

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②2 Date de dépôt : 14.11.91.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la demande : 21.05.93 Bulletin 93/20.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de recherche : *Se reporter à la fin du présent fascicule.*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : **AEROSPATIALE SOCIETE
 NATIONALE INDUSTRIELLE — FR.**

⑦2 Inventeur(s) : Babou Amine.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire : Brevatome.

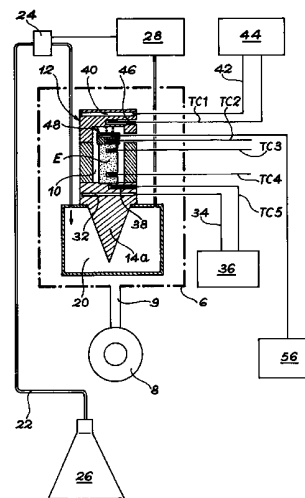
⑤4 Procédé de mesure de la conductivité thermique d'un matériau.

⑤7 Pour mesurer la conductivité thermique λ d'un matériau thermiquement conducteur ou isolant, on place une éprouvette d'épaisseur e et de section S dans un conductimètre, et on lui fait subir un essai préalable au cours duquel on l'amène à une température

$\theta + \frac{\Delta\theta}{2}$, où θ et $\Delta\theta$ représentent respectivement la température

et l'écart de température pour lesquels on désire réaliser la mesure. On note alors l'écart de température ΔT_p entre les deux faces de l'éprouvette. Au cours d'un essai ultérieur de mesure, on abaisse de $\Delta\theta$ la température de l'une des faces de l'éprouvette, et on maintient l'autre face à la température mesurée précédemment, en lui apportant un flux thermique Q . On note le nouvel écart de température ΔT_m entre les faces de l'éprouvette, et on en déduit la conductivité thermique λ , à l'aide de la relation

$$\lambda = \frac{Q e}{S (\Delta T_m - \Delta T_p)}$$



FR 2 683 908 - A1



PROCEDE DE MESURE DE LA CONDUCTIVITE THERMIQUE
D'UN MATERIAU.

DESCRIPTION

L'invention concerne un procédé permettant
5 de mesurer avec une grande précision la conductivité
thermique d'un matériau thermiquement conducteur ou
thermiquement isolant, notamment à basse température.

La conductivité thermique d'un matériau à
une température donnée est habituellement déterminée
10 à partir d'une éprouvette de ce matériau présentant
une épaisseur et une section déterminées. Après avoir
porté cette éprouvette à la température θ pour laquelle
on désire effectuer les mesures, on établit entre les
faces opposées de l'éprouvette un écart de température
15 donné $\Delta\theta$, par exemple de 10°C , en apportant à l'une
des faces de l'éprouvette un flux thermique Q permettant
de maintenir constant cet écart de température $\Delta\theta$.

La conductivité thermique λ est ensuite déter-
minée par le calcul, à partir de la relation :

20
$$\lambda = \frac{Qe}{S \Delta\theta}$$

où Q représente le flux thermique injecté (en W) ;
 $\Delta\theta$ représente la différence de température entre
les deux faces de l'éprouvette (en degrés K) ;
25 e représente l'épaisseur de l'éprouvette (en m) ;
 S représente la section de l'éprouvette (en m^2), et
 λ représente la conductivité thermique des matériaux
(en W/mK).

Cette méthode de détermination de la conducti-
30 vité thermique d'un matériau suppose que la totalité
du flux thermique apporté à l'une des faces de l'éprou-
vette soit transmise par conduction jusqu'à l'autre
face de l'éprouvette.

Dans la pratique, un tel résultat est évidem-
35 ment impossible à obtenir, même si les appareils habi-

tuellement utilisés pour effectuer les mesures sont conçus pour rendre les pertes thermiques aussi faibles que possible.

Ces appareils, habituellement appelés conductimètres, comprennent une enceinte sous vide, dans laquelle est placée une chambre de mesure fermée, de forme cylindrique et d'axe vertical, délimitée par des parois qui assurent le confinement thermique de la chambre vis-à-vis de l'extérieur. L'éprouvette est placée à l'intérieur de la chambre de mesure de telle sorte que sa face inférieure soit en contact étroit avec la paroi inférieure de la chambre, dans laquelle sont prévus des moyens pour amener l'éprouvette à la température moyenne θ choisie pour effectuer les mesures. Des moyens sont également prévus dans la chambre de mesure, au-dessus de l'éprouvette pour injecter par la face supérieure de l'éprouvette un flux thermique Q permettant d'établir l'écart de température $\Delta\theta$ souhaité entre les deux faces de l'éprouvette. En outre, des moyens sont prévus pour mesurer la température en différents points, et notamment à proximité de chacune des faces de l'éprouvette. Un conductimètre réalisé de cette manière est illustré notamment par le document EP-A-0 325 430.

Même si l'utilisation d'un appareil de ce type permet d'isoler thermiquement l'éprouvette vis-à-vis de l'extérieur, il existe des pertes thermiques inévitables à l'intérieur de l'appareil, qui font que le flux thermique Q mesuré ne sert pas uniquement à maintenir l'écart de température $\Delta\theta$ entre les deux faces opposées de l'éprouvette. Ces pertes thermiques ont principalement pour origine l'émissivité de l'éprouvette, l'émissivité des parois de la chambre de mesure placées en vis-à-vis de l'éprouvette, l'émissivité de la source chaude, et la résistance thermique des

conducteurs électriques reliés, d'une part, à la source chaude et, d'autre part, aux thermocouples assurant les mesures de température.

Pour diminuer l'influence des pertes thermiques sur les résultats des mesures effectuées, on cherche habituellement soit à mesurer ces pertes thermiques, afin d'en tenir compte dans les résultats, soit à les réduire. Ces deux démarches sont parfois fusionnées.

10 La première démarche, qui est illustrée notamment par le document EP-A-0 325 430, consiste à mesurer la température en différents points à l'intérieur de l'appareil, afin de déterminer les pertes par radiation ou par conduction thermique. Les pertes thermiques
15 ainsi mesurées sont prises en compte pour corriger les résultats des mesures effectuées.

Cette technique a cependant pour inconvénient qu'il n'est pas possible dans la pratique de mesurer toutes les pertes thermiques qui se produisent à l'intérieur de l'appareil. De plus, l'introduction dans ce
20 dernier de nouveaux thermocouples correspond à l'introduction de nouvelles sources d'erreurs, par suite de la résistance thermique des conducteurs électriques de ces thermocouples. De plus, la légère amélioration de
25 la précision des résultats qui en découle est obtenue au prix d'une augmentation sensible de la complexité et du prix de l'appareil.

Par ailleurs, la seconde démarche visant à réduire l'influence des pertes thermiques en en diminuant la valeur conduit par exemple à enrober les éprouvettes à tester dans une feuille métallique présentant un coefficient d'émissivité très faible, telle qu'une
30 feuille d'aluminium ou de cuivre polie.

Si cette solution a effectivement pour effet
35 de réduire les pertes thermiques, elle conduit également

à modifier les caractéristiques de l'éprouvette. La prise en compte de ces modifications nécessite, là encore, d'avoir recours à un calcul complexe. De plus, en l'absence d'une mesure réelle de l'émissivité de la feuille métallique qui recouvre l'éprouvette, les calculs donnent généralement des résultats inexacts, car les manipulations de la feuille métallique qui sont effectuées lors de l'enrobage de l'éprouvette et lors de sa mise en place dans l'appareil en modifient les caractéristiques.

L'invention a précisément pour objet un procédé de mesure de la conductivité thermique d'un matériau qui permet, au moyen d'un conductimètre de conception classique et sans avoir nécessiter des thermocouples supplémentaires, l'enrobage de l'échantillon dans un film métallique, ni des calculs complexes, d'effectuer une mesure très précise de la conductivité thermique, en prenant en compte les pertes thermiques directement lors de la mesure.

Conformément à l'invention, ce résultat est obtenu au moyen d'un procédé de mesure de la conductivité thermique λ d'un matériau à tester, à une température moyenne θ donnée et pour un écart de température $\Delta\theta$ donné entre une première et une deuxième faces d'une éprouvette du matériau, selon lequel on place l'éprouvette dans une chambre de mesure d'un conductimètre ; on effectue un essai de mesure au cours duquel on amène l'éprouvette à la température moyenne θ et on mesure le flux thermique Q qui doit être apporté à la première face de l'éprouvette pour maintenir l'écart de température $\Delta\theta$; puis on calcule la conductivité thermique λ du matériau à partir du flux thermique mesuré ; caractérisé par le fait qu'avant d'effectuer ledit essai de mesure, on effectue un essai préalable, au cours duquel on amène l'éprouvette à une température sensible-

ment égale à $\theta + \frac{\Delta\theta}{2}$ et on mesure la température de la première face de l'éprouvette, lorsqu'aucun flux thermique n'est apporté à cette première face ; et par le fait qu'on effectue ensuite ledit essai de mesure
5 en abaissant de l'écart de température $\Delta\theta$ la température de la deuxième face de l'éprouvette et en ramenant la température de la première face à la température mesurée lors de l'essai préalable, de telle sorte que la conductivité thermique calculée soit sensiblement
10 indépendante des pertes thermiques.

Si, au cours de l'essai préalable, on mesure également la température de la deuxième face de l'éprouvette, il est possible d'en déduire le gradient de température entre les deux faces de l'éprouvette, qui
15 représente les pertes thermiques prises en compte lors de l'essai de mesure.

Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, on place l'éprouvette dans la chambre de mesure, de telle sorte que la deuxième face de l'éprouvette soit en contact intime avec une première paroi
20 de la chambre incorporant une source thermique relativement froide et qu'une plaquette incorporant une source thermique relativement chaude soit maintenue en contact intime avec la première face de l'éprouvette par des
25 moyens élastiques prenant appui sur une deuxième paroi de la chambre opposée à la première paroi.

Dans ce cas, au cours de l'essai préalable, on amène l'éprouvette à la température sensiblement égale à $\theta + \frac{\Delta\theta}{2}$ à l'aide de la source thermique
30 relativement froide, de telle sorte que la première et la deuxième parois de la chambre soient simultanément à cette température et, au cours de l'essai de mesure, on maintient la deuxième paroi de la chambre à cette température, on abaisse la température de la deuxième
35 face de l'éprouvette à l'aide de la source thermique

relativement froide et on ramène la température de la première face à la température de cette face mesurée lors de l'essai préalable, à l'aide de la source thermique relativement chaude.

5 Par ailleurs, et selon un autre aspect de l'invention, on utilise une éprouvette ayant une épaisseur e entre la première et la deuxième faces, au plus égale à la valeur de e (en cm) donnée par la relation $e = 2500 \lambda$, où λ représente une conductivité thermique
10 approximative du matériau à tester (en W/cm K).

Le respect de cette condition permet de maintenir les pertes thermiques à un niveau acceptable, aussi bien pour un matériau thermiquement conducteur que pour un matériau thermiquement isolant.

15 On décrira à présent, à titre d'exemple non limitatif, la mise en œuvre du procédé de mesure selon l'invention, en se référant aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 est une vue de face illustrant
20 de façon schématique un conductimètre apte à être utilisé dans le procédé de mesure conforme à l'invention ;

- la figure 2 représente en coupe et à plus grande échelle la chambre de mesure du conductimètre de la figure 1, dans le cas où le matériau à tester
25 est un matériau thermiquement conducteur ;

- la figure 3 est une vue comparable à la figure 2 illustrant la mise en œuvre de la chambre de mesure du conductimètre illustré sur la figure 1, dans le cas où le matériau à tester est un matériau
30 thermiquement isolant ; et

- la figure 4 est une courbe représentant les valeurs maximum de l'épaisseur e de l'éprouvette, exprimées en cm, en fonction de la conductivité thermique λ du matériau constituant cette éprouvette, exprimée
35 en W/cm K.

Le conductimètre illustré sur la figure 1 est conçu pour mesurer la conductivité thermique de matériaux thermiquement conducteurs ou thermiquement isolants à basse température, c'est-à-dire pour des températures moyennes θ de l'éprouvette pouvant être comprises entre environ 173 K et 523 K.

Ce conductimètre comporte une enceinte étanche 6, qui communique avec une pompe 8, telle qu'une pompe turbomoléculaire, par une canalisation 9.

10 A l'intérieur de l'enceinte étanche 6 est placée une chambre de mesure 10, délimitée par une paroi 12, en plusieurs parties. La chambre de mesure 10 présente sensiblement la forme d'un cylindre d'axe vertical, dans lequel on place coaxialement un échantillon E du matériau à tester, également de forme cylindrique.

Comme l'illustre plus précisément la figure 2, la paroi 12 délimitant la chambre de mesure 10 comporte principalement une paroi inférieure ou embase 14, en forme de disque, une paroi supérieure 16 formant couvercle et une paroi annulaire ou anneau de garde 18, fixée à la paroi inférieure 14 et sur laquelle est fixée la paroi supérieure 16, de telle sorte qu'un contact étroit est établi entre ces trois pièces lorsque la chambre de mesure 10 est fermée. Il est à noter que la paroi supérieure 16 est fixée sur la paroi annulaire 18 par des moyens de fixation démontables (non représentés) tels que des vis, permettant d'introduire et d'extraire l'éprouvette E de la chambre de mesure 10.

30 Les matériaux constituant la paroi inférieure 14, la paroi supérieure 16 et la paroi annulaire 18 sont choisis afin de réduire autant que possible les pertes thermiques, tout en permettant d'obtenir une température uniforme dans les différentes parties de la paroi 12. Ainsi et uniquement à titre d'exemple,

Les parois inférieure 14 et supérieure 16 peuvent être réalisées en laiton revêtu de chrome sur leurs faces tournées vers la chambre de mesure 10 et la paroi annulaire 18 peut être réalisée en acier inoxydable revêtu de chrome sur sa face tournée vers l'intérieur, c'est-à-dire vers la chambre 10.

La paroi inférieure 14 de la chambre de mesure 10 constitue une source thermique relativement froide, dont la température peut être abaissée à volonté jusqu'à environ 173 K au moyen d'un puits thermique 20 dans lequel plonge une partie en saillie 14a, de forme conique ou pyramidal, de la paroi inférieure 14. Le puits thermique 20 est relié à un réservoir d'azote liquide 26 (figure 1) par une canalisation 22 contrôlée par une vanne de régulation 24. Le régulateur de niveau 28 agit sur la vanne de régulation 24 pour injecter la quantité d'azote liquide nécessaire au remplissage du puits thermique 20 lorsque la température demandée pour la paroi inférieure 14 est inférieure à la température ambiante.

Pour permettre à la fois d'ajuster avec précision la température de la paroi inférieure 14 et de donner à cette paroi une température supérieure à la température ambiante, des moyens de chauffage tels qu'une ou plusieurs résistances chauffantes 32 sont montés dans cette paroi inférieure. Ces moyens de chauffage 32 sont reliés par un conducteur électrique 34 à un régulateur 36 qui maintient la température de la paroi inférieure 14 à la valeur affichée par l'opérateur en fonction des informations fournies par un thermocouple 38 monté dans la paroi inférieure 14, à proximité immédiate de la face supérieure de cette paroi tournée vers la chambre de mesure 10. On désigne par TC5 la valeur de la température mesurée par le thermocouple 38.

Le caractère thermiquement conducteur des matériaux formant la paroi 12 de la chambre de mesure 10 permet à la paroi supérieure 16 de suivre les évolutions de température de la paroi inférieure 14. Afin
5 que la température de la paroi supérieure 16 puisse être régulée indépendamment de celle de la paroi inférieure 14 et amenée à une valeur légèrement supérieure à cette dernière, des moyens de chauffage 40 tels qu'une ou plusieurs résistances électriques sont également
10 montés dans la paroi supérieure 16. Ces moyens de chauffage 40 sont reliés par un conducteur électrique 42 à un régulateur 44 qui permet de maintenir la température de la paroi supérieure 16 à une valeur affichée, grâce aux informations fournies par un thermocouple
15 46 noyé dans la paroi supérieure 16, à proximité immédiate de la face inférieure de cette paroi tournée vers la chambre de mesure 10. On désigne par TC1 la température mesurée par le thermocouple 46.

Le conductimètre illustré sur les figures
20 1 et 2 comprend de plus une plaquette 48, en forme de disque, constituant une source thermique relativement chaude prévue pour être placée avec l'éprouvette E à l'intérieur de la chambre de mesure 10. Cette plaquette est réalisée en un matériau thermiquement conducteur
25 tel que du laiton et ses faces supérieures et périphériques sont de faible émissivité thermique, afin de minimiser les échanges radiatifs avec les surfaces intérieures de la paroi 12.

Comme l'illustre plus précisément la figure
30 2, la plaquette 48 est prévue pour être maintenue en contact intime avec la face supérieure plane et horizontale de l'éprouvette E, dont la face inférieure plane et horizontale est maintenue en contact intime contre la paroi inférieure 14. Pour assurer ce contact intime,
35 une graisse choisie de façon à garder ses propriétés

dans la gamme de température de fonctionnement de l'appareil est introduite lors du montage entre la face inférieure de l'éprouvette E et la paroi inférieure 14 et entre la plaquette 48 et la paroi supérieure de l'éprouvette E. De plus, un ressort d'appui tel qu'un ressort hélicoïdal de compression illustré schématiquement en 50 sur la figure 2 est interposé entre la paroi supérieure 16 et la plaquette 48.

Comme l'illustre en particulier la figure 2, des moyens de chauffage 52 tels qu'une ou plusieurs résistances électriques sont montés dans la plaquette 48. Ces moyens de chauffage 52 sont reliés par un conducteur électrique 54 à une source d'alimentation électrique stabilisée 56. On désigne par Q le flux thermique qui est apporté à la face supérieure de l'éprouvette E par les moyens de chauffage 52 et par TC2 la température mesurée par un thermocouple 58 monté dans la plaquette 48, à proximité immédiate de la face inférieure de cette dernière qui est en contact intime avec l'éprouvette E.

Dans le cas illustré sur la figure 2 où l'éprouvette E a été prélevée sur un matériau thermiquement conducteur, c'est-à-dire sur un matériau dont la conductivité thermique est supérieure à $0,01 \text{ W/cmK}$, on place également dans l'éprouvette E, à proximité de chacune de ses faces supérieure et inférieure, deux thermocouples 60 et 62 mesurant respectivement des températures TC3 et TC4.

Une évaluation théorique des pertes thermiques dans le montage qui vient d'être décrit a permis d'établir que l'incertitude sur la conductivité thermique λ devient très importante, pour des conductivités inférieures à $2 \cdot 10^{-2} \text{ W/cmK}$, lorsqu'on utilise une éprouvette de dimension standard (25 mm de diamètre et 28 mm d'épaisseur).

Si l'on désire maintenir l'incertitude, ou erreur relative sur la conductivité thermique λ mesurée à une valeur inférieure ou égale à 20 %, il convient donc de diminuer l'épaisseur de l'éprouvette, afin
5 que le rapport perte thermique/puissance injectée reste inférieur à 20 %. La courbe C sur la figure 4 détermine sur cette base l'épaisseur e maximale de l'éprouvette (en mm), en fonction de toute conductivité thermique λ (en W/cmK). Cette courbe est donnée par la relation
10 $e = 2500 \lambda$.

Une comparaison de la courbe C avec l'épaisseur standard de 28 mm (droite D) habituellement donnée aux éprouvettes montre que de telles éprouvettes conduisent à une erreur relative sur la conductivité thermique λ mesurée qui devient trop importante lorsque cette
15 conductivité est inférieure à 0,010 W/cmK.

Dans la pratique, on connaît toujours la valeur approximative de la conductivité thermique λ du matériau à tester. A partir de cette valeur approximative, et sur la base de la courbe de la figure 4,
20 on donne à l'éprouvette E une épaisseur standard de 28 mm correspondant au montage de la figure 2 si la valeur approximative de λ est supérieure à 0,01 W/cmK. Au contraire, si la valeur de la conductivité thermique λ est inférieure à 0,01 W/cmK, on donne à l'éprouvette E une épaisseur plus faible, qui peut varier
25 dans la pratique entre 25 mm et 5 mm.

Le montage correspondant à des éprouvettes E de moindre épaisseur, utilisé pour des matériaux thermiquement isolants, est illustré sur la figure 3. Ce
30 montage sera appelé par la suite "montage type isolant", pour le distinguer de celui de la figure 2, qui sera appelé "montage type conducteur".

Dans ce cas, au lieu d'être directement en
35 appui sur la paroi inférieure 14 de la chambre de mesure

10, la face inférieure de l'éprouvette E est en contact intime avec un adaptateur 64 réalisé en un même matériau et avec les mêmes caractéristiques générales que la plaquette 48. Les thermocouples 60 et 62 montés directement dans l'éprouvette E dans le cas du montage type conducteur sont supprimés et un thermocouple 66 est monté dans l'adaptateur 64, à proximité immédiate de la face inférieure de l'éprouvette E. On désigne par TC6 la température mesurée par ce thermocouple 66.

10 Lorsque l'un ou l'autre de ces montages a été choisi selon la valeur approximative connue de la conductivité thermique λ du matériau à tester, on procède conformément à l'invention à une mesure préalable qui permet de déterminer les pertes thermiques du système sans avoir recours à l'utilisation de nombreux thermocouples et à des calculs complexes.

Auparavant, l'enceinte étanche 6 qui entoure en totalité la paroi 12 est mise sous vide à l'aide de la pompe turbomoléculaire 8 jusqu'à une valeur au plus égale à 10^{-4} torrs.

L'essai préliminaire est alors effectué en amenant l'appareil dans une configuration adiabatique, c'est-à-dire en fixant la température de la paroi inférieure 14 et celle de la paroi supérieure 16 à une même valeur sensiblement égale à $\theta + \frac{\Delta\theta}{2}$ si l'on désigne par θ la température moyenne pour laquelle on désire effectuer la mesure de λ et par $\Delta\theta$ l'écart de température que l'on désire maintenir entre les deux faces de l'éprouvette E pendant cette mesure. Ainsi et uniquement à titre d'exemple, si l'on désire mesurer la conductivité thermique λ à une température de 323 K et pour un écart de 10 K, on fixe la température TC5 de la paroi inférieure 14 et la température TC1 de la paroi supérieure 16 à 328 K à l'aide des deux régulateurs 36 et 44 commandant les moyens de chauffage 32 et 40 respectivement.

Au cours de cet essai préalable, l'alimentation stabilisée 56 est arrêtée, de telle sorte qu'aucun flux thermique Q n'est apporté à la face supérieure de l'éprouvette E.

5 Lorsque ces conditions de températures sont atteintes, on laisse le système se stabiliser, par exemple pendant environ quatre heures, puis on mesure les températures TC2, TC3, TC4 et TC5 dans le montage type conducteur de la figure 2 et les températures
10 TC2 et TC6 dans le montage type isolant de la figure 3.

Dans ces conditions adiabatiques, s'il existe une différence de température entre l'extrémité de l'éprouvette E adjacente à la plaquette 48 et son extrémité opposée, cette différence représente les pertes
15 thermiques du système. Ces pertes thermiques, qui sont désignées par ΔT_p , peuvent donc être déterminées sans difficulté dans les deux montages, de la façon suivante :

$\Delta T_p = TC3 - TC4$ dans le montage type conducteur de la figure 2 ;
20

$\Delta T_p = TC2 - TC6$ dans le montage type isolant de la figure 3.

Lorsque cet essai préalable est terminé, on procède ensuite à un second essai afin d'effectuer
25 la mesure proprement dite de la conductivité thermique λ de l'éprouvette E considérée.

Pour effectuer cet essai, on abaisse la température TC5 de la paroi inférieure 14 de l'écart de température $\Delta\theta$, c'est-à-dire par exemple de 10 K dans
30 l'exemple considéré précédemment, tout en maintenant la température TC1 de la paroi supérieure 16 à sa valeur initiale sensiblement égale à $\theta + \frac{\Delta\theta}{2}$. Dans l'exemple considéré, les températures TC5 et TC1 sont alors égales respectivement à 318 K et 328 K.

35 Au cours de cette opération, on maintient,

à l'aide de l'alimentation stabilisée 56, la température TC2 de la plaquette 48 à sa valeur relevée au cours de l'essai préalable. Pour cela, on apporte à la face supérieure de l'éprouvette E un flux thermique Q dont la valeur est mesurée. Le maintien de la température TC2 à la valeur relevée précédemment permet de prendre en compte au cours de cet essai la valeur des pertes mesurée au cours de l'essai préalable.

Comme précédemment on laisse le système se stabiliser thermiquement, par exemple pendant environ quatre heures. On relève ensuite les températures TC2, TC3, TC4 et TC5 dans le montage type conducteur illustré sur la figure 2 et les températures TC2 et TC6 dans le montage type isolant illustré sur la figure 3.

La valeur de la différence de température entre les deux faces de l'éprouvette E, appelée ΔT_m , est déterminé de la façon suivante :

$\Delta T_m = TC3 - TC4$ dans le montage type conducteur de la figure 2 ;

$\Delta T_m = TC2 - TC6$ dans le montage type isolant de la figure 3.

A partir des informations ainsi relevées, on détermine par le calcul la valeur de la conductivité thermique λ à partir de la relation :

$$\lambda = \frac{Qe}{S (\Delta T_m - \Delta T_p)}$$

où Q représente la puissance ou flux thermique dissipé par la plaquette 48,

e représente l'épaisseur de l'éprouvette E,
S représente la section de l'éprouvette E.

Le procédé de mesure qui vient d'être décrit est particulièrement simple à mettre en œuvre et ne nécessite pas l'ajout de thermocouples en de nombreux points du conductimètre. Il permet de garantir une

précision de l'ordre de 10 % sur les mesures effectuées, qui est très supérieure à la précision obtenue jusqu'à présent à l'aide de tels appareils dans des conditions de mise en œuvre souvent plus délicates.

- 5 Le tableau suivant donne les résultats d'essais qui ont été effectués sur une éprouvette de tétrafluoréthylène de 5 mm d'épaisseur et de 25 mm de diamètre, en utilisant le montage type isolant décrit précédemment en se référant à la figure 3.

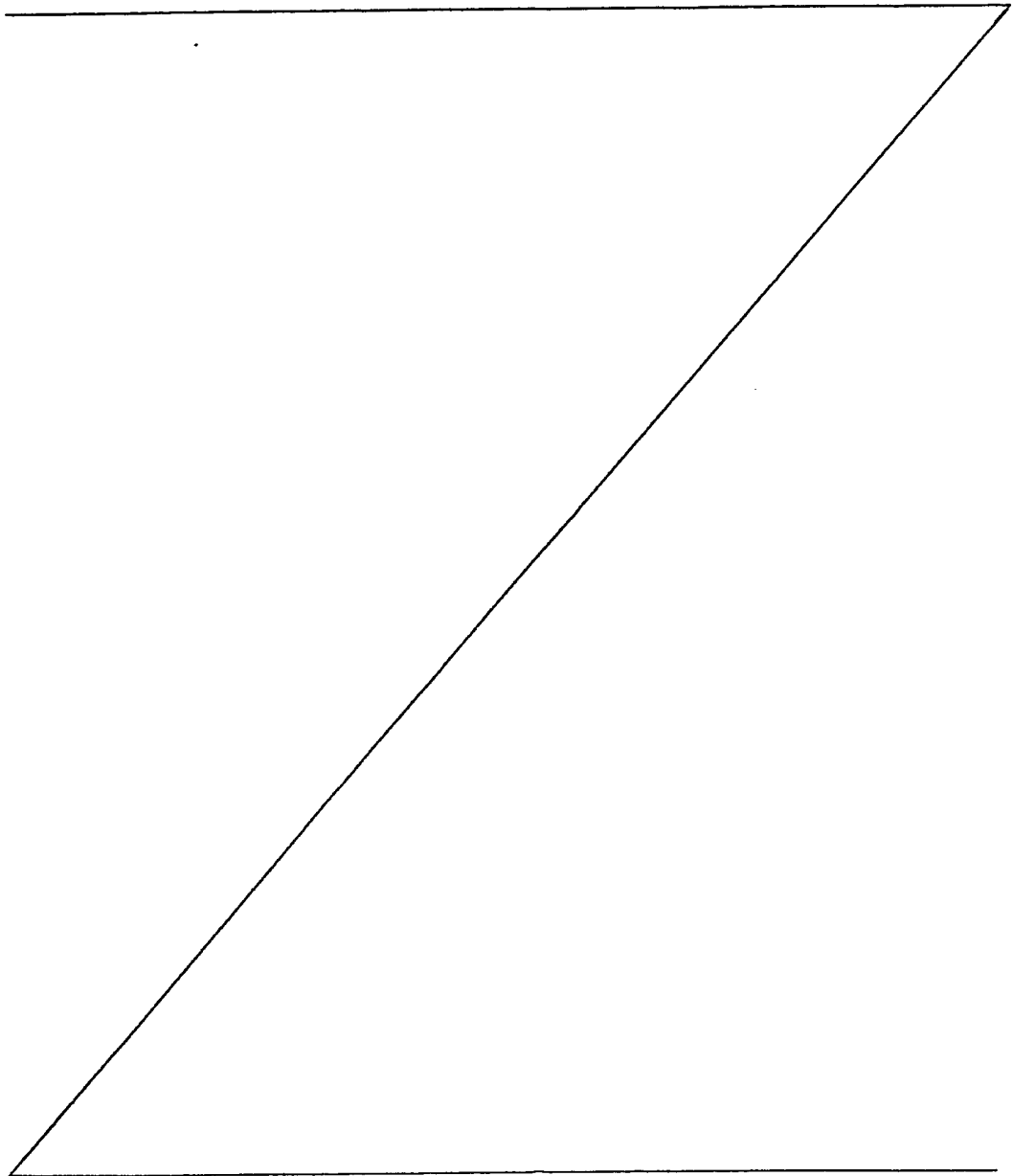


TABLEAU 1

Température d'essai (°C)	Températures (°C)					Pertes (W)
	Configuration	Source chaude TC2	Source froide TC5	TC1	Puissance injectée W	
$\theta = 50$	Adiabatique	56	55	55	0	
$\Delta\theta = 10$	Mesure	56	45	55	0,26	0,026
$\theta = 100$	Adiabatique	106,5	105	105	0	
$\Delta\theta = 10$	Mesure	106,5	94,5	105	0,28	0,04
$\theta = 150$	Adiabatique	156,5	155	155	0	
$\Delta\theta = 10$	Mesure	156,5	144,5	155	0,28	0,056
$\theta = 150$	Adiabatique	156,5	155	155	0	
$\Delta\theta = 5$	Mesure	156,5	149,5	155	0,14	0,057

D'autres essais ont été effectués sur le même matériau, afin de confirmer ces résultats par comparaison avec des valeurs calculées de la conductivité thermique. Les résultats de ces essais sont donnés 5 par le tableau 2.

TABLEAU 2

10	Température d'essai (°C)	λ Mesurée (W/Cm°C)	λ Calculée (W/Cm°C)
	50	0,0027	0,0029
	100	0,0027	0,0030
15	150	0,0029	0,0032

Enfin, des essais ont été réalisés sur une éprouvette étalon de Pyrex (nom déposé), à différentes températures, pour des écarts de température $\Delta\theta$ de 10°C. La comparaison des valeurs de la conductivité 20 thermique λ mesurées selon le procédé de l'invention avec les valeurs de cette conductivité thermique connues à 5 % près pour l'échantillon étalon testé, faite dans le tableau 3, confirme la précision du procédé selon l'invention.

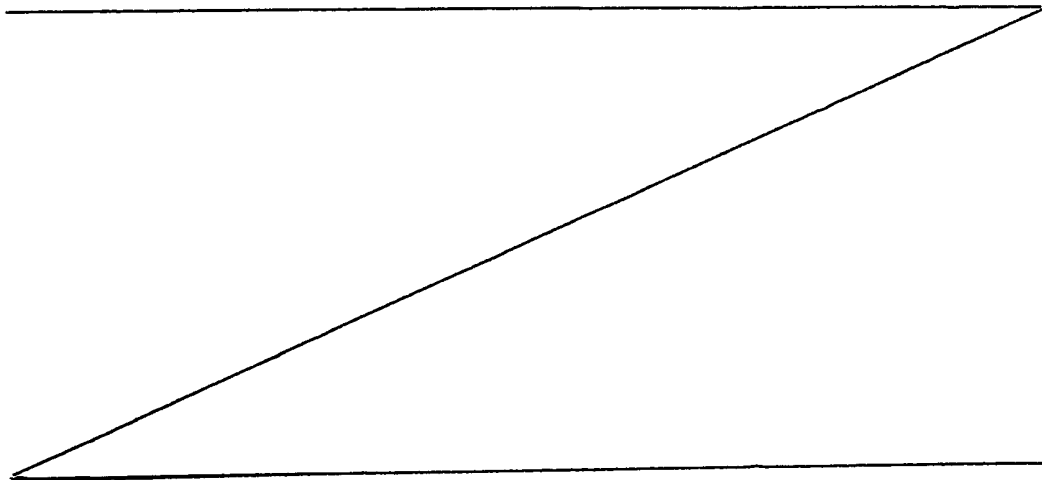


TABLEAU 3

	Température (°C)	λ Mesurée (W/Cm°C)	λ Connue (W/Cm°C)
5	-100	$8,6 \cdot 10^{-3}$	$8,3 \cdot 10^{-3}$
	- 50	$1,02 \cdot 10^{-2}$	$9,5 \cdot 10^{-3}$
	0	$1,13 \cdot 10^{-2}$	$1,06 \cdot 10^{-2}$
	50	$1,23 \cdot 10^{-2}$	$1,13 \cdot 10^{-2}$
	100	$1,30 \cdot 10^{-2}$	$1,20 \cdot 10^{-2}$
10	150	$1,38 \cdot 10^{-2}$	$1,27 \cdot 10^{-2}$
	200	$1,47 \cdot 10^{-2}$	$1,33 \cdot 10^{-2}$
	250	$1,55 \cdot 10^{-2}$	$1,39 \cdot 10^{-2}$

REVENDEICATIONS

1. Procédé de mesure de la conductivité thermique λ d'un matériau à tester, à une température moyenne θ donnée et pour un écart de température $\Delta\theta$ donné entre une première et une deuxième faces d'une éprouvette (E) du matériau, selon lequel on place l'éprouvette dans une chambre de mesure (10) d'un conductimètre ; on effectue un essai de mesure au cours duquel on amène l'éprouvette à la température moyenne θ et on mesure le flux thermique Q qui doit être apporté à la première face de l'éprouvette pour maintenir l'écart de température $\Delta\theta$; puis on calcule la conductivité thermique λ du matériau à partir du flux thermique mesuré ; caractérisé par le fait qu'avant d'effectuer ledit essai de mesure, on effectue un essai préalable, au cours duquel on amène l'éprouvette à une température sensiblement égale à $\theta + \frac{\Delta\theta}{2}$ et on mesure la température (TC2, TC3) de la première face de l'éprouvette, lorsqu'aucun flux thermique n'est apporté à cette première face ; et par le fait qu'on effectue ensuite ledit essai de mesure en abaissant de l'écart de température $\Delta\theta$ la température de la deuxième face de l'éprouvette et en ramenant la température de la première face à la température (TC2, TC3) mesurée lors de l'essai préalable, de telle sorte que la conductivité thermique calculée soit sensiblement indépendante des pertes thermiques.

2. Procédé de mesure selon la revendication 1, caractérisé par le fait qu'au cours de l'essai préalable, on mesure également la température (TC4, TC6) de la deuxième face de l'éprouvette, et on en déduit le gradient de température (ΔT_p) entre les deux faces de l'éprouvette, représentatif des pertes thermiques.

3. Procédé de mesure selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé par le fait

qu'on place l'éprouvette dans la chambre de mesure, de telle sorte que la deuxième face de l'éprouvette soit en contact intime avec une première paroi (14) de la chambre incorporant une source thermique relativement froide (20) et qu'une plaquette (48) incorporant une source thermique relativement chaude (52) soit maintenue en contact intime avec la première face de l'éprouvette par des moyens élastiques (50) prenant appui sur une deuxième paroi de la chambre, opposée à la première paroi.

4. Procédé de mesure selon la revendication 3, caractérisé par le fait qu'au cours dudit essai préalable, on amène l'éprouvette à ladite température sensiblement égale à $\theta + \frac{\Delta\theta}{2}$ de telle sorte que la première et la deuxième parois de la chambre soient simultanément à cette température, et par le fait qu'au cours de l'essai de mesure, on maintient la deuxième paroi de la chambre à cette température, on abaisse la température de la deuxième face de l'éprouvette à l'aide de la source thermique relativement froide, et on ramène la température de la première face à la température (TC2, TC3) de cette face mesurée lors de l'essai préalable à l'aide de la source thermique relativement chaude (52).

5. Procédé de mesure selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait qu'on utilise une éprouvette (E) ayant une épaisseur e , entre la première et la deuxième faces, au plus égale à la valeur de e (en cm) donnée par la relation $e = 2500 \lambda$, où λ représente une conductivité thermique approximative du matériau à tester (en W/cmK).

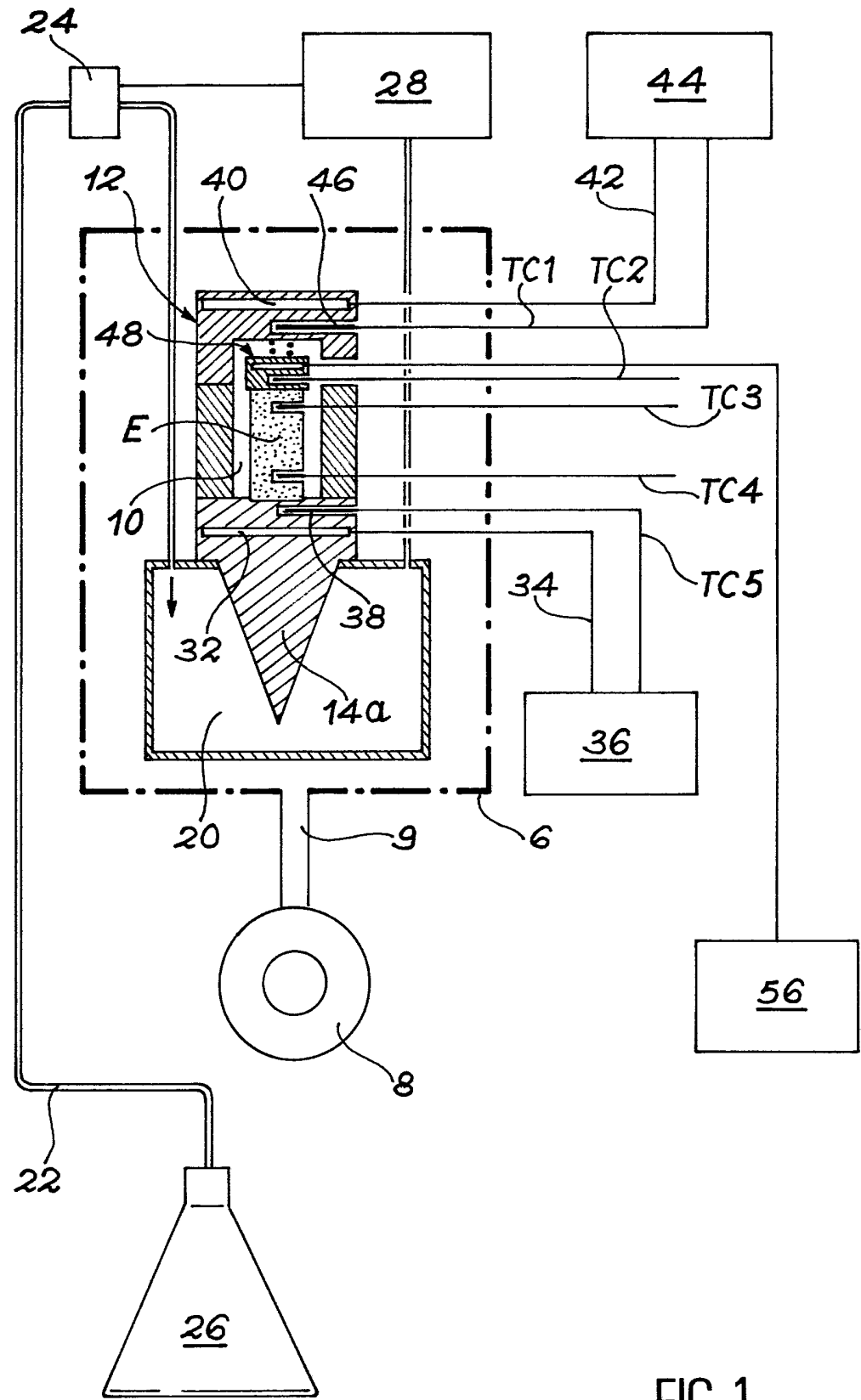


FIG. 1

3 / 3

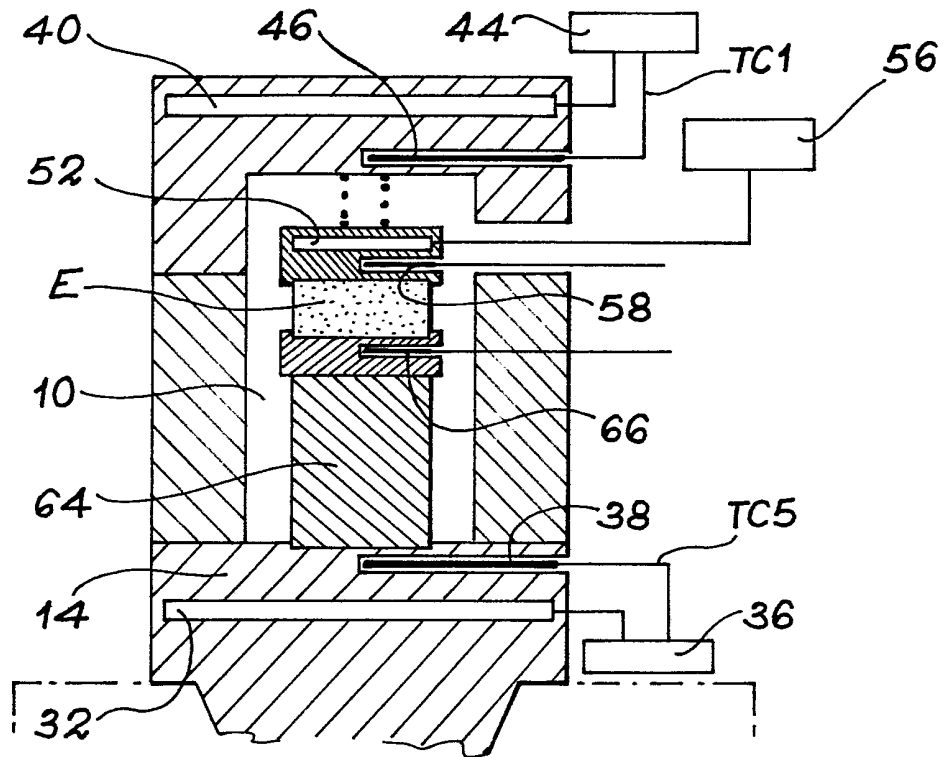


FIG. 3

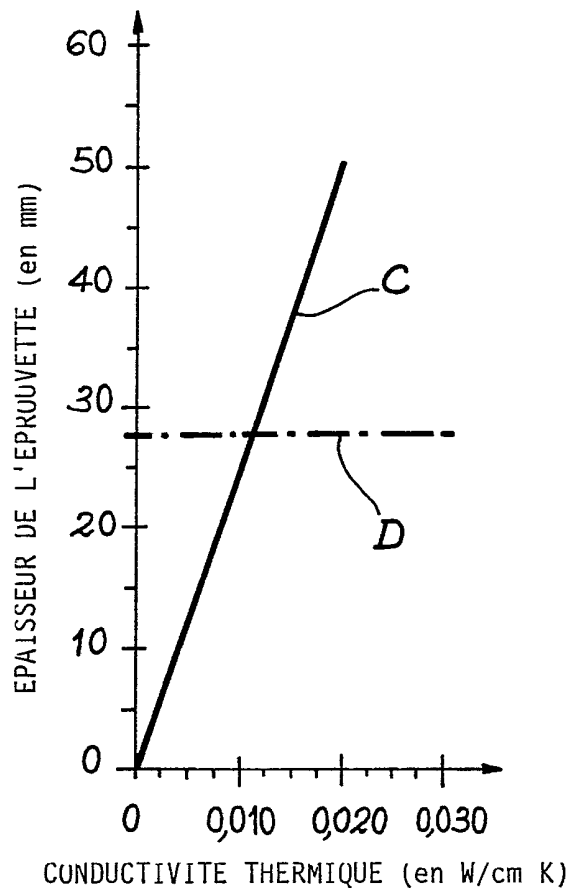


FIG. 4

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE
établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FR 9114009
FA 467241

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
D,A	EP-A-0 325 430 (ISHIKAWAJIMA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES C.) * revendications * ---	1-5
A	EP-A-0 325 441 (ISHIKAWAJIMA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO.) * colonne 6, ligne 20 - colonne 6, ligne 29 * * colonne 6, ligne 63 - colonne 9, ligne 5 * ---	1-5
A	FR-A-2 643 717 (LA TELEMECHANIQUE ELECTRIQUE) * abrégé; figure * ---	1-5
A	FR-A-2 245 247 (CENTRE EXPERIMENTAL D'ETUDES ET DE RECHERCHES DU BATIMENT) * revendications * -----	1-5
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
		G01N
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
25 JUIN 1992		KOUZELIS D.
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>		