



(10) **DE 10 2005 040 277 B4** 2015.11.05

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2005 040 277.1**
(22) Anmeldetag: **24.08.2005**
(43) Offenlegungstag: **01.03.2007**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **05.11.2015**

(51) Int Cl.: **G01N 25/18** (2006.01)
F22B 37/38 (2006.01)
G01K 17/20 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
CheMin GmbH, 86167 Augsburg, DE

(74) Vertreter:
Müller-Wolff, Thomas, Dipl.-Ing., 53115 Bonn, DE

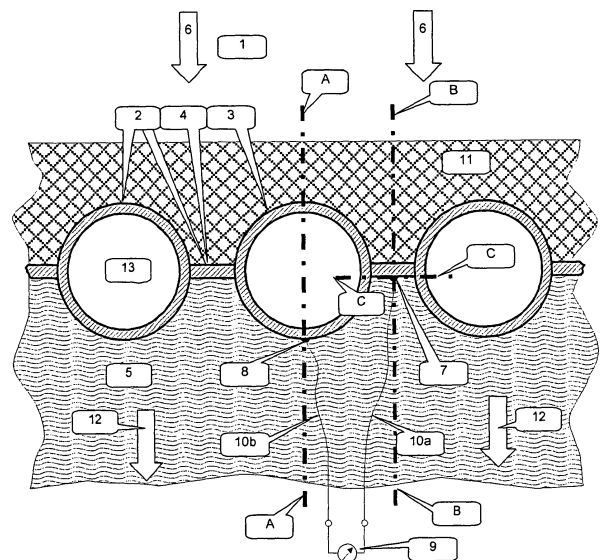
(72) Erfinder:
**Krüger, Jörg, Dr., 92421 Schwandorf, DE; Spiegel,
Wolfgang, Dr., 86415 Mering, DE; Beckmann,
Michael, Prof., 99425 Weimar, DE; Krüger, Sascha,
Dipl.-Ing., 92421 Schwandorf, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	6 485 174	B1
US	4 779 994	A
WO	2004/ 036 116	A2

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur Erfassung des spezifischen Wärmeflusses auf einer Membranwand zur Optimierung der Kesselauslegung und des Kesselbetriebes**

(57) Hauptanspruch: Wärmeflussensor bestehend aus mindestens zwei Kontaktstellen (7, 8) zur Messung von Differenztemperaturen nach der Methode der Thermoelementmessung und aus einem Anzeigegerät (9) mit Umwandlung der gemessenen Differenzspannungen in Wärmefluss-Einheiten, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontaktstellen (7, 8) auf einem durchgehend verbundenen, eisenhaltigen Grundmaterial liegen und dass an die Kontaktstellen je ein Leiter (10a, 10b) aus dem gleichen Thermo(draht)-Material angeschlossen ist, wobei die Kontaktstellen auf dem eisenhaltigen Grundmaterial in einem Abstand angeordnet sind, bei dem die Differenztemperatur proportional zum Wärmefluss ist.



Beschreibung

[0001] In Dampferzeugern wird die Energie aus den Verbrennungsgasen im hohen Temperaturbereich im Wesentlichen durch Flamm- sowie Gasstrahlung und im abgesenkten Temperaturbereich im Wesentlichen durch Konvektion auf das Wasser bzw. den Dampf übertragen. Die Gestaltung der Wärmeübertragungsflächen trägt den physikalischen Gesetzen Rechnung. In dem hohen Temperaturbereich sind Rauchgaszüge ohne Einbauten – die so genannten Leer- oder Strahlungszüge – üblich. In den unteren Rauchgastemperaturbereichen werden die Kesselzüge mit Rohren ausgestattet, die einen guten konvektiven Wärmeübergang aus dem Rauchgas auf das zu beheizende Medium sicherstellen. Die rauchgasbegrenzenden Wände aller Kesselzüge werden in den meisten Fällen aus Membranwänden gebildet. Diese Membranwände bestehen aus mittels Stegen (4) untereinander verschweißten Rohren (3). Sie bilden eine dichte Abdichtung für die Rauchgase und werden im Allgemeinen durch das Siedewasser in den Rohren gekühlt.

[0002] Aus verfahrens- und materialtechnischen Gründen muss in Teilbereichen der Strahlungszüge der Wärmefluss auf die Membranwände eingestellt werden. Dies geschieht durch Feuerfestzustellungen-Materialien also, die entsprechend der chemischen und thermischen Belastungen ausgewählt und auf den Membranwänden auf vielfältige Art und Weise befestigt werden.

[0003] Die Rauchgase kühlen sich von den adiabaten Verbrennungstemperaturen in den Strahlungszügen bis auf die geeignete Eintrittstemperatur in den konvektiven Bereich ab. Die geeignete Rauchgaseintrittstemperatur in den konvektiven Bereich ergibt sich aus den Eigenschaften des eingesetzten Brennstoffes und den angestrebten Dampftemperaturen. Bei Müllverbrennungsanlagen liegt diese geeignete Rauchgaseintrittstemperatur häufig im Bereich zwischen 500 und 600°C.

[0004] Die Begleitstoffe der Brennstoffe, seien es Chlor, Schwefel, Schwermetalle, Alkalien, Erdalkalien und andere Mineralien, bilden in Abhängigkeit von den Verbrennungstemperaturen gas- und dampfförmige Verbindungen, die sowohl in der Gasphase als auch bei der Abkühlung in der kondensierten Phase die eingesetzten Kesselwerkstoffe über verschiedene Korrosionsmechanismen angreifen. Zusätzlich werden auch die inerten Stäube über diese kondensierenden Verbindungen eingebunden und bilden Beläge. Diese Beläge behindern sowohl in den Strahlungszügen als auch in den konvektiven Zügen den Wärmeübergang vom Rauchgas auf die Heizflächen. In den konvektiven Zügen wird durch die Beläge zusätzlich der freie Abzug der Rauchgase behindert.

[0005] Bei der Auslegung der Heizflächen strebt man an, dass die Rauchgase in den Strahlungszügen soweit abgekühlt werden, dass die Kondensation der gas- bzw. dampfförmigen Bestandteile vor dem Eintritt in den konvektiven Zug weitgehend abgeschlossen und die Aggressivität der gasförmigen Anteile abgesenkt ist. Insbesondere zu Beginn der Reisezeit – bei belagfreien Heizflächen – und ggf. bei Teillast muss die Rauchgastemperatur vor dem Eintritt in den konvektiven Zug jedoch noch so hoch sein, dass eine ausreichende Überhitzung des Dampfes sichergestellt wird.

[0006] Zudem sind über möglichst hohe treibende Temperaturdifferenzen und Wärmeübergänge zwischen dem Rauchgas und dem zu beheizenden Medium die Heizflächen und damit die Herstellungskosten zu minimieren. Die zur Verfügung stehenden Berechnungsmethoden gestatten grundsätzlich eine solche Auslegung.

[0007] US 6 485 174 B1 offenbart einen Zähler mit Thermoelementen, welche die Abgastemperatur messen, um den Wärmefluss an ausgewählten Stellen einer Kesselwandung bestehend aus einer Reihe von Röhren, welche Druckwasser befördern, und die durch Membranen getrennt sind. Der Zähler reicht durch eine Öffnung in der Membran und ist auf der Außenseite der Ofenwand angebracht.

[0008] WO 2004/036 116 A2 betrifft eine Messvorrichtung für einen Wärmetauscher, enthaltend ein Druckrohr und mindestens ein Thermoelement. Das Druckrohr umfassend eine Rohrwand mit einer Ausnehmung, die sich über einen Teilbereich des Umfangs der Rohrwand erstreckt, enthält das Thermoelement und ist mit Füllmaterial gefüllt. Die Messvorrichtung wird durch gekennzeichnet, dass das thermische Element außermittig innerhalb des Teilbereichs angebracht ist, der von der Ausnehmung verformt wird.

[0009] US 4 779 994 A beschreibt ein Wärmefluss-Messgerät, das für die Messung von Oberflächen-Wärmeübertragung auf eine Oberfläche aufgebracht wurde. Alle Elemente des Messgeräts sind dünne Filme, die durch Sputtern oder einem gleichwertigen Verfahren auf der Oberfläche abgeschieden wird.

[0010] Das Messgerät enthält eine Vielzahl von Thermoelementverbindungen, welche als differenzielle Thermosäule verbunden sind, mit heißem und kaltem Übergänge auf den beiden Seiten eines ebenen thermischen Widerstandselements. Elektrisch isolierende und schützende Schichten sind zwischen der Oberfläche und dem Messgerät und über das Äußere des Messgeräts abgeschieden. Das Ausgangssignal des Messgeräts in Form einer Spannung zeigt den Wärmefluss an.

Aufgabe der Erfindung

[0011] Die Eigenschaften der Brennstoffe diffuser Quellen und damit das Verhalten der Rauchgase sind leider nicht immer genau vorauszusagen. Es ist zu verhindern, dass die angestrebten Rauchgastemperaturen vor dem Eintritt in den konvektiven Strahlungszug durch starke Belegung der Heizflächen weit überschritten werden. Bei bekannter Rauchgasmenge und -zusammensetzung kann über Temperaturmessungen der Rauchgastemperaturen die Abnahme des Wärmeinhalts der Rauchgase bestimmt werden. Durch Bezug auf die Heizfläche kann somit bisher der mittlere spezifische Wärmefluss auf die zugehörigen Heizflächen ermittelt werden.

[0012] Auf Grund dieses Ergebnisses kann man leider über Messung von Rauchgastemperaturen nicht erkennen, in welchen Bereichen der Strahlungszüge die Beläge oder andere Einflüsse den Wärmeübergang so stark behindern, dass die Anlage mit einem Online Reinigungsverfahren gereinigt oder zur Reinigung abgefahren werden muss. Es ist besonders bei der Online Reinigung von Vorteil, wenn der belegte Bereich durch ein Messverfahren bekannt ist. Neben den Belägen ist der Feuerfestzustellung (11) Beachtung zu schenken. Diese schützenden Feuerfestzustellungen (11) haben Standzeiten zwischen einem Jahr und fünf Jahren. Die Feuerfestzustellung wird mittels Spritzverfahren unter Zugabe von Wasser auf die Membranwand aufgebracht, abgezogen und bindet anschließend ab. Bekannt sind auch manuell gestampfte Massen. Die Schichtdicke solcher aufgebrachten Massen liegt im Bereich von 25 mm bis 30 mm. Die vorgenannten Arten der Feuerfestzustellung werden in zunehmendem Maße durch einfacher zu montierende Kacheln auf SiC(Siliciumcarbid)-Basis ersetzt, die wahlweise hinterlüftet oder hintergossen mit einem speziellen Mörtel auf der Membranwand befestigt werden. Mit dem Erreichen ihrer Lebensdauer können die Feuerfestzustellungen in größeren Segmenten schlagartig abfallen oder einen Rauchgasspalt zwischen sich und der Membranwand ausbilden. Beides ist für das Verfahren nachteilig und kann zukünftig erfindungsgemäß sehr früh erkannt werden. In dem Spalt kommt es zu starken Korrosionen der Membranwand und der Wärmefluss wird durch den zusätzlichen Wärmewiderstand des Rauchgasspaltes behindert. Bei Verlust der Zustellung ist der Wärmefluss höher als geplant und die aggressiven Rauchgase haben direkten Kontakt zu den metallischen Werkstoffen.

[0013] Zusätzlich zu den hier beschriebenen Mechanismen gibt es Bereiche in den Kesseln, in denen man für die Auslegung – beispielsweise zur Einhaltung der Mindestverbrennungsbedingungen in Müllverbrennungsanlagen – wissen muss, wie hoch der Wärmefluss in bestimmten Kesselbereichen ist. In diesem Zusammenhang sind bei Müllverbrennungs-

anlagen besonders der Aufgabebereich des Mülls auf den Rost und der dortige Zündbereich zu nennen. Dort ist im Normalfall eine starke Flamme mit hoher Wärmestrahlung zu beobachten. Es ist jedoch nicht zu ermitteln, ob infolge von Sauerstoffmangel oder optimaler Sauerstoffkonzentration hinter oder innerhalb der Flamme die gleiche, eine höhere oder tiefere Wärmestrahlung auf die Kesselwände einwirkt.

[0014] Da die hier beschriebenen Eigenschaften bei Betrieb der Anlage nur in Teilbereichen über Schauluken beobachtet werden können, fehlt bislang ein Verfahren, mit dem der spezifische Wärmefluss auf die Membranwände bestimmt werden kann.

[0015] Erfindungsgemäß sollen die hier beschriebenen Eigenschaften und Nachteile, die bei Betrieb der Anlage nur in Teilbereichen über Schauluken zu erkennen sind, überwunden werden.

[0016] Grundsätzlich kann der Wärmefluss mit einem aufwendigen Verfahren durch die Membranwand punktuell mittels Messung von Temperaturdifferenzen an einer Schicht mit bekanntem Wärmewiderstand bestimmt werden. Die Firma Clyde Bergemann vertreibt ein solches Gerät unter dem Namen Smart Flux™ Sensor CBW01.

[0017] Da der Wärmefluss bei diesem Verfahren auf die Membranwände von der Rauchgasseite und damit der aggressiv belasteten Seite zu messen ist, muss diese grundsätzlich einfache Messung erheblichen Belastungen standhalten. Zum einen sind die elektrischen Isolationen so zu wählen, dass sie bei den vorliegenden Temperaturen funktionsfähig bleiben. Zum anderen ist die gesamte Vorrichtung gegen die korrosiven und mechanischen Belastungen bei Betrieb und Revisionen zu schützen. Zu den höchsten Belastungen dürfte die Erneuerung der Feuerfestzustellung gehören. Die verbrauchte Feuerfestzustellung wird üblicherweise mit Druckluftschlämmern und/oder durch Sandstrahlen entfernt. Eine weitere Schwierigkeit dürfte die Platzierung der beschriebenen Vorrichtung sein. Da die Membranwand eine vergleichsweise komplexe Form hat, durch die der Wärmefluss nicht unbedingt senkrecht zur Oberfläche in die Wand eintritt und die abgewinkelte Oberfläche ca. 1,4-fach höher als die projizierte Oberfläche ist, ist eine repräsentative Position der Wärmestrommessung sehr schwierig zu ermitteln.

Erfindung

[0018] Die Berechnung lokaler Temperaturen nach der Methode der finiten Elemente unter Berücksichtigung der Eigenschaften von Membranwandmaterial, Rohrabstand, Material der Feuerfestzustellung und ihrer Schichtdicke erlaubt die Abschätzung der später vorliegenden Bedingungen bei optimaler Verbrennung. Die Erfindung wird im Folgenden an ei-

nem einfachen und weit verbreiteten Membranwand-aufbau mit einer nicht segmentierten Feuerfestzustellung erläutert. Bei der Berechnung von Temperaturen in Membranwänden nach der Methode der finiten Elemente wurde beobachtet, dass die Temperatur im Steg infolge des Wärmeflusses und der Wärmewiderstände höher ist als die des Rohres (**Abb. 1**). Genauere Untersuchungen haben gezeigt, dass zwischen der Temperaturdifferenz Mitte Steg zum rauchgasabgewandten Scheitel des Rohres und dem spezifischen Wärmefluss ein proportionaler Zusammenhang besteht (**Abb. 2**). Bei sehr geringen Wärmeverlusten durch die Isolation (**5**) ist die die dem Rauchgas abgewandte Scheiteltemperatur des Rohres annähernd gleich der des Siedewassers.

[0019] Die **Abb. 1** zeigt in einer 3-dimensionalen Ansicht die Materialtemperaturen in einem Ausschnitt einer typischen Membranwand gemäß Schnitt AA und BB in **Abb. 5**. Die Berechnungen nach der Methode der finiten Elemente wurden für eine Membranwand mit einer Teilung (der Abstand der Rohre) von 100 mm, einer thermischen Belastung von 50 kW/m² bei einer Siedewassertemperatur von 300°C durchgeführt. Zusätzlich wurde in der Berechnung berücksichtigt, dass die Membranwand mit einer gut wärmeleitenden Feuerfestzustellung (SIC90 Masse) geschützt ist, die eine Höhe von 30 mm über dem Scheitel der Rohre hat. Durch die unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit der einzelnen Komponenten – Feuerfestzustellung, Stahl und Wasser –, den Wärmeübergang vom Rohr auf das Wasser und die unterschiedlichen Wärmeflüsse lassen sich die Materialtemperaturen in der Kontur gut erkennen.

[0020] In dieser dreidimensionalen Darstellung sind zusätzlich die Messpunkte **7** und **8** sowie die Schnittlinie CC der **Abb. 5** eingetragen.

[0021] Das Diagramm in der **Abb. 2** zeigt den Temperaturverlauf auf einer Schnittlinie CC der **Abb. 1** und **Abb. 5**, die auf der rauchgasabgewandten Seite des Steges (**4**) parallel zu dem Steg (**4**) bis in das Siedewasser (**13**) verläuft. Das auffällige symmetrische Temperaturprofil entsteht dadurch, dass die auf dem Steg (**4**) auftreffende Wärme in Richtung auf die Rohre (**3**) abfließt. Das Maximum der Temperatur liegt in der Mitte des Steges. Die experimentell bestätigten Temperaturverläufe wurden aus Berechnungen nach der „Methode der finiten Elemente“ entsprechend der **Abb. 1** entnommen. In der **Abb. 2** werden zusätzlich Berechnungsergebnisse für geänderte Parameter dargestellt. Für die Parametervariation wurden die Teilung von 100 mm auf 75 mm und der Wärmefluss von 50 kW/m² auf 10 kW/m² variiert. Die Temperaturdifferenz von der Mitte der rauchgasabgewandten Seite des Steges zum Siedewasser fällt von 324°C – 300°C = 24°C auf 304,8°C – 300°C = 4,8°C linear um den Faktor 5 ab, dies bei einem Abfall des Wärmeflusses von 50 kW/m² auf 10

kW/m². Über die (rechnerische) Bestimmung dieses proportionalen Zusammenhangs kann man über die kontinuierliche Messung der Differenztemperaturen kontinuierlich den spezifischen Wärmefluss ermitteln (Gleichungen 1–4).

[0022] Die **Abb. 2** zeigt zugleich, dass die maximale Temperatur auf der rauchgasabgewandten Seite des Steges mit dem Abfall der Teilung von 100 mm auf 75 mm deutlich von 304,8 auf 301,2°C fällt. Dies lässt sich damit erklären, dass auf den kürzeren Steg weniger Wärme auftritt und der Wärmewiderstand mit dem kürzeren Steg kleiner ist. Bei der Bestimmung des Proportionalitätsfaktors ist daher insbesondere die Teilung der Membranwand zu berücksichtigen.

[0023] Mit Hilfe dieses erfindungsgemäßen Verfahrens kann der Wärmefluss von der äußeren geschützten Seite der Membranwand annähernd an jeder Stelle der Membranwand über die Bestimmung der Temperaturdifferenz und den oben genannten proportionalen Zusammenhang bestimmt werden. Es ist möglich, wichtige Daten für die Auslegung des Kessels, über den Zustand der Feuerfestzustellung sowie der Beläge zu gewinnen. Man kann damit entscheiden, in welchen Bereichen der Kessel mit der Online Reinigung gereinigt werden muss. Es können Erkenntnisse gesammelt werden, welche Besonderheiten bei der Verbrennung von spezifischen Abfällen auftreten und welche Einstellungen dazu führen, dass die Belegung der Heizflächen weniger stark ausgeprägt ist. Dieses erfindungsgemäße Verfahren lässt durch diese Informationen eine bessere Kesselsteuerung zu.

[0024] Diese oben beschriebene Temperaturdifferenz, die häufig bei Materialtemperaturen (Siedewassertemperaturen) zwischen 250 bis 300°C nur wenige Grad bis annähernd 100°C betragen kann, kann grundsätzlich mit zwei Thermoelementen oder Widerstandstemperaturmessungen bestimmt werden.

[0025] Ein Thermoelement ist ein Bauteil aus zwei verschiedenen Metallen, welches sich des Seebeck-Effektes bedient, um eine Spannung zu erzeugen. Diese kann zum Beispiel genutzt werden, um Temperaturen zu messen. Der Seebeck-Effekt besagt, dass zwei Metalle, die miteinander verbunden werden, an ihren Grenzschichten eine thermoelektrische Spannung entstehen lassen. Diese Spannung ist temperaturabhängig und bewegt sich in einem Bereich von wenigen Mikrovolt. Mit Hilfe der so genannten thermoelektrischen Spannungsreihe (vgl. DIN EN 60584) kann eine Aussage über die Temperatur an der Messstelle gemacht werden. Jedes Metall besitzt einen thermoelektrischen Koeffizienten, der meist gegen Platin angegeben wird. Eine einfache Gleichung ist für die Praxis vollkommen ausreichend:

$$U_{th1} = (k_{Fe} - k_{Cu} N_i) \cdot T_{Mess1} \quad (Gl. 1)$$

[0026] Im Folgenden wird von einem Thermoelement des Typs J ausgegangen. Der positive Thermodraht ist handelsübliches, reines Eisen (99,95% Fe), das üblicherweise bedeutende Mengen von Verunreinigungen an Kohlenstoff, Chrom, Kupfer, Mangan, Nickel, Phosphor, Silizium und Schwefel enthält. Der negative Thermodraht ist eine Kupfer-Nickel-Legierung, die häufig als Konstantan bezeichnet wird. Beide Drähte, die üblicherweise elektrisch isoliert in Schutzrohren oder Schutzhülsen, an die zu messende Stelle geführt werden, bilden das Thermoelement.

$$U_{th1} = (k_{Fe} - k_{CuNi}) \cdot T_{Mess1} \quad (\text{Gl. 1})$$

$$U_{th2} = (k_{Fe} - k_{CuNi}) \cdot T_{Mess2} \quad (\text{Gl. 2})$$

$$U_{th2-1} = (k_{Fe} - k_{CuNi}) \cdot (T_{Mess2} - T_{Mess1}) \quad (\text{Gl. 3})$$

[0027] Die Gleichungen 1 bis 3 beschreiben die Bildung der Thermospannung aus den Messstellen der Temperaturen 1 und 2, wobei k_{CuNi} und k_{Fe} die thermoelektrischen Koeffizienten der Legierung CuNi und Fe darstellen und T_{Mess1} sowie T_{Mess2} die Temperatur an der zugehörigen Messstelle ist.

[0028] Um den spezifischen Wärmefluss auf eine Membranwand zu ermitteln, benötigt man somit die Differenztemperatur von zwei repräsentativen Messstellen (Gl. 4)

$$T_{Mess1} - T_{Mess2} [^{\circ}\text{C}] = \Delta T [^{\circ}\text{C}] = \sim \Delta U [\text{V}] = \sim q [\text{W}/\text{m}^2] \quad (\text{Gl. 4})$$

[0029] Bei der praktischen Ausführung von zwei Messungen und der Differenzbildung der Ergebnisse kann es infolge der nach DIN zulässigen Fehler – für die beabsichtigte Messung – zur Verdoppelung der Messfehler kommen. Der ASTM Standard E230-87 in der Ausgabe 1992 des ASTM Jahrbuches gibt die Toleranzen der Grundwertreihe für Thermopaare Typ J (Eisen Konstantan) mit $\pm 2,2^{\circ}\text{C}$ oder $\pm 0,75\%$ (es gilt jeweils der größere der beiden Werte) zwischen 0°C und 750°C an. Thermopaare des Typs J können auch mit speziellen Toleranzen von $\pm 1,1^{\circ}\text{C}$ oder $\pm 0,4\%$ geliefert werden. Auch bei hoher Genauigkeit sind die möglichen Fehler bei 300°C mit $\pm 1,1$ bzw. $\pm 1,2^{\circ}\text{C}$ der einzelnen Thermoelemente beachtlich. Werden die Temperaturen von zwei Messstellen über Differenzbildung verglichen, sind Fehler von bis zu $2,2^{\circ}\text{C}$ zu erwarten. Weitere Fehler sind über die Befestigung der Thermoelemente, die in elektrisch isolierten Schutzrohren bzw. Hülsen geführt werden, an der Messstelle der Membranwand, nicht auszuschließen.

[0030] In den **Abb. 3** und **Abb. 4** werden das bekannte und das erfindungsgemäße Messverfahren gegenübergestellt. In der **Abb. 3** wird das übliche Messverfahren dargestellt. In der **Abb. 4** wird gezeigt, wie das Grundmaterial erfindungsgemäß als Teil des Thermoelements genutzt wird. Für den Fall,

dass das Grundmaterial nicht dem Eisen des Typs J entspricht, kann der thermoelektrische Effekt k_{Fe} über Vergleichsmessungen bestimmt werden.

[0031] (Auch bei der Differenztemperaturmessung muss k_{Fe} ggf. gemessen werden.)

[0032] sErfindungsgemäß wird daher vorgeschlagen, das Grundmaterial aus Rohren (**3**) und Stegen (**4**) der oben genannten – aus niedriglegiertem Stahl gefertigten – Membranwand (**2**), für die beiden Thermoelemente als gemeinsames positives Grundmaterial zu wählen und für beide Thermoelemente jeweils nur einen Konstantandraht **10a** und **10b** an den Stellen mit dem Grundmaterial zu verbinden, an denen die Temperaturdifferenz bestimmt werden soll. Dieses Verfahren ist besonders einfach durchzuführen, weil die zwei negativen Konstantandrahte (**10a**, **10b**) ohne Berücksichtigung von elektrischer Isolation zum Grundmaterial direkt auf diesem verschweißt werden können.

[0033] Bei der üblichen Differenzmessung mit zwei Temperaturmessungen mit einem jeweiligen Messbereich von 0 bis 300°C kann sich im ungünstigen Fall der Messfehler zu $2,2^{\circ}\text{C}$ ergeben. Bei dieser Differenzmessung über zwei Temperaturmessungen mit separaten Thermoelementen und einem Messbereich von 0 – 10°C könnte unter ungünstigen Umständen ein Messfehler von 22% resultieren.

[0034] Bei der gleichen Genauigkeit von $0,4\%$ und einem Messbereich der erfindungsgemäßen Differenzmessung von 0 – 10°C ergibt sich für die erfindungsgemäße Differenzmessung ein Fehler von nur $0,04^{\circ}\text{C}$. Hinzu kommt, dass bei der erfindungsgemäßen Differenzmessung 50% des Thermodrahtmaterials und ein Messumformer eingespart werden.

[0035] Durch die erfindungsgemäße Differenzmessung in einem der maximalen Differenztemperatur und damit dem maximalen Wärmestrom angepassten Messbereich kann somit eine Messgenauigkeit von annähernd $0,4\%$ erreicht werden. Wird der Messbereich aus Sicherheitsgründen auf den doppelten Wert der erwarteten Differenztemperatur ausgelegt, ist der zu erwartende Messfehler noch unter 1% . Bei Abstellungen der Anlage kann der Nullpunkt kalibriert werden, da dann die Thermospannung 0 ist. Durch die Wahl des Grundmaterials als Teil der erfindungsgemäßen Differenzmessung entfallen alle Fehler, die üblicherweise durch Wärmeverluste von Befestigungselementen entstehen können.

[0036] Durch Reinigung der Membranwand vor dem Anfahren der Anlage kann bei vergleichbaren Betriebszuständen die Abnahme des Wärmeflusses durch die Belagbildung bestimmt werden. Werden zudem durch Online-Reinigung die Beläge während des Betriebes der Anlage entfernt, sind über die Mes-

sung des Wärmeflusses Optimierungen des Verbrennungsbetriebes möglich.

[0037] Die Positionen der Kontaktstellen werden gemäß theoretischen Abschätzungen über die zu erwartenden Wärmeflüsse und der gefährdeten Bereiche der Feuerfestzustellung gewählt. Langsame und stetige Abnahme der Differenztemperatur und damit des Wärmeflusses nach der Reinigung bei Stillständen oder der Online-Reinigung kennzeichnen die Ausbildung von Belägen. Schlagartige Abweichungen mit einem Anstieg des Wärmeflusses lassen auf Verlust von Feuerfestzustellungen schließen. Der Abfall des Wärmeflusses bei vergleichbaren Betriebszuständen nach einer Abreinigung der Beläge lässt auf Ablösen und Spaltbildung von Feuerfestzustellungen schließen.

[0038] In kritischen Bereichen kann mittels vertikal angeordneter Messstellen die Funktionalität der Feuerfestzustellung überwacht werden. In diesem Zusammenhang dürfte insbesondere der obere Abschluss der Zustellung in Rauchgasströmungsrichtung wichtig sein. Durch Kontaktpunkte vor und nach dem Abschluss der Stampfmasse kann weitgehend unabhängig von den Betriebszuständen erkannt werden, ob sich in der Zustellung Änderungen ergeben haben.

Bezugszeichenliste

1	Feuerraum
2	Membranwand
3	Rohr
4	Steg
5	Isolation
6	Spezifischer Wärmefluss aus dem Feuerraum (1)
7	Kontaktpunkt Mitte Steg
8	Kontaktpunkt rauchgasabgewandter Rohrscheitel
9	Thermospannung
10a und b	Konstantandraht
11	Feuerfestzustellung
12	Spezifischer Wärmeverlust durch Isolation (5)
13	Siedewasser

Patentansprüche

1. Wärmeflussensor bestehend aus mindestens zwei Kontaktstellen (**7**, **8**) zur Messung von Differenztemperaturen nach der Methode der Thermoelementmessung und aus einem Anzeigegerät (**9**) mit Umwandlung der gemessenen Differenzspannungen in Wärmefluss-Einheiten, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kontaktstellen (**7**, **8**) auf einem durchgehend verbundenen, eisenhaltigen Grundmaterial liegen und dass an die Kontaktstellen je ein Leiter (**10a**, **10b**) aus dem gleichen Thermo(draht)-Material ange-

schlossen ist, wobei die Kontaktstellen auf dem eisenhaltigen Grundmaterial in einem Abstand angeordnet sind, bei dem die Differenztemperatur proportional zum Wärmefluss ist.

2. Wärmeflussensor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das eisenhaltige Grundmaterial aus Rohren (**3**) und Stegen (**4**) einer Membranwand (**2**) besteht und die Leiter (**10a** und **10b**) Konstantandrahte sind.

3. Verfahren zur Erfassung des spezifischen Wärmeflusses (q) auf eine aus Stegen und mit einem beheizbarem Medium durchflossenen Rohren bestehenden Membranwand mit mindestens einem Wärmeflussensor nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch die Schritte:

a) Messung der Temperaturdifferenz (ΔT) zwischen einem Steg und einem Rohr der Membranwand mittels mindestens zwei Thermoelementen, welche über Kontaktstellen (**7**, **8**) mit einem Steg und einem Rohr verbundenen sind,

b) Berechnung des spezifischen Wärmeflusses aus der Temperaturdifferenz zwischen Steg und Rohr aus der Gleichung $\Delta T = \sim q$.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Thermoelemente die Temperaturdifferenz an der rauchgasabgewandten Seite eines von der Membranwand begrenzten Heizkessels messen, wobei insbesondere das Rohr dem Steg benachbart ist, und die Temperaturen vorzugsweise in der Mitte des Steges und/oder vorzugsweise am Scheitel des Rohres gemessen werden, wobei das die Rohre durchfließende beheizbare Medium vorzugsweise Siedewasser ist, und dass die Thermoelemente bevorzugt im kritischen Bereich für Belagbildungen angebracht sind und aus der laufenden Differenztemperaturmessung eine kritische Zustandsänderung des Membranwand-Belags ermittelt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Thermoelemente die Temperatur mittels des Seebeck-Effektes messen, und bevorzugt mehrere Vorrichtungen nach einem der Ansprüche 1 oder 2 verwendet werden, und die Temperaturdifferenzen an mehreren Stellen des Kessels messen.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Wärmefluss, vorzugsweise der Wärmefluss über die Reisezeit und damit die Art und Größe der Wärmewiderstände, aus den aus dem Betrieb erhaltenen Messdaten über die Differenztemperatur online bestimmt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6 gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- a) Messung von Differenztemperaturen von Membranwänden im Bereich des Feuerraums und der Strahlungszüge,
- b) Vergleich der gemessenen Daten mit den vorher ermittelten optimalen Daten,
- c) Einstellung der Verbrennungsbedingungen wie Änderung der Brennstoffzusammensetzung, der Sauerstoffzugabe, der Rauchgasgeschwindigkeit,
- d) Online-Reinigung in den Strahlungszügen solange, bis der über die Differenztemperatur gemessene Wärmefluss mit den Werten der vorher ermittelten optimalen Zustände übereinstimmt.

8. Membranwand für eine dem Feuerraum eines Kraftwerkes nachgeschaltete Wärmeübertragungsfläche, bestehend aus Rohren für das zu beheizende Medium und aus Stegen, die mit den Rohren verschweisst sind zur Bildung einer durchgehenden Membranwand, **dadurch gekennzeichnet**, dass an der dem Rauchgas abgewandten Seite der Membranwand ein Wärmeflussensor als Thermodifferenzelement nach dem Anspruch 1 installiert ist, wobei die Leiter (**10a**, **10b**) Konstantandrähte sind und der eine der Konstantandrähte in der Mitte des Steges (**7**) und der andere Konstantandraht am Rohrscheitel des nächsten oder benachbarten Heizrohres (**3**) angebracht ist.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Abbildung 1

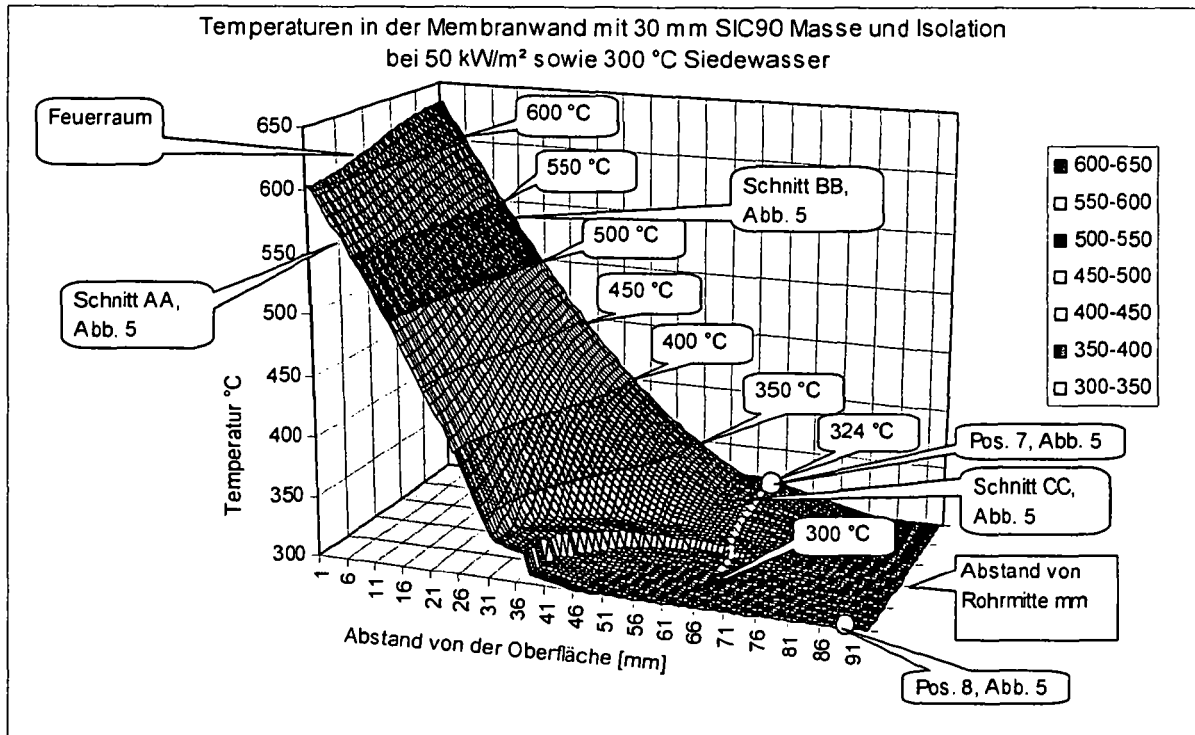


Abbildung 2

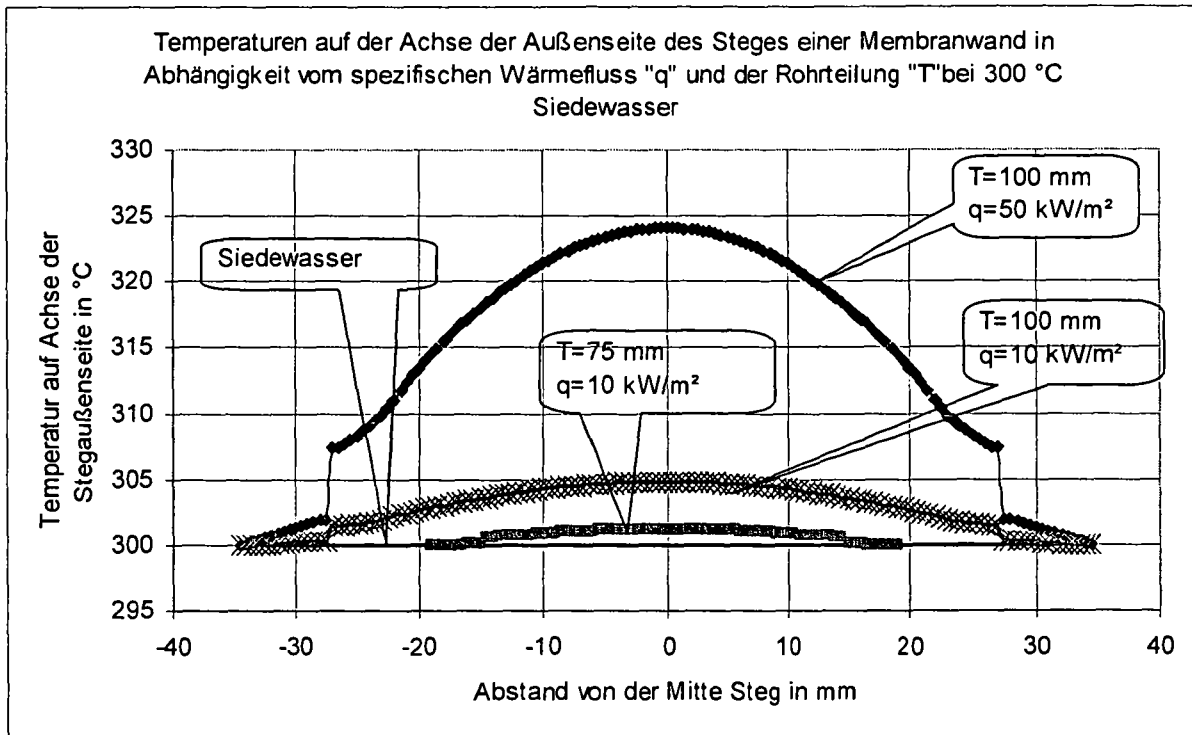


Abbildung 3

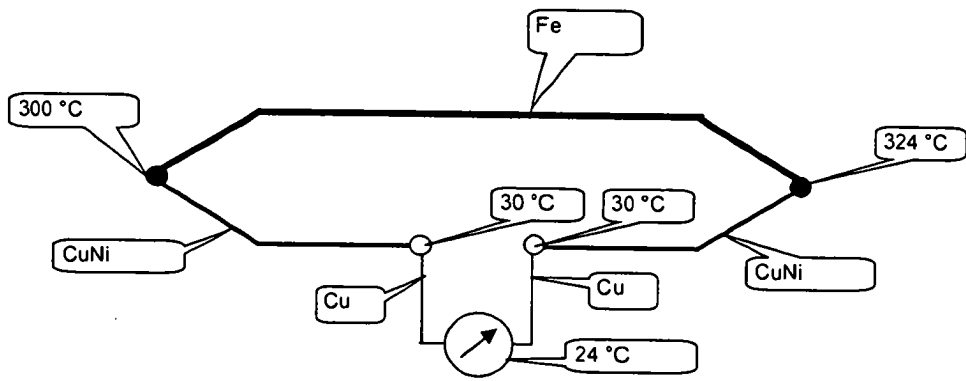


Abbildung 4

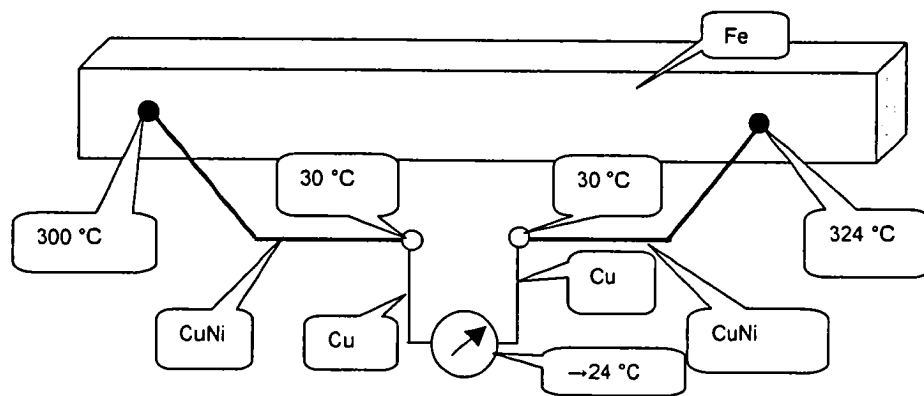


Abbildung 5

