



(12) Ausschließungspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) **DD** (11) **282 748 A5**

5(51) F 28 D 7/00
 F 23 J 3/00
 F 28 G 13/00

PATENTAMT der DDR

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	AP F 28 D / 328 027 3	(22)	27.04.89	(44)	19.09.90
------	-----------------------	------	----------	------	----------

(71) siehe (73)

(72) Müller, Horst, Prof. Dr. sc. techn.; Hofmann, Klaus, Dipl.-Ing.; Suder, Michael, Dipl.-Ing., DD

(73) Technische Hochschule Zittau, Theodor-Körner-Allee 16, Zittau, 8800, DD

(54) **Verfahren zur Bestimmung der Schmutzschichtdicke bei Rohrbündelwärmeübertragern**

(55) Messung; Rohrbündelwärmeübertrager; Verschmutzungsgrad; Wärmeübertragung

(57) Das erfindungsgemäße Verfahren zur Bestimmung der Schmutzschichtdicke bei Rohrbündelwärmeübertragern ermöglicht über einfache Messung der Temperaturverhältnisse im unverschmutzten Zustand und zu den entsprechenden Meßzeitpunkten bei Einstellung festzulegender Massenströme der Medien die Ermittlung des Wärmeleitkoeffizienten der Schmutzschicht und bei weiteren Messungen die Schmutzschichtdicke.

Erfindungsansprüche:

1. Verfahren zur Bestimmung der Schmutzschichtdicke bei Rohrbündelwärmeübertragern, deren Rohre außen zu Verschmutzungen neigen, **dadurch gekennzeichnet**, daß zu jedem Meßzeitpunkt bei Einstellung vorher festzulegender gleicher konstanter Massenströme, die den Betriebswerten des Wärmeübertragers entsprechen, die Ein- und Austrittstemperaturen beider Medien gemessen werden, wobei die Messung im unverschmutzten Zustand erfolgt und zu einem späteren Inspektionszeitpunkt wiederholt und dann eine Kenngröße als mittlere Schmutzschichtdicke aus den Meßwerten im unverschmutzten und Inspektionszustand gebildet wird.
2. Verfahren nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Bestimmung des Wärmeleitkoeffizienten der Schmutzschicht nach der Messung im unverschmutzten Zustand und vor der Bestimmung der Schmutzschichtdicke gemäß Punkt 1 eine Messung bei einem Verschmutzungszustand, in dem sich der Wärmedurchgangskoeffizient mindestens um 30% verschlechtert hat, durchgeführt wird, wonach der Wärmeübertrager geöffnet, die mittlere Dicke s der Verschmutzung gemessen und aus unverschmutztem und verschmutztem Zustand der Wärmeleitkoeffizient der Verschmutzung gebildet wird.
3. Verfahren nach Punkt 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Massenströme der Medien exakt auf die Auslegungswerte eingestellt werden.

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung ist überall dort einsetzbar, wo Rohrbündelwärmeübertrager, deren Rohre außen zu Verschmutzungen neigen, zum Einsatz kommen.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Bei einem Einsatz von Rohrbündelwärmeübertragern kann es zu einer Verschmutzung der Heizflächen kommen. Die Bestimmung des Verschmutzungszustandes hat daher große Bedeutung für den Betrieb dieser Wärmeübertrager. Zur Bestimmung des Verschmutzungszustandes sind eine Reihe von Verfahren und Vorrichtungen bereits bekannt. So kann nach DD 217303 der Wärmeübertrager mit definierten gasförmigen Medien betrieben werden und über eine Messung der Druckverhältnisse der Verschmutzungsgrad in Abhängigkeit von der Reynoldszahl bestimmt werden. In DE 1526136 wird eine Vorrichtung beschrieben, bei der die Schichtdicke einer sich auf der Oberfläche bildenden Schmutzschicht mittels eingebrachter Temperaturfühler an einer Stelle des Wärmeübertragers bestimmt wird. In DD 232749 wird mittels eines Probekörpers der Verschmutzungszustand bestimmt. DE 2547832 beschreibt eine Anordnung zur Bestimmung des Verschmutzungsgrades in Rohren von Wärmeübertragern mittels einer speziell angeordneten Prüfstrecke. Es ist kein Verfahren bekannt, mit dem unter Betriebsbedingungen der Verschmutzungszustand bestimmt werden kann. Alle bekannten Verfahren und Vorrichtungen sind teilweise mit erheblichem technischem Aufwand und/oder mit besonderen Betriebsbedingungen, wie z. B. genau definierte Medienzusammensetzung, verbunden. Weiterhin ist in den meisten Fällen die entsprechende Meßapparatur mit erheblichen Fehlern behaftet, so daß eine sichere Bestimmung des Verschmutzungszustandes nicht gewährleistet ist.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, die mittlere Schmutzschichtdicke von Rohrbündelwärmeübertragern unter Betriebsbedingungen zu bestimmen.

Wesen der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Bestimmung der mittleren Schmutzschichtdicke von Rohrbündelwärmeübertragern mit minimalem technischen Aufwand zu entwickeln.

Die vorstehend beschriebene Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst, indem die durch den Rohrbündelwärmeübertrager fließenden Medien zum Zeitpunkt der Messungen auf vorher festgelegte Massenströme eingestellt werden, wobei es günstig ist, dafür die Auslegungswerte zu zählen. Die Ein- und Austrittstemperaturen beider Medien werden zunächst im unverschmutzten Zustand und dann zu einem gewünschten Inspektionszeitpunkt bestimmt. Über die Beziehung

$$s = \frac{d_a}{2} \exp \left(2\lambda_v \left(\frac{A_i}{d_i} \left(\frac{\Delta t_{m,B}}{\Delta \dot{Q}_{j,B}} - \frac{\Delta t_{m,A}}{\Delta \dot{Q}_{j,A}} \right) + \frac{1}{\alpha_a d_a} \right) \right) - \frac{d_a}{2}$$

kann dann die mittlere Schmutzschichtdicke berechnet werden.

Zur Bestimmung des Wärmeleitkoeffizienten der Schmutzschicht kann nach der Messung im unverschmutzten Zustand und vor der beschriebenen Bestimmung der Schmutzschichtdicke eine Messung bei einem Verschmutzungszustand, in dem sich der Wärmedurchgangskoeffizient mindestens um 30% verschlechtert hat, erfolgen. Der Wärmeübertrager wird dann geöffnet, die mittlere Dicke s der Verschmutzung gemessen und der Wärmeleitkoeffizient über die Beziehung

$$\lambda_v = \frac{\ln(1 + 2s/d_a)}{\frac{2A_i}{d_i} \left(\frac{\Delta t_{m,B}}{\Delta \dot{Q}_{i,B}} - \frac{\Delta t_{m,A}}{\Delta \dot{Q}_{i,A}} \right) + \frac{2}{\alpha_a} \left(\frac{1}{d_a} - \frac{1}{d_a + 2s} \right)}$$

berechnet.

Die verwendeten Formelzeichen und Indizes haben folgende Bedeutung:

s	mittlere Schmutzschichtdicke
d	Durchmesser der Wärmeübertragerrohre
λ_v	Wärmeleitkoeffizient der Verschmutzung
A	Wärmeübertragerfläche
Δt_m	logarithmische Temperaturdifferenz
$\Delta \dot{Q}_j$	Wärmestromänderung des Mediums j
α	Wärmeübergangskoeffizient
i	innen
a	außen
A	unverschmutztem Zustand
B	Meßzeitpunkt

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden.

Zur Wärmerückgewinnung aus Rauchgasen braunkohlegefeuerter Verbrennungsanlagen wird ein Rohrbündelwärmeübertrager eingesetzt, bei dem in den Rohren Wasser und um die Rohre Rauchgas strömt. Der Dampferzeuger hat eine Auslegungsleistung von 6,5 t/h Dampf, wobei die Parameter des Speisewassers und des Dampfes mindestens während der Messungen den Auslegungswerten entsprechen. Die Messung der Medienein- bzw. Austrittstemperaturen an dem Wärmeübertrager erfolgt mittels entsprechender Thermoelemente. Vor jeder Messung werden die Massenströme eingestellt und etwa 30 Minuten konstant gefahren. Am Wärmeübertrager wird ein Wassermassenstrom von 10 m³/h und am Dampferzeuger eine Dampfleistung von 6 t/h bei 7% Sauerstoffgehalt im Rauchgas am Kesselende eingestellt. Die erste Messung der Ein- und Austrittstemperaturen erfolgt nach der ersten Inbetriebnahme des Wärmeübertragers. Alle weiteren Messungen werden in festzulegenden Abständen vorgenommen. Dabei wird zum Zeitpunkt 1 nach Aufnahme der Temperaturverhältnisse der Wärmeübertrager geöffnet und die mittlere Schmutzschichtdicke bestimmt, woraus sich der Wärmeleitkoeffizient der Schmutzschicht ergibt. In der folgenden Tabelle sind entsprechende Messungen angegeben.

	Inbetriebnahme	Zeitpunkt 1	Zeitpunkt 2
Wassertemperaturen			
Eintritt	58°C	61°C	63°C
Austritt	89°C	82°C	78°C
Rauchgastemperaturen			
Eintritt	205°C	204°C	209°C
Austritt	102°C	135°C	148°C

Zum Zeitpunkt 1 wurden der Wärmeübertrager geöffnet und eine mittlere Schmutzschichtdicke von 5 mm gemessen, woraus sich der Wärmeleitkoeffizient der Schmutzschicht zu 0,115 W/mK ergibt. Die mittlere Schmutzschichtdicke zum Zeitpunkt 2 beträgt somit 13,5 mm.