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

(11) **EP 3 603 811 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
02.11.2022 Patentblatt 2022/44

(21) Anmeldenummer: **19189504.4**

(22) Anmeldetag: **01.08.2019**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
B02C 13/20 *(2006.01)* ***B02C 13/24*** *(2006.01)*
B02C 19/06 *(2006.01)*

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
B02C 13/205; B02C 13/24; B02C 19/06

(54) **ZERKLEINERUNGSVERFAHREN UND -ANLAGE**

CRUSHING METHOD AND APPARATUS

PROCÉDÉ ET INSTALLATION DE BROYAGE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **01.08.2018 DE 102018212830**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
05.02.2020 Patentblatt 2020/06

(73) Patentinhaber: **FINEGRI UAB**
01402 Vilnius (LT)

(72) Erfinder: **ARTEMIEVA, Elena Vladimirovna**
86462 Langweid am Lech (DE)

(74) Vertreter: **Friese Goeden Patentanwälte PartGmbB**
Widenmayerstraße 49
80538 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A1-00/10709
WO-A1-99/51352
RU-C1- 2 166 367

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 3 603 811 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft das Gebiet der Feinstzerkleinerung von festen Materialien, die verschiedener Herkunft und Zusammensetzung und von verschiedenem Festigkeitsgrad sein können. Sie kann insbesondere zur Verarbeitung von Mineralien und festen fossilen Rohstoffen jeder Art in der Bau-, Bergbau- und Verhüttungsindustrie, in der chemischen Industrie und in anderen Industrien sowie im Rahmen der Produktion von hochqualitativen Zementen, Kraftfutter, Mehlen und feingemahlenen Mehrkomponentenmischungen aus Mineralien und Pulvern verwendet werden.

[0002] Die Erfindung wird in Form eines neuen Verfahrens sowie einer speziellen Vorrichtung, in der das Verfahren umgesetzt wird, verwirklicht.

[0003] Hinsichtlich des technischen Grundgehalts der Erfindung kommt ihr derjenige Stand der Technik am nächsten, der in der internationalen Patentanmeldung WO 99/51352 veröffentlicht wurde. In dieser Veröffentlichung wird ein Verfahren beschrieben, das eine Zerkleinerung eines ggf. vorzerkleinerten Rohmaterials (Mahlguts) beinhaltet. Zum Zweck der Zerkleinerung werden einzelne radial verlaufende Ströme aus dem zu zerkleinernden Material in einer Vielzahl von Kanälen gebildet, die von der Achse einer Vorrichtung mit zwei gegenläufig in einer im Wesentlichen ebenen waagerechten Zone rotierenden Rotoren nach außen verlaufen. In den Kanälen werden die Materialströme einer Zentrifugalkraft unterworfen und die mehr oder weniger groben bzw. feinen Teilchen des Materialstroms treffen bei ihrem Weg zur Peripherie der Rotoren auf Zerkleinerungselemente, die ringförmig auf den sich gegenläufig drehenden Rotoren montiert sind. Dabei werden die Materialströme zwischen den Zusammenstößen mit den Zerkleinerungselementen auf ihrem Weg zur Peripherie der Rotoren beschleunigt. Der Querschnitt (die Umfangskontur) der Kanäle zwischen den Zerkleinerungselementen hat eine geschlossene Form, d.h. die mit den gegenläufigen Rotoren rotierenden Kanalabschnitte haben auf allen Seiten Wände (sind gedeckt). Die Zerkleinerung erfolgt im Wesentlichen aufgrund der Schläge, die auf das zu zerkleinernde Material auf seinem Weg zur Peripherie der Rotoren beim Auftreffen auf die Zerkleinerungselemente einwirken. In der äußersten Zone wird das zerkleinerte Material aus den einzelnen Kanälen zwischen den Zerkleinerungselementen des am weitesten außen liegenden Rings direkt in das Gehäuse der Zerkleinerungsvorrichtung abgegeben und über eine Austrittsöffnung aus dem Gehäuse abgeführt.

[0004] Die in der genannten Veröffentlichung WO 99/51352 gezeigte Vorrichtung ist ein Zerkleinerer, der folgende Komponenten umfasst: ein Gehäuse mit einer axialen Eintritts- und einer tangentialen Austrittsöffnung sowie einer im Wesentlichen zylindrischen ringförmigen Zerkleinerungskammer; in der letzteren sind zwei waagerecht und koaxial angeordnete Rotoren montiert; diese Rotoren können sich im Gegenlauf drehen und sind innen, d.h. auf der dem jeweils anderen Rotor zugewandten Rotorenoberfläche mit ringförmig angeordneten Zerkleinerungselementen versehen, zwischen denen Kanalabschnitte verlaufen, die für die Zentrifugalwirkung sorgen; die zwischen den Zerkleinerungselementen der Rotoren verlaufenden Kanäle weisen einen Querschnitt mit einer geschlossenen Kontur auf. Auf die Offenbarung in der WO 99/51352 wird zur eventuellen Ergänzung der Offenbarung und Begriffsklärung im Hinblick auf Elemente, die auch in der vorliegenden Erfindung genutzt werden, ausdrücklich Bezug genommen.

[0005] Ohne die Vorzüge der oben erwähnte Erfindung des Standes der Technik (Verfahren, Anlage) herabsetzen zu wollen, kann nichtsdestotrotz gesagt werden, dass sie einen wesentlichen Nachteil aufweist, nämlich dass bei ihr nur ein einziges Zerkleinerungsprinzip zur Anwendung kommt, nämlich eine Zerkleinerung des Materials aufgrund der Schlagwirkung bei seinem Auftreffen auf die mit den Rotoren gegenläufig rotierenden Zerkleinerungselemente der Zerkleinerungsvorrichtung (Mahlvorrichtung). Das begrenzt den Zerkleinerungsgrad. Um Feinstpartikel zu erhalten, ist ein anschließendes weiteres Vermahlen in einer anderen Zerkleinerungsvorrichtung erforderlich, die nach einem anderen Zerkleinerungsverfahren arbeitet. Deshalb ist bei einem Verfahren bzw. einer Anlage des genannten Standes der Technik nach den einzelnen Mahlgängen in der Regel eine zusätzliche Auftrennung (Klassierung) des Mahlguts in verschiedene Teilchengrößenfraktionen notwendig. Es ist somit in der Regel nicht möglich, in einem einzigen Zerkleinerungsdurchgang in ein und demselben Zerkleinerer direkt Feinstpartikel zu produzieren. Dadurch erhöhen sich die Investitions- und Energiekosten der Anlage.

[0006] Zum allgemeinen Stand der Technik kann noch verwiesen werden auf die Veröffentlichungen RU 2070094 C1, 10.12.1996 bzw. WO 25/15818 sowie die Fachveröffentlichung A. A. Griffith: The phenomenon of rupture and flow in solids, Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences 221, 1921, S. 582-593. Weitere Beispiele von Zerkleinerungsvorrichtungen sind von RU 2166367 C1 und WO 00/10709 A1 bekannt.

[0007] Es ist die Aufgabe der hierin beschriebenen Erfindung, unter teilweisem Rückgriff auf Verfahrens- und Vorrichtungselemente des genannten Standes der Technik einen sehr hohen Zerkleinerungsgrad in ein und derselben Anlage zu erreichen, so dass entweder direkt in einem Mahldurchgang die gewünschten Feinstteilchen eines geeigneten Materials erhalten werden, oder wenigstens die Anzahl der zusätzlich erforderlichen Zerkleinerungsstufen (Mahlstufen) und Klassierstufen und damit die Investitionskosten der Gesamtanlage und der Energieverbrauch vermindert werden können.

[0008] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 sowie eine dieses Verfahren verwirklichende Vorrichtung gemäß Anspruch 4 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0009] Dabei ist zum besseren und sachgemäßen Verständnis der Ansprüche und der darin verwendeten Begriffe der Inhalt der nachfolgenden Beschreibung heran zu ziehen, die besonders unter Bezugnahme auf zwei Figuren bevorzugte Ausführungsformen und zusätzliche Elemente und Merkmale der vorliegenden Erfindung in näheren Einzelheiten erläutert.

[0010] In den Figuren ist in Figur 1 der vertikale Teilschnitt durch eine Gesamtansicht einer erfindungsgemäßen Zerkleinerungsvorrichtung dargestellt, und in Figur 2 ein Schnitt in der Ebene A-A gemäß Figur 1 dargestellt.

[0011] Der Lösung der oben genannten Aufgabe dient das hierin offenbarte Zerkleinerungsverfahren, bei dem in einer Anlage bzw. Vorrichtung zwei unterschiedliche Zerkleinerungsprinzipien kombiniert sind. Das zu zerkleinernde Material wird zuerst - im Wesentlichen wie im Stand der Technik - in Form eines Zweiphasenmediums (Gemisch aus dem Material und Gas; Suspension des Materials in einer Gasphase) in Teilströmen durch radiale Kanäle von zwei gegenläufig rotierenden Mahlelementen (Rotoren) von der Achse des Zerkleinerers weg zu seiner Peripherie geführt. In den Kanälen kollidiert der jeweilige Materialstrom nacheinander mit Zerkleinerungselementen, die auf den sich im Gegenlauf drehenden Rotoren montiert sind. Die Materialströme werden in den Kanälen auf den Rotoren in radialer Richtung beschleunigt. Der Kanalquerschnitt (die Kanalwandung) hat die Form einer geschlossenen Kontur.

[0012] Die Zerkleinerung geschieht bei dem erfindungsgemäßen Verfahren nicht nur durch zahlreiche Zusammenstöße zwischen den in Zentrifugalrichtung beschleunigten Materialströmen und Zerkleinerungselementen, sondern zusätzlich durch mehrfache Zusammenstöße zwischen den Partikeln des Gas- und Materialgemischs in einer äußersten Ringzone der Rotoren, in die die verschiedenen Materialströme aus den Kanälen austreten, und zwar insbesondere in aerodynamischen Wirbeln, die im peripheren Bereich der Rotoren durch zusätzliche Hohlräume (Blindlöcher, Sacklöcher) verstärkt werden, die in der Randzone der Rotoren vorgesehen sind.

[0013] Eine weitere Zerkleinerung erfolgt in einem äußeren Ringbereich (Umfangsspalt) zwischen den Rotoren und dem Gehäuse. In diesem Ringbereich befinden sich erfindungsgemäß zusätzliche Aufprallplatten ggf. mit veränderlicher Form und einstellbarem Neigungswinkel. Das ermöglicht eine aerodynamische Störwirkung beim Zusammenstoß der Partikel mit hoher Frequenz, wobei sich die Partikelart, Partikelgröße und Krafteinwirkung ändert. Mit Hilfe von auf dem Gehäuse des Zerkleinerers montierten Luftabsaugvorrichtungen (Entlüftern) kann die Konzentration des Zweiphasenmediums (Gemisch aus Gas und Materialstrom) im Gehäuse verändert werden. Das erhöht die Zerkleinerungsleistung im Endstadium, bevor der Fertigstoff aus dem Zerkleinerer abgeführt wird. Durch das Zusammenwirken eines mechanischen und eines aerodynamischen Zerkleinerungsverfahrens in ein und derselben Anlage wird bei der Zerkleinerung (beim Bruch der Partikel) innerhalb des Gehäuses der Zerkleinerungsvorrichtung die Zustandsenergie (potentielle Energie) der elastischen Formänderung der Partikel (Festkörperbruchmechanik) in Wärmeenergie umgewandelt. Dementsprechend ergibt sich die Möglichkeit, das Material nicht nur zu zerkleinern, sondern gleichzeitig auch noch zu trocknen (falls es zu feucht ist).

[0014] Das vorgestellte Zerkleinerungsverfahren ermöglicht es, zwei unterschiedliche Zerkleinerungsmethoden zu kombinieren, verschiedene Partikelzerkleinerungs- und -bruchmethoden schrittweise zu ändern, anzupassen und in einer Anlage zu vereinen.

[0015] Die Änderung des Zerkleinerungsprozesses erfolgt durch Formänderung der Zerkleinerungselemente und Wechseln von der aerodynamischen Methode zur mechanischen und umgekehrt. Dementsprechend werden in ein und derselben Anlage zwei unterschiedliche Zerkleinerungstechniken genutzt.

[0016] Im hierin offenbarten Verfahren kann das zu zerkleinernde Material auf verschiedene Weise zugeführt werden: entweder im freien Materialfluss, gegebenenfalls unterstützt durch Ansaugen des Materials durch die Eintrittsöffnung mittels Unterdruckerzeugung im Gehäuse oder zwangsweise durch Zufuhrvorrichtungen verschiedener Art (Beschickungsförderer).

[0017] Das zu zerkleinernde Material wird durch Zentrifugalkräfte bei der Drehung der Rotoren von der Rotorachse zur Peripherie beschleunigt.

[0018] Die erste Zerkleinerungsstufe erfolgt im Ringbereich der hier offenbarten Anlage, der sich nahe der senkrechten Achse der Rotoren bzw. der axialen Eintrittsöffnung befindet. In diesem Bereich kommt es zu einem Sprödbruch der Partikel, indem diese mit den sich gegenläufig auf Kreisbahnen bewegenden Zerkleinerungselementen kollidieren.

[0019] Eine weitere Zerkleinerung erfolgt mit Hilfe einer Reihe von Zerkleinerungselementen (Aufprallplatten) bei Kollisionen mit hoher Geschwindigkeit im Ringbereich, der etwas weiter von der Rotorachse entfernt ist. Bezogen auf die vorhergehende Zerkleinerungszone kann er als äußerer Bereich bezeichnet werden. Die Aufprallplatten unterschiedlicher Größe und Konfiguration sind auf den Ringeinsätzen auf den zueinander gewendeten Flächen des oberen und unteren Rotors montiert.

[0020] Es schließt sich ein weiterer Wechsel der Zerkleinerungselemente und dementsprechend auch der Zerkleinerungstechnik an. In Ringbereichen, die auch als weiter außen liegende Bereiche bezogen auf die vorhergehenden Zonen bezeichnet werden können, kollidieren dabei zahlreiche materialtragende Luftströme aus den Kanälen der Rotoren, was eine zusätzliche Zerkleinerung bewirkt. Falls die Zerkleinerung noch weiter fortgesetzt werden soll, kann ein weiterer Ringbereich eingerichtet werden. Dieser Bereich kann wiederum als äußerer Bereich bezeichnet werden, bezogen auf die vorhergehenden Zonen. In diesem Bereich geschieht die Zerkleinerung in aerodynamischen Wirbeln, die in zylindri-

schen Hohlräumen bzw. Vertiefungen entstehen. Diese Hohlräume befinden sich in äußeren Ringbereichen der Rotoren, in denen keine Kanäle mehr vorhanden sind.

[0021] Eine noch weitergehende Zerkleinerung erfolgt mit zusätzlichen Zerkleinerungselementen, die sich unmittelbar innerhalb der Kammer befinden, und zwar an deren Wand und in einem Bereich zwischen den Rändern der Rotoren und der Wand. Diese Zerkleinerungselemente stellen Aufprallplatten dar, deren Form und Winkel zur Kammerwandfläche je nach Materialfestigkeit geändert werden können. Die Aufprallplatten können sowohl in einer Reihe als auch in mehreren Reihen übereinander angeordnet werden. Zur Maximierung der Produktivität des Zerkleinerers sind auf dem Gehäuse Vorrichtungen zur Abführung von Luft von den Rotorenoberflächen (von den dem Gehäuse zugewandten Rotorenaußenflächen) installiert, um die Konzentration des Materials in dem Zweiphasenmedium (des zu zerkleinernden Materials) nach Bedarf zu ändern. Dies führt zu einer effizienteren Zerkleinerung im zusätzlichen äußersten Ringbereich.

[0022] Durch Kombination einer mechanischen und einer aerodynamischen Zerkleinerungsmethode in ein und derselben Anlage wird bei der Zerkleinerung innerhalb des Zerkleinerergehäuses die Zustandsenergie (potentielle Energie) der elastischen Formänderung (Festkörperbruchmechanik) in Wärmeenergie umgewandelt. Dementsprechend ergibt sich die Möglichkeit, das Material nicht nur zu zerkleinern, sondern auch gleichzeitig zu trocknen (falls es zu feucht ist).

[0023] Abhängig von der Materialart, Materialfestigkeit, anfänglichen Partikelgröße und gewünschten Zerkleinerungsstufe können entweder alle beschriebenen Zerkleinerungs- und Bruchtechniken in den entsprechenden Zonen verwenden werden oder nur zwei bis drei davon. In den meisten Fällen geschieht der Übergang von einer Technik zur anderen in der beschriebenen Reihenfolge.

[0024] Für den Zerkleinerer, in dem diese Technik zur Anwendung kommt, bedeutet es, dass die Ringbereiche blockweise kombiniert werden können und dass die Anzahl dieser Blöcke mit unterschiedlichen Zerkleinerungsmethoden erhöht bzw. reduziert werden kann.

[0025] Es wird auch eine Vorrichtung vorgestellt, die folgende Komponenten umfasst: ein Gehäuse mit einer axialen Eintrittsöffnung, einer tangentialen Austrittsöffnung und einer ringförmigen, im Wesentlichen zylindrischen Zerkleinerungskammer. In der letzteren sind zwei waagerecht und koaxial angeordneten Rotoren montiert. Die Rotoren können sich gegenläufig drehen und sind innen, auf den einander zugewandten Seiten, mit ringförmig angeordneten Zerkleinerungselementen versehen, die schräg zum Rotorkörper montiert sind und zwischen denen Kanäle mit einem Querschnitt geschlossener Form vorhanden sind. Die äußeren, kanalfreien Ringbereiche der Rotoren haben zusätzlich Hohlräume (Vertiefungen, Blind- oder Sacklöcher), die eine zusätzliche Zerkleinerungszone bilden.

[0026] Die zusätzlichen Zerkleinerungselemente (Hohlräume) können auch konisch sein und sich beispielsweise in Richtung ihrer freien Öffnung verengen.

[0027] Die zusätzlichen Zerkleinerungselemente (Aufprallplatten) sind dünne, normalerweise aus hochfesten und nicht brüchigen keramischen Stoffen hergestellte Platten. Je nach Festigkeit des zu zerkleinernden Materials kann ihre Form und Konfiguration unterschiedlich sein.

[0028] Zusätzliche Zerkleinerungselemente befinden sich innerhalb des Zerkleinerergehäuses, und zwar zwischen der Innenwand des Gehäuses (der Zerkleinerungskammer) und den Rändern der Rotoren. Diese sind Aufprallplatten mit veränderlicher Form. Beim Aufprall des Materialstrahls ändert sich der Neigungswinkel dieser Aufprallplatten. Dadurch wird eine aerodynamische Störwirkung auf das Material erzeugt und eine zusätzliche Zerkleinerungszone gebildet.

[0029] Auf dem Gehäuse des Zerkleinerers sind vorteilhafter Weise auch Luftentnahmeeinrichtungen angebracht. Durch die mehr oder weniger intensive Abführung von Luft von der Oberfläche (Außenseite) der Rotoren kann die Konzentration des zu zerkleinernden Materials im Zweiphasenmedium im Gehäuse verändert werden. Das ermöglicht eine effizientere Zerkleinerung in der zusätzlichen Ringzone zwischen der Innenwand des Gehäuses und den Rändern der Rotoren.

[0030] Nunmehr Bezug nehmend auf die Figuren besteht die Zerkleinerungseinheit aus einem Gehäuse 1 mit einer axialen Eintrittsöffnung 2, einem darunter angebrachten Verteiler (Schleuderstreuer G) und einer tangentialen Austrittsöffnung 3 sowie einem ringförmigen Gehäusebereich, der eine Zerkleinerungskammer 4 bildet, in der waagerecht angeordnete und sich gegenläufig drehende Rotoren 5 und 6 untergebracht sind, auf deren einander zugewandten Rotorenflächen Zerkleinerungselemente 8, 9, 10, 16 und 17 in ringförmigen Reihen montiert sind. Die Rotoren 5 und 6 haben einen gemeinsamen Antrieb (der auf der Figur nicht gezeigt ist).

[0031] Zwischen den Zerkleinerungselementen 8, 9, 10, 16 und 17 verlaufen Kanäle, deren Querschnitt sich in radialer Richtung von der Achse zur Peripherie der Zerkleinerungskammer 4 durch Reduzierung der Kanalhöhe verengt. Eine zur Achse der Rotoren 5 und 6 nächstliegende ringförmige Reihe von Paddeln 7 und Kanälen 17 zwischen diesen Paddeln gehört zur Beschleunigungszone des zu zerkleinernden Materials. Die Ober- und Unterseiten der Kanäle sind werden gebildet von Flächen des jeweiligen Rotors und Flächen eines jeweils zugeordneten konzentrischen Ringes 11, 12, 13, 14, 15 und 18, der jede Reihe der Paddel 7 und Zerkleinerungselemente 8, 9, 10 und 16, 17 überdeckt. Die Ringe 11, 12, 13, 14, 15, 18 sind mit den jeweiligen Zerkleinerungselementen 8, 9, 10 und 16, 17 fest und spielfrei verbunden und rotieren beim Betrieb der Anlage zusammen mit diesen. Die Ringe 11 bis 18 können lösbar montiert sein oder als fester Bestandteil der Rotoren 5 und 6 gefertigt werden. Sie können ferner als durchgehender oder seg-

mentierter Ring gefertigt werden. Dabei überdeckt jeder Satz der Segmente einen einzelnen Kanal zwischen den Paddeln 7 und Zerkleinerungselementen. Die Seitenflächen der Kanäle werden von der Vorderseite jedes Paddels 7 oder Zerkleinerungselements 8, 9, 10, 16, 17 und der Rückseite des benachbarten Paddels oder Zerkleinerungselements gebildet.

[0032] In mindestens einer zusätzlichen ringförmigen Reihe befinden sich Zerkleinerungselemente in Form von konischen Vertiefungen (Hohlräumen, Sacklöchern) 21, 22 auf den einander zugewendeten Flächen Randflächen der Rotoren 5 und 6.

[0033] Als weitere Zerkleinerungseinheit sind Aufprallplatten veränderlicher Form an der Innenwand des Gehäuses der Zerkleinerungskammer montiert. Der Neigungswinkel dieser Aufprallplatten 23, 24, 25 zur Innenwand der Zerkleinerungskammer kann ebenfalls geändert werden.

[0034] Die Zerkleinerungsvorrichtung funktioniert wie folgt: Die Zufuhr des Ausgangsmaterials einer Ausgangskorngröße erfolgt durch freien Materialfluss oder Ansaugen durch einen Unterdruck im Gehäuse über die Eintrittsöffnung oder durch Zufuhrapparaturen verschiedener Art (Beschickungsförderer). Das Material wird in die Beschleunigungszone des oberen Rotors 5 des Zerkleinerers zugeführt, wo sich seine Partikeln bei der Rotation entlang der Fläche von Beschleunigungspaddeln 7 in radialer Richtung bewegen. Sobald die Partikel ihre Höchstgeschwindigkeit erreicht haben, weisen sie auch eine gewisse Abfluggeschwindigkeit sowie einen Abflugwinkel und eine freie Flugstrecke (Trajektorie) in die Sprödbruchzone (Zone A) auf. In dieser Zone kollidieren die Partikel mit den auf sie zulaufenden Zerkleinerungselementen 8, wodurch es zum Sprödbruch kommt. Die Partikelmasse besteht danach aus einzelnen Bruchstücken, deren Mikrohärte jene der Anfangspartikel übersteigt. Zur Fortsetzung einer effizienten Zerkleinerung werden in dieser Zone durch Rotieren des Rotors die Bruchstücke entlang des Zerkleinerungselements 8 beschleunigt. Sobald die erforderliche Geschwindigkeit erreicht ist, kollidieren sie mit den Zerkleinerungselementen 9 des nächsten Rotorelements, wodurch die Materialoberfläche wiederum vergrößert wird.

[0035] Auf die gleiche Weise geschieht auch der Übergang zu den Zerkleinerungselementen 10, 16, 17 der nächsten Reihe.

[0036] Anschließend bewegen sich die Partikel in radialer Richtung in die Zone der Krafteinwirkung auf die gesamte Partikeloberfläche (Zone B). Diese Zone enthält keine Zerkleinerungselemente mehr, aber enthält eine Reihe von aerodynamischen Vorrichtungen in Form von Hohlräumen (Vertiefungen, Sacklöchern) 21, 22. In diesen wird die Zerkleinerungsmethode gewechselt. Die Partikel des bereits teilweise zerkleinerten Materials aus den verschiedenen Kanälen kollidieren mit einer hohen Geschwindigkeit und einer hohen Frequenz im äußersten Ringspalt zwischen den sich gegenläufig drehenden Rotoren. Das geschieht durch eine aerodynamische Störwirkung und dadurch entstehende aerodynamische Wirbel. Die Größe, Masse und spezifische Oberfläche der Partikel unterscheiden sich nunmehr wesentlich von den Charakteristika des Ausgangsmaterials in der Zone A.

[0037] Eine Zone C, in der die Teilchen der Materialströme miteinander und Aufprallplatten kollidieren, befindet sich noch weiter entfernt von der senkrechten Achse der sich drehenden Rotoren. Die Umfangsgeschwindigkeit der Rotorenscheiben und des Materials darauf ist in dieser Zone noch höher. Die geänderte Rotorenkonfiguration in dieser Zone ermöglicht es, eine Kollision einer Vielzahl von Luftströmen mit maximaler Konzentration an Festpartikeln aus den Kanälen des oberen und unteren Rotors herbeizuführen. Die Partikelzerkleinerung erfolgt durch Kollidieren des Materials, ähnlich wie in Strahlmühlen, aber mit unvergleichlich höheren Geschwindigkeiten bei minimalen Energiekosten.

[0038] Die Krafteinwirkung auf fast die ganze Partikeloberfläche und die anschließende Abführung des Materials aus dem Gehäuse erfolgt durch die senkrechte axiale Geschwindigkeitskomponente über eine tangential angeordnete Austrittsöffnung.

[0039] Auf dem Gehäuse des Zerkleinerers sind auch Luftentnahmeeinrichtungen angebracht (auf den Zeichnungen nicht dargestellt). Durch eine Luftabführung von der äußeren Rotorenoberfläche kann die Konzentration des Zweiphasenmediums des zu zerkleinernden Materials im Gehäuse verändert werden. Das ermöglicht eine effizientere Zerkleinerung in einem zusätzlichen Ringbereich zwischen der Innenwand der Zerkleinerungskammer und den Rändern der Rotoren.

[0040] Das zerkleinerte Material wird zur Absaugung abgeführt. Nachfolgend werden Schlüsselmerkmale und Vorteile des vorgestellten Verfahrens bzw. einer vorgestellten Vorrichtung noch einmal zusammenfassend aufgeführt:

1. Das Zerkleinerungsverfahren kombiniert zwei unterschiedliche Zerkleinerungsmethoden in einer Anlage. Das zu zerkleinernde Material wird einerseits in Form eines Zweiphasenmediums (Gemisch aus dem Material und Gas) in einzelnen Strömen durch radiale Kanäle von der Achse der Zerkleinerungsvorrichtung zu seiner Peripherie geführt. In den Kanälen kollidieren die Materialströme abwechselnd mit Zerkleinerungselementen, die auf sich im Gegenlauf drehenden Rotoren montiert sind. Die Materialströme werden in den Kanälen zwischen den Zerkleinerungselementen der Rotoren zentrifugal beschleunigt. Der Kanalquerschnitt hat die Form einer geschlossenen Kurve.

2. Die Zerkleinerung geschieht nicht nur durch zahlreiche Zusammenstöße zwischen den Materialströmen und Zerkleinerungselementen, sondern auch durch mehrfache Zusammenstöße zwischen den Partikeln in den nachfolgenden aerodynamischen

Wirbeln, die in den Hohlräumen im äußersten Ringbereich der Rotoren entstehen.

3. Die Zerkleinerung erfolgt zusätzlich in einem zusätzlich gebildeten äußeren Ringbereich zwischen den Rotoren und dem Gehäuse. In diesem Ringbereich befinden sich Aufprallplatten mit veränderbarer Form und einstellbarem Neigungswinkel. Das ermöglicht eine aerodynamische Störwirkung beim Zusammenstoß der Partikel mit hoher Frequenz, wobei sich die Partikelart, -größe und die Kraftaufbringung ändert. Dank der auf dem Gehäuse der Zerkleinerungsvorrichtung montierten Entnahmevorrichtungen (Entlüftung) ändert sich die Konzentration des Zweiphasenmediums (Gemisch aus Material und Gas in Form eines Materialstrahls). Das erhöht die Zerkleinerungsleistung im Endstadium vor dem Ableiten des Fertigstoffs aus der Zerkleinerungsanlage.

4. Durch die Kombination zweier Zerkleinerungsmethoden (einer mechanischen und einer aerodynamischen) in einem Prozess und in einer Anlage innerhalb eines einzigen Zerkleinerergehäuses, wird bei der Zerkleinerung die Zustandsenergie (potentielle Energie) der elastischen Formänderung (Festkörperbruchmechanik) in Wärmeenergie umgewandelt. Dementsprechend ergibt sich die Möglichkeit, das Material nicht nur zu zerkleinern, sondern auch gleichzeitig zu trocknen (falls es zu feucht ist).

[0041] Wesentliche Unterschiede und Vorteile des vorgestellten Zerkleinerungsverfahrens gegenüber anderen Verfahren bestehen im Folgenden:

1. Bei ihm werden zwei unterschiedliche Methoden in ein und derselben Anlage (einem Zerkleinerer) - eine mechanische und eine aerodynamische - genutzt.

2. Es zeichnet sich dadurch aus, dass zwei Zerkleinerungsmethoden (mechanische und aerodynamische) im Gehäuse des Zerkleinerers kombiniert sind. Dadurch wird bei der Zerkleinerung die Zustandsenergie der elastischen Formänderung (Festkörperbruchmechanik) in Wärmeenergie umgewandelt. Dementsprechend ergibt sich die Möglichkeit, das Material nicht nur zu zerkleinern, sondern auch gleichzeitig zu trocknen (falls es zu feucht ist).

3. Es zeichnet sich auch dadurch aus, dass das zu zerkleinernde Material sowohl im freien Fluss als auch durch zusätzliche Zufuhrsysteme (Beschickungsförderer) zugeführt werden kann; die Materialbeschleunigung geschieht durch Zentrifugalkraft bei der Rotorendrehung und infolge der Reduzierung der Kanalhöhe in Richtung der Peripherie der Zerkleinerungskammer.

4. Es zeichnet sich ferner dadurch aus, dass in äußeren Ringbereichen der Rotoren eine weitere Zerkleinerung in angeschlossenen aerodynamischen Wirbeln mit Hilfe von Hohlräumen (Blindlöchern, Sacklöchern) geschieht.

5. Es zeichnet sich auch dadurch aus, dass in einem äußeren Ringbereich zwischen den Rotoren und der Gehäusewand eine weitere Zerkleinerung durch zusätzlich montierte Aufprallplatten erfolgt, deren Form und Neigungswinkel zur Innenwand des Zerkleinerergehäuses geändert werden können. Dies ermöglicht eine aerodynamische Störwirkung beim Zusammenstoß der Partikel mit hoher Frequenz, wobei sich die Partikelart, -größe und die Krafteinwirkung ändert.

6. Es zeichnet sich dadurch aus, dass man mit Hilfe von auf dem Gehäuse der Zerkleinerungsvorrichtung montierten Ent- bzw. Belüftungsvorrichtungen die Konzentration des Zweiphasenmediums (Gemisch aus Material und Gas in Form eines Materialstrahls) im Gehäuse ändern kann. Das erhöht die Zerkleinerungsleistung im Endstadium vor dem Ableiten des Fertigstoffs aus der Zerkleinerungsanlage.

[0042] Die Zerkleinerungsvorrichtung umfasst die folgenden Komponenten: ein Gehäuse mit einer axialen Eintrittsöffnung, einer tangentialen Austrittsöffnung und einer ringförmigen, im Wesentlichen zylindrischen Zerkleinerungskammer. In der letzteren sind zwei waagerecht und koaxial angeordnete Rotoren montiert. Diese Rotoren können gegenläufig rotieren und sind auf ihren einander zugekehrten Oberflächen mit ringförmig angeordneten Zerkleinerungselementen versehen. Zwischen diesen schräg zum Rotorkörper montierten Zerkleinerungselementen verlaufen Kanäle mit einem Querschnitt geschlossener Form. Die Ringbereiche der Rotoren umfassen auch Hohlräume bzw. Vertiefungen, die eine zusätzliche Zerkleinerungszone bilden.

[0043] Im Gehäuseinneren, zwischen der Innenwand und den Rändern der Rotoren, sind ferner vorzugsweise Aufprallplatten installiert. Beim Aufprall des Materialstrahls ändert sich der Winkel dieser Aufprallplatten, die eine zusätzliche Zerkleinerungszone bilden. Die Aufprallplatten können sowohl in einer Reihe als auch in mehreren Reihen übereinander angeordnet werden.

[0044] Auf dem Gehäuse des Zerkleinerers sind vorzugsweise auch Luftentnahmeeinrichtungen montiert. Durch die Luftentnahme von der Oberfläche der Rotoren kann die Konzentration des zu zerkleinernden Materials im Zweiphasenmedium verändert werden. Das ermöglicht eine effizientere Zerkleinerung in einer zusätzlichen Ringzone zwischen der Innenwand der Zerkleinerungskammer und den Rändern der Rotoren.

[0045] Grundlegende Unterscheidungsmerkmale des vorgestellten Zerkleinerers sind somit:

1. Die Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass in ihr zwei Zerkleinerungsmethoden miteinander kombiniert sind,

2. Die Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass sie das Rohmaterial auch ansaugen kann, ohne dass es zwangsweise zugeführt werden muss.

3. Die Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass sie auch eine zusätzliche Ringzone mit Zerkleinerungselementen in Form von nach unten zulaufenden konischen Hohlräumen (Blind- oder Sacklöchern) hat.

4. Die Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass sie eine tangentiale Austrittsöffnung hat, wodurch das Fertigprodukt mit der Höchstgeschwindigkeit aus der Zerkleinerungskammer abgeführt wird.

5. Die Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass sie über zusätzliche Zerkleinerungselemente in einem Ringbereich verfügt, die sich unmittelbar an der Innenwand der Zerkleinerungskammer befinden: das sind nämlich Aufprallplatten, deren Form und Winkel zur Kammerwandfläche geändert werden können.

6. Die Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass sie über Luftentnahmevorrichtungen verfügt; dadurch wird die Luft von der Rotorenoberfläche entnommen und die Konzentration des Zweiphasenmediums (des zu zerkleinernden Materials) geändert.

7. Die Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass sie in der Lage ist, auch feuchte Materialien zu zerkleinern; dabei kann das Material gleichzeitig auch getrocknet werden.

8. Die Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass sie es ermöglicht, die Zerkleinerungstechnik und die Rotorenkonfiguration je nach den Eigenschaften des Ausgangsmaterials wie z.B. seiner Festigkeit und seinem Bruchverhalten zu verändern.

[0046] Selbstverständlich ist die Erfindung nicht auf die dargestellten Ausführungsformen beschränkt. Die vorstehende Beschreibung ist daher nicht als beschränkend, sondern als erläuternd anzusehen. Die nachfolgenden Ansprüche sind so zu verstehen, dass ein genanntes Merkmal in zumindest einer Ausführungsform der Erfindung vorhanden ist. Dies schließt die Anwesenheit weiterer Merkmale nicht aus. Sofern die Ansprüche und die vorstehende Beschreibung "erste" und "zweite" Ausführungsformen definieren, so dient diese Bezeichnung der Unterscheidung zweier gleichartiger Ausführungsformen, ohne eine Rangfolge festzulegen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Fein- und Feinstzerkleinerung von stückigen festen Materialien, insbesondere von Mineralien und festen fossilen Rohstoffen, wobei eine Zerkleinerung des Materials mittels einer Abfolge von einem mechanischen Zerkleinerungsverfahren und einem aerodynamischen Zerkleinerungsverfahren in einer einzigen Zerkleinerungsvorrichtung erfolgt,

   wobei bei der mechanischen Zerkleinerung auf an sich bekannte Weise ein als Gas-Feststoffmischung zugeführtes Material axial dem Zentrum zweier gegenläufig rotierender Rotoren zugeführt wird und dabei in Teilströme aufgeteilt wird, indem die Rotoren (5, 6) auf ihren einander zugewandten Rotorenflächen mit ringförmig angeordneten Zerkleinerungselementen (8 ,9, 10, 16, 17) versehen sind, zwischen denen in Umfangsrichtung geschlossene Kanäle gebildet sind, in denen das Material in Richtung der Peripherie der Rotoren beschleunigt wird und durch Kontakt mit den Zerkleinerungselementen (8 ,9, 10, 16, 17) mechanisch zerkleinert wird, und
   wobei eine zusätzliche aerodynamische Zerkleinerung in kanalfreien Bereichen zwischen den Rotoren (5, 6) und/oder in einem Bereich um den Umfang der Rotoren (5, 6) herum erfolgt, in denen die Teilströme aus den Kanälen zur Kollision gebracht und dabei unter weiterer Zerkleinerung des Materials verwirbelt werden,
   dadurch gekennzeichnet, dass im äußersten Bereich zwischen der Peripherie der Rotoren und der Innenwand des Gehäuses Aufprallplatten (23, 24, 25) angeordnet sind, die mit der Innenwand des Gehäuses (1) verbunden sind und die die aerodynamische Zerkleinerung verstärken, und dass das zerkleinerte Material nach der aerodynamischen Zerkleinerung aus der Zerkleinerungsvorrichtung abgeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei eine erste aerodynamische Zerkleinerung zwischen den gegenläufig rotierenden Rotoren (5, 6) im äußersten Ringbereich (Zone C) der Rotoren (5, 6) erfolgt, und dass sich daran in radialer Richtung eine zweite aerodynamische Zerkleinerung in einem Bereich zwischen der Peripherie der Rotoren und der Innenwand des Gehäuses der Zerkleinerungsvorrichtung anschließt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei in einem Randbereich der Rotoren, der frei von mechanischen Zerkleinerungselementen ist, Vertiefungen vorhanden sind, die die Verwirbelung der Teilströme aus den Kanälen verstärken.

4. Vorrichtung zur Fein- und Feinstzerkleinerung von stückigen festen Materialien, insbesondere von Mineralien und festen fossilen Rohstoffen, die aufweist

ein Gehäuse (1) mit einer axialen Eintrittsöffnung (2) und einer Austrittsöffnung (3) und einer im Wesentlichen zylindrischen ringförmigen Zerkleinerungskammer (4),
in der zwei in einer waagerechten Zone gegenläufig rotierbare koaxiale Rotoren (5, 6) angeordnet sind, auf deren einander zugekehrten Flächen ringförmig Zerkleinerungselemente (11, 12, 13, 14, 15, 18) angeordnet sind, zwischen denen radial verlaufende, in ihrer Umfangsrichtung geschlossene Kanalabschnitte (8, 9, 10, 16, 17) gebildet sind,
wobei zwischen den Rotoren (5, 6) außerdem mindestens eine Ringzone (Zone B) vorhanden ist, die frei von mechanischen Zerkleinerungselementen und Kanalabschnitten ist und in die die Kanäle der benachbarten inneren Ringzone (A) münden und in der die aus den Kanälen austretenden Teilströme verwirbelt werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Austrittsöffnung (3) eine tangentiale Austrittsöffnung (3) ist, dass um die Peripherie der Rotoren (5, 6) herum ein nach außen von der Gehäuseinnenwand begrenzter Ringbereich (Zone C) gebildet ist, der eine weitere Verwirbelung der aus den Rotoren austretenden Materialströme bewirkt, und dass in dem Ringbereich (Zone C) Aufprallplatten (23, 24, 25) angeordnet sind, die mit der Innenwand des Gehäuses (1) verbunden sind.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, wobei sie mit Entlüftungsvorrichtungen versehen ist, die auf dem Gehäuse (1) angeordnet sind und eine Ent- oder Belüftung des Innenraums des Gehäuses (1) zur Veränderung des Feststoff-Luft-Verhältnisses im Gehäuse (1) ermöglichen.

Claims

1. Method for the fine and ultrafine crushing of lumpy solid materials, in particular minerals and solid fossil raw materials, the material being crushed by means of a sequence of a mechanical crushing process and an aerodynamic crushing process in a single crushing device,

in the mechanical crushing, a material fed as a gas-solid mixture being fed axially to the center of two counter-rotating rotors in a manner known per se and in this process being divided into partial streams by providing the rotors (5, 6) on their rotor surfaces facing one another with annularly arranged crushing elements (8, 9, 10, 16, 17), between which channels are formed which are closed in the circumferential direction and in which the material is accelerated in the direction of the periphery of the rotors and is mechanically crushed by contact with the crushing elements (8, 9, 10, 16, 17), and
additional aerodynamic crushing taking place in channel-free regions between the rotors (5, 6) and/or in a region around the circumference of the rotors (5, 6), in which the partial streams from the channels are allowed to collide and in this process are swirled while the material is further crushed,
characterized in that baffle plates (23, 24, 25) are arranged in the outermost region between the periphery of the rotors and the inner wall of the housing, which plates are connected to the inner wall of the housing (1) and which intensify the aerodynamic crushing, and **in that** the crushed material is discharged from the crushing device after the aerodynamic crushing.

2. Method according to claim 1, wherein first aerodynamic crushing takes place between the counter-rotating rotors (5, 6) in the outermost annular region (zone C) of the rotors (5, 6), and in that this is followed in the radial direction by second aerodynamic crushing in a region between the periphery of the rotors and the inner wall of the housing of the crushing device.

3. Method according to claim 1 or 2, wherein an edge region of the rotors, which is free of mechanical crushing elements, comprises recesses which increase the turbulence of the partial streams from the channels.

4. Device for the fine and ultra-fine crushing of lumpy solid materials, in particular minerals and solid fossil raw materials, comprising

a housing (1) with an axial inlet opening (2) and an outlet opening (3) and a substantially cylindrical annular crushing chamber (4),
in which two coaxial rotors (5, 6), which can rotate in opposite directions in a horizontal zone, are arranged, on the mutually facing surfaces of which crushing elements (1 1, 12, 13, 14, 15, 18) are arranged in an annular manner, between which radially extending channel portions (8, 9, 10, 16, 17) closed in their circumferential direction are formed,
wherein furthermore at least one annular zone (zone B) exists between the rotors (5, 6), which zone is free of mechanical crushing elements and channel portions and into which the channels of the adjacent inner annular zone (A) open and in which the partial streams emerging from

the channels are swirled, **characterized in that** the outlet opening (3) is a tangential outlet opening (3), **in that** an annular region (zone C) bounded outwardly by the inner housing wall is formed around the periphery of the rotors (5, 6) and causes further turbulence of the material streams emerging from the rotors, and **in that** baffle plates (23, 24, 25) are arranged in the annular region (zone C) and are connected to the inner wall of the housing (1).

5. Device according to claim 4, wherein it is provided with venting devices arranged on the housing (1) and allowing venting or aeration of the interior of the housing (1) for changing the solid-air ratio in the housing (1).

Revendications

1. Procédé de broyage fin et très fin de matériaux solides en morceaux, en particulier de minéraux et de matières premières fossiles solides,
dans lequel

un broyage du matériau s'effectue par une succession d'un procédé de broyage mécanique et d'un procédé de broyage aérodynamique dans un seul dispositif de broyage,
lors du broyage mécanique, un matériau amené sous forme de mélange gaz-solides est amené de façon connue en soi axialement au centre de deux rotors tournant en sens inverses et est ainsi divisé en flux partiels, du fait que les rotors (5, 6) sont pourvus, sur leurs surfaces de rotor tournées l'une vers l'autre, d'éléments de broyage (8, 9, 10, 16, 17) disposés en forme d'anneau, entre lesquels sont formés des canaux fermés dans la direction périphérique, dans lesquels le matériau est accéléré en direction de la périphérie des rotors et est broyé mécaniquement par contact avec les éléments de broyage (8, 9, 10, 16, 17), et
un broyage aérodynamique supplémentaire s'effectue dans des zones exemptes de canaux entre les rotors (5, 6) et/ou dans une zone autour de la périphérie des rotors (5, 6), dans lesquelles les flux partiels provenant des canaux sont amenés à entrer en collision et à tourbillonner en continuant à broyer le matériau,
caractérisé en ce que
des plaques d'impact (23, 24, 25) sont disposées dans la zone la plus externe entre la périphérie des rotors et la paroi interne du boîtier, lesquelles sont reliées à la paroi interne du boîtier (1) et renforcent le broyage aérodynamique, et
après le broyage aérodynamique, le matériau broyé est évacué hors du dispositif de broyage.

2. Procédé selon la revendication 1,
dans lequel un premier broyage aérodynamique s'effectue entre les rotors (5, 6) tournant en sens inverses dans la zone annulaire la plus externe (zone C) des rotors (5, 6), suivi, en direction radiale, d'un deuxième broyage aérodynamique dans une zone située entre la périphérie des rotors et la paroi interne du boîtier du dispositif de broyage.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2,
dans lequel, dans une zone de bord des rotors exempte d'éléments de broyage mécaniques, il est prévu des creux qui renforcent le tourbillonnement des flux partiels provenant des canaux.

4. Dispositif pour le broyage fin et très fin de matériaux solides en morceaux, en particulier de minéraux et de matières premières fossiles solides, qui comprend

un boîtier (1) ayant une ouverture d'entrée axiale (2) et une ouverture de sortie (3) et une chambre de broyage annulaire sensiblement cylindrique (4),
dans lequel, dans une zone horizontale, il est prévu deux rotors coaxiaux (5, 6) pouvant tourner en sens inverses, sur les surfaces tournées l'une vers l'autre desquels sont disposés en forme d'anneau des éléments de broyage (11, 12, 13, 14, 15, 18), entre lesquels sont formés des tronçons de canal (8, 9, 10, 16, 17) s'étendant radialement et fermés dans leur direction périphérique,
au moins une zone annulaire (zone B) étant en outre présente entre les rotors (5, 6), laquelle est exempte d'éléments de broyage mécaniques et de tronçons de canal et dans laquelle débouchent les canaux de la zone annulaire interne voisine (A) et dans laquelle les flux partiels sortant des canaux sont amenés à tourbillonner,
caractérisé en ce que
l'ouverture de sortie (3) est une ouverture de sortie tangentielle (3),
une zone annulaire (zone C), délimitée vers l'extérieur par la paroi interne du boîtier, est formée autour de la périphérie des rotors (5, 6) et provoque un tourbillonnement supplémentaire des flux de matière sortant des rotors, et
des plaques d'impact (23, 24, 25) sont disposées dans la zone annulaire (zone C), qui sont reliées à la paroi interne du boîtier (1).

5. Dispositif selon la revendication 4,
présentant des dispositifs d'aération disposés sur le boîtier (1) et permettant une purge ou une aération du volume interne du boîtier (1) pour modifier le rap-

port solides/air dans le boîtier (1).

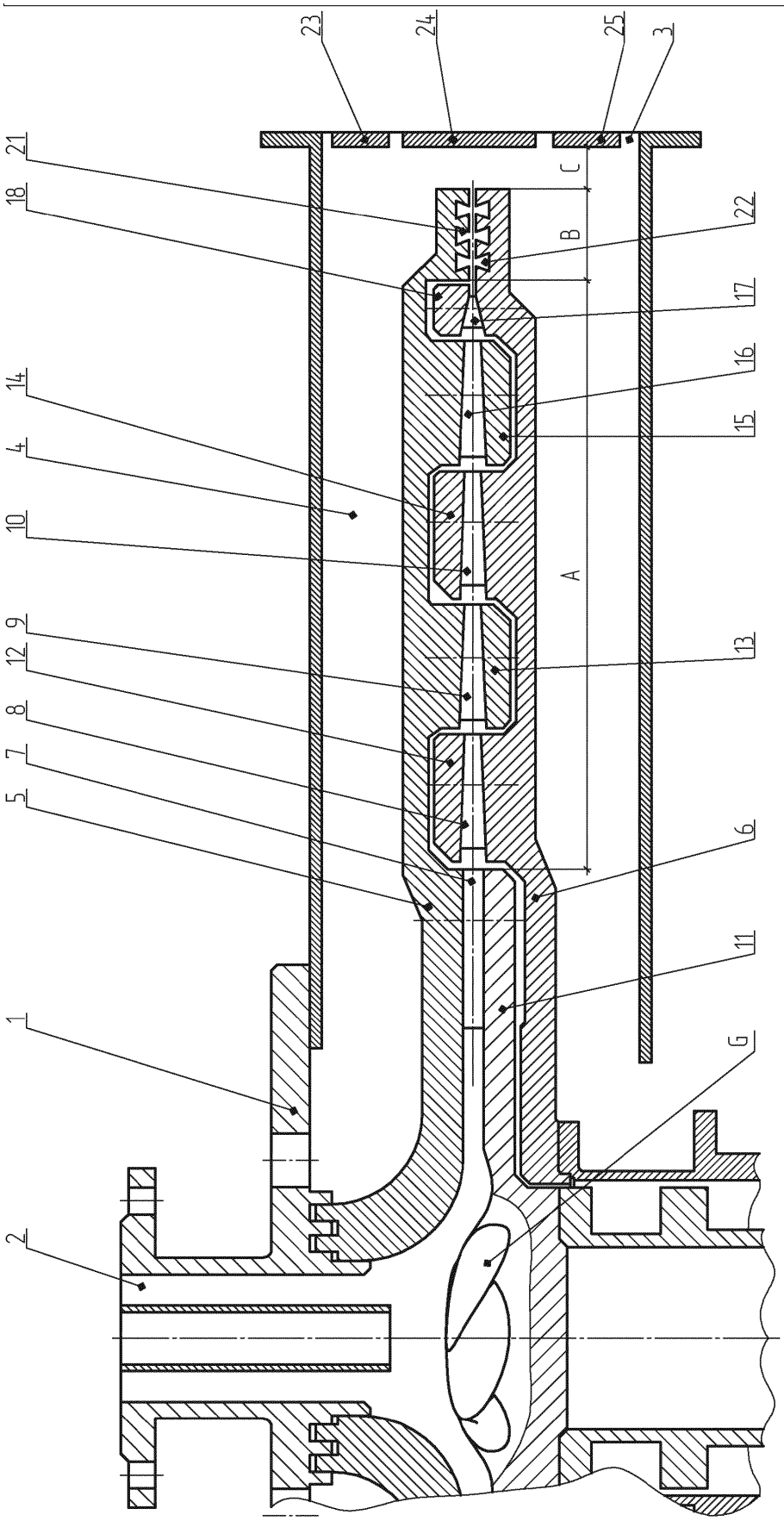


Fig. 1

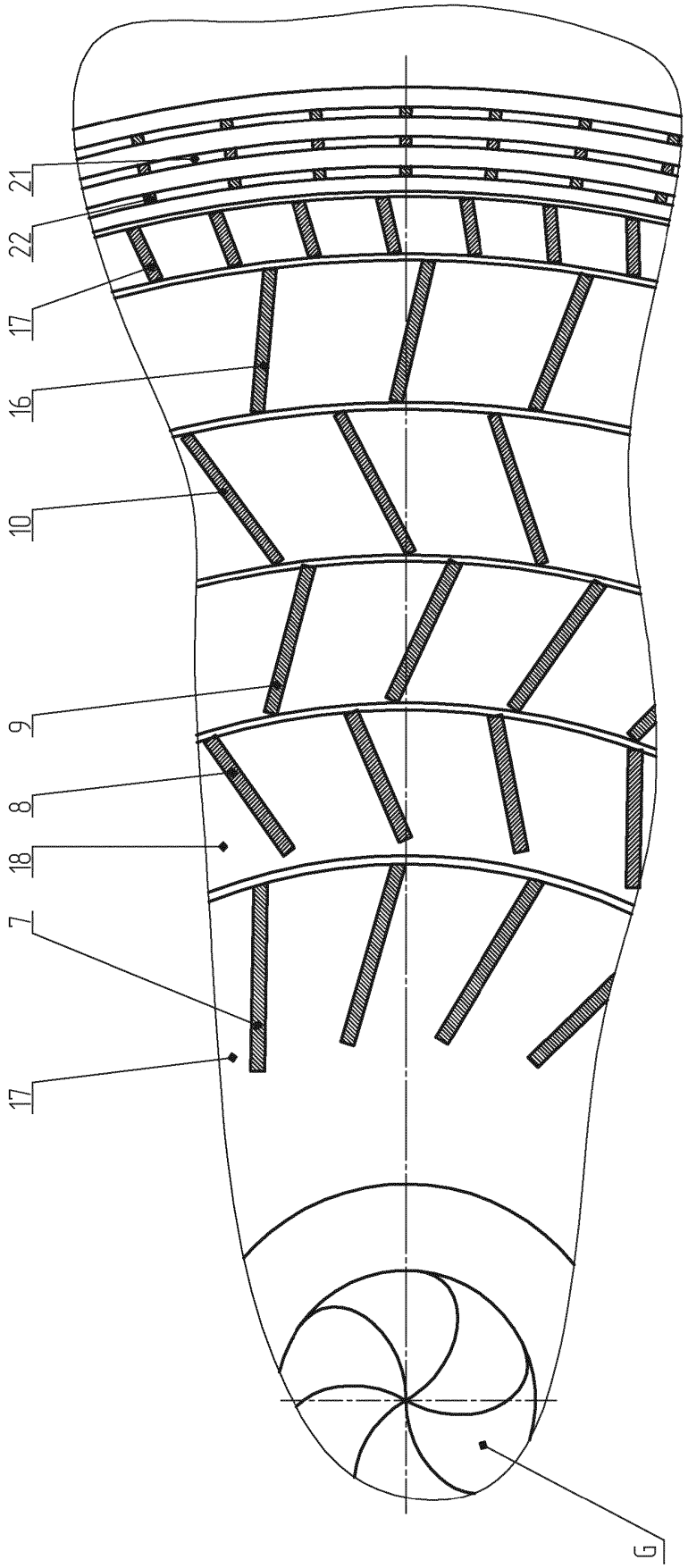


Fig. 2

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

- WO 9951352 A **[0003] [0004]**
- RU 2070094 C1 **[0006]**
- WO 2515818 A **[0006]**
- RU 2166367 C1 **[0006]**
- WO 0010709 A1 **[0006]**

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **A. A. GRIFFITH.** The phenomenon of rupture and flow in solids. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences,* 1921, vol. 221, 582-593 **[0006]**