

(19)



(11)

**EP 3 933 335 A1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**05.01.2022 Patentblatt 2022/01**

(51) Int Cl.:  
**F27B 7/08** <sup>(2006.01)</sup> **F27B 7/28** <sup>(2006.01)</sup>  
**C22C 19/03** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: **20183853.9**

(22) Anmeldetag: **03.07.2020**

(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**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**  
Benannte Validierungsstaaten:  
**KH MA MD TN**

- **KÜSPERT, Franziskus**  
**90766 Fürth (DE)**
- **OVERHOFF, Andreas**  
**91094 Langesendelbach (DE)**
- **UHL, Matthias**  
**91484 Sugenheim/Ullstadt (DE)**

(71) Anmelder: **RIEDHAMMER GMBH**  
**90411 Nürnberg (DE)**

(74) Vertreter: **Berkenbrink, Kai-Oliver et al**  
**Patentanwälte Becker & Müller**  
**Turmstrasse 22**  
**40878 Ratingen (DE)**

(72) Erfinder:  
• **HAJDUK, Andreas**  
**90451 Nürnberg (DE)**

(54) **INDIREKT HEIZBARER DREHOFEN MIT INNENBESCHICHTUNG AUS NICKELBASISLEGIERUNG SOWIE VERWENDUNG EINES INDIREKT BEHEIZBAREN DREHOFENS**

(57) Die Erfindung betrifft einen indirekt beheizbaren Drehrohrföfen, die Verwendung einer Nickelbasislegierung sowie die Verwendung eines indirekt beheizbaren Drehrohrföfens.

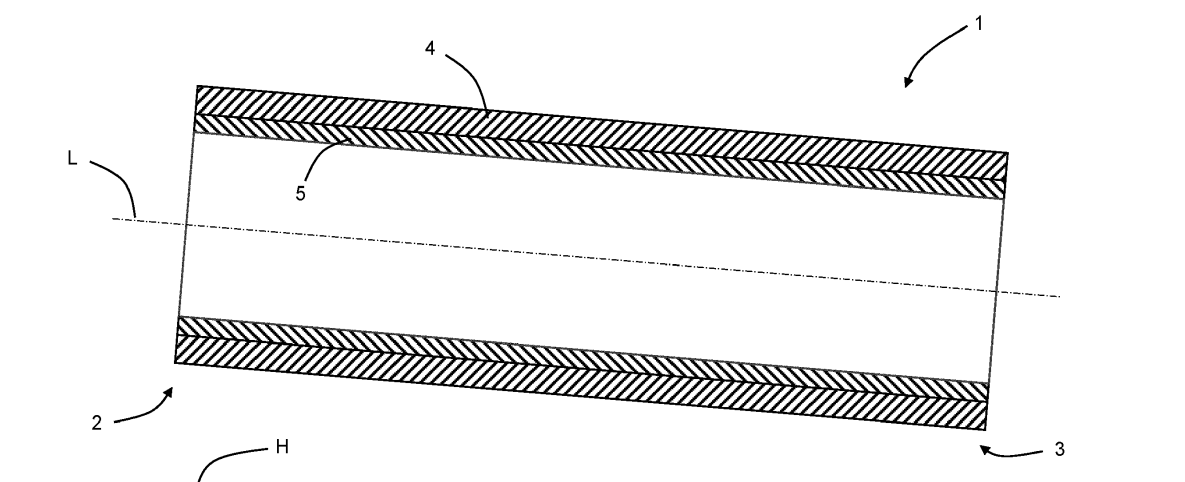


Fig. 1

EP 3 933 335 A1

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen indirekt beheizbaren Drehrohrofen, die Verwendung einer Nickelbasislegierung sowie die Verwendung eines indirekt beheizbaren Drehrohrofens.

**[0002]** Bei einem indirekt beheizbaren Drehrohrofen handelt es sich um eine bestimmte Bauart eines Drehrohrofens. Wie aus dem Stand der Technik bekannt, umfasst ein Drehrohrofen ein zylindrisches Drehrohr, das mit seiner leicht zur Horizontalen geneigten Längsachse drehbar um seine Längsachse gelagert ist. Beim Betrieb des Drehrohrofens wird das Drehrohr beheizt und um seine Längsachse gedreht. Am höher gelegenen Ende des Drehrohrs wird zu brennendes Gut in das Drehrohr eingegeben. Durch die Neigung des Drehrohrs und dessen Drehbewegung bewegt sich das Brenngut entweder selbsttätig kontinuierlich vom höher gelegenen zum niedriger gelegenen Ende des Drehrohrs. Alternativ kann diese Bewegung auch durch entsprechende Einbauten im Drehrohr, beispielsweise Spiralen, unterstützt oder bewirkt werden. Während dieses Durchgangs des Brennguts durch das Drehrohr wird das Brenngut für die gewünschte Dauer und Temperatur mit Hitze beaufschlagt. Die Dauer des Durchgangs des Brennguts durch das Drehrohr kann durch die Neigung der Längsachse, die Länge des Drehrohrs, die Rotationsgeschwindigkeit und - soweit vorhanden - die Einbauten beeinflusst werden. Während des Durchgangs des Brennguts durch das Drehrohr kann dieses mit einer Brenntemperatur in der gewünschten Höhe beaufschlagt werden.

**[0003]** Bei indirekt beheizten Drehrohröfen wird das Drehrohr zur Beaufschlagung des Brenngutes im Drehrohr indirekt beheizt. Hierzu wird das Drehrohr von außen beheizt. Beispielsweise kann das Drehrohr zur indirekten Beheizbarkeit insoweit mittels Brennern, beispielsweise Gasbrennern, oder elektrischen Heizungen von außen beheizt werden. Dabei ist es möglich, das Drehrohr auf Temperaturen bis weit über 1.000°C zu beheizen. Die Vorrichtungen zur Beheizung des Drehrohrs, also beispielsweise Brenner oder eine elektrische Heizung, sind üblicherweise in einem isolierten Gehäuse angeordnet, das das Drehrohr umgibt. Während des Durchgangs des Brennguts durch das Drehrohr wird das Brenngut dabei insbesondere durch Kontakt mit der heißen, innenseitigen Oberfläche des Drehrohres sowie durch die von der innenseitigen Oberfläche des Drehrohres abgestrahlten Wärmestrahlung mit Temperatur beaufschlagt und hierdurch thermisch behandelt.

**[0004]** Indirekt beheizte Drehrohröfen werden insbesondere für die thermische Behandlung von Schüttgütern, beispielsweise Granulaten, Pulvern oder Nanopulvern eingesetzt. Vorteilhaft an der thermischen Behandlung von Schüttgütern in indirekt beheizten Drehrohröfen ist insbesondere, dass diese im indirekt beheizbaren Drehrohr ein sehr genau definiertes Temperaturprofil durchlaufen und unter besonderen Prozessbedingungen behandelt werden können, wie beispielsweise unter In-

ert- oder Schutzgasatmosphäre.

**[0005]** Grundsätzlich haben sich indirekt beheizte Drehrohröfen zur thermischen Behandlung von Brenngut, insbesondere auch den vorbezeichneten Schüttgütern bewährt.

**[0006]** Allerdings besteht insbesondere für hochwertige, hochreine Brenngüter oder Brenngüter, welche chemisch aggressive Bestandteile beinhalten die Gefahr, dass auf Grund von mechanischem Abrieb durch das Brenngut im Drehrohr während des Brennprozesses oder durch chemische Reaktionen des Brenngutes mit dem Drehrohr das Brenngut mit Bestandteilen des Drehrohres verunreinigt werden kann. Dieser Effekt kann bei unterschiedlichen Anwendungen durch die jeweils notwendige Ofenatmosphäre, beispielsweise eine hoch sauerstoffhaltige Ofenatmosphäre, noch verstärkt werden. Da solche Verunreinigungen für eine Vielzahl von Produkten nicht akzeptierbar ist, kommt die Verwendung eines indirekt beheizten Drehrohrofens für die thermische Behandlung von zahlreichen Brenngütern bislang nicht in Frage.

**[0007]** Es hat in der Vergangenheit nicht an Versuchen gefehlt, einen indirekt beheizbaren Drehrohrofen zur Verfügung zu stellen, der ein indirekt beheizbares Drehrohr aus einem Material umfasst, durch welches die vorbezeichnete Verunreinigung von Brenngut, insbesondere also von Brenngut in Form von hochwertigen, hochreinen Produkten, vermieden wird. Unter dem Gesichtspunkt der notwendigen Temperaturbeständigkeit sowie statischen und dynamischen Belastbarkeit des Materials des Drehrohrs sind der möglichen Auswahl des Materials des Drehrohrs insoweit jedoch Grenzen gesetzt. Dies hat zur Folge, dass auch bei einer möglichen Anpassung des Materials des Drehrohrs eines indirekt beheizbaren Drehrohrofens an die Anforderungen des Brennguts die Verwendung eines indirekt beheizbaren Drehrohrofens für bestimmte Brenngüter bislang nicht in Frage kam.

**[0008]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen indirekt beheizbaren Drehrohrofen zur Verfügung zu stellen, der für die thermische Behandlung eines sehr breiten Spektrums von Brenngut verwendet werden kann, insbesondere eines breiteren Spektrums von Brenngut, als dies mit den aus dem Stand der Technik bekannten indirekt beheizbaren Drehrohröfen möglich ist. Insbesondere liegt der Erfindung insoweit die Aufgabe zugrunde, einen indirekt beheizbaren Drehrohrofen zur Verfügung zu stellen, der auch für die thermische Behandlung von hochwertigen, insbesondere hochreinen Produkten verwendet werden kann, die während der thermischen Behandlung im Drehrohrofen nicht oder nur in einem sehr geringen Umfang verunreinigt werden dürfen, insbesondere nicht oder nur in einem sehr geringen Umfang durch Bestandteile des indirekt beheizbaren Drehrohrs des indirekt beheizbaren Drehrohrofens verunreinigt werden dürfen.

**[0009]** Zur Lösung dieser Aufgabe wird erfindungsgemäß zur Verfügung gestellt ein indirekt beheizbarer Drehrohrofen, der die folgenden Merkmale umfasst:

Ein indirekt beheizbares Drehrohr;  
das Drehrohr weist innenseitig eine Beschichtung  
aus einer Nickelbasislegierung auf.

**[0010]** Überraschend hat sich erfindungsgemäß herausgestellt, dass die vorbezeichneten Aufgaben dadurch gelöst werden können, dass das Drehrohr des indirekt beheizbaren Drehrohrofens auf seiner Innenseite eine Beschichtung in Form einer Nickelbasislegierung aufweist.

**[0011]** Die Erfindung beruht insbesondere auf der erfindungsgemäßen Erkenntnis, dass es technisch nicht möglich ist, ein indirekt beheizbares Drehrohr zur Verfügung zu stellen, das gleichzeitig zum einen eine solche Temperaturbeständigkeit sowie statische und dynamische Belastbarkeit aufweist, dass es den thermischen und physikalischen Belastungen standhält, denen ein Drehrohr in einem indirekt beheizten Drehrohrofen unterworfen ist, als auch zum anderen ferner eine solche mechanische Festigkeit, insbesondere Abriebfestigkeit, und chemische beziehungsweise korrosive Beständigkeit aufweist, dass eine Verunreinigung des Brennguts durch Bestandteile des Materials des Drehrohres verhindert werden kann. Vielmehr haben die Erfinder erkannt, dass die erfindungsgemäßen Aufgaben nur dann gelöst werden können, wenn das Drehrohr aus unterschiedlichen Materialien besteht. Erfindungsgemäß besteht das Drehrohr insoweit aus einem Material, das innenseitig mit einem anderen Material, nämlich erfindungsgemäß einem Material in Form einer Nickelbasislegierung, beschichtet ist. Dies ermöglicht es, das Material des Drehrohrs spezifisch hinsichtlich der geforderten Temperaturbeständigkeit sowie statischen und dynamischen Belastbarkeit zu optimieren, während das Beschichtungsmaterial neben einer Temperaturbeständigkeit auch spezifisch hinsichtlich seiner Anforderungen an eine mechanische Festigkeit, insbesondere Abriebfestigkeit, sowie chemische Beständigkeit, insbesondere Korrosionsbeständigkeit, optimiert werden kann.

**[0012]** Erfindungsgemäß wurde überraschend erkannt, dass ein indirekt beheizbares Drehrohr eines indirekt beheizbaren Drehrohrofens zum einen hervorragend innenseitig durch eine Nickelbasislegierung beschichtet werden kann. Zum anderen wurde erfindungsgemäß erkannt, dass durch eine solche Nickelbasislegierung ein Material zur Verfügung gestellt werden kann, das unter dem Gesichtspunkt der vorbezeichneten mechanischen und chemischen Festigkeit hervorragende Eigenschaften aufweist. Insbesondere kann auf Basis einer solchen Nickelbasislegierung ein Material zur Verfügung gestellt werden, welches bei Kontakt mit hochwertigen, hochreinen Produkten während deren thermischer Behandlung im Drehrohr praktisch keine Bestandteile abgibt, durch welche die Produkte verunreinigt werden könnten.

**[0013]** Ferner weisen Nickelbasislegierungen neben einer guten mechanischen Beständigkeit (insbesondere auch einer guten Abriebfestigkeit) und Korrosionsbe-

ständigkeit insbesondere auch eine hervorragende Hochtemperaturbeständigkeit (Kriechfestigkeit) auf, so dass sie auch für einen Einsatz bei hohen Temperaturen in einem indirekt beheizbaren Drehrohr, insbesondere beispielsweise auch für Temperaturen über 1.000°C, geeignet sind.

**[0014]** Nach einer bevorzugten Ausführungsform ist eine Nickelbasislegierung vorgesehen, die für Einsatztemperaturen über 1.000°C geeignet ist, insbesondere für Einsatztemperaturen über 1.100°C.

**[0015]** Erfindungsgemäß hat sich herausgestellt, dass die Zusammensetzung der Nickelbasislegierung in einem sehr breiten Spektrum möglich ist, um die geforderten Anforderungen zu erfüllen.

**[0016]** Nach einer bevorzugten Ausführungsform kann die Nickelbasislegierung in Form einer der folgenden Nickelbasislegierungen vorliegen: Nickel-Aluminium-Legierungen, Nickel-Molybdän-Legierungen, Nickel-Wolframcarbid-Legierungen oder niedriglegierte Nickellegierungen.

**[0017]** Die Nickelbasislegierung kann einen Anteil an Nickel (Ni) im Bereich von 30 bis 99,5 %, weiter bevorzugt im Bereich von 60 - 99,5 % und besonders bevorzugt im Bereich von 60 - 90 % umfassen.

**[0018]** Alle hierin gemachten Angaben in % sind Angaben in Masse-% und bezogen auf die Gesamtmasse der Nickelbasislegierung. Die Anteile der Legierungsbestandteile der Nickelbasislegierung in % geben ferner die chemische Zusammensetzung der Nickelbasislegierung an.

**[0019]** Nach einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Nickelbasislegierung neben Nickel wenigstens einen der folgenden Bestandteile umfasst: Al (Aluminium), Mo (Molybdän), WC (Wolframcarbid), Kupfer (Cu), Titan (Ti) oder Chrom (Cr).

**[0020]** Nach einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Nickelbasislegierung einen Gesamtanteil an Al, Mo, WC, Cu, Ti und Cr im Bereich von 0,5 - 70 %, weiter bevorzugt im Bereich von 0,5 - 40 % und besonders bevorzugt im Bereich von 10 - 40 % umfasst. Gleichzeitig kann bevorzugt vorgesehen sein, dass die Nickelbasislegierung die oben bezeichneten Anteile an Nickel umfasst.

**[0021]** Nach einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Nickelbasislegierung einen Anteil an Al im Bereich von 0,5 - 20,0 % und Ni im Bereich von 80,0 - 99,5 % umfasst.

**[0022]** Nach einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Nickelbasislegierung einen Anteil an Mo im Bereich von 0,5 - 20,0 % und Ni im Bereich von 80,0 - 99,5 % umfasst.

**[0023]** Nach einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Nickelbasislegierung einen Anteil an WC im Bereich von 0,5 - 60,0 % und Ni im Bereich von 40,0 - 99,5 % umfasst.

**[0024]** Über die vorbezeichneten Legierungsbestandteile hinaus kann die Nickelbasislegierung grundsätzlich einen oder mehrere der weiteren bekannten Legierungs-

bestandteile für Nickelbasislegierungen umfassen.

**[0025]** Erfindungsgemäß ist bevorzugt vorgesehen, dass die Beschichtung eine Dicke im Bereich von 0,1 mm bis 1,5 mm aufweist. Erfindungsgemäß hat sich herausgestellt, dass bei einer Dicke der Beschichtung unter 0,1 mm die Gefahr besteht, dass das Brenngut während des Brennprozesses im Drehrohr in Kontakt mit Bereichen des Drehrohres tritt, wodurch das Brenngut verunreinigt werden könnte. Ferner hat sich herausgestellt, dass bei einer Dicke der Beschichtung über 1,5 mm thermische Spannungen in der Beschichtung auftreten können, die zu einer Beschädigung der Beschichtung führen können. Weiter bevorzugt weist die Beschichtung eine Dicke im Bereich von 0,2 bis 1,0 mm, noch bevorzugter im Bereich von 0,4 bis 0,8 mm und noch bevorzugter im Bereich von 0,5 bis 0,6 mm auf.

**[0026]** Das indirekt beheizbare Drehrohr kann grundsätzlich durch sämtliche der aus dem Stand der Technik bekannten Technologien innenseitig mit der erfindungsgemäßen Nickelbasislegierung beschichtet werden. Bevorzugt kann die Beschichtung insoweit durch wenigstens eines der folgenden Verfahren auf die Innenseite des indirekt beheizbaren Drehrohrs aufgetragen sein: Thermisches Spritzen oder Einbrennen. Bekanntermaßen handelt es sich bei thermischem Spritzen um eine Technologie, bei der der die spätere Beschichtung bildende Werkstoff, im vorliegenden Fall also eine Nickelbasislegierung, zunächst aufgeschmolzen und anschließend in einem Gasstrom auf die zu beschichtende Oberfläche, im vorliegenden Fall also die Innenseite des Drehrohrs, aufgespritzt wird. Nach einer bevorzugten Ausführungsform des thermischen Spritzens wird die Nickelbasislegierung mittels Flamspritzen, noch bevorzugter mittels Drahtflamspritzen auf die Innenseite des Drehrohres aufgetragen.

**[0027]** Bekanntermaßen wird beim Einbrennen der zu beschichtende Werkstoff, erfindungsgemäß also eine Nickelbasislegierung, zunächst pulverförmig oder als Emulsion auf die zu beschichtende Oberfläche, im vorliegenden Fall also die Innenseite des Drehrohrs, aufgebracht und anschließend unter inerter Atmosphäre eingebrannt.

**[0028]** Die Beschichtung aus einer Nickelbasislegierung bildet die Innenseite des Drehrohrs. Damit bildet die Beschichtung aus einer Nickelbasislegierung die Oberfläche des Drehrohrs, mit der das im Drehrohr thermisch zu behandelnde Brenngut beim Durchlauf durch das Drehrohr in Kontakt kommt.

**[0029]** Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform liegt das indirekt beheizbare Drehrohr in Form eines metallischen Drehrohres vor. Erfindungsgemäß hat sich herausgestellt, dass ein indirekt beheizbares metallisches Drehrohr und eine Beschichtung aus einer Nickelbasislegierung optimal derart aufeinander abgestimmt werden können, dass das Drehrohr eine optimale Temperaturbeständigkeit sowie statische und dynamische Belastbarkeit und gleichzeitig durch die Beschichtung aus einer Nickelbasislegierung auf seiner Innensei-

te eine optimale mechanische Festigkeit (insbesondere Abriebfestigkeit) und chemische Beständigkeit aufweist. Ein besonderer Vorteil eines metallischen Drehrohres liegt insbesondere auch darin, dass die Eigenschaften, insbesondere die physikalischen Eigenschaften des Drehrohres und der Beschichtung optimal aufeinander abgestimmt werden können. Insbesondere können das Wärmedehnungsverhalten eines metallischen Drehrohres und der Beschichtung aus einer Nickelbasislegierung optimal aufeinander abgestimmt werden und insbesondere einander angeglichen werden. Dies hat insbesondere auch den Vorteil, dass thermische Spannungen während des Brennprozesses, die bei einem unterschiedlichen Wärmedehnungsverhalten von Drehrohr und Beschichtung entstehen könnten, vermeiden werden können.

**[0030]** Insoweit ist nach einer bevorzugten Ausführungsform auch vorgesehen, dass die Differenz des Längenausdehnungskoeffizienten zwischen dem Drehrohr und der Beschichtung aus einer Nickelbasislegierung < 2,0 beträgt, bevorzugter < 1,5 und noch bevorzugter < 1,0. Der Längenausdehnungskoeffizient ist der Längenausdehnungskoeffizient  $\alpha$  bei 20°C mit  $\alpha$  in  $10^{-6} \cdot K^{-1}$ .

**[0031]** Nach einer bevorzugten Ausführungsform weist der erfindungsgemäße Drehrohr ein Drehrohr aus Stahl, besonders bevorzugt aus einem warmfesten Stahl vor. Besonders bevorzugt liegt ein hochwarmfester Stahl vor, insbesondere ein hochwarmfester Stahl, der bei Temperaturen oberhalb 600°C, oder auch oberhalb 1.000°C und besonders bevorzugt auch oberhalb 1.200°C belastbar, insbesondere dynamisch belastbar ist.

**[0032]** Nach einer bevorzugten Ausführungsform weist der erfindungsgemäße Drehrohr ein Drehrohr aus einem hitzebeständigen Stahl auf, insbesondere einem hochkorrosionsbeständigen Stahl.

**[0033]** Nach einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass der erfindungsgemäße Drehrohr ein Drehrohr aus einem der folgenden Stähle aufweist: Ferritischer Stahl, nickellegierter Stahl, austenitischer Stahl oder Stahl aus einem Nickelbasiswerkstoff. Ganz besonders bevorzugt weist der Drehrohr ein Drehrohr aus einem austenitischen Stahl auf.

**[0034]** Erfindungsgemäß wurde festgestellt, dass die vorbezeichneten Stähle, insbesondere austenitischer Stahl, hervorragend mit einer Nickelbasislegierung innenseitig beschichtet werden können und dabei die vorbezeichneten Anforderungen hinsichtlich einer hohen Temperaturbeständigkeit sowie statischen und dynamischen Belastbarkeit des Drehrohres sowie aufeinander abgestimmter Eigenschaften, insbesondere physikalischer Eigenschaften von Drehrohr und Beschichtung, erfüllen können.

**[0035]** Soweit das Drehrohr aus Stahl besteht, liegen der Stahl des Drehrohrs und die Nickelbasislegierung in unterschiedlichen Legierungen vor. Dabei ist der Stahl des Drehrohrs, wie oben ausgeführt, insbesondere hinsichtlich einer hohen Temperaturbeständigkeit sowie

statischen und dynamischen Belastbarkeit des Drehrohres optimiert. Demgegenüber ist die Nickelbasislegierung, wie oben ausgeführt, neben einer Temperaturbeständigkeit auch insbesondere hinsichtlich ihrer Anforderungen an eine mechanische Festigkeit, insbesondere Abriebfestigkeit, sowie chemische Beständigkeit, insbesondere Korrosionsbeständigkeit, optimiert.

**[0036]** Das Drehrohr des erfindungsgemäßen Drehrohrofens kann im Übrigen gemäß den aus dem Stand der Technik bekannten, indirekt beheizbaren Drehrohren von indirekt beheizbaren Drehrohröfen gestaltet sein. Bevorzugt weist das Drehrohr einen Innendurchmesser im Bereich von 100 bis 3.000 mm auf. Ferner weist das Drehrohr bevorzugt eine Länge im Bereich von 1.000 bis 50.000 mm auf.

**[0037]** Über die vorbezeichneten, erfindungsgemäßen Merkmale hinaus kann der erfindungsgemäße Drehrohrofen gemäß dem Stand der Technik gestaltet sein. Insoweit kann das Drehrohr gemäß den aus dem Stand der Technik bekannten Technologien indirekt beheizbar sein. Insoweit kann der erfindungsgemäße Drehrohrofen Heizeinrichtungen aufweisen, über die das Drehrohr indirekt - also von außen - beheizbar ist. Bei diesen Heizeinrichtungen kann es sich insbesondere um Brenner, bevorzugt Gasbrenner, oder elektrische Heizeinrichtungen handeln. Bevorzugt kann vorgesehen sein, dass das Drehrohr über diese Heizeinrichtungen auf Temperaturen von über 150°C, insbesondere auch auf Temperaturen von über 600°C, nach einer bevorzugten Ausführungsform auf über 1.000°C, weiter bevorzugt auf Temperaturen im Bereich von 1.000 bis 1.200°C und nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform auf Temperaturen im Bereich von 1.100 bis 1.200°C indirekt beheizbar ist. Die vorbezeichneten Temperaturen beziehen sich auf die Innenseite des Drehrohrs, also den Bereich des Drehrohrs, an dem sich das durch das Drehrohr thermisch zu behandelnde Brenngut beim Durchgang durch das Drehrohr befindet. Die vorbezeichneten Temperaturen beziehen sich insbesondere auf die Innenseite des Drehrohrs im Bereich des Einlaufs, also des höher gelegenen Endes des Drehrohres, an dem das im Drehrohr zu brennende Gut in das Drehrohr eingegeben wird.

**[0038]** Ferner kann das Drehrohr, wie aus dem Stand der Technik bekannt, mit einer leicht zur Horizontalen geneigten Längsachse um seine Längsachse drehbar gelagert sein, beispielsweise über Wälzlager. Ferner kann das Drehrohr, wie aus dem Stand der Technik bekannt, in einem isolierten Gehäuse eingebaut sein, das das Drehrohr umgibt, wobei auch die Heizeinrichtungen für das Drehrohr in diesem Gehäuse angeordnet sein können. Ferner kann der Drehrohrofen die aus dem Stand der Technik bekannten Einrichtungen zur Aufgabe des Brenngutes in das Drehrohr, zur Entnahme des im Drehrohr thermisch behandelten Brenngutes aus dem Drehrohr, zur gasdichten Abdichtung des Drehrohrs (zur Einstellung einer gewünschten Ofenatmosphäre) sowie für eine etwaige Kühlung des thermisch behandelten Brenngutes umfassen.

**[0039]** Gegenstand der Erfindung ist auch die Verwendung des erfindungsgemäßen Drehrohrofens zur thermischen Behandlung von Brenngut, insbesondere zur thermischen Behandlung von Brenngut in Form von Schüttgütern, insbesondere in Form von Schüttgütern in Form von Granulaten, Pulvern oder Nanopulvern. Insbesondere wird der Drehrohrofen zur thermischen Behandlung von hochwertigem, insbesondere hochwertigem hochreinem Brenngut, insbesondere Brenngut in Form der vorbezeichneten Schüttgüter, verwendet, insbesondere in Form von solchem hochwertigem, hochreinem Brenngut, welches durch das Drehrohr nicht verunreinigt werden darf.

**[0040]** Gegenstand der Erfindung ist ferner auch die Verwendung einer Nickelbasislegierung zur innenseitigen Beschichtung eines indirekt beheizbaren Drehrohrs eines indirekt beheizbaren Drehrohrofens. Die Verwendung der Nickelbasislegierung erfolgt dabei mit der Maßgabe, dass das Drehrohr innenseitig mit der Nickelbasislegierung beschichtet wird, insbesondere durch die vorbezeichneten Verfahren. Bei dieser Verwendung können die Nickelbasislegierung, das Drehrohr sowie der Drehrohrofen die hierin offenbarten, erfindungsgemäßen Merkmale des erfindungsgemäßen Drehrohrofens aufweisen.

**[0041]** Weitere Merkmale ergeben sich aus den Ansprüchen, der Figur eines Ausführungsbeispiels sowie der zugehörigen Beschreibung des Ausführungsbeispiels.

**[0042]** Sämtliche Merkmale der Erfindung können, einzeln oder in Kombination, beliebig miteinander kombiniert sein.

**[0043]** Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Drehrohrofens näher erläutert.

**[0044]** Dabei zeigt, stark schematisiert und nicht maßstabsgerecht,

Figur 1 eine Schnittansicht eines Drehrohrs eines erfindungsgemäßen Drehrohrofens entlang seiner Längsachse.

**[0045]** In Figur 1 ist das in seiner Gesamtheit mit dem Bezugszeichen 1 gekennzeichnete Drehrohr eines nicht näher dargestellten, indirekt beheizbaren Drehrohrofens dargestellt. Das Drehrohr 1 weist eine im Wesentlichen rohrförmige Gestalt mit einer Längsachse L auf. Das Drehrohr 1 ist mit einer leichten Neigung der Längsachse L zur Horizontalen H drehbar um seine Längsachse L gelagert. Hierzu ist das Drehrohr 1 über nicht dargestellte Wälzlager, auf denen das Drehrohr 1 an seinem einen, hier höheren Ende 2 und an seinem zweiten, gegenüberliegenden, hier unteren Ende 3 drehbar auf einem Untergrund gelagert. Das Drehrohr 1 besteht aus einem austenitischen Stahlrohr 4, das innenseitig eine Beschichtung aus einer Nickelbasislegierung 5 aufweist.

**[0046]** Das Drehrohr 1 weist eine Länge (entlang der Längsachse L) von 2.500 mm und einen lichten Durchmesser (senkrecht zur Längsachse L) von 186 mm auf.

**[0047]** Die Nickelbasislegierung 5 weist folgende chemische Zusammensetzung auf:

Ni: 90 Masse-%  
Al: 10 Masse-%

**[0048]** Die Beschichtung 5 weist eine Dicke von 0,5 mm auf.

**[0049]** Die Differenz des linearen Längenausdehnungskoeffizienten  $\alpha$  (bei 20° mit  $\alpha$  in  $10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ) des austenitischen Stahls 4 und der Nickelbasislegierung 5 beträgt weniger als 1,0.

**[0050]** Um den austenitischen Stahl 4 des Drehrohres 1 mit der Nickelbasislegierung 5 zu beschichten, wurde die Nickelbasislegierung 5 mittels Drahtflammspritzen auf die Innenseite des austenitischen Stahls 4 des Drehrohres 1 aufgetragen.

**[0051]** Das Drehrohr 1 ist über eine nicht näher dargestellte elektrische Heizung von außen indirekt beheizbar.

**[0052]** Bei der praktischen Anwendung wird das Drehrohr 1 über die elektrische Heizung von außen indirekt beheizt.

**[0053]** Ferner wird im Drehrohr 1 thermisch zu behandelndes Brenngut im Bereich des oberen Endes 2 über eine nicht näher dargestellte Einrichtung in das Drehrohr 1 eingetragen. Gleichzeitig wird das Drehrohr 1 über nicht näher dargestellte Antriebsmittel um seine Längsachse L gedreht. Durch die Heizeinrichtungen wird das Drehrohr 1 erhitzt und diese Wärme auf das im Drehrohr 1 befindliche Brenngut übertragen. Gleichzeitig bewegt sich das Brenngut aufgrund der Rotationsbewegung des Drehrohrs 1 um seine Längsachse L in Richtung des unteren Endes 3 des Drehrohrs 1. Während dieses Durchgangs des Brenngutes 1 durch das Drehrohr 1 wird das Brenngut thermisch im Drehrohr 1 behandelt. Nach dem Durchgang des Brennguts durch das Drehrohr 1 wird das Brenngut über nicht näher dargestellte Vorrichtungen aus dem Drehrohr 1 entnommen.

**[0054]** Das Drehrohr 1 eignet sich in besondere Weise zur thermischen Behandlung von Brenngut in Form von hochwertigen, hochreinen Produkten, insbesondere in Form von Schüttgütern, die durch das Drehrohr 1 nicht verunreinigt werden dürfen.

## Patentansprüche

1. Indirekt beheizbarer Drehrohrofen, umfassend die folgenden Merkmale:

- 1.1 Ein indirekt beheizbares Drehrohr (1);
- 1.2 das Drehrohr (1) weist innenseitig eine Beschichtung (5) aus einer Nickelbasislegierung auf.

2. Drehrohrofen nach Anspruch 1, wobei die Nickelbasislegierung einen Anteil an Nickel im Bereich von

30 - 99,5 % umfasst.

3. Drehrohrofen nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Nickelbasislegierung neben Ni wenigstens einen der folgenden Bestandteile umfasst: Al, Mo oder WC.

4. Drehrohrofen nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Nickelbasislegierung einen Anteil an Al im Bereich von 0,5 - 20,0 % und Ni im Bereich von 80,0 - 99,5 % umfasst.

5. Drehrohrofen nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Nickelbasislegierung einen Anteil an Mo im Bereich von 0,5 - 20,0 % und Ni im Bereich von 80,0 - 99,5 % umfasst.

6. Drehrohrofen nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Nickelbasislegierung einen Anteil an WC im Bereich von 0,5 - 60,0 % und Ni im Bereich von 40,0 - 99,5 % umfasst.

7. Drehrohrofen nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Beschichtung (5) eine Dicke im Bereich von 0,1 mm bis 1,5 mm aufweist.

8. Drehrohrofen nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Beschichtung (5) durch wenigstens eines der folgenden Verfahren aufgetragen ist: Thermische Spritzen oder Einbrennen.

9. Drehrohrofen nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche mit einem metallischen Drehrohr (1).

10. Drehrohrofen nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche mit einem Drehrohr (1) aus Stahl.

11. Drehrohrofen nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche mit einem Drehrohr (1) aus einem warmfesten Stahl.

12. Drehrohrofen nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche mit einem Drehrohr (1) aus einem hitzebeständigen Stahl.

13. Drehrohrofen nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche mit einem Drehrohr (1) aus austenitischem Stahl.

14. Verwendung einer Nickelbasislegierung zur innenseitigen Beschichtung eines indirekt beheizbaren Drehrohrs eines indirekt beheizbaren Drehrohrofens.

15. Verwendung des Drehrohrofens nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 14 zur thermischen Be-

handlung von Brenngut.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

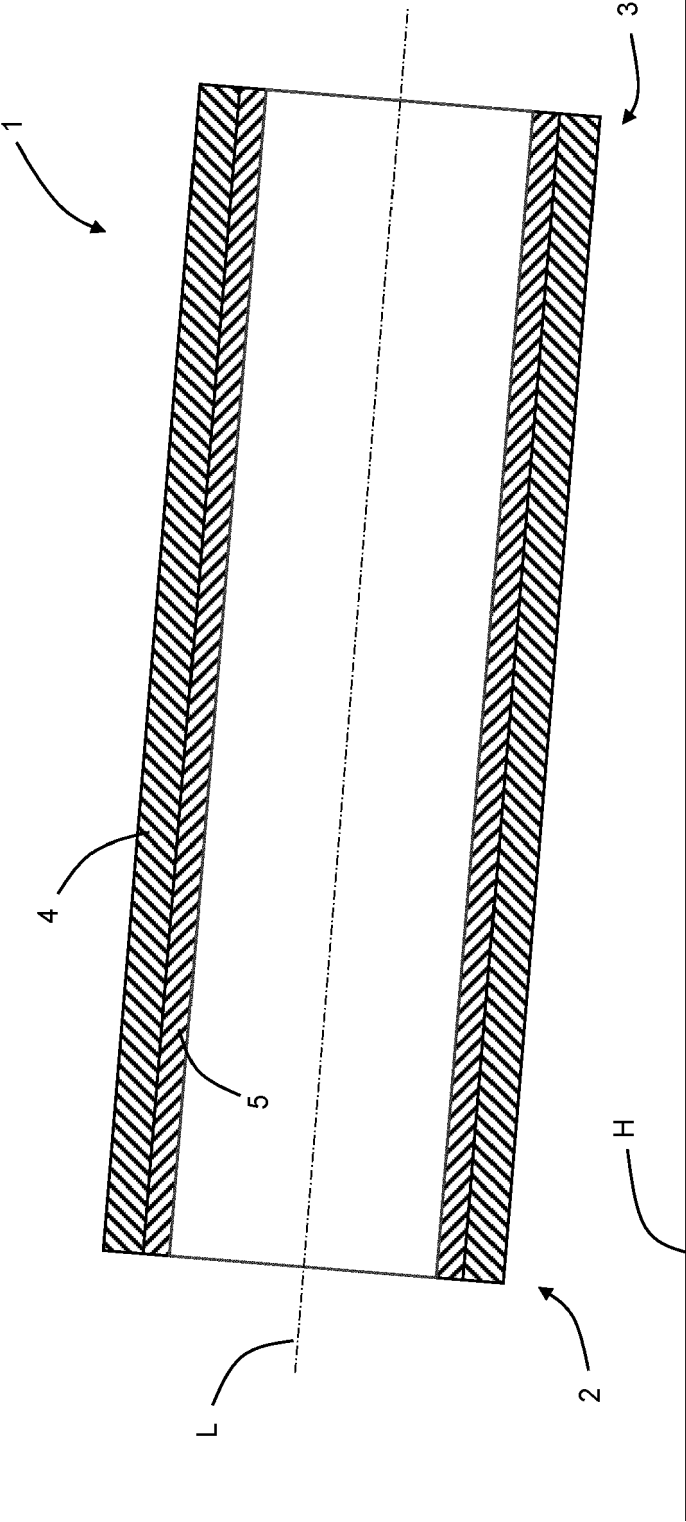


Fig. 1



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 20 18 3853

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                         | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile                         | Betrifft Anspruch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)        |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | JP 2019 184181 A (JFE CHEMICAL CORP)<br>24. Oktober 2019 (2019-10-24)                                       | 1-3,8-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | INV.<br>F27B7/08<br>F27B7/28<br>C22C19/03 |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                 | * Absätze [0018], [0021] *<br>-----                                                                         | 4-7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                           |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | JP 2014 181884 A (NORITAKE CO LTD; KUBOTA KK) 29. September 2014 (2014-09-29)                               | 1,2,9-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                           |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                 | * Absätze [0028], [0024] *<br>-----                                                                         | 3-8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                           |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                 | JP 2001 349675 A (KAWASAKI HEAVY IND LTD; TOCALO CO LTD)<br>21. Dezember 2001 (2001-12-21)                  | 1-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                   | * das ganze Dokument *<br>-----                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                           |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                 | JP 2002 316805 A (DAIKIN IND LTD)<br>31. Oktober 2002 (2002-10-31)                                          | 1-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                   | * das ganze Dokument *<br>-----                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                           |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                 | CN 207 330 358 U (QUZHOU NANGAOFENG CHEMICAL CO LTD) 8. Mai 2018 (2018-05-08)                               | 1-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                   | * das ganze Dokument *<br>-----                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                           |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                 | CN 110 836 599 A (SHANGHAI KUANGCAI ENVIRONMENTAL PROT DEVELOPMENT CO LTD)<br>25. Februar 2020 (2020-02-25) | 1-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                   | * das ganze Dokument *<br>-----                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | F27B<br>F27D<br>C22C<br>C23C              |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                           |
| Recherchenort<br><b>Den Haag</b>                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                             | Abschlußdatum der Recherche<br><b>30. September 2020</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                | Prüfer<br><b>Pircher, Ernst</b>           |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE<br>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : mündliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur |                                                                                                             | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |                                           |

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 20 18 3853

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

30-09-2020

| 10 | Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie | Datum der<br>Veröffentlichung |
|----|----------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
|    | JP 2019184181 A                                    | 24-10-2019                    | KEINE                             |                               |
| 15 | JP 2014181884 A                                    | 29-09-2014                    | JP 6027923 B2<br>JP 2014181884 A  | 16-11-2016<br>29-09-2014      |
|    | JP 2001349675 A                                    | 21-12-2001                    | JP 3813413 B2<br>JP 2001349675 A  | 23-08-2006<br>21-12-2001      |
| 20 | JP 2002316805 A                                    | 31-10-2002                    | KEINE                             |                               |
|    | CN 207330358 U                                     | 08-05-2018                    | KEINE                             |                               |
| 25 | CN 110836599 A                                     | 25-02-2020                    | KEINE                             |                               |
| 30 |                                                    |                               |                                   |                               |
| 35 |                                                    |                               |                                   |                               |
| 40 |                                                    |                               |                                   |                               |
| 45 |                                                    |                               |                                   |                               |
| 50 |                                                    |                               |                                   |                               |
| 55 |                                                    |                               |                                   |                               |

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82