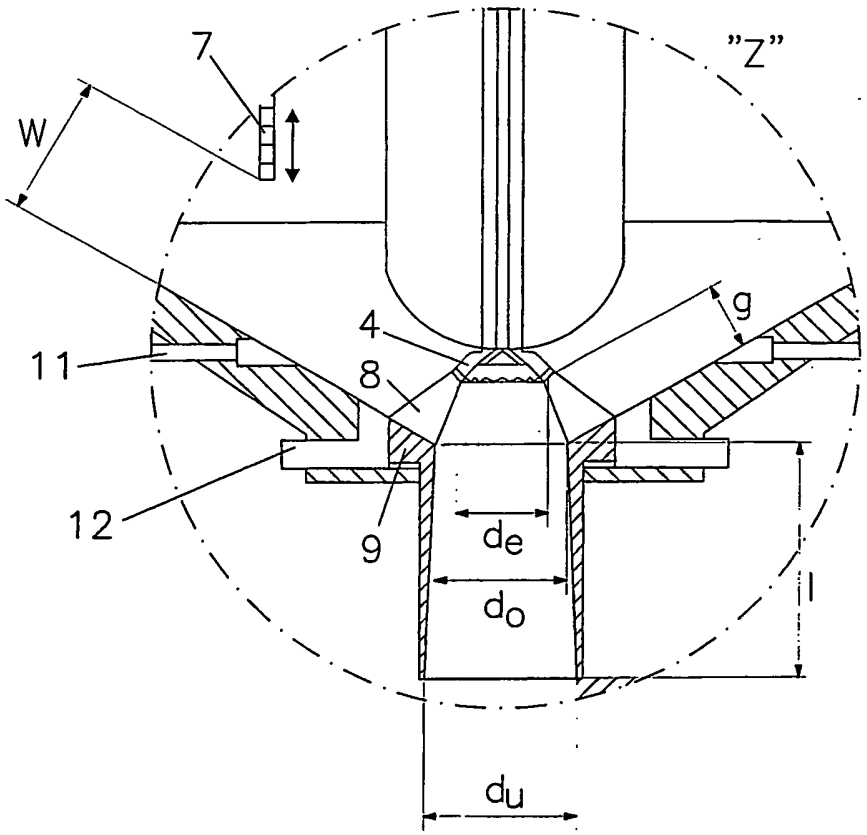
9. Réacteur de traitement selon l'une des revendications 5 à 7,
caractérisé en ce que
l'unité de transport (10) pour l'évacuation du matériau est une bande de transport.

10. Réacteur de traitement selon l'une des revendications 8 et 9,
caractérisé en ce que
le front annulaire de l'électrode haute tension (3) a une surface lisse ou alors est configurée de telle sorte que par sa conformation on obtienne des élévations locales du champ électrique.

11. Procédé pour la fragmentation électrodynamique de matériaux minéraux morcelés plongés dans un liquide de traitement à l'aide de décharges haute tension pulsées avec un réacteur de traitement selon l'une des revendications 1 à 9, comprenant les étapes :

- introduction du matériau à fragmenter de façon régulable dans le récipient de réaction (1) en forme de tonneau par un dispositif d'amenée de matériau,
- limitation de la hauteur du versement de matériau dans le récipient de réaction (1) par un dispositif de retenue,
- détermination de la durée de séjour moyenne TM du matériau dans la zone de réaction (8) par la vitesse d'extraction du matériau à travers un tube de retenue (9) en dessous de la zone de réaction (8), cette vitesse étant déterminée par le débit dV/dt de l'unité de transport/d'extraction de matériau (10),
- choix de la longueur $\underline{1}$ du tube de retenue (9) pour obtenir lors de la fragmentation un angle de versement stable du produit fragmenté tombant sur l'unité de transport (10),
- régulation du degré de fragmentation du produit traité par le nombre moyen d'impulsions haute tension $\underline{n}$ qui agissent sur la quantité $\underline{m}$ du matériau situé dans la zone de réaction, et par le débit dV/dt ainsi que par la quantité d'énergie introduite dans le matériau par impulsion haute tension et par la fréquence du train d'impulsions $\underline{f}$ des impulsions haute tension.


3
2
5
6
7
1
11
9
12
Z
a
10
V_0


7
"Z"
W
g
4
11
8
12
9
d_e
d_o
l
d_u

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 19534232 C2 **[0003] [0029]**
- US 6039274 A **[0005]**
- DE 19727534 C2 **[0006]**
- GB 1284426 A **[0006]**
- DE 10126646 A1 **[0028]**

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **HAMMON J. et al.** Electric pulse rock sample disintegrator. *Proc. 28th IEEE Int. Conf on Plasma Science and 13th IEEE Int. Pulsed Power Conf. (PPPS-2001,* 17. Juni 2001, 1142-1145 **[0037]**
- **ANDRES, J.** *Int. Journal of Mineral Processing,* 1977, vol. 4, 33-38 **[0037]**