



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 223 226 A1

4(51) F 27 B 9/12

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP F 27 B / 259 172 0

(22) 03.01.84

(44) 05.06.85

(71) VE Wissenschaftlich-technischer Betrieb Keramik, 8250 Meissen, Ossietzkystraße 37a, DD

(72) Thiele, Hartwig, Dr.-Ing.; Jacob, Siegfried, Dr.-Ing.; Thiele, Andreas, Dipl.-Ing.; Maier, Peter, Dr. Dipl.-Ing., DD

(54) Verfahren zur brenngutgerechten Temperaturführung in der Kühlzone eines Industrieofens

(57) Das erfindungsgemäße Verfahren zur brenngutgerechten Temperaturführung in der Kühlzone eines Industrieofens ist insbesondere anwendbar für kontinuierliche Öfen, in denen das Brenngut in der Kühlzone des Industrieofens nach genau vorgegebener Temperaturzeitkurve zu behandeln ist. Neben der exakten Realisierung der geforderten Temperaturgradienten ist es möglich, die Kühlenthalpie zur Warmwasserbereitung zu nutzen. Erfindungsgemäß wird der Temperaturverlauf des Brenngutes im Mittel- und Niedertemperaturbereich der Kühlzone eines z. B. Glatt- und Glühbrandtunnelofens der keramischen Industrie ofenfeldweise mit rekuperativer Wasserkühlung regelbar geführt und das Brenngut mit dem gewünschten Temperaturgradienten gekühlt, ohne dem Ofenkanal in der Kühlzone erhebliche Mengen Kaltluft zuführen zu müssen. Dabei wird die im Ofenkanal befindliche zirkulierende Luft als Wärmeübertragungsmittel verwendet. Diese Luft kühlt konvektiv das Brenngut und nimmt die Kühlenthalpie des Brenngutes auf. Durch natürliche Dichteunterschiede und durch Injektordüsen wird die zirkulierende Luft im Ofenkanal über das Ofengewölbe in das Rekuperativsystem mit Wasserkühlung bewegt.

Erfindungsansprüche:

1. Verfahren zur brenngutgerechten Temperaturführung in der Kühlzone eines Industrieofens bei kontinuierlicher Betriebsweise und maximaler Rückgewinnung der Kühlenthalpie von Brenngut und Ofenwagenplateau mit bekannter aerodynamischer Atmosphärenumwälzung, **dadurch gekennzeichnet**, daß in jedem Ofenfeld wassergekühlte Rekuperatoren angeordnet sind und die Strömungsgeschwindigkeit der zirkulierenden Luft mittels Injektordüsen eingeblasener Kaltluft geregelt wird.
2. Verfahren gemäß Pkt. 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Strömungsgeschwindigkeit der zirkulierenden Luft mittels zwischen Brenngut und Rekuperator angeordnetem Schieber gedrosselt wird.
3. Verfahren gemäß Pkt. 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Durchmesser der zirkulierenden Lufteinseisung das 0,3fache des Abstandes zwischen Injektordüse und Beginn Ofenkanal beträgt.
4. Verfahren gemäß Pkt. 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Injektordüsen in der Kühlzone beidseitig in einem Abstand von 500 mm angeordnet sind.
5. Verfahren gemäß Pkt. 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Kaltluft mit einem Druck bis 50 KPa und einem Volumenstrom bis $5 \text{ m}^3/\text{h}$ pulsierend oder stetig eingeblasen wird.
6. Verfahren gemäß Pkt. 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die wassergekühlten Rekuperatoren an der Ofenaußenwand angeordnet sind.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung ist anwendbar für Industrieöfen, insbesondere für kontinuierliche Öfen, in denen das Brenngut in der Kühlzone des Industrieofens nach genau vorgegebener Temperaturzeitkurve zu behandeln ist. Neben der exakten Realisierung der geforderten Temperaturgradienten ist es möglich, die Kühlenthalpie zur Warmwasserbereitung und diese für andere Produktionsprozesse zu nutzen.

Die Erfindung ist besonders geeignet für Glatt- und Glühbrandtunnelöfen der keramischen Industrie.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Die Kühlenthalpie des Besatzes kontinuierlicher Industrieöfen wird üblicherweise in der sogenannten Kühlzone zur Verbrennungsluftwärmerückgewinnung genutzt. In den Industrieöfen z. B. der Fein- und Sanitärkeramikindustrie geschieht das auf rekuperativem Wege mittels in den Ofenwänden (teilweise auch in der Decke) angebrachter Rohrregister, die von der Verbrennungsluft durchströmt werden. Je nach Anordnung der Rohrregister wird die Wärme an sie überwiegend durch Strahlung oder durch Konvektion übertragen. Meist werden die Rohre zum Schutz vor Überhitzung durch eine keramische Wand vom Ofentunnel getrennt. Zur Ausbildung einer Konvektion wird die Wand oben und unten mit Öffnungen zum Ofentunnel versehen. Unter den Bedingungen der natürlichen Konvektion ist die Wärmeübertragungsleistung sehr gering, weswegen man verhältnismäßig lange Kühlzonen braucht, sich mit kleinen Rückgewinnungsgraden zufrieden gibt, hohe Entropiezunahmen in Kauf nimmt oder durch Kaltlufteinblasungen (zur Sturzkühlung im höheren Temperaturbereich oder zur Schlußkühlung mittels sog. Schiebeluft) den Kühleffekt verbessern muß.

Der Wärmetransport aus dem Industrieofen heraus ist immer an Luft gebunden. Von der Verwendung von Wasser als Wärmeübertragungsmittel nimmt man bisher grundsätzlich Abstand, da das Schadensausmaß im Falle von Undichtigkeiten an Wasserrohren, die im heißen Ofenteil eingebaut sind, erheblich ist.

Eine gewisse Intensivierung der Wärmeübertragung wird bekanntermaßen erreicht durch eine Unterstützung der natürlichen Konvektion durch die Injektorwirkung eingebauter Düsen. Sie beeinflusst jedoch nur den Wärmeübergang auf der heißen Seite positiv, nicht den auf der Seite des wärmeaufnehmenden Mediums. Der Wärmeübergangskoeffizient bei luftgeköhlten Rekuperatoren ist ungünstig und nur unwesentlich zu vergrößern.

Dadurch ist die Wirksamkeit dieses Rekuperativsystems auf den Bereich hoher Temperaturen begrenzt. Tatsächlich beschränkt man sich im letzten (d. h. kältesten) Teil der Kühlzone jetzt meist auf die direkte Wärmeabführung mittels Schiebeluft. Die bisherigen Lösungen für die Wärmerückgewinnung und die Temperaturführung in der Kühlzone von Tunnelöfen sind Regelungen gegenüber schwer zugänglich. Jeder Regelvorgang beeinflusst das Gesamtsystem — d. h. insbesondere auch die Brennzonen mit —, ohne einen dem Aufwand auch nur annähernd äquivalenten positiven Effekt zu bringen.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist, den Temperaturverlauf in der Kühlzone eines Industrieofens ofenfeldweise entsprechend dem Kühlprogramm einzustellen und zu regeln und in Abhängigkeit davon die Kühlzeit des Brenngutes zu verkürzen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Die Erfindung stellt sich die Aufgabe, im Mittel- und Niedertemperaturbereich der Kühlzone eines Industrieofens, z. B. eines Glatt- und Glühbrandtunnelofens der keramischen Industrie, den Temperaturverlauf des Brenngutes ofenfeldweise mit rekuperativer Wasserkühlung regelbar zu führen und das Brenngut mit den gewünschten Temperaturgradienten zu kühlen, ohne dem Ofenkanal in der Kühlzone erhebliche Mengen Kaltluft zuführen zu müssen.

Der Temperaturverlauf des Brenngutes in der Kühlzone wird erfindungsgemäß wie folgt geregelt.

Die im Ofenkanal befindliche zirkulierende Luft wird als Wärmeübertragungsmittel verwendet. Diese Luft kühlt konvektiv das Brenngut und nimmt die Kühlenthalpie des Brenngutes auf. Durch natürliche Dichteunterschiede und durch Injektordüsen wird die zirkulierende Luft im Ofenkanal über das Ofengewölbe in das Rekuperativsystem mit Wasserkühlung bewegt. Die zirkulierende Luft wird abgekühlt und deren Enthalpie zur Warmwasserbereitung genutzt. Mit dem erzeugten Unterdruck der Injektordüsen und durch den Dichteunterschied der zirkulierenden Luft infolge der rekuperativen Kühlung wird die abgekühlte zirkulierende Luft aus dem Rohrregister des Rekuperators bewegt und mit regelbaren Strömungsgeschwindigkeiten erfindungsgemäß in den Ofenkanal kontinuierlich oder umpulsartig injiziert. Mit den variierbaren Strömungsgeschwindigkeiten ist die Möglichkeit gegeben, den rekuperativen Wärmedurchgang zu regeln. Diese Regelung ist nur mit einer rekuperativen Wasserkühlung möglich.

Dazu folgende Begründung: Für den Wärmedurchgangskoeffizienten gilt:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a}}$$

- k Wärmedurchgangskoeffizient
 α_i Wärmeübergangskoeffizient Rohrwand – Wasser
 δ Wandstärke
 λ Wärmeleitfähigkeit
 α_a Wärmeübergangskoeffizient Luft – Rohrwand

Da bei der rekuperativen Wasserkühlung

α_i und $\frac{\lambda}{\delta}$ um über das ca. 100–200fache größer ist, als α_a gilt:

„Der Wärmedurchgangskoeffizient ist eine Funktion des Wärmeübergangskoeffizienten Luft – Rohrwand“

$$k = f(\alpha_a)$$

Der Wärmeübergangskoeffizient α_a ist in erster Linie abhängig von der Strömungsgeschwindigkeit der zirkulierenden Luft (WL), die um die Heizfläche des Rekuperators gespült wird.

$$\alpha_a = f(WL)$$

Diese Strömungsgeschwindigkeit wird durch die Injektordüsen ofenfeldweise geregelt. Somit ist die Kühlintensität des Brenngutes mit Hilfe der Injektordüsen regelbar. Werden nun mehrere Ofenfelder mit diesem Regelsystem in der Kühlzone eines kontinuierlichen Industrieofens ausgerüstet, ist die Möglichkeit gegeben, das Brenngut nach vorgegebenen Temperaturgradienten zu kühlen.

Um gezielte aerodynamische Atmosphärenumwälzung zu ermöglichen, sind alle 500 mm in der Kühlzone des Industrieofens beidseitig Injektordüsen angeordnet. Dabei sind die Injektordüsen unterhalb des Rekuperators anzubringen. Die Düsen sind so zu wählen, daß ein Kaltluftvolumenstrom von 0–5 m³/h mit einem Überdruck von maximal 50 KPa pro Injektordüse dem Ofenkanal zugeführt wird. Die zirkulierenden Luftvolumenströme pro Injektordüse sind von 0 bis 70 m³/h zu variieren. Da das Brenngut in besonderen kritischen Temperaturbereichen mit geringen Temperaturgradienten gekühlt werden muß, ist mit Hilfe des Schiebers kurz vor dem Rekuperator die Möglichkeit gegeben, die Zirkulation der Luft zu drosseln.

Die Entfernung von Ende der Injektordüse bis zum Ofenkanal „a“ und dem Durchmesser der zirkulierenden Lufteinspeisung in den Ofenkanal „D“ muß das Verhältnis

$$D = 0,3 \cdot a$$

aufweisen.

Ausführungsbeispiel

Die erfindungsgemäße Lösung wird am Beispiel eines Tunnelofens der keramischen Industrie näher erläutert.

Die freiwerdende Kühleenthalpie im ersten Drittel der Kühlzone des Tunnelofens wird, wie bereits praktiziert, zur Verbrennungsluftvorwärmung genutzt. Die letzten zwei Drittel der Kühlzone des Tunnelofens ab Besatztemperatur 700°C bis Ofenausfahrt sind zur erfindungsgemäßen Temperaturführung des Tunnelofens geeignet. Abbildung 3 zeigt den gegenwärtigen Temperaturverlauf und den technisch möglichen Temperaturverlauf eines Tunnelofens in der feinkeramischen Industrie. Der technisch mögliche Temperaturverlauf ist durch die erfindungsgemäße Temperaturführung des Tunnelofens erzielbar. Am Beispiel der Abbildung 3 trifft das für die Ofenfelder 40 bis 54 zu. Je Ofenfeld sind 6–8 Injektordüsen angeordnet. Nach Abb. 1 wird pro Injektordüse 14 Kaltluft horizontal mit geringen Luftmengen von 0–5 m³/h und einem relativ hohen Überdruck von 0 bis 50 KPa dem Tunnelofen zugeführt. Durch den Unterdruck vor der Injektordüse werden 0–70 m³/h rekuperativ abgekühlte zirkulierende Luft der Kaltluft zugemischt, so daß pro Injektordüse 14 insgesamt 0–75 m³/h kühlere Luft dem Tunnelofenkanal zugeführt werden. Die Luft zirkuliert im Tunnelofenkanal und kühlt das Brenngut ab. Die sich dabei erwärmende zirkulierende Luft wird über das Tunnelofenzwischengewölbe 6 dem Rekuperator 3 zugeführt. Zwischen den Rippenrohren 8 wird die Heißluft rekuperativ gekühlt. Ist die Solltemperatur an der Meßstelle 11 zu hoch, so wird Regelventil 13 geöffnet. Größere Kaltluftvolumenströme mit größerem Luftdruck werden dem Tunnelofenkanal 1 zugeführt. Die Kühlung des Brenngutes wird intensiver. Größere Heißluftmengen werden über das Tunnelofenzwischengewölbe 6 dem Rekuperator 3 zugeführt. Größere Strömungsgeschwindigkeiten, die um die Rippenrohre bewegt werden, begünstigen den Wärmedurchgang und kühlen das Tunnelofenfeld nach genau vorgegebener Solltemperatur. Durch die Temperaturregelung mehrerer Tunnelofenfelder wird der Temperaturverlauf der gesamten Tunnelofenkühlung geregelt. Um niedrige Temperaturgradienten in besonders kritischen Temperaturbereichen des Brenngutes zu erzielen, kann mit Schieber 10 die Zirkulation der Heißluft unterbrochen werden. Nach Abbildung 2 sind die Injektordüsen horizontal angeordnet. Die Düsen müssen so angebracht werden, daß das Verhältnis

$$D = 0,3 \cdot a$$

eingehalten wird.

Der Rekuperator ist in unmittelbarer Nähe der Ofenaußenwand 2 anzubringen. Um Zugang zu dem Rekuperator 3 zu ermöglichen, ist leicht abnehmbares Wärmedämmmaterial 4 unmittelbar am Rekuperator anzubringen.

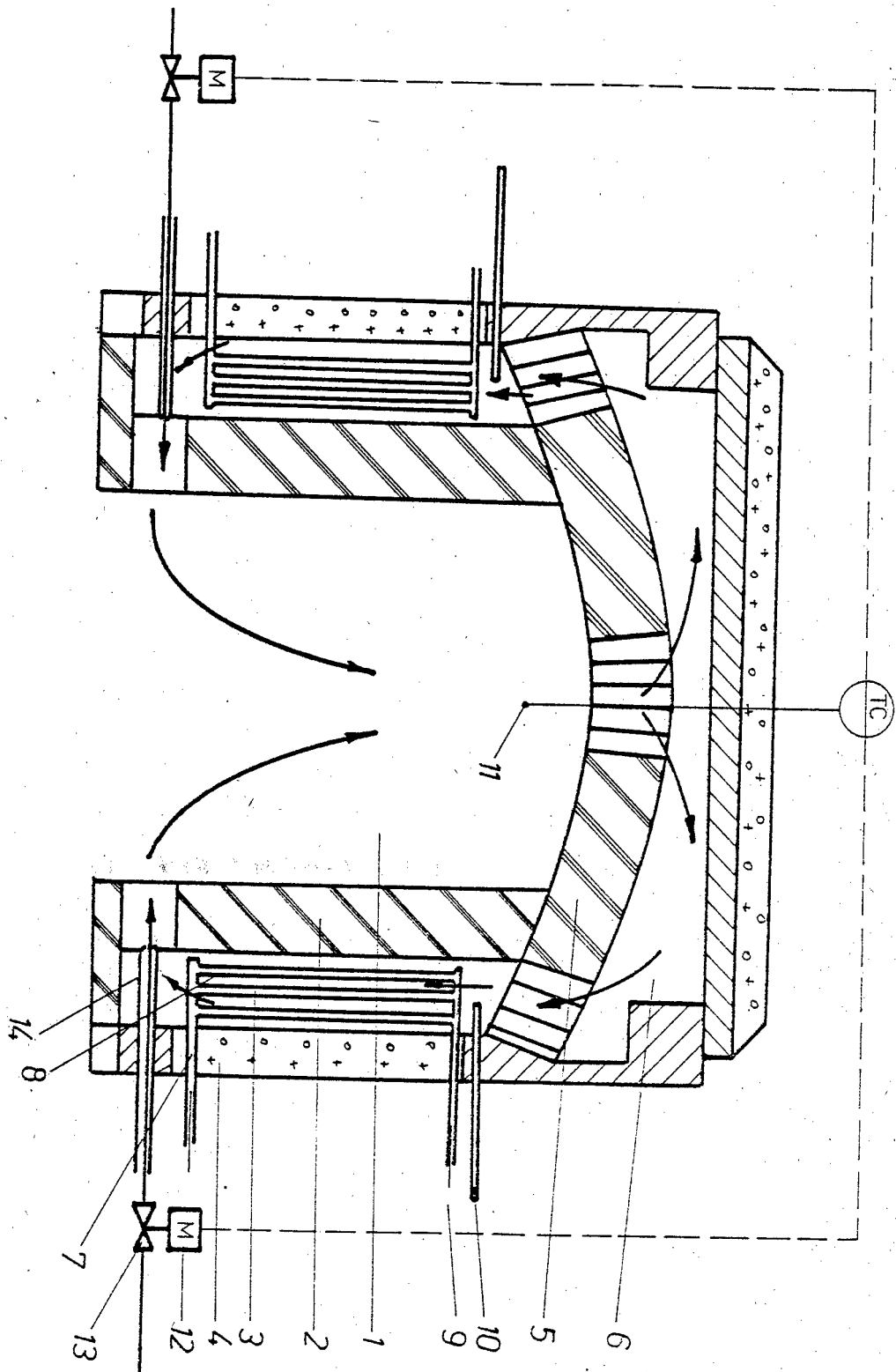


Abb. 1

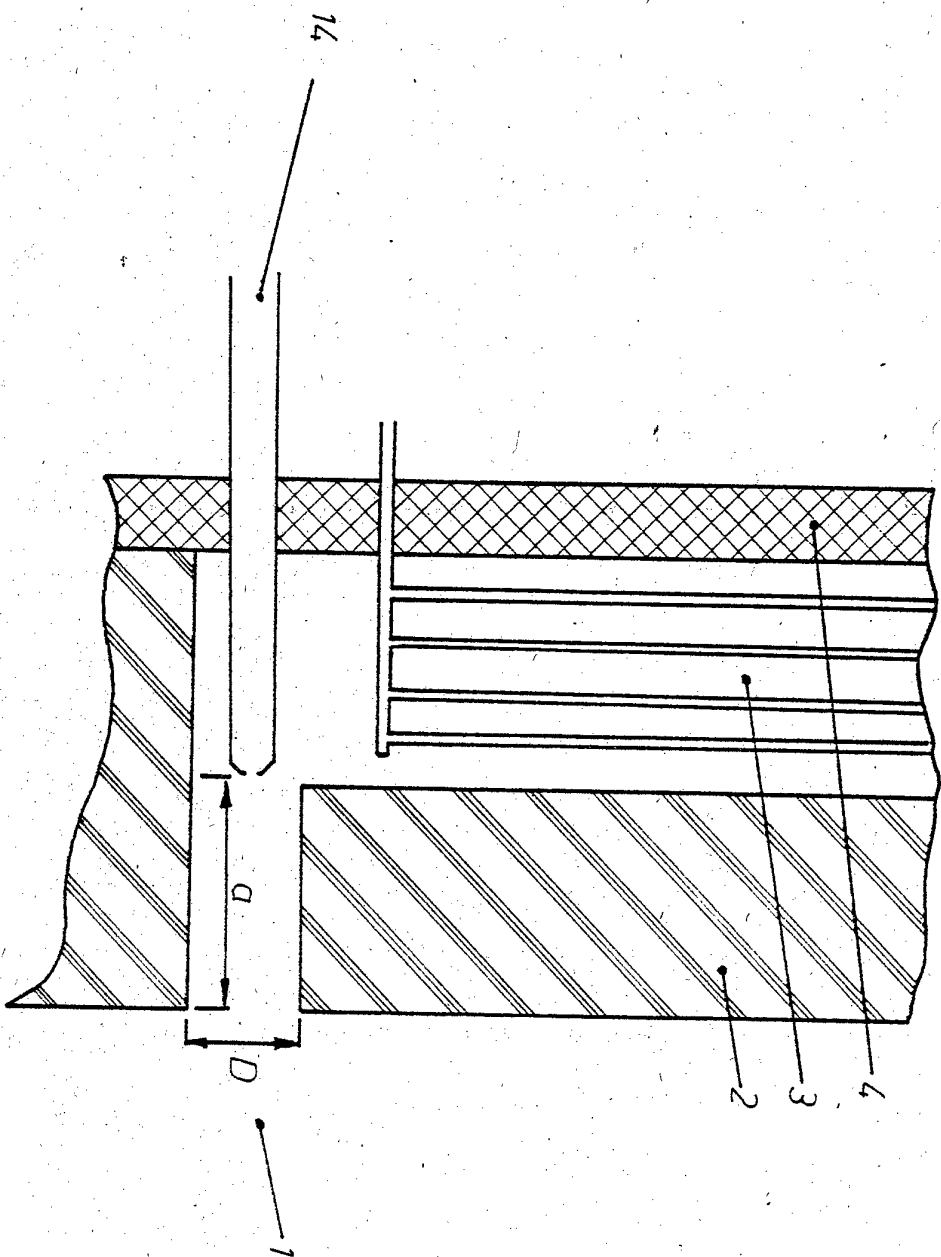


Abb. 2

Abb. 3

