



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 01 857 A1** 2004.07.29

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 01 857.3**
(22) Anmeldetag: **17.01.2003**
(43) Offenlegungstag: **29.07.2004**

(51) Int Cl.7: **F22B 7/20**
F23C 3/00

(71) Anmelder:
Schoppe, Fritz, Dr.-Ing., 82057 Icking, DE

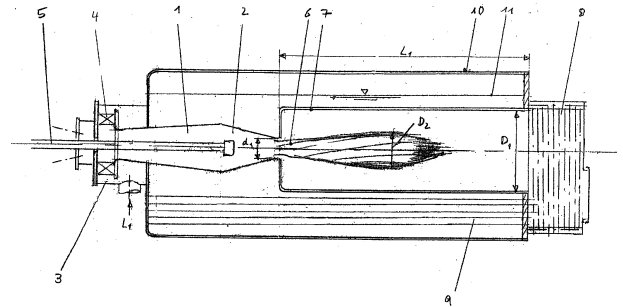
(72) Erfinder:
gleich Anmelder

(74) Vertreter:
Kroher, Strobel Rechts- und Patentanwälte, 80336 München

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Befeuern eines Flammrohrkessels mit einem staubförmigen Brennstoff sowie staubgefeuerter Flammrohrkessel**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zum Feuern eines Flammrohrkessels großer Leistung mit einem staubförmigen Brennstoff angegeben, bei dem wenigstens 30% des Brennstoffs in einer Vorbrennkammer verbrannt werden, und die aus der Vorbrennkammer austretenden, brennenden Flammgase auf eine Geschwindigkeit von wenigstens 80 m/s beschleunigt und mit dieser Geschwindigkeit in das Flammrohr eingeblasen werden. Man erreicht durch diese Maßnahme eine Herabsetzung der Wärmestromdichte in der Wand des Flammrohrs, die es ermöglicht, die Wanddicke des Flammrohrs gegenüber dem bislang zulässigen Maß zu vergrößern und dadurch die Abmessungen des Flammrohrs insgesamt zu vergrößern.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Befeuern eines Flammrohrkessels mit einem staubförmigen Brennstoff, insbesondere Braunkohlenstaub, sowie einen Flammrohrkessel zur Befuerung mit Brennstaub.

[0002] Bekannte, für die Befuerung mit Öl oder Gas ausgelegte Flammrohrkessel sind durch knappestmögliche Flammrohrabmessungen und eine Temperatur der Verbrennungsabgase am Austritt des Flammrohrs von 1.100 bis 1.200 °C gekennzeichnet. Ein Öl- oder Gasbrenner bildet eine kurze, buschige Flamme, die nahe an die Umfangswand des Flammrohres herankommt und dort große Wärmestromspitzen von bis zu 400 kW/m² erzeugt. In der Rohrwand entsteht hierdurch ein großes Temperaturgefälle, das entsprechende Dehnungs- und damit Spannungsdifferenzen innerhalb der Rohrwand zur Folge hat. Diese müssen aus Gründen des Werkstoffs begrenzt werden, und die Technischen Regeln für Dampfkessel TRD 306, Ziff. 11 begrenzen daher die Wanddicke des Flammrohrs auf 20 mm. Damit ist auch der Durchmesser des Flammrohrs begrenzt, denn größere Durchmesser erfordern größere Wanddicken.

[0003] Bei vergleichbarer Leistung muß ein mit Braunkohlenstaub befeuertes Flammrohr wesentlich größer in seinen Längen- und Durchmessermaßen sein, als ein mit Öl oder Gas befeuertes Flammrohr. Die Gründe hierfür sind zum einen, daß Braunkohlenstaub für den Ausbrand gegenüber Öl oder Gas ein etwa 2,5- bis dreimal so großes Volumen erfordert, und zum anderen, daß die Abgastemperatur so weit abgesenkt werden muß, daß sie mit ausreichendem Abstand unterhalb des Ascheschmelzpunktes von etwa 920 bis 940 °C liegt, um ein Verschlacken des Flammrohrs und der nachgeschalteten Rohrzüge zu vermeiden. In der Praxis soll die Abgastemperatur des mit Braunkohlenstaub befeuerten Flammrohrs im Bereich von 850 °C liegen, also erheblich unter der von öl- oder gasgefeuerten Flammrohren.

[0004] Innerhalb der durch die vorgenannten Technischen Regeln für Dampfkessel begrenzten Wanddicken von 20 mm und den in diesem Kesselbereich üblichen Dampfdrücken von z.B. 18×10^3 hPa (18 bar) entsprechend der Normdruckstufe von 16×10^3 hPa (16 bar) werden Flammrohrdurchmesser von höchstens 800 mm möglich, womit sich das für den Ausbrand von Braunkohlenstaub erforderliche Flammrohrvolumen nicht erreichen läßt.

[0005] Wenn man Verstärkungsringe auf dem Flammrohr beispielsweise im Abstand von 1.000 mm anordnet, ist zwar eine Vergrößerung des Flammrohrdurchmessers auf 1.300 mm möglich, doch läßt sich damit eine Feuerungsleistung von nur ca. 4,6 MW erreichen. Der Markt verlangt aber Feuerungsleistungen, die im Bereich um 20 MW liegen. Die Klippe ist die durch die genannten Technischen Regeln begrenzte Wanddicke, über die hinwegkommen werden muß, wenn man größere Feuerungsleistun-

gen erreichen will.

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Befeuern eines Flammrohrkessels mit Brennstaub anzugeben, mit dem sich hohe Feuerungsleistungen erzielen lassen.

[0007] Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst. Vorteilhaft ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0008] Die Erfindung geht von der Tatsache aus, daß größere Wanddicken für das Flammrohr zulässig sind, wenn man die Wärmestromdichte verringert, und ihr liegt die Überlegung zugrunde, daß man die Verringerung der Wärmestromdichte erreichen kann, wenn man eine Flamme erzeugt, deren Durchmesser klein im Vergleich zum Durchmesser des Flammrohrs ist. Der Durchmesser einer Flamme gegebener Wärmeleistung wird um so kleiner, je höher ihre Geschwindigkeit ist. Im Ergebnis erreicht man somit einen größeren Flammrohrdurchmesser, wenn man die Flammgeschwindigkeit erhöht.

[0009] Die hohe Flammgeschwindigkeit wird dadurch erzielt, daß ein möglichst hoher Anteil, bevorzugt wenigstens 30%, besser 60%, des Brennstoffs in einer Vorbrennkammer verbrannt wird und die aus der Vorbrennkammer austretenden, brennenden Flammgase beschleunigt und erst dann in das Flammrohr eingeblasen werden.

[0010] Gemäß der Erfindung erfolgt die Beschleunigung auf eine Geschwindigkeit von wenigstens 80 m/s, bevorzugt 100 m/s, und mit dieser Geschwindigkeit werden sie in das Flammrohr, bevorzugt koaxial mit diesem, eingeblasen. Man kann die Flammgase aber auch oberhalb der Achse des Flammrohrs unter einer Neigung von 8 bis 14 °C gegen die Achse des Flammrohrs schräg nach unten in dieses einblasen. Man erreicht dadurch, daß Verunreinigungen, etwa Asche, die sich am Boden des Flammrohrs sammeln, in Richtung auf den Abzug des Flammrohrs geblasen werden.

[0011] Zwar hat der Anmelder auf dem Weg, der ihn zu dieser Erfindung gebracht hat, früher bereits Flammbeschleunigungsdüsen eingesetzt. Damit wurden aber ganz andere Zwecke verfolgt, und die Flammstrahlgeschwindigkeit lag denn auch bei nur 50 bis 60 m/s und war durch die Flammstabilität begrenzt. Die Beschleunigung des Flammstrahls diente früher allein dem Fortblasen ausfallender Verbrennungssache vom Boden des Flammrohrs, wozu der Flammstrahl von oben schräg zur Flammrohrachse gerichtet wurde, und wozu die genannte Flammstrahlgeschwindigkeit ausreichte. Von dem erläuterten Merkmal kann, wie schon erwähnt, auch bei der Erfindung vorteilhaft Gebrauch gemacht werden, doch verfolgt die weitere Erhöhung der Flammstrahlgeschwindigkeit das bereits erläuterte andere Ziel, das mit den Merkmalen des Standes der Technik nicht erreichbar ist.

[0012] Die Vorbrennkammer ist in den Wasserkreislauf des Kessels einbezogen und nimmt aus der Flamme Wärme auf. Die Flamme ist also bereits teil-

weise gekühlt, wenn sie beschleunigt wird. Der beschleunigte Flammstrahl wirkt im Flammrohr wie ein Injektor und reißt während des Ausbrandes des restlichen unverbrannten Brennstoffanteils aus dem Außenbereich des Flammrohrs dort bereits abgekühlte Gase mit und mischt sich mit diesen, was weiter dazu beiträgt, die Temperatur der Flamme herabzusetzen.

[0013] Die Folge der erfindungsgemäßen Maßnahmen ist eine Herabsetzung des Spitzenwertes der Wärmestromdichte von den eingangs genannten 400 kW/m² auf etwa 150 bis 160 kW/m². Bei gleicher Materialbeanspruchung wird somit eine dem Verhältnis der vorgenannten Wärmestromdichten proportionale Vergrößerung der Wanddicke des Flammrohrs von ursprünglich 20 mm entsprechend dem Zusammenhang $20 \times 400/160$ auf nun 50 mm möglich. Bei dem angegebenen Dampfdruck von 18×10^3 hPa lassen sich Flammrohrdurchmesser von 1.900 mm ohne Verstärkungsringe und von 2.500 mm mit Verstärkungsringen realisieren, was einer Feuerungsleistung bei Braunkohlenstaub von 9 bzw. 15 MW bei Verwendung eines einzelnen Flammrohrs und von 22 MW bei Verwendung zweier Flammrohre im selben Kessel entspricht. Theoretisch ließen sich auch zwei Flammrohre von je 15 MW Leistung in einem einzigen Kessel vereinigen, doch wäre dieser dann aufgrund seiner Abmessungen nicht mehr auf Straße oder Schiene transportierbar. Mit der angegebenen Kesselleistung von 22 MW kommt man in den Bereich, der für Abnehmer solcher Kessel interessant ist. Da die Energiekosten bei Braunkohlenstaub erheblich niedriger sind, als bei Öl und Gas, ist die durch den größeren Kessel, den zugehörigen Platzbedarf und die Brennstoffaufbereitung bedingte Mehrinvestition gegenüber einem öl- oder gasbefeuerten Kessel schnell amortisiert.

[0014] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf zwei in den Zeichnungen schematisch dargestellte Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigt:

[0015] **Fig. 1** einen Längsschnitt durch einen Flammrohrkessel mit coaxial daran angesetztem Brenner zur Ausführung des Verfahrens, und

[0016] **Fig. 2** einen Längsschnitt durch einen Flammrohrkessel mit einem außerhalb der Achse des Flammrohrs angesetzten, schräg nach unten gerichteten Brenner.

[0017] **Fig. 1** zeigt schematisch als Ausführungsbeispiel einen Flammrohr-Dampfkessel zur Ausführung des Verfahrens, der im Beispiel 9 MW Leistung hat und der mit rheinischem Braunkohlenstaub befeuert wird. Der Braunkohlenstaub wird in einer Vorbrennkammer **1** verbrannt, die sich von einem Eintrittsende ausgehend konisch erweitert. An das erweiterte Ende der Vorbrennkammer **1** schließt sich eine Beschleunigungsdüse **2** an, die vom Austrittsdurchmesser der Vorbrennkammer **1** ausgehend sich in Richtung auf ein Austrittsende konisch verengt.

[0018] Am Eintrittsende der Vorbrennkammer **1** befindet sich ein Sammelgehäuse **3** mit Luftleitschau-

feln **4**, die in der Lage sind, einer aus dem Sammelgehäuse **3** zuströmenden Brennluftmenge L_1 in der Vorbrennkammer **1** einen Drall zu verleihen.

[0019] Durch das Eintrittsende der Vorbrennkammer **1** ist konzentrisch mit der Vorbrennkammer **1** eine Lanze **5** geführt, die etwa am Ort größten Durchmessers der Vorbrennkammer endet und dort eine Umlenkhaube trägt. Die Lanze **5** dient der Zuführung von mittels eines Trägergases, insbesondere Luft, außerhalb der gezeigten Anordnung auf bekannte Weise fluidierten Braunkohlenstaubs.

[0020] An den Ausgang der Beschleunigungsdüse **2** schließt sich coaxial ein Flammrohr **7** an, an dessen der Beschleunigungsdüse **2** gegenüberliegenden Ende eine Wendekammer **8** angeordnet ist, in die hinein sich das Flammrohr **7** öffnet. Von der Wendekammer ausgehend erstreckt sich parallel zum Flammrohr **7** ein Rohrzug **9** aus mehreren, parallel zueinander verlaufenden Rohren. Die Vorbrennkammer **1** wenigstens teilweise, die Beschleunigungsdüse **2**, das Flammrohr **7** und der Rohrzug **9** liegen in einem mit Wasser bis zu einem Pegel **11** teilgefüllten Kessel **10**, wobei sich der Rohrzug **9** vorzugsweise unterhalb des Flammrohrs **7** erstreckt.

[0021] Im Betrieb wird Brennluft L_1 in die Sammelkammer **3** eingeblasen, und diese wird durch die Luftleitschaukeln zu torischen Strömung geformt, die nahe der Wand der Vorbrennkammer **1** spiralförmig in Richtung auf das Ende größeren Durchmessers der Vorbrennkammer **1** strömt. Aufgrund physikalischer Gegebenheiten kehrt ein Teil der Brennluftströmung im Bereich des größten Durchmessers der Vorbrennkammer **1** um und strömt zentral in Richtung auf das Eintrittsende der Vorbrennkammer **1**. In diese Rückströmung wird mittels der Lanze **5** der fluidisierte Braunkohlenstaub eingeblasen. Auf seinem Weg innerhalb der Rückströmung wird der Braunkohlenstaub aufgeheizt, so daß er spontan zündet, wenn er im Bereich des Eintrittsendes der Vorbrennkammer **1** mit der Verbrennungsluft in Berührung gelangt. Die Flamme, die in der Zeichnung innerhalb der Vorbrennkammer **1** und der Beschleunigungsdüse **2** nicht dargestellt ist, füllt Vorbrennkammer **1** und Beschleunigungsdüse **2** bis auf eine dünne, wandnahe Kaltluftschicht vollständig aus. Der aus der Beschleunigungsdüse **2** austretende Flammstrahl **6** hat eine Geschwindigkeit, die wenigstens etwa 80 m/s, vorzugsweise etwa 100 m/s beträgt.

[0022] Der Austrittsdurchmesser d_1 der Flammbeschleunigungsdüse **2** ist im dargestellten Beispiel 488 mm für eine Flammbeschleunigung auf 100 m/s oder 545 mm für eine Flammbeschleunigung auf etwa 80 m/s, sofern die Gesamtbrennluftmenge L_1 durch die Vorbrennkammer **1** geht. Die erwähnte, wandnahe Kaltluftschicht erstreckt sich bis in die Mündung der Flammbeschleunigungsdüse **2**, was dort in **Fig. 1** entsprechend angedeutet ist.

[0023] Der Flammstrahl **6** wird in das Flammrohr **7** eines Durchmessers von $D_1 = 1800$ mm coaxial eingeblasen und erweitert sich im Zuge des Ausbrandes

der noch unverbrannten Brennstaubanteile vom ursprünglichen Durchmesser, der unter dem Austrittsdurchmesser der Flammbeschleunigungsdüse 2 liegt, auf einen Durchmesser D_2 von etwa 700 bis 800 mm. Durch seinen Impuls erzeugt der Flammstrahl in bekannter Weise eine starke Rauchgaszirkulation im Flammrohr 7, die einen entsprechenden Wärmeübergang auf die Wände des Flammrohrs 7 durch Konvektion zur Folge hat, die sich zum Wärmeübergang durch Flammstrahlung addiert.

[0024] Im Gegensatz zu konventionellen Brennern ergibt sich aufgrund des erfindungsgemäßen Verbrennungsverfahrens eine sehr gleichmäßige Wärmestromdichte entlang der Heizfläche des Flammrohrs 7 von im Mittel etwa 150 kW/m^2 mit einem schwach ausgeprägten Maximum von 170 kW/m^2 im Bereich des größten Durchmessers D_2 des Flammstrahls 6 im Flammrohr 7. Damit sind die thermischen Voraussetzungen für die angestrebten größeren Wanddicken gegeben. Die Wanddicke kann im dargestellten Beispiel 35 mm sein, so daß für den Innendurchmesser des Flammrohrs 7 ein Maß von 1730 mm verbleibt.

[0025] Für andere Leistungen ist der Innendurchmesser des Flammrohrs 7 mit der Quadratwurzel aus dem Verhältnis der Leistungen in bekannter Art umzurechnen. Die gleiche Regel gilt für den Austrittsdurchmesser d_1 der Flammbeschleunigungsdüse 2.

[0026] Die Länge L_1 des Flammrohrs 7 beträgt im dargestellten Beispiel 5800 mm und genügt damit den Forderungen nach hinreichendem Ausbrand sowie Einstellung des NO-Gleichgewichts. Bei einer Kesselleistung von 3,5 MW genügt eine Länge von 4800 mm, für eine Kesselleistung von 13,5 MW sind 7100 mm erforderlich. Für andere Leistungen ist linear zu interpolieren. Das Längenmaß ist nicht besonders kritisch.

[0027] Die vom Flammstrahl entwickelten Rauchgase verlassen das Flammrohr 7 an dem der Flammbeschleunigungsdüse 2 gegenüberliegenden Ende in die Wendekammer 8, von wo sie in den ersten Rohrzug 9 geleitet werden, der im unteren Bereich des Kessels um das Flammrohr 7 herum angeordnet ist. Flugasche setzt sich in der Wendekammer 8 ab und kann von dort abgezogen werden.

[0028] Die axiale Länge der Wendekammer 8 beträgt im Beispiel 1250 mm und ist für andere Kesselleistungen proportional dem Innendurchmesser des Flammrohrs 7 umzurechnen.

[0029] Fig. 2 zeigt eine Ausführungsform, bei der die Vorbrennkammer 1 mit Beschleunigungsdüse 2 oberhalb der Achse des Flammrohrs 7 angeordnet ist und schräg zur Achse des Flammrohrs 7 verläuft, so daß der von der Beschleunigungsdüse 2 ausgehende Flammstrahl 6 schräg nach unten in das Flammrohr 7 hinein gerichtet ist.

[0030] Der Neigungswinkel α zwischen der Achse der Vorbrennkammer 1 mit Flammbeschleunigungsdüse 2 gegenüber der Achse des Flammrohrs 7 ist vorzugsweise so gewählt, daß der Abstand A zwi-

schen der Oberfläche des Flammstrahls 6 und dem Flammrohr 7 oberhalb des Flammstrahls 6 über die Länge des Flammstrahls 6 etwa konstant ist. Damit bleiben die Wärmestromspitzen unverändert. Der günstigste Winkel α liegt zwischen 7 und 10° .

[0031] Der Erfolg dieser Maßnahme ist, daß sich am tiefsten Punkt der Vorbrennkammer 1 gelegentlich ansammelnde Verunreinigungen, wie Ascherückstände usw., leichter ausgeblasen werden können. Das Ausblasen dieser Rückstände aus der Vorbrennkammer 1 wird begünstigt, wenn die Vorbrennkammer 1 in der geschilderten Weise geneigt ist. Auch begünstigt der schräge Verlauf des Flammstrahls 6 ein Ausblasen von Verunreinigungen aus dem Flammrohr 7.

[0032] Der Winkel α kann gegebenenfalls auch größer gewählt werden und bis in den Bereich von 12° bis 14° reichen, weil der Spitzenwert der Wärmestromdichte nicht allein vom Abstand A, sondern auch vom Durchmesser Verhältnis D_2/D_1 von Flammstrahl 6 und Flammrohr 7 abhängt.

[0033] Bei Kohlenstoffsorten, die Stickstoffanteile von mehr als 0,3 % enthalten, können Maßnahmen zur NO_x Verminderung notwendig sein. Hierzu ist es wirksam, wenn die Vorbrennkammer 1 nahe dem stöchiometrischen Punkt oder unterstöchiometrisch betrieben wird und die für die Verbrennung erforderliche Restluftmenge L_2 durch Blasrohre 12, die an der Stirnseite des Flammrohrs 7, an der die Beschleunigungsdüse 2 in das Flammrohr 7 mündet, angesetzt sind, direkt in das Flammrohr 7 geblasen werden. Diese Blasrohre 12 können vorteilhaft auch dazu verwendet werden, Ablagerungen von Flugasche aus dem Flammrohr 7 hinauszublasen.

[0034] Die übrigen Merkmale der dargestellten Ausführungsform entsprechen denen der zuvor erläuterten, so daß auf Wiederholungen verzichtet werden kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Befeuern eines Flammrohrkessels großer Leistung mit einem staubförmigen Brennstoff, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein möglichst hoher Anteil, bevorzugt wenigstens 30%, des Brennstoffs in einer Vorbrennkammer verbrannt wird und die aus der Vorbrennkammer austretenden, brennenden Flammgase auf eine Geschwindigkeit von wenigstens 80 m/s beschleunigt und mit dieser Geschwindigkeit in das Flammrohr des Kessels eingeblasen werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß etwa 60% des Brennstoffs in der Vorbrennkammer verbrannt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Flammgase auf etwa 100 m/s beschleunigt werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Flammgase koaxial zum Flammrohr in dieses eingeblasen werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Flammgase an einer oberhalb der Achse des Flammrohrs gelegenen Stelle mit einem Neigungswinkel von 8 bis 14° gegen die Flammrohrachse schräg nach unten in das Flammrohr geblasen werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Neigungswinkel zwischen 8° und 10° liegt.

7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Neigungswinkel derart gewählt ist, daß die obere Mantellinie der Flamme und die obere Mantellinie des Flammrohrs einander weitgehend parallel sind.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Teil der Brennluftmenge durch Blasrohre direkt in das Flammrohr eingeblasen wird.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

