



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 101 64 004 B4** 2005.07.14

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **101 64 004.8**
 (22) Anmeldetag: **28.12.2001**
 (43) Offenlegungstag: **17.07.2003**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **14.07.2005**

(51) Int Cl.?: **G01L 21/10**
G01N 7/00, F16L 59/06

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

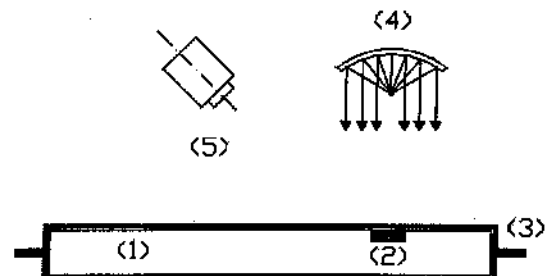
(71) Patentinhaber:
**Bayerisches Zentrum für Angewandte
 Energieforschung e.V., 97074 Würzburg, DE**

(72) Erfinder:
Beck, Andreas, 97297 Waldbüttelbrunn, DE;
Schwab, Hubert, 97497 Dingolshausen, DE;
Fricke, Jochen, 97218 Gerbrunn, DE; Heinemann,
Ulrich, 97218 Gerbrunn, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
JP 61-1 07 126 A
JP 10-2 92 984 A
JP 10-2 39 199 A
JP 10-2 06 259 A
JP 10-1 81 720 A
JP 07-2 70 267 A
JP 05-6 79 940 A
**A.B. Baschirow u.a.: Druckabhängigkeit der
 Wärmeleitfähigkeit von Polymeren, in: Plaste und
 Kautschuk, 23. Jahrg. 1976, H. 11, S. 807-808;**

(54) Bezeichnung: **Vakuumisolationspaneel und Verfahren zur Messung des Innendruckes desselben**

(57) Hauptanspruch: Vakuumisolationspaneel, geeignet zur zerstörungsfreien Detektion des Innendruckes desselben, dadurch gekennzeichnet, dass in den mikroporösen Füllkern ein kleinerer Einsatz (Detektionseinsatz) eines Materials größerer Porosität eingepasst ist, dessen druckabhängige Wärmeleitfähigkeit im Druckbereich zwischen 0 mbar und 100 mbar ein anderes Verhalten aufweist, als die Wärmeleitfähigkeit des mikroporösen Füllkerns.



Beschreibung**[Aufgabe der Erfindung]**

[0001] Vakuumisolationspaneele zur effizienten Wärmedämmung bestehen üblicherweise aus einem mikroporösen Füllkern und einer gasdichten Umhüllung. Der Innendruck beträgt üblicherweise ca. 1 mbar. Die Wärmeleitfähigkeit des mikroporösen Füllmaterials hängt im Druckbereich von ca. 1 mbar bis 10 mbar nur unwesentlich vom Druck ab. Erst bei einem Innendruck zwischen 10 mbar und 100 mbar steigt die Wärmeleitfähigkeit des Paneels stark an. Der mit der Zeit langsame, jedoch unvermeidbare Druckanstieg zwischen ca. 1 mbar und 10 mbar ist ein Maß für die Lebensdauer des Vakuumisolationspaneels. Für die Anwendung von Vakuumpaneelen im Baubereich ist eine Lebensdauer von mehr als 20 Jahren notwendig.

[0002] Das erfindungsgemäße Vakuumisolationspaneel nach Anspruch 1 der Erfindung erlaubt die zerstörungsfreie und wiederholbare Detektion des Innendrucks des Vakuumisolationspaneels zur Verbesserung der Qualitätskontrolle.

[Stand der Technik]

[0003] Für die Bestimmung des Gasdrucks in Vakuumisolationspaneelen mit Folienumhüllung wird bisher ein einfaches und effektives Verfahren eingesetzt. Dabei wird das Paneel in eine Vakuumkammer eingebracht. Bei der Evakuierung der Kammer hebt sich die Folie ab, sobald der Innendruck im Paneel größer wird als der Druck in der Vakuumkammer. Mit diesem Verfahren lässt sich der Druck relativ genau (ca. $\pm 0,5$ mbar) messen. Allerdings ist dieses Verfahren für eine schnelle Qualitätskontrolle zu zeitaufwendig (> 5 min), da für jede Messung das Vakuumisolationspaneel in eine Vakuumkammer eingebracht werden muss und diese erst evakuiert werden muss. Das Prinzip dieses Verfahrens wird in den Anmeldungen JP 10292984, JP 05079940, JP 07270267 und JP 61107126 verwendet.

[0004] In den Anmeldungen JP 10206259 und JP 10239199 werden Verfahren zur Vakuumdruckbestimmung beschrieben, die die Abhängigkeit der Fortentwicklung von Schallwellen, bzw. mechanischen Schwingungen vom Druck ausnutzen.

[0005] Prinzipiell kann der Gasdruck auch indirekt über die gasdruckabhängige Wärmeleitfähigkeit gemessen werden. Dieses Verfahren ist sehr zeitaufwendig (> 1 h). Außerdem ist dieses Verfahren für Paneele mit mikroporösem Füllmaterial nicht geeignet, da im zu messenden Druckbereich (ca. 1 – 10 mbar) die Wärmeleitfähigkeit nur unwesentlich vom Druck abhängt.

[0006] Aufgabe der Erfindung ist die schnelle indirekte Erfassung des Gasdrucks in Vakuumisolationspaneelen zur Qualitätskontrolle. Dies wird ermöglicht durch Einbringen eines im Vergleich zum Füllmaterial des Vakuumpaneels gröberporigen Einsatzes, dessen Wärmeleitfähigkeit im zu messenden Druckbereich wesentlich stärker vom Paneelinnendruck abhängt, als das eigentliche Füllmaterial. Durch Wärmezufuhr bzw. durch anschließende Abkühlung und infrarotoptischer Messung (Wärmebildkamera) des Oberflächentemperaturverlaufs, kann der Gasdruck indirekt aus dem unterschiedlichen Temperaturverhalten der Oberflächentemperatur des eigentlichen Füllmaterials und der Oberflächentemperatur des „Detektionseinsatzes“ gemessen werden.

[Beschreibung der Erfindung]

[0007] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Qualitätskontrolle von Vakuumisolationspaneelen (VIP), die als thermische hocheffiziente Dämmungen eingesetzt werden. VIPs bestehen aus evakuierten, meist mikroporösen Füllkernen (z.B. auf der Basis von verpreßtem Pulver), die von einer vakuumdichten Umhüllung, z.B. Mehrschichthochbarrierefolien, umschlossen sind. Durch die Evakuierung auf Innendrücke um oder unter 1 mbar wird die Wärmeleitung der Luft in den Mikroporen des Kerns praktisch eliminiert. Um eine möglichst hohe Lebensdauer zu erreichen, werden einwandfrei versiegelte und leckfreie Umhüllungen benötigt. Die Hüllen sollten so dicht sein, dass ein möglichst niedriger Gasdruckanstieg, typischerweise kleiner als 1–2 mbar/a, gewährleistet ist. Nur dann lassen sich hohe Lebensdauern von über 20 Jahren erreichen. Wegen dieser niedrigen Druckanstiegsraten ist der schnelle Nachweis von geringsten Lecks (Mikro-Lecks) in der Hülle äußerst schwierig. Andererseits ist die Eliminierung von VIPs mit Mikro-Lecks aus einer Produktionscharge gerade dann unerlässlich, wenn sie für Langzeit-Anwendungen vorgesehen sind.

[0008] Hier setzt das neue Verfahren an. In den mikroporösen Füllkern wird ein kleiner, gröber-strukturierter (grobporöser) und offenporiger Einsatz (z.B. ein Schaumstoffpropfen oder ein Schaumstoffplättchen von ca. 1 cm Durchmesser) integriert, bevor die Evakuierung, die Umhüllung und Versiegelung vorgenommen werden.

[0009] Wegen der gröberen Porenstruktur steigt die Luft-Wärmeleitung in dem Detektionseinsatz im Falle leckage-bedingten, zunehmenden Druckes im VIP deutlich schneller an als im mikroporösen Füllkern (siehe **Fig. 2**). Die Gesamtwärmeleitung im VIP wird durch den kleinen Einsatz aber nicht beeinflusst.

[0010] Führt man dem VIP – z.B. über eine leis-

tungsfähige Blitzlampe- Wärme zu, so dringt die resultierende Wärmewelle im Detektionseinsatz schneller ein als in der mikroporösen Umgebung. Es ergeben sich temporär Temperaturunterschiede an der VIP- Oberfläche zwischen Detektionseinsatz und mikroporösem Kern (siehe **Fig. 3**). Diese lassen sich z.B. über eine Wärmebildkamera nachweisen.

[0011] **Fig. 1** zeigt den generellen Aufbau des Meßverfahrens: Das Vakuumisulationspaneel mit Umhüllung (3), Füllkern (1) und Detektionseinsatz (2) wird in der Umgebung des Detektionseinsatzes durch eine Wärmequelle, bzw. Strahlungsquelle (4) erwärmt und dieser Bereich mit einer Wärmebildkamera aufgenommen. Als Wärmequelle kann auch ein Laser oder ein beheizter Körper, der kurzzeitig auf das Vakuumpaneel aufgedrückt wird, verwendet werden. Gegebenfalls muß die Dauer der Beheizung nicht nur über einen Wärmeimpuls, sondern über einen längeren Zeitraum oder periodisch erfolgen; dies kann z.B. notwendig werden, wenn die Querleitfähigkeit der Hüllfolie hoch ist.

[0012] Der Detektionseinsatz kann sowohl auf der Oberfläche des mikroporösen Füllkerns eingepasst sein (**Fig. 1**) oder von der Oberseite zur Unterseite des Füllkerns reichen. Damit kann die Aufnahme mit der Wärmebildkamera auch auf der Rückseite des Paneels durchgeführt werden.

[0013] Zur Qualitätskontrolle werden mit Detektionseinsatz versehene VIPs vor Verlassen der Fabrik „geblitzt“ und auf die unterschiedliche zeitliche Entwicklung der Oberflächentemperatur im Bereich des Detektionseinsatzes hin infrarotoptisch abgetastet. Ist die Paneelhülle dicht, d.h. ist der Druck im VIP kleiner als 1 mbar, sind die Wärmeleitfähigkeiten von mikroporösem Füllkern und Detektionseinsatz annähernd vergleichbar. Es ergeben sich nur geringe Unterschiede in der zeitlichen Entwicklung des Wärmebildes. Besitzt die Paneelhülle ein Leck, dann steigt der Druck im Paneel während der Verweildauer des Paneels in der Fabrik auf Werte über 1 mbar an. Daraufhin divergieren die Leitfähigkeiten von Füllkern und Detektionseinsatz und die Oberfläche an dem Detektionseinsatz kühlt sich nach der Wärmezufuhr schneller ab als an dem Füllkern. Das defekte Paneel kann dann ausgesondert werden.

[0014] Die Änderungen im zeitlichen Temperaturverlauf werden durch die Effusivität

$$E_{therm} = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c_p}$$

bzw. durch die Diffusivität

$$D_{therm} = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$$

bestimmt (λ = Wärmeleitfähigkeit, ρ = Dichte, C_p =

massenspez. Wärmekapazität). Für das vorgeschlagene Verfahren ist es vorteilhaft, wenn $\rho \cdot c_p$ annähernd gleich sind. Durch den leckagebedingten Druckanstieg ändert sich nur die Wärmeleitfähigkeit des gröberporigen Detektionseinsatzes. So ändert sich bei einem Druckanstieg von 1 auf 10 mbar die Wärmeleitfähigkeit der Einsatzes um ein Mehrfaches im Vergleich zum mikroporösen Füllkern. Dies beeinflusst das Abkühlverhalten nach der thermischen Anregung und kann somit mit der Wärmebildkamera nachgewiesen werden.

[0015] Nicht ausgeschlossen werden soll ein Verfahren, bei dem der Füllkern grobporös und der Detektionseinsatz mikroporös ist. Zur differenzierten Messung des Restgasdruckes im VIP durch infrarotoptische Methoden ist es gegebenenfalls angebracht, mehrere Detektionseinsätze mit unterschiedlichen Porositäten in den mikroporösen Füllkern einzubauen.

[0016] Die Oberflächentemperaturen des Vakuumisulationspaneels können auch mit Hilfe einer Laserabtastung nach dem Prinzip der photothermischen Ablenkung (Mirageeffekt) bestimmt werden.

Patentansprüche

1. Vakuumisulationspaneel, geeignet zur zerstörungsfreien Detektion des Innendruckes desselben, **dadurch gekennzeichnet**, dass in den mikroporösen Füllkern ein kleinerer Einsatz (Detektionseinsatz) eines Materials größerer Porosität eingepasst ist, dessen druckabhängige Wärmeleitfähigkeit im Druckbereich zwischen 0 mbar und 100 mbar ein anderes Verhalten aufweist, als die Wärmeleitfähigkeit des mikroporösen Füllkerns.

2. Vakuumisulationspaneel, geeignet zur zerstörungsfreien Detektion des Innendruckes desselben, dadurch gekennzeichnet, dass in einen Füllkern größerer Porosität ein kleinerer Einsatz (Detektionseinsatz) eines mikroporösen Materials eingepasst ist, dessen druckabhängige Wärmeleitfähigkeit im Druckbereich zwischen 0 mbar und 100 mbar ein anderes Verhalten aufweist, als die Wärmeleitfähigkeit des grobporösen Füllkerns.

3. Vakuumisulationspaneel nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass sich der Detektionseinsatz auf der Oberfläche des Füllkerns befindet oder dass der Einsatz von der Oberseite zur Unterseite des Füllkerns reicht.

4. Vakuumisulationspaneel nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass sich mehrere Detektionseinsätze mit unterschiedlicher Porosität in dem Füllkern befinden.

5. Vakuumisulationspaneel nach einem der An-

sprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Produkt aus Dichte und spezifischer Wärmekapazität $\rho \cdot c_p$ für Füllmaterial und Detektionseinsatz annähernd gleich ist.

6. Verfahren zur Detektion des Innendrucks eines Vakuumisulationspaneels nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass durch Zufuhr von Wärme auf das Vakuumisulationspaneel das Gebiet um und an dem Detektionseinsatz erwärmt wird und die Erwärmung und/oder anschließende Abkühlung von Detektionseinsatz und Füllkern mit Hilfe einer Wärmebildkamera aufgenommen wird und aus dem unterschiedlichen Temperaturverlauf des Detektionseinsatzes und seiner Umgebung der Innendruck des Vakuumisulationspaneels bestimmt wird.

7. Verfahren zur Detektion des Innendrucks eines Vakuumisulationspaneels gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass durch Zufuhr von Wärme auf das Vakuumisulationspaneel das Gebiet um und an dem Detektionseinsatz erwärmt wird und die Erwärmung und/oder anschließende Abkühlung von Detektionseinsatz und Füllkern mit Hilfe einer Laserabtastung nach dem Prinzip der photothermischen Ablenkung (Mirageeffekt) die unterschiedlichen Oberflächentemperaturen des Vakuumisulationspaneels gemessen werden und aus dem unterschiedlichen Temperaturverlauf des Detektionseinsatzes und seiner Umgebung der Innendruck des Vakuumisulationspaneels bestimmt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Erwärmung des Gebietes um und an dem Detektionseinsatz kurzzeitig oder längerfristig oder periodisch erfolgt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6, 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Erwärmung mit Hilfe einer Strahlungsheizung oder einer Blitzlampe oder einem Laser oder einem beheizten Körper, der auf das Vakuumisulationspaneel aufgedrückt wird, erfolgt.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

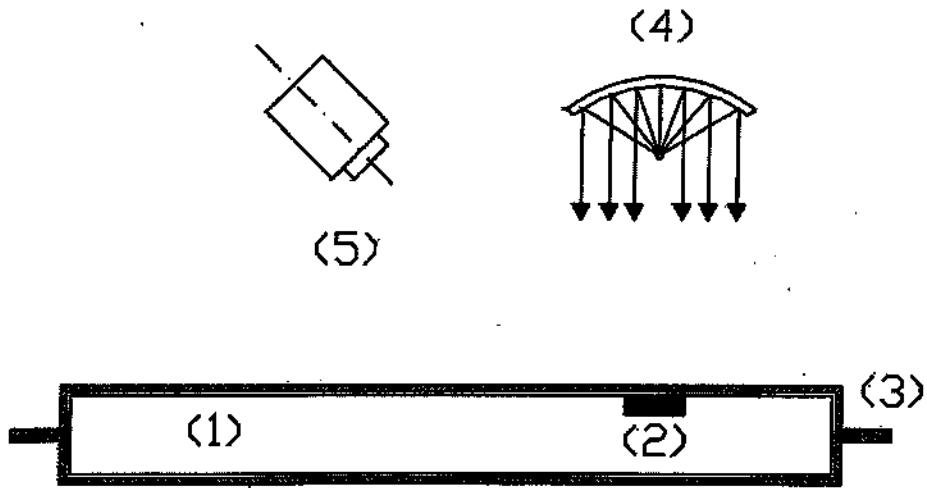


Fig. 1

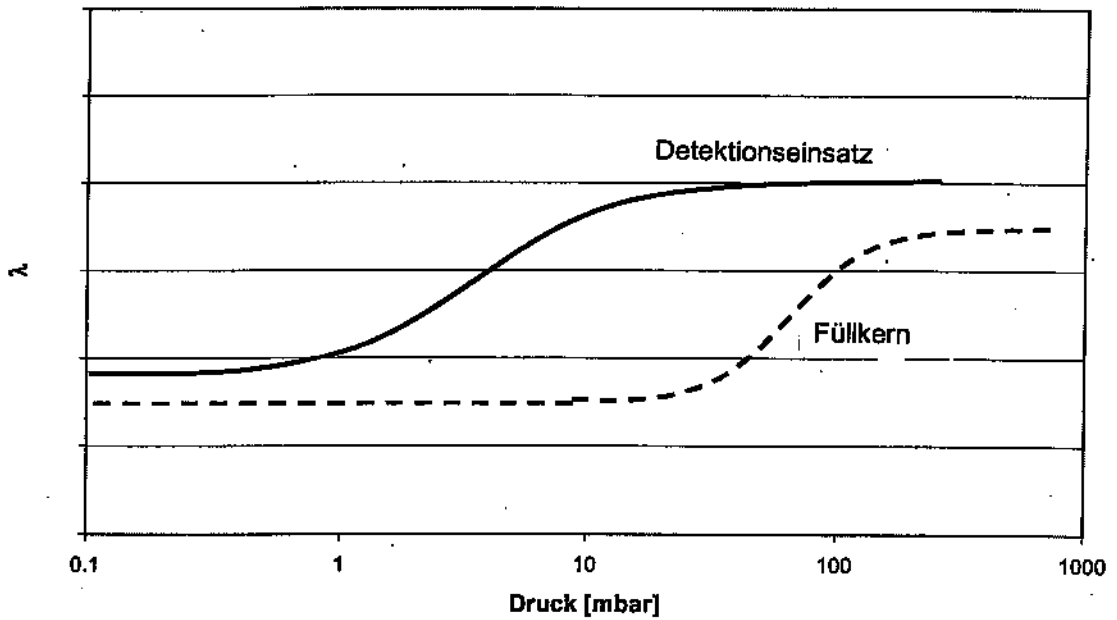


Fig. 2

Fig.3

