

PF



MINISTÈRE DES AFFAIRES ÉCONOMIQUES

N° 887.770

Classif. Internat. :

601K/601J

Mis en lecture le :

01-07-1981

Le Ministre des Affaires Economiques,

Vu la loi du 24 mai 1854 sur les brevets d'invention ;

Vu la Convention d'Union pour la Protection de la Propriété Industrielle ;

Vu le procès-verbal dressé le 3 mars 1981 à 15 h. 30

au Service de la Propriété Industrielle ;

ARRÊTE :

Article 1. — Il est délivré à la Sté dite : NIPPON STEEL CORPORATION
6-3, Ohtemachi-2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo (Japan)

repr. par le Bureau Gevers S.A. à Bruxelles

un brevet d'invention pour : Méthode et appareil de mesure de la
température superficielle et de l'émissivité d'une matière
chauffée

qu'elle déclare avoir fait l'objet de demandes de brevet
déposées au Japon le 4 mars 1980, n° 27108/80 et le 11
juillet 1980, n° 94594/80.

Article 2. — Ce brevet lui est délivré sans examen préalable, à ses risques et
périls, sans garantie soit de la réalité, de la nouveauté ou du mérite de l'invention, soit
de l'exactitude de la description, et sans préjudice du droit des tiers.

Au présent arrêté demeurera joint un des doubles de la spécification de l'invention
(mémoire descriptif et éventuellement dessins) signés par l'intéressé et déposés à l'appui
de sa demande de brevet.

Bruxelles, le 31 mars 1981.

PAR DÉLÉGATION SPÉCIALE :

Le Directeur

L. SALPETEUR

88770

M E M O I R E D E S C R I P T I F

déposé à l'appui d'une demande de

BREVET D'INVENTION

au nom de :

NIPPON STEEL CORPORATION

pour :

"Méthode et appareil de mesure de la température superficielle
et de l'émissivité d'une matière chauffée"

Priorité de deux demandes de brevet déposées au Japon les
4 mars 1980 sous le n° 27108/80 et 11 juillet 1980 sous le
n° 94594/80

d

La présente invention est relative à une méthode et à un appareil pour la mesure d'une température de rayonnement en vue de pouvoir mesurer la température d'un objet chauffé, tel qu'une tôle métallique, etc., dont l'émissivité change, et elle se rapporte plus particulièrement à un procédé et à un appareil pour mesurer de façon précise la température superficielle de l'objet, et ce par une mesure simultanée de la température superficielle et de l'émissivité de l'objet.

La présente invention se rapporte plus particulièrement encore à la méthode suivante et à l'appareil décrit par la suite pour l'application de cette méthode.

Dans une mesure de température par une thermométrie à rayonnement dans un four industriel, tel qu'un four de recuit en continu ou appareil similaire, dans lequel une tôle d'acier ou autre objet est chauffé, ou encore dans un métal à une température atmosphérique ambiante ordinaire, où la température est mesurée par détection du rayonnement qui en provient, plusieurs facteurs, tels que l'énergie de rayonnement provenant de l'environnement, le bruit de fond dont l'amplitude est égale ou supérieure à l'énergie de rayonnement provenant de l'objet à mesurer, et le changement du facteur de transmission de l'atmosphère entourant l'appareillage de mesure pour l'énergie de rayonnement, ainsi qu'un changement dans l'émissivité de l'objet à mesurer, nuiront à une telle mesure au point de dégrader une mesure traditionnelle de température de rayonnement ou de rendre impossible une telle mesure traditionnelle. Ces problèmes peuvent être résolus de façon efficace grâce à une méthode de mesure de la température de rayonnement, à laquelle la présente invention se



rapporte plus particulièrement.

Pour la mesure de la température superficielle d'un objet chauffé, qui reste au repos ou est déplacé dans un four industriel, un radiomètre ou thermomètre à rayonnement, capable de mesurer la température de l'objet sans nécessiter de contact direct avec cet objet peut être utilisé de façon appropriée. En fait, ce type de dispositif est utilisé dans de nombreux domaines apparentés. Dans un four, comme l'énergie de rayonnement provenant de la paroi ou de la source thermique est réfléchi depuis l'objet à mesurer et est ensuite décelée par le radiomètre, une telle énergie de rayonnement parasite devient un important bruit ou interférence extérieur. Cette énergie de rayonnement parasite doit être exclue, sinon une mesure correcte de la température est impossible. En outre, il est bien connu que, lorsque l'émissivité de l'objet à mesurer se modifie, la mesure par une thermométrie à rayonnement provoquera généralement une erreur importante. Les deux problèmes mentionnés ci-dessus rendent en fait très erronées les mesures de température de rayonnement à l'intérieur de fours. En particulier, lorsque l'objet à mesurer est constitué par une tôle d'acier mince ou épaisse, placée dans un four à recuit, sa surface est normalement oxydée tandis qu'il est chauffé dans le four, de sorte que l'émissivité de la tôle d'acier se modifie avec le progrès de l'oxydation, ce qui crée ainsi une erreur importante dans la mesure de la température de rayonnement. Ce fait rend pratiquement non valable la mesure de la température. Le même cas se produit lors d'une mesure de température de rayonnement d'un métal ayant une température atmosphérique ambiante. La raison en est que, comme l'objet à mesurer (par exem-



ple en métal) se trouve aux environs des températures ordinaires, l'énergie de rayonnement provenant de la surface du métal est souvent égale ou inférieure à l'énergie de rayonnement provenant de l'environnement.

De plus, lorsque l'atmosphère du système de mesure absorbe l'énergie de rayonnement dans la gamme des longueurs d'onde que le radiomètre utilisé peut déceler, et lorsque le facteur de transmission pour l'énergie de rayonnement est modifié par un changement dans la concentration de l'atmosphère, la mesure de la température de rayonnement sera à nouveau sujette à des erreurs importantes.

Du fait de ces sérieux problèmes rencontrés, un but de la présente invention est de prévoir une méthode et un appareil pour la mesure précise d'une température superficielle à tout moment en résolvant les problèmes relatifs à la mesure d'une température de rayonnement, problèmes créés dans un environnement tel que mentionné précédemment.

L'un des inventeurs a proposé une méthode de mesure correcte de la température, grâce à laquelle les problèmes précédents que l'on rencontre dans la mesure d'une température de rayonnement ont été évités dans une certaine mesure, cette méthode ayant été décrite dans la demande de brevet japonais n° 85078/1979. Suivant cette méthode, un dispositif de rayonnement constitué par un corps noir, dont la température est variable, et un radiomètre qui peut déceler des rayons d'une bande choisie de longueurs d'onde sont disposés symétriquement et de manière spéculaire par rapport à la normale vis-à-vis d'une surface d'objet chauffé, de sorte que le radiomètre peut déceler le rayonne-



ment provenant de la surface de l'objet chauffé et que la température du corps noir est modifiée de sorte que celui-ci donne des valeurs de sortie correspondant aux températures, valeurs qui sont utilisées pour calculer l'émissivité du corps chauffé et déterminer ensuite sa température superficielle.

Par conséquent, la caractéristique principale de la méthode suivant l'invention est qu'un rayonnement d'une longueur d'onde à déceler par le radiomètre est choisi de manière à être réfléchi de façon spéculaire depuis la surface de l'objet à déceler. D'autre part, la présente invention propose de mesurer la température superficielle de l'objet à mesurer, avec une précision élevée, même dans les cas où la surface de l'objet à mesurer est rugueuse ou est une surface à réflexion spéculaire non parfaite, et où l'environnement de la mesure comprend des substances préjudiciables à la transmission de l'énergie de rayonnement, par exemple du CO_2 , du H_2O , etc.

De plus, un four formant corps noir idéal devrait être de dimensions importantes et devrait être chauffé et maintenu à une température constante. La présente invention propose en outre une mesure de température de rayonnement, utilisant une réflexion spéculaire qui peut omettre l'utilisation d'un tel four formant corps noir.

L'invention sera décrite plus complètement encore ci-après avec référence aux dessins annexés.

La Figure 1 est une représentation schématique d'une première forme de réalisation suivant l'invention.

La Figure 2 est un schéma synoptique de l'agencement mathématique.

d

Les Figures 3a et 3b sont des vues en plan schématiques.

La Figure 4 est une vue en élévation latérale schématique.

Les Figures 5a et 5b sont respectivement une vue en perspective schématique et une vue latérale schématique d'une autre forme de réalisation.

La Figure 6 est une vue latérale d'une forme de réalisation disposée à l'atmosphère.

La Figure 7 est un graphique montrant la relation entre l'émissivité réelle et l'émissivité mesurée suivant la présente invention.

La Figure 8 est un graphique montrant la relation entre la température réelle et la température mesurée suivant l'invention.

La Figure 9 est une vue latérale du four dans lequel une mesure est réalisée.

La Figure 10 est un schéma illustrant une expérience de détermination de la somme de bruit de fond.

La Figure 11 est un schéma illustrant la relation entre p et $d\Omega$ mesuré.

La Figure 12 est un graphique illustrant la relation entre p et θ_a mesuré.

La Figure 13 illustre la définition de l'angle d'inclinaison moyen θ_a .

La Figure 14 est un schéma explicatif intéressant pour expliquer une seconde forme de réalisation suivant la présente invention.

d

Les Figures 15a et 15b sont des dessins explicatifs concernant le secteur rotatif.

La Figure 16 est un graphique illustrant la relation entre G et ϵ_0 .

La Figure 17 est une vue en plan suivant laquelle un radiomètre et un dispositif de rayonnement formant corps noir sont disposés sur une plaque de base ou une chambre à refroidissement par eau.

La Figure 18 est un diagramme synoptique concernant l'unité mathématique appliquée pour l'invention.

Les Figures 19, 20 et 22 sont des vues latérales explicatives montrant le parcours du rayonnement lorsque l'objet à mesurer est amené à basculer.

La Figure 21 est une vue latérale explicative du cas où on utilise une surface réfléchissante concave.

Lorsque la surface d'un objet à mesurer est, du point de vue optique, lisse et plane, c'est-à-dire qu'elle a une surface parfaite de réflexion spéculaire, l'équation suivante est satisfaite :

$$\epsilon(\theta) + r(\theta) = 1 \quad \dots (1)$$

dans laquelle $\epsilon(\theta)$ représente l'émissivité de l'objet dans le sens de l'angle θ par rapport à la normale N à la surface de l'objet, et $r(\theta)$ désigne le coefficient de réflexion de l'objet dans ce sens. Le principe de cette méthode sera décrit avec référence à la Figure 1. Un radiomètre 1 et un dispositif de rayonnement formant corps noir 2 sont disposés de manière spéculaire et symétrique suivant un angle ϵ par rapport à la normale N à la surface d'un miroir. Si un objet 3 à mesurer se trouve

à une température T_1 et si le dispositif de rayonnement formant corps noir 2 se trouve à une température T_2 , une énergie de rayonnement E_2 à déceler par le radiomètre 1 peut être exprimée par :

$$E_2 = \epsilon(\theta) \cdot E_b(T_1) + \{1 - \epsilon(\theta)\} \cdot E_b(T_2) \quad \dots (2)$$

où $E_b(T_2)$ représente l'énergie de rayonnement provenant du dispositif de rayonnement formant corps noir à la température T_2 . Le premier terme de droite de l'équation (2) désigne l'énergie rayonnée depuis l'objet 3 à mesurer lui-même, tandis que le second terme est une composante de l'énergie de rayonnement $E_b(T_2)$, qui est réfléchi de manière spéculaire depuis la surface de l'objet 2 (le coefficient de réflexion $r(\theta) = 1 - \epsilon(\theta)$).

Ensuite, lorsque la température du dispositif de rayonnement formant corps noir 2 est modifiée en T_3 , la valeur décelée E_3 est donnée par :

$$E_3 = \epsilon(\theta) \cdot E_b(T_1) + \{1 - \epsilon(\theta)\} \cdot E_b(T_3) \quad \dots (3)$$

Comme les équations (2) et (3) sont des équations englobant toutes deux des variables inconnues $\epsilon(\theta)$ et $E_b(T_1)$ à déterminer, elles sont résolues sous forme d'équations simultanées par rapport à $\epsilon(\theta)$ et $E_b(T_1)$. La soustraction de l'équation (3) à partir de l'équation (2) donnera :

$$E_2 - E_3 = \{1 - \epsilon(\theta)\} \cdot \{E_b(T_2) - E_b(T_3)\} \quad \dots (4)$$

Une transposition de l'équation (4) sera réduite à :

$$\epsilon(\theta) = 1 - \frac{E_2 - E_3}{E_b(T_2) - E_b(T_3)} \quad (5)$$

b

Une substitution de l'équation (5) dans l'équation (3) et une nouvelle transposition donneront :

$$E_b(T_1) = \frac{E_3}{\epsilon(\theta)} - \frac{1 - \epsilon(\theta)}{\epsilon(\theta)} \cdot E_b(T_3) \quad \dots (6)$$

A partir de l'équation (6), on peut voir que la température T_1 peut être déterminée à partir de la caractéristique de sortie du radiomètre 1. La théorie susdite peut s'appliquer au cas où l'objet 3 a une surface parfaite pour la réflexion spéculaire. Cette méthode peut être mise en oeuvre d'après la demande de brevet japonais n° 85078/1979.

D'une façon générale, toutefois, comme la surface d'un objet présente un certain degré de rugosité, l'état de la mesure n'est pas idéal. Cette situation implique que le coefficient de réflexion $r(\theta) = 1 - \epsilon(\theta)$ de l'équation (1) devienne inférieur à la valeur idéale du fait de la réflexion diffuse. De ce fait, si on utilise un coefficient f ($0 < f < 1$) pour donner un coefficient de réflexion apparent tel que :

$$r(\theta) \cdot f = \{1 - \epsilon(\theta)\} \cdot f$$

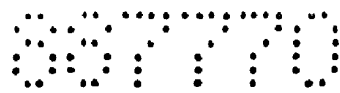
au lieu de $r(\theta)$, et si les équations (2) et (3) sont arrangées, les équations (7) et (8) s'obtiennent alors comme suit :

$$E_2 = \epsilon(\theta) \cdot E_b(T_1) + \{1 - \epsilon(\theta)\} \cdot f \cdot E_b(T_2) \quad \dots (7)$$

$$E_3 = \epsilon(\theta) \cdot E_b(T_1) + \{1 - \epsilon(\theta)\} \cdot f \cdot E_b(T_3) \quad \dots (8)$$

Dans ce cas, f est désigné comme étant le "facteur de réflexion spéculaire", qui représente le degré de réflexion spéculaire.

d



Depuis les deux équations données ci-dessus, on détermine l'émissivité calculée par l'équation :

$$\epsilon(\theta) = 1 - \frac{E_2 - E_3}{f \cdot \{E_b(T_2) - E_b(T_3)\}} \quad \dots (9)$$

On trouve également la température au départ de l'expression :

$$E_b(T_1) = \frac{E_3}{\epsilon(\theta)} - \frac{1 - \epsilon(\theta)}{\epsilon(\theta)} \cdot f \cdot E_b(T_3) \quad \dots (10)$$

Une première caractéristique de la présente invention est qu'une mesure précise de température peut facilement être réalisée par l'introduction du facteur de réflexion spéculaire f , même pour la caractéristique de réflexion spéculaire non parfaite de l'objet à mesurer, ou pour une surface rugueuse, pour les longueurs d'onde décelables par la radiomètre.

Dans la mesure d'une surface à réflexion spéculaire non parfaite, lorsqu'une paroi d'environnement 4 telle qu'illustrée par la Figure 1 se trouve à une température si élevée que le rayonnement qui en provient ne peut pas être négligé, il devient nécessaire de tenir compte de ce bruit de fond. Sous la température de paroi environnante T_4 et sous une émissivité effective de 1,0, les équations (7) et (8) sont réécrites de la façon suivante :

$$E_2 = \epsilon(\theta) \cdot E_b(T_1) + \{1 - \epsilon(\theta)\} \cdot f \cdot E_b(T_2) + \{1 - \epsilon(\theta)\} \cdot p \cdot E_b(T_4) \quad \dots (11)$$

$$E_3 = \epsilon(\theta) \cdot E_b(T_1) + \{1 - \epsilon(\theta)\} \cdot f \cdot E_b(T_3) + \{1 - \epsilon(\theta)\} \cdot p \cdot E_b(T_4) \quad \dots (12)$$

b

où p représente le degré de la réflexion diffuse provenant de la surface 3 à mesurer, ce degré étant désigné par les inventeurs sous le nom de "facteur de réflexion diffuse". Les troisièmes termes de gauche des équations (11) et (12) montrent l'énergie rayonnante à déceler par le radiomètre 1 après que l'énergie de rayonnement $E_b(T_4)$ provenant de la paroi d'environnement 4 a été réfléchiée de façon diffuse depuis la surface 3 à mesurer.

Déterminons maintenant la relation entre p et f . Si $T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = T$ ou si le système de mesure de température se trouve dans un état d'équilibre thermique parfait, alors $E_b(T_1) = E_b(T_2) = E_b(T_3) = E_b(T_4) = E_b(T)$. Par conséquent, les équations (11) et (12) sont réduites à :

$$E_b(T) = \epsilon(\theta) \cdot E_b(T) + \{1 - \epsilon(\theta)\} \cdot f \cdot E_b(T) + \{1 - \epsilon(\theta)\} \cdot p \cdot E_b(T) \dots (13)$$

A partir de l'équation (13), on peut obtenir la relation suivante :

$$f + p = 1 \quad (14)$$

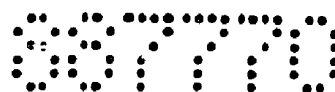
Une substitution de l'équation (14) dans les équations (11) et (12) donnera :

$$E_2 = \epsilon(\theta) \cdot E_b(T_1) + \{1 - \epsilon(\theta)\} \cdot (1 - p) \cdot E_b(T_2) + \{1 - \epsilon(\theta)\} \cdot p \cdot E_b(T_4) \dots (15)$$

$$E_3 = \epsilon(\theta) \cdot E_b(T_1) + \{1 - \epsilon(\theta)\} \cdot (1 - p) \cdot E_b(T_3) + \{1 - \epsilon(\theta)\} \cdot p \cdot E_b(T_4) \dots (16)$$

Une soustraction de ces deux équations l'une de l'autre et une nouvelle transposition donneront la même expression que l'équa-

d



tion (9), à savoir :

$$\epsilon(\theta) = 1 - \frac{E_2 - E_3}{(1 - p)(E_b(T_2) - E_b(T_3))} \quad \dots (17)$$

Une substitution de la valeur $\epsilon(\theta)$ dans l'équation (16) donnera

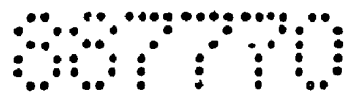
$$\begin{aligned} E_b(T_1) &= \frac{E_3}{\epsilon(\theta)} - \frac{1 - \epsilon(\theta)}{\epsilon(\theta)} \cdot (1 - p) \cdot E_b(T_3) \\ &\quad - \frac{1 - \epsilon(\theta)}{\epsilon(\theta)} \cdot p \cdot E_b(T_4) \end{aligned} \quad \dots (18)$$

Les équations (17) et (18) illustrent le principe de la mesure suivant l'invention. En d'autres termes, le dispositif de rayonnement formant corps noir 2 et le radiomètre 1 sont disposés de façon symétrique du point de vue spéculaire suivant des angles θ par rapport à la normale N à la surface de l'objet 3 à mesurer, et les mesures sont réalisées de la façon suivante. L'énergie de rayonnement provenant du dispositif de rayonnement formant corps noir est modifiée en $E_b(T_2)$ ou en $E_b(T_3)$, et la somme de l'énergie de rayonnement $(1 - \epsilon(\theta)) \cdot (1 - p) \cdot E_b(T_2)$ ou $(1 - \epsilon(\theta)) \cdot (1 - p) \cdot E_b(T_3)$ réfléchie depuis la surface d'objet 3, de l'énergie de rayonnement $\epsilon(\theta) \cdot E_b(T_1)$ provenant de la surface d'objet 3 elle-même et de la composante de perturbation $(1 - \epsilon(\theta)) \cdot p \cdot E_b(T_4)$ provenant de la paroi d'environnement 4 se trouvant à la température T_4 est décelée par le radiomètre 1. Ensuite, l'émissivité $\epsilon(\theta)$ est déterminée à partir de l'équation (17) en utilisant le facteur de réflexion diffuse p en association avec la surface d'objet 3, et la température T_1 est déterminée à partir de l'équation (18) par l'utilisation de la valeur $\epsilon(\theta)$.

2

La Figure 2 est un schéma synoptique du système de calcul permettant la mise en oeuvre efficace de la méthode suivant l'invention.

Pour permettre d'obtenir le fonctionnement de l'agencement suivant la Figure 2, il est nécessaire de régler le dispositif de rayonnement formant corps noir 2 à deux températures différentes T_2 et T_3 séparément. A cette fin, deux dispositifs de rayonnement formant corps noirs 2' et 2" sont prévus séparément, comme illustré par la Figure 3a, et sont réglés respectivement aux températures T_2 et T_3 , et l'énergie de rayonnement vers le radiomètre unique 1 est fournie alternativement depuis les deux dispositifs de rayonnement 2' et 2". La Figure 3a montre ce système optique à double flux lumineux. Les flux d'énergie de rayonnement provenant de chacun des corps noirs 2' et 2" se recoupent entre eux au point A sur la surface d'objet 3 à mesurer et sont réfléchis depuis cette dernière. L'un des énergies de rayonnement réfléchies traverse un miroir M_2 en direction d'un miroir rotatif M_1 et l'autre énergie traverse un miroir M_3 vers le miroir rotatif M_1 , de sorte que les deux énergies de rayonnement sont alternativement alimentées au radiomètre 1 par la rotation du miroir M_1 . A titre de variante, on peut utiliser uniquement le seul miroir rotatif M_1 sans les miroirs M_2 et M_3 pour réaliser le système optique à double flux lumineux tel qu'illustré par la Figure 3b, bien que des points de mesure légèrement différents A' et A" doivent être pris en considération. Dans ce cas, il est évidemment nécessaire que l'objet 3 se déplace ou se trouve à une température et une émissivité uniformes sur une certaine zone.



Au lieu d'utiliser les deux dispositifs de rayonnement formant corps noirs 2' et 2'', on peut prévoir un seul dispositif de rayonnement formant corps noir 2 et un sélecteur 5 qui est placé près de l'avant de l'ouverture du dispositif de rayonnement 2 et est mis en rotation grâce à un moteur MT, et ce comme illustré par la Figure 4, pour réaliser ainsi le même système que le système optique mentionné précédemment. Le dispositif de rayonnement formant corps noir 2 est réglé à la température T_2 . D'autre part, la surface 5-1 du secteur rotatif 5 est traitée de manière à être suffisamment noire pour absorber toute énergie quelconque de rayonnement, ou pour être une surface à peu près noire, et la température d'une telle surface noire est maintenue beaucoup plus basse que la température T_1 de la surface d'objet 3 à mesurer et que la température T_2 du dispositif de rayonnement formant corps noir 2. Par conséquent, l'énergie de rayonnement qui en provient peut être négligée comparativement à $E_b(T_1)$ et $E_b(T_2)$. La surface d'ouverture 2-1 du dispositif de rayonnement formant corps noir 2 est recouverte par intermittence par le secteur rotatif 5 pour alimenter alternativement deux valeurs différentes d'énergie de rayonnement au radiomètre 1 où ces valeurs sont décelées. Si la valeur décelée en provenance du dispositif de rayonnement formant corps noir 2 recouvert est considérée comme étant E_1 , on obtient l'équation suivante au lieu de l'équation (16) :

$$E_1 = \epsilon(\theta) \cdot E_b(T_1) + \{1 - \epsilon(\theta)\} \cdot p \cdot E_b(T_2) \dots (19)$$

d

Comme la valeur décelée E_2 en provenance du dispositif de rayonnement formant corps noir non recouvert 2 est exprimée par l'équation (15, la valeur $t(\theta)$ est déterminée depuis les deux équations (15) et (19) comme étant :

$$\varepsilon(\theta) = 1 - \frac{E_2 - E_1}{(1 - p) \cdot E_b(T_2)} \quad \dots (20)$$

Une substitution de l'équation (20) dans l'équation (19) donne :

$$E_b(T_1) = \frac{E_1}{\epsilon(\theta)} - 1 - \frac{\epsilon(\theta)}{\epsilon(\theta)} \cdot p \cdot E_b(T_4) \quad (21)$$

Les équations (20) et (21) sont plus simples que les équations (17) et (18). En outre, dans le système optique à double flux lumineux, on obtient les mêmes équations en prévoyant T_3 beaucoup plus petit que T_1 et T_2 , de sorte que le rayonnement est petit au point d'être négligeable. Les agencements des Figures 3 et 4 ont été décrits dans le modèle d'utilité japonais n° 180784/79. Dans cette invention, la caractéristique est que le facteur de réflexion diffuse p est introduit dans les équations de sorte que la surface d'objet à mesurer ne doit pas nécessairement être une surface à réflexion spéculaire parfaite, ce qui permet la réalisation d'une mesure pratique.

Les Figures 5a et 5b illustrent une autre forme de réalisation, suivant laquelle la température d'un objet chauffé dans un four et son émissivité sont mesurées de façon simultanée en utilisant un système à double flux lumineux correspondant à celui illustré par la Figure 3b.

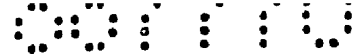
L'effet de la présente invention sera décrit ci-après avec référence à une forme de réalisation et à des résultats expérimentaux. La Figure 6 illustre schématiquement l'agencement

1

expérimental prévu dans l'atmosphère et sans effet de fond accompagnant. Comme illustré par la Figure 6, l'échantillon 3 à mesurer, d'un diamètre de 100 mm, est chauffé sur un four de chauffage 6. Le radiomètre 1 et le dispositif de rayonnement formant corps noir 2 sont disposés symétriquement suivant des angles θ , à savoir de 56° , par rapport à la normale N à la surface de l'échantillon. Le dispositif de rayonnement formant corps noir 2 est constitué par un cylindre en graphite creux avec un diamètre d'ouverture D de 50 mm et une longueur L de 125 mm, la température de paroi interne T_2 de ce dispositif étant décelée par un thermocouple CA (Chromel-Alumel) 2-2 monté dans la surface inférieur. La température décelée T_2 est réglée par un appareil de contrôle de température PID pour qu'elle soit maintenue à 368°C avec une précision de $\pm 1^\circ\text{C}$. L'angle solide, $d\Omega$, vu depuis la surface 3-1 à mesurer, est de $0,05\pi$ ster. Pour le radiomètre 1, on utilise trois éléments différents de détection tels qu'illustrés par le Tableau suivant :

Eléments de détection	Longueur d'onde efficace décelée λ (μ)
PbS	2,2
InSb	5,0
Thermistor-bolomètre	8,0

Le procédé expérimental est le suivant. La courbe caractéristique de chaque radiomètre 1 qui montre la relation entre T_2 et $E_b(T_2)$ est d'abord mesurée et ensuite la température est réglée à 368°C . Ensuite, chaque échantillon 3 est



chauffé sur le four de chauffage 6 grâce à un dispositif chauffant 7 et la température de chaque surface d'échantillon est mesurée par un thermocouple CA 8, qui est soudé par point sur la surface d'échantillon 3. Chaque surface d'échantillon est réglée à une température arbitraire T_1 dans l'intervalle de 200°C à 450°C . Pour déterminer directement l'émissivité $\epsilon(\theta)$ à chaque température T_1 , un secteur refroidi par eau 5', dont la surface est noircie, est placé juste en avant de l'ouverture 2-1 du dispositif de rayonnement formant corps noir 2. De la sorte, à partir de la valeur décelée E_1 par le dispositif de rayonnement 1 à ce moment, la valeur $\epsilon(\theta)$ peut être obtenue comme suit :

$$\epsilon(\theta) = \frac{E_1}{E_b(T_1)} \quad \dots (22)$$

où $E_b(T_1)$ est une valeur connue car il s'agit de l'énergie de rayonnement provenant du dispositif de rayonnement formant corps noir à la température T_1 qui a été mesurée par le thermocouple CA 8. La valeur $\epsilon(\theta)$ de l'équation (22) est l'émissivité réelle de l'échantillon 3.

La valeur E_1 peut être exprimée par :

$$E_1 = \epsilon(\theta) \cdot E_b(T_1) \quad \dots (23)$$

Sur la base du principe de la méthode suivant la présente invention, la valeur décelée E_2 au moment où le secteur refroidi par eau et noirci 5' est enlevé peut être exprimée par :

$$E_2 = \epsilon(\theta) \cdot E_b(T_1) + \{1 - \epsilon(\theta)\} \cdot f \cdot E_b(T_2) \quad \dots (24)$$

cette équation étant la même que l'équation (7). Au départ des équations (23) et (24), on peut déterminer comme suit l'émissi-



vité et la température :

$$\epsilon(\theta) = 1 - \frac{E_2 - E_1}{f \cdot E_b(T_2)} \quad \dots (25)$$

$$E_b(T_1) = \frac{E_1}{\epsilon(\theta)} \quad \dots (26)$$

La précision de mesure dans la méthode suivant l'invention peut être évaluée en comparant l'équation d'émissivité réelle (22) et l'équation d'émissivité (25) que l'on obtient par la méthode suivant l'invention.

Le Tableau 1 donne les résultats mesurés sur des échantillons d'une tôle en acier laminé à froid, d'une tôle d'acier inoxydable et d'une tôle en aluminium à surface rendue rugueuse que l'on obtient suivant la méthode de l'invention. Dans le Tableau 1, la valeur f est déterminée de telle manière que les valeurs d'émissivité $\epsilon(\theta)$ calculées au départ des équations (22) et (25) soient identiques, chaque échantillon étant réglé à une température donnée T_1 .

Tableau 1

Les résultats mesurés pour chaque échantillon par la méthode suivant l'invention sont les suivants :

Echan.	$\lambda(\mu)$	$T_1(^{\circ}\text{C})$	$\epsilon(\theta)$	E	$\bar{E}$	Δf	$\frac{\Delta \epsilon}{\epsilon(\theta)}$	$\frac{\Delta T}{T_1}$
Tôle d'acier laminée à froid	2,2	326	0,316	0,90	0,92	$\pm 0,03$	0,07	0,007
		327	0,443	0,91				
		369	0,447	0,94				
		390	0,495	0,94				
		410	0,690	0,94				
		410	0,820	0,89				
Tôle d'acier inoxydable (recuit brillant)	2,2	306	0,261	0,94	0,98	$\pm 0,02$	0,06	0,006
		327	0,300	0,99				
		390	0,305	1,00				
		410	0,356	1,00				
		390	0,338	0,98				
		369	0,339	0,98				

b

Tôle de Al traitee par pro- jection de grenailles (n° 250)	2,2	306 368 410 368	0,383 0,424 0,440 0,434	0,091 0,098 0,109 0,097	0,098	+0,009	0,15	0,015
Tôle d'acier laminée à froid	5,0	221 275 326 368 430	0,144 0,146 0,151 0,170 0,287	0,97 0,96 0,97 0,97 0,98	0,97	+0,01	0,07	0,007
Tôle d'acier inoxy- dable (recuit brillant)	5,0	221 326 368 430	0,155 0,181 0,178 0,181	0,98 0,99 0,98 0,99	0,99	+0,01	0,06	0,013
Tôle de Al traitee par pro- jection de grenailles (n° 250)	5,0	221 326 368 430 326	0,412 0,423 0,438 0,462 0,453	0,14 0,14 0,15 0,15 0,15	0,15	+0,006	0,25	0,057
Tôle d'acier laminée- à froid	8,0	296 326 368 431 296	0,138 0,139 0,147 0,195 0,376	0,99 0,99 0,98 0,99 1,00	0,99	+0,01	0,06	0,024
Tôle d'acier inoxy- dable (recuit brillant)	8,0	296 326 368 431	0,184 0,176 0,164 0,174	1,01 1,00 1,00 1,01	1,00	+0,005	0,03	0,009
Tôle de Al traitee par pro- jection de grenailles (n° 250)	8,0	326 368 431 368 326	0,451 0,464 0,483 0,464 0,463	0,27 0,26 0,26 0,26 0,26	0,26	+0,005	0,02	0,009

b

Dans ce Tableau :

$\lambda(\mu)$	: longueur d'onde décelée efficace
$T_1(^{\circ}\text{C})$	: température indiquée par le thermocouple
$\varepsilon(\theta)$	: émissivité déterminée directement
f	: facteur de réflexion spéculaire
$\bar{f}$	: f moyen
Δf	: variation de f
$\Delta\varepsilon/\varepsilon\theta$	: erreur relative d'émissivité
$\Delta T/T_1$	: erreur de température relative

Dans le Tableau 1, les erreurs d'émissivité et de température relative sont déterminées par les équations (25) et (26) et en utilisant la valeur moyenne $\bar{f}$ de f et sa variation Δ l'erreur de température relative étant évaluée à $T_1 = 400^{\circ}\text{C}$.

L'équation (25) est réarrangée par rapport à f de la façon suivante :

$$f = \frac{E_2 - E_1}{\{1 - \varepsilon(\theta)\} E_b(T_2)} \dots\dots\dots (27)$$

La variation de $\varepsilon(\theta)$ est prise comme étant $\Delta\varepsilon$ correspondant à la variation f . En prenant le logarithme des deux côtés de l'équation (27) et en différenciant les deux côtés en question, on obtiendra :

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta\varepsilon}{1 - \varepsilon(\theta)} \dots\dots\dots (28)$$

A partir de l'équation (28), on obtient :

$$\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon(\theta)} = \left\{ \frac{1}{\varepsilon(\theta)} - 1 \right\} \frac{\Delta f}{f} \dots\dots\dots (29)$$

A partir de l'équation (29), on comprendra que l'erreur relative d'émissivité dépend de l'erreur relative de f et de la va-

d

leur de l'émissivité elle-même.

L'erreur relative de température, $\Delta T/T_1$, peut être dérivée de la formule bien connue :

$$\frac{\Delta T}{T_1} = \frac{\lambda \cdot T_1}{C_2} \cdot \frac{\Delta \epsilon}{\epsilon(\theta)} \dots \dots \dots (30)$$

Une substitution de l'équation (29) dans l'équation (30) donnera :

$$\frac{\Delta T}{T_1} = \frac{\lambda \cdot T_1}{C_2} \cdot \left\{ \frac{1}{\epsilon(\theta)} - 1 \right\} \frac{\Delta f}{f} \dots \dots \dots (31)$$

où $C_2 = 14,388 \mu \cdot K$.

Les valeurs $\Delta t/\epsilon(\theta)$ et T/T_1 du Tableau 1 sont déterminées en utilisant l'équation $f = \bar{f}$ dans les équations (29) et (31) et en substituant la valeur $\epsilon(\theta)$ de l'équation (22) dans les équations (29) et (30). En considérant le Tableau 1, on peut voir que la valeur f du même échantillon se rapproche de 1 ou que la surface d'échantillon se rapproche d'une surface à réflexion spéculaire au fur et à mesure que la longueur d'onde λ augmente. En outre, la variation relative $\Delta f/f$ de f diminue au fur et à mesure que la valeur λ augmente. Comme l'émissivité et la température déterminées par la méthode suivant la présente invention dépendent des valeurs $t(\theta)$ et λ en plus de $\Delta f/f$ comme illustré par les équations (29) et (31), la précision de la mesure à de grandes longueurs d'onde n'est pas nécessairement excellente. En considérant le Tableau 1, on peut voir que l'erreur relative d'émissivité est minimale à $\lambda = 8 \mu$, tandis que celle de la température est minimale à $\lambda = 22 \mu$.

La Figure 7 est un graphique mettant en évidence les résultats expérimentaux illustrant la relation entre l'émissivité [équation (22)] directement obtenue par le thermocouple et

h



l'émissivité [équation (25)] obtenue par la méthode suivant l'invention pour de nombreux échantillons d'une tôle d'acier laminée à froid à $\lambda = 2,2 \mu$. Dans cette expérience, la valeur moyenne $\bar{f}$ de 0,92 a été utilisée pour f . D'après la Figure 7, on peut voir que les deux émissivités prennent des valeurs similaires quel que soit le changement important d'émissivité en même temps que la formation d'une pellicule d'oxyde sur la surface de la tôle d'acier, à la suite du chauffage. La Figure 8 illustre de façon similaire la relation entre la température indiquée par le thermocouple et celle obtenue par le calcul suivant l'invention. La différence se situe presque dans les limites de $\pm 5^\circ\text{C}$. En considérant le Tableau 1 et les Figures 7 et 8, on peut comprendre que, pour le même type de tôle d'acier, la température et l'émissivité peuvent simultanément être mesurées avec une précision très élevée sous une constante f établie, quelle que soit l'importance du changement d'émissivité.

La méthode suivant l'invention est excellente en particulier pour supprimer le bruit de fond, du fait de son utilisation de la réflexion spéculaire. Par conséquent, la présente méthode est considérée comme étant très efficace pour une mesure de température dans un four. Un four simulé a été prévu et la température dans un tel four a été mesurée expérimentalement par la méthode suivant l'invention. La Figure 9 illustre schématiquement l'agencement expérimental. La paroi interne 4 du four simulé est faite en une tôle mince d'acier et elle est en forme de boîte. La totalité de la surface de la paroi interne 4 est revêtue d'une peinture noire pour avoir une émissivité de 0,95. La partie de plafond et la partie formant paroi latérale entre la





paroi interne 4 et la paroi externe 4' comportent trois dispositifs de chauffage distincts 9 prévus pour rayonner une énergie thermique vers la paroi interne. La température de paroi interne T peut être réglée indépendamment par des thermocouples à gaine C (Chromel-Alumel) noyés dans la surface d'acier (en trois endroits dans le plafond et dans les parties formant la paroi latérale) afin que cette température soit pratiquement uniforme sur la totalité de la surface. Les deux parois latérales du four sont pourvues chacune d'une ouverture 10, d'une largeur de 50 mm et d'une longueur de 100 mm. Par l'une des ouvertures 10, on introduit le dispositif de rayonnement formant corps noir 2, tandis que par l'autre ouverture 10, l'intérieur du four II peut être vu par le radiomètre 1. Par la base du four, on peut introduire l'échantillon 3 et le four de chauffage d'échantillon 6 dans l'intérieur II du four. L'échantillon 3 peut être chauffé indépendamment et sa température peut être réglée sur le four de chauffage 6. De plus, l'échantillon 3 peut être refroidi par eau pour le maintenir à une température normale, au lieu de le chauffer depuis la base. Devant la surface d'ouverture 2-1 du dispositif de rayonnement formant corps noir 2, on place un secteur noirci et refroidi par eau 5, qui est admis à recouvrir la surface d'ouverture 2-1 à certains intervalles d'une période de temps, et ce grâce à un moteur de commande 12.

Dans un tel four simulé, lorsque la température de paroi interne T_4 est devenue uniforme sur la totalité de la surface, la paroi interne de four 4 peut être considérée comme étant un corps noir à cette température, condition qui semble être la plus sévère lors d'une thermométrie à rayonnement à l'intérieur



du four.

Comme l'efficacité du principe a déjà été confirmée par l'expérience à la température ambiante, la proportion de l'énergie de rayonnement qui est rayonnée depuis la paroi interne 4 dans le four et est réfléchie depuis la surface de mesure 3-1 vers le radiomètre 1 où elle est décelée, c'est-à-dire la proportion du bruit de fond, est quantifiée par voie expérimentale.

Comme illustré par la Figure 10, la température de paroi interne T_4 du four simulé est réglée de manière à atteindre 390°C . La surface d'ouverture 2-1 du dispositif de rayonnement formant corps noir 2 est recouverte par le secteur noirci et refroidi par eau 5' et ensuite chaque type d'échantillon 3 est introduit à l'intérieur depuis la base. Comme la face inférieure de l'échantillon 3 est refroidie par eau à tout moment, la température de la surface d'échantillon est maintenue à la température ambiante dans le four. Sous ces conditions, l'énergie réfléchie E_s est décelée par le radiomètre 1. La majeure partie de la valeur décelée E_s donne une information quant à la fraction de l'énergie de rayonnement $E_b(T_4)$ quittent la paroi interne de four 4 et arrivant au dispositif de rayonnement 1 après rayonnement depuis la surface interne de four 4 et réflexion sur la surface 3-1 à mesurer. Par conséquent, la somme du bruit de fond peut être déterminée.

Le facteur de fond η est défini comme suit :

$$E_s = \eta \cdot E_b(T_4) \dots\dots\dots (32)$$

$$\eta = \{1 - \epsilon(\theta)\} \cdot p \dots\dots\dots (33)$$

Handwritten signature or mark.

Comme l'émissivité de l'échantillon 3 a été préalablement mesurée, le facteur de réflexion diffuse p peut être calculé au départ de l'équation (33).

Dans cette expérience, la valeur θ est choisie comme étant de 67° , et la distance entre le point mesuré et le secteur a été modifiée pour changer l'angle solide $d\Omega$ sous-tendant le secteur noirci et à refroidissement par eau 5 à partir du point mesuré.

La Tableau 2 énumère des résultats expérimentaux. Comme échantillons, on a utilisé des tôles d'acier laminées à froid et des tôles en acier inoxydable dont l'émissivité change avec la progression de l'oxydation de l'échantillon.

Tableau 2

Résultats expérimentaux de p et de $d\Omega$

Echan- tillons	Longueur d'onde décelée efficace (μ)	Angle solide $d\Omega$ (stér)	Facteur de réflexion diffuse $p \pm -$	Facteur de réflexion spéculaire $\bar{f}$
Tôles d'acier laminées à froid	22	0,05 π 0,15 0,20	0,061 $\pm$ 0,001 0,04 $\pm$ 0,003 0,02 $\pm$ 0,005	$d\Omega=0,05\pi$ 0,92
	5,0	0,05 0,15 0,20	0,048 $\pm$ 0,005 0,03 $\pm$ 0,004 0,015 $\pm$ 0,003	0,97
	8,0	0,05 0,15 0,20	0,021 $\pm$ 0,001 0,013 $\pm$ 0,001 0,009 $\pm$ 0,001	0,99

Tableau 2 (suite)

Tôles d'acier inoxy- dable (recuit brillant)	2,2	0,05 0,15 0,20	0,023+0,007 0,017+0,004 0,005+0,002	0,98
	5,0	0,05 0,15 0,20	0,008+0,002 0,004+0,002 0,002+0,001	0,99
	8,0	0,05 0,15 0,20	0,003+0,001 0,0012 0,0005	1,00

En changeant la distance Z depuis le point mesuré de l'échantillon jusqu'à la surface de secteur 5-1, un angle solide $d\Omega = 2\pi \{1 - \cos(\tan^{-1} D/28Z)\}$, sous-tendant la surface de secteur (dont le diamètre est D) est prévu, pour lequel le facteur de fond η est déterminé au départ de l'équation (32). Ce facteur η et l'émissivité $\varepsilon(\theta)$ de chaque échantillon permettent de déterminer p et sa variation Δp au départ de l'équation (14). La Figure 11 illustre la relation entre p et $d\Omega$. En considérant le Tableau 2 ou la Figure 11, on peut voir que, pour chaque échantillon, p se rapproche de 0 au fur et à mesure que la longueur d'onde λ augmente, ou que l'échantillon se rapproche d'une surface à réflexion spéculaire. En outre, au fur et à mesure que $d\Omega$ augmente, la partie diffuse de la réflexion rend p d'une faible valeur. La relation entre p et f est donnée par l'équation (14). La valeur f mesurée du Tableau 1 est également donnée dans le Tableau 2. Au départ des Tableaux 1 et 2, on peut comprendre que la relation entre p et f satisfait à l'équation (14). De la sorte, la méthode suivant l'invention est évidemment efficace dans le four. On décrira maintenant la méthode de détermination des dimensions de l'ouverture du dispositif de



rayonnement formant corps noir.

Dans l'atmosphère ou dans un four, l'émissivité est donnée par l'équation (20). L'erreur dans la mesure de température est exprimée par l'équation (31) pour l'atmosphère. Par conséquent, dans l'atmosphère, on ne peut fondamentalement utiliser, pour l'analyse de l'erreur, que l'équation (29) dans laquelle la variation de f de l'échantillon peut être remplacée par la variation de l'émissivité $\epsilon(\theta)$. Dans le cas du four, la variation des émissivités dues au changement de p et à la température de paroi interne T_4 du four doit être prise en considération. C'est ainsi que le degré auquel l'angle solide $d\Omega$ doit être choisi pour la tolérance est considéré de la façon suivante :

Si une température de mesure apparente est considérée comme étant T_a , l'équation (34) suivante est satisfaite dans l'équation (19) :

$$E_b(T_a) = E_b(T_1) + \frac{1-\epsilon(\theta)}{\epsilon(\theta)} \cdot p \cdot E_b(T_4) \quad \dots\dots\dots (34)$$

La gamme de variation de $\epsilon(\theta)$ est prédite par expériences et la valeur minimale de $\epsilon(\theta)$ est considérée comme étant $\epsilon(\theta) = \epsilon_{\min}$. La valeur $\epsilon_{\min}$ est substituée dans l'équation (33), ce qui donne :

$$\eta = \{1-\epsilon(\theta)\} \cdot p \leq (1-\epsilon_{\min}) \cdot p \dots (35)$$

Une substitution de l'équation (35) dans l'équation (34) et l'utilisation de la formule de Wien, à savoir $E_b(T) = C_1 \cdot \lambda^{-5} \cdot \exp(-C_2/\lambda T)$, donnera ce qui suit :

d

$$\exp\left(-\frac{C_2}{\lambda \cdot T_a}\right) \exp\left(-\frac{C_2}{\lambda \cdot T_1}\right) + \frac{1-\epsilon_{\min}}{\epsilon_{\min}} \cdot p \cdot \exp\left(-\frac{C_2}{\lambda \cdot T_4}\right) \dots\dots\dots (36)$$

Si alors l'erreur admissible de mesure de température ΔT_a est inférieure ou égale à $T_a - T_1$ °C ($\Delta T_a \leq T_a - T_1$ °C), la partie de gauche de l'équation (36) est donnée par :

$$\exp\left(-\frac{C_2}{\lambda \cdot T_a}\right) \leq \exp\left\{-\frac{C_2}{\lambda(T_1 + \Delta T_a)}\right\} \\ \leq \exp\left\{-\frac{C_2}{\lambda \cdot T_1} \left(1 - \frac{\Delta T_a}{T_1}\right)\right\} \dots\dots\dots (37)$$

$$(\because \Delta T_a / T_1 < 1)$$

De la sorte, une substitution de l'équation (37) dans l'équation (36) et une transposition appropriée donneront la tolérance maximale $p_{\max}$ du facteur de réflexion diffuse p :

$$p_{\max} = \frac{\epsilon_{\min}}{1-\epsilon_{\min}} \left\{ \exp\left(\frac{C_2 \cdot \Delta T_a}{\lambda \cdot T_1^2}\right) - 1 \right\} \\ \times \exp\left\{-\frac{C_2}{\lambda} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_4}\right)\right\} \dots\dots\dots (38)$$

Dans l'équation (38), en donnant des valeurs spécifiques à T_1 et à T_4 dans la zone de mesure de température, ainsi qu'à λ , on déterminera la valeur $p_{\max}$ pour l'erreur de mesure de température dans les limites de $\pm \Delta T_a / 2$ °C. Ensuite, l'angle solide $d\Omega$ max pour $p = p_{\max}$ peut être déterminé au départ de la Figure 11. Un calcul spécifique pour une tôle en acier laminée à froid et pour une tôle en acier inoxydable est décrit par la suite.

d

Le Tableau 3 énumère les valeurs $p_{\max}$ et $d\Omega_{\max}$ nécessaires pour restreindre la valeur ΔT_a dans les limites de 10°C pour $T_1 = 700^\circ\text{C}$, $T_4 = 600^\circ\text{C}$, 700°C et 800°C . Au départ de la Figure 11, on peut voir que la valeur p diminue au fur et à mesure que la valeur λ augmente, de sorte que le bruit de fond est réduit en proportion. La valeur $d\Omega_{\max}$ nécessaire pour une limitation à la même erreur de mesure de température ΔT_a , devie plus petite au fur et à mesure que λ diminue, et ce comme clairement illustré par le Tableau 3. La possibilité d'une réduction de la valeur $d\Omega_{\max}$ est très importante du point de vue technique. Pour des tôles en acier inoxydable, il est possible de rendre très petit l'angle solide. On décrira ci-après la méthode de détermination de p par rapport à la rugosité de la surface d'objet à mesurer. La valeur p représente le degré de réflexion diffuse dans le sens des angles par rapport à la normale à la surface d'échantillon. Pour cette raison, on peut considérer qu'il y a une corrélation entre p et un angle d'inclinaison moyen θ_a illustrant la rugosité superficielle de la surface de l'échantillon. La relation entre p et θ_a pour $d\Omega = 0,2\pi$ rad au départ des résultats du Tableau 2 est illustrée par la Figure 12.

b

Tableau 3

Résultats calculés pour $p_{\max}$ et $d\Omega_{\max}$ nécessaires pour la prévision d'une erreur de mesure de température dans les limites de $\pm 5^\circ\text{C}$

Echan- tillon	Longueur d'onde efficace $\lambda(\mu)$	Emissi- vité minimale min	Tempér. d' échan- tillon	Tempér. de paroi de four	$p_{\max}$	Angle solide de $d\Omega$ ($\times \pi$ stér.
Tôle d'acier laminée à froid	2,2	0,25	973	873	0,051	0,1 π
				973	0,024	0,19
				1.073	0,0127	0,22
	5,0	0,15	973	873	0,012	0,21
				973	0,005	0,25
				1.073	0,004	0,26
	8,0	0,08	973	873	0,004	0,25
				973	0,0017	0,27
				1.073	0,0014	0,28
Tôle d'acier inoxy- dable (recuit brillant)	2,2	0,30	973	873	0,066	0
				973	0,031	0
				1.073	0,016	0,15
	5,0	0,15	973	873	0,0076	0,07
				973	0,0054	0,12
				1.073	0,0046	0,14
	8,0	0,16	973	873	0,0043	0
				973	0,0037	0
				1.073	0,0031	0,05

Si l'angle d'inclinaison θ_c de la surface rugueuse est exprimée par dz/dx , θ_a est défini comme illustré par la Figure 13.

$$\theta_a = \frac{1}{L} \int_0^L \left(\theta_c - \theta_m \right) d\alpha \dots\dots\dots (39)$$

avec la ligne de symétrie à

$$\theta_m = \frac{1}{L} \int_0^L \frac{\theta}{C} dx \dots\dots\dots (40)$$

Comme on l'a décrit en détails ci-dessus, si dans le four un angle solide nécessaire pour la rugosité superficielle de l'échantillon est déterminé et si on établit les dimensions de l'ouverture du dispositif de rayonnement formant corps noir et la distance Z jusqu'à la surface mesurée, il sera possible de mesurer la température et l'émissivité avec une précision prédéterminée. Si, dans ce cas, la forme de l'objet à mesurer et le changement de forme dû à un transport ou à un chauffage sont pris en considération, la précision de la mesure sera rehaussée.

La présente invention est particulièrement efficace pour un objet pour lequel il est nécessaire de mesurer la température et l'émissivité dans le cas où la surface de cet objet est d'allure générale rugueuse et a une caractéristique de réflexion non spéculaire. En plus de ce qui précède, comme le bruit de fond peut être éliminé simultanément, la température des tôles d'acier dans le four où l'émissivité varie largement avec la progression de l'oxydation, peut être mesurée de façon efficace.

Depuis récemment, des progrès sont faits dans la construction de nouveaux fours de recuit en continu. A l'encontre des fours traditionnels, les nouveaux fours tiennent compte de l'esprit d'économie d'énergie qui existe à l'heure actuelle et on y envisage d'abaisser le coût de l'énergie par une amélioration du rendement thermique. A cette fin, au lieu d'utiliser

d

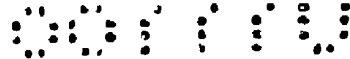


des gaz réducteurs, on a adopté un système de chauffage rapide par des brûleurs à chauffage direct. Le four de ce système de chauffage est appelé NOF (four non oxydant). La tôle d'acier se trouvant dans le four est encore oxydée par l'atmosphère faiblement oxydante régnant dans le four durant son déplacement, de sorte que son émissivité est fortement modifiée. La présente invention résout pleinement les problèmes à la fois du bruit de fond et de l'émissivité et, de la sorte, elle est remarquablement efficace pour la mesure d'une température à l'intérieur du système NOF. De plus, comme dans ce système une faible somme d'oxygène (O_2) non brûlé provoque une action délicate sur la formation d'une pellicule d'oxyde sur la tôle d'acier, la mesure de l'émissivité donnera au contraire une information intéressante sur la pellicule d'oxyde ou l'état d'oxydation.

En outre, suivant la présente invention, même si un filtre de verre existe dans le parcours optique du système de mesure, une mesure précise de température peut être faite par une mesure du coefficient de transmission. Si, par exemple, dans les équations (15) et (16), les énergies E_2 et E_3 décelées par le radiomètre sont absorbées suivant un facteur de transmission K , on obtient les équations suivantes correspondant aux équations (15) et (16) :

$$\begin{aligned} E_2/K = & \epsilon(\theta) \cdot E_b(T_1) + \{1 - \epsilon(\theta)\} \\ & \cdot (1-p) \cdot E_b(T_2) + \{1 - \epsilon(\theta)\} \cdot p \cdot E_b(T_4) \\ & \dots\dots\dots (41) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_3/K = & \epsilon(\theta) \cdot E_b(T_1) + \{1 - \epsilon(\theta)\} \cdot (1-p) \\ & \cdot E_b(T_3) + \{1 - \epsilon(\theta)\} \cdot p \cdot E_b(T_4) \\ & \dots\dots\dots (42) \end{aligned}$$



Au départ des équations (41) et (42), on obtient l'émissivité $\epsilon(\theta)$ de la façon suivante :

$$\epsilon(\theta) = 1 - \frac{(E_2 - E_3)/K}{(1-p)\{E_b(T_2) - E_b(T_3)\}} \quad \dots\dots\dots (43)$$

Une substitution de la valeur $\epsilon(\theta)$ dans l'équation (42) donnera :

$$E_b(T_1) = \frac{E_3/K}{\epsilon(\theta)} - \frac{1 - \epsilon(\theta)}{\epsilon(\theta)} \cdot (1-p) \cdot E_b(T_3) - \frac{1 - \epsilon(\theta)}{\epsilon(\theta)} p \cdot E_b(T_4) \quad \dots\dots\dots (44)$$

Lorsque la valeur de K se modifie à tout moment, l'énergie de rayonnement provenant des dispositifs de rayonnement formant corps noirs ou d'un troisième dispositif de rayonnement formant corps noir de référence qui est nouvellement prévu, est décelée directement par l'intermédiaire d'un parcours optique constant et non pas par l'intermédiaire de la surface d'objet à mesurer, soit par le radiomètre, soit par un second radiomètre nouvellement prévu. De la sorte, K est déterminé par le changement de la valeur décelée et substitué dans les équations (43) et (44), au départ desquelles on peut trouver $\epsilon(\theta)$ et la température T_1 avec une haute précision, quel que soit le changement de la valeur K.

La sélection d'un environnement approprié où l'agencement expérimental est localisé empêchera un changement dans le facteur de transmission K dû à l'absorption de l'énergie de rayonnement par l'atmosphère. C'est ainsi qu'un gaz transparent

b

(par exemple un gaz inerte) est introduit dans le parcours optique. Ceci permet l'établissement d'une valeur K connue stable, même dans l'atmosphère où le facteur K se modifie largement, ce qui permet de la sorte une mesure correcte. Jusqu'à présent, les explications ont été données en considérant essentiellement la méthode utilisant un ou des dispositifs de rayonnement formant corps noirs mais, suivant le concept de base de la présente invention, l'utilisation d'un tel corps noir n'est pas absolument indispensable, le même effet pouvant être obtenu également en utilisant une surface réfléchissante, telle qu'un miroir plan. Ce type de méthode et d'appareil, en tant que second aspect de la présente invention, sera expliqué ci-après. Sur la Figure 14, le numéro de référence 10 désigne un objet dont la température doit être mesurée, le numéro 12 désigne une surface réfléchissante, le numéro 14 est un secteur rotatif et le numéro 16 désigne un radiomètre. L'objet 10 est par exemple un feuillard en acier chauffé se déplaçant dans le four. Dans ce cas, la surface réfléchissante 12 et le secteur rotatif 14 sont placés à l'extérieur du four, l'objet 10 pouvant être observé à travers une fenêtre 18. Le radiomètre est également prévu à l'extérieur du four. La surface réfléchissante 12 et le radiomètre 16 sont disposés symétriquement suivant des angles θ par rapport à la normale N-0 à la surface de l'objet. La surface réfléchissante 12 est une surface plane perpendiculaire à la ligne droite qui relie le point O à cette surface réfléchissante. De la sorte, on forme le parcours de rayonnement suivant. L'objet 10 se trouvant à la température T donne un rayonnement de $\epsilon(\theta) \cdot E_b(T)$ dans presque toutes les directions, $\epsilon(\theta)$ représentant l'émissivité dans le

sens θ . Le rayonnement $\varepsilon(\theta) \cdot E_b(T)$ émis directement vers le radiomètre 16 pénètre dans celui-ci, tandis que le rayonnement en direction de la surface réfléchissante 12 est réfléchi depuis celle-ci et est ensuite réfléchi de façon spéculaire depuis la surface de l'objet au point 0 vers le radiomètre 16. Devant la surface 12 ou du côté 10 de l'objet, est disposé le secteur rotatif 14 qui comporte une portion d'aube 14a en tant que surface absorbant le rayonnement comme illustré par la Figure 15 (a), un espace 14b étant défini entre les aubes 14a. Le secteur 14 est mis en rotation grâce à un moteur afin d'absorber le rayonnement provenant de l'objet 10 et de couper le rayonnement provenant de la surface réfléchissante 12 lorsque son aube 14 recoupe la ligne 12-0. Comme la surface réfléchissante 12 et le secteur rotatif 14 sont maintenus à une température suffisamment plus basse que celle de l'objet 10, par exemple par un refroidissement par eau, l'énergie de rayonnement qui en résulte peut être négligée. Lorsque le secteur 14 absorbe et arrête le rayonnement, l'énergie de rayonnement ayant pénétré dans le radiomètre 16 est uniquement l'énergie émise depuis l'objet 10 lui-même. En d'autres termes, il y a une possibilité que l'énergie de rayonnement provenant de la paroi du four soit réfléchie depuis la surface de l'objet vers le radiomètre 16, mais l'énergie réfléchie possible est arrêtée par le secteur 14 de manière à ne pas pouvoir entrer dans le radiomètre 16. Cet aspect constitue un point avantageux de ce type à réflexion spéculaire de thermométrie à rayonnement. Cette propriété de réflexion spéculaire devient plus efficace au fur et à mesure de l'augmentation de l'angle θ . Comme l'énergie de rayonnement pénétrant dans le radio-

d

mètre 16 a été décrite précédemment, la relation suivante est satisfaite :

$$E_1 = \tau \cdot \epsilon(\theta) \cdot E_b(T) \dots\dots\dots (45)$$

$$E_2 = \tau \cdot [\epsilon(\theta) \cdot E_b(T) + \gamma_a \cdot \tau^2 \cdot \epsilon(\theta)(1-\epsilon(\theta)) \cdot (1-p) \cdot E_b(T)] \dots\dots\dots (46)$$

où E_1 et E_2 représentent les énergies décelées par le radiomètre 16 dans les cas où le secteur 14 est amené à former écran ou non, τ est le facteur de transmission d'un filtre, dans le présent exemple la fenêtre 18 prévue dans la paroi du four, γ_a est le facteur de réflexion efficace du miroir 12, et p est le facteur de réflexion diffuse de la surface d'objet. A partir des équations (45) et (46), on obtient la relation suivante :

$$\frac{E_2}{E_1} = 1 + \gamma_a \cdot \tau^2 (1 - \epsilon(\theta)) (1-p)$$

$$\epsilon(\theta) = 1 - \frac{1}{\gamma_a \tau^2 (1-p)} \left(\frac{E_2}{E_1} - 1 \right) \dots\dots (47)$$

$$\equiv 1 - C(G-1) \dots\dots\dots (48)$$

De l'équation (45), on obtient :

$$E_b(T) = \frac{E_1}{\tau \cdot \epsilon(\theta)} \dots\dots\dots (49)$$

Au départ des équations (48 et (49), on détermine l'émissivité $\epsilon(\theta)$ et la température T de l'objet. Dans cette mesure de température, G_1 ou $\frac{E_2}{E_1}$ est effectivement mesuré, et on traite K ou $\frac{1}{\gamma_a \cdot \tau^2 (1-p)}$ comme une constante. γ_a et τ sont maintenus constants sous un contrôle strict. p est donc le facteur

1

de réflexion diffuse de l'objet à mesurer et il est désagréable de mesurer chaque fois l'émissivité et la température de l'objet. Par conséquent, p est mesuré préalablement et sa valeur est utilisée pour les mesures ultérieures. De la sorte, pour réaliser cette mesure avec peu d'erreur, il est nécessaire que les valeurs mesurées ne dévient pas fortement des valeurs prédites. Si C est constant, la relation entre l'émissivité $\varepsilon(\theta)$ et G devient linéaire comme illustré par la Figure 16.

Dans le cas où l'objet à mesurer est un article chauffé dans un four, on dispose un radiomètre 16 et une surface réfléchissante 12 sur une chambre plane ou plaque de base refroidie par eau 17, comme illustré par la Figure 17, et cette chambre plane refroidie par eau est noyée dans la paroi du four de façon à être orientée vers l'objet à mesurer. Du fait de cette construction, le rayonnement parasite (bruit de fond) provenant de la paroi environnante du four peut être arrêté et en outre le degré de rayonnement provenant de la chambre elle-même peut être négligé, de sorte que le principe de la présente invention est également applicable.

La Figure 18 illustre un ensemble mathématique pour le calcul de $\varepsilon(\theta)$ et de $E_b(T)$. La sortie du radiomètre 16 est échantillonnée par l'application d'horloges ϕ_1 et ϕ_2 synchronisées avec la rotation du secteur 14 pour apparaître comme valeurs E_1 et E_2 qui sont appliquées à un diviseur 22 de manière à donner G ou E_2/E_1 . Un générateur traditionnel 34 fournit une constante 1 et l'envoie à un dispositif soustracteur 24 où $G-1$ est produit. Le générateur classique 34 engendre également une constante C et l'alimente à un multiplicateur 26 où $C(G-1)$ est pro-

d

duit. Dans un soustracteur 28, la valeur $C(G-1)$ est soustraite de la constante 1 de manière à avoir $1-C(G-1)$ ou l'émissivité $\epsilon(\theta)$ de l'objet. En outre, le générateur classique 34 engendre un facteur de transmission τ et le fournit à un multiplicateur 30 où on produit $\tau \cdot \epsilon(\theta)$. Cette valeur $\tau \cdot \epsilon(\theta)$ est appliquée à un diviseur 32 d'où on produit $E_b(T)$ ou $\frac{E_1}{\tau \cdot \epsilon(\theta)}$. Ensuite, la température T de l'objet est déterminée par un convertisseur d'énergie de rayonnement-température 36.

Si l'objet 10 est un feuillard qui est supporté dans le four, la surface de l'objet est déplacée vers le haut et vers le bas ou basculée de temps en temps et, dans certains cas, le rayonnement réfléchi depuis la surface de l'objet de façon spéculaire ne pénètre pas dans le radiomètre. Pour empêcher ceci, la surface réfléchissante ou miroir doit avoir une largeur prédéterminée. Cet exemple sera décrit avec référence à la Figure 19. Lorsque l'objet 10 est basculé d'un angle ϕ , le rayonnement qui est passé par la surface 0 de l'objet 10, par le centre 12a du miroir 12, de nouveau par la surface de l'objet 0, vers le radiomètre 16, déviara à l'écart de ce radiomètre 16 comme indiqué par une ligne en trait interrompu. A contraire, le rayonnement provenant d'un point 10a de l'objet 10 pénétrera dans le radiomètre 16 comme indiqué par une ligne en trait plein. De la sorte, la largeur du miroir 12 peut être déterminée de manière inverse du fait de la relation mentionnée précédemment. En particulier, comme la longueur et l'angle illustrés ont une relation de

$$a = l \cdot \tan 2\phi \dots\dots\dots (50)$$

$$b = \frac{2l \sin 2\phi}{\cos (\theta - 3\phi)} \dots\dots\dots (51)$$

d

les dimensions de la surface réfléchissante peuvent alors être déterminées de manière que la valeur α existe pour la valeur maximale prédite de ϕ .

Une surface à réflexion diffuse 12", telle qu'illustrée par la Figure 20, est également efficace, en particulier lorsque l'objet à mesurer est fortement incliné ou basculé.

C'est parce que, comme illustré par la Figure 20, une telle surface à réflexion diffuse 12" réfléchira le rayonnement incident provenant de n'importe quelle direction, vers toutes les directions, sans défaillance, qu'il y aura toujours une composante de rayonnement qui se réfléchit sur le point de mesure O de la surface de l'objet 10 et va vers le radiomètre 16, même si la surface de l'objet 10 est fortement inclinée ou basculée. En conséquence, une telle surface à réflexion diffuse peut être appliquée de façon plus convenable dans le cas de conditions opératoires où l'objet à mesurer est soumis à une vibration et/ou à un basculement indésirables.

L'utilisation d'un miroir concave ou d'une surface réfléchissante concave, au lieu d'une surface réfléchissante plane, amène un effet intéressant, pouvant réduire les dimensions de l'ouverture pratiquée dans la paroi d'un four et à travers laquelle passe le rayonnement.

Comme illustré par la Figure 21, lorsque l'objet 10 à mesurer est placé dans un four et qu'un miroir concave 12" est placé à l'extérieur, une ouverture 18 pratiquée dans la paroi du four peut être prévue petite car le rayonnement est focalisé au point O sur la surface de l'objet 10.

La Figure 22 prévoit l'utilisation d'un miroir réflec-



teur du type à cavité. Lorsque l'objet 10 est basculé d'un angle ϕ , une réflexion multiple se produit comme illustré par les lignes fléchées et de ce fait le facteur de réflexion efficace γ_a peut se modifier. Sous ce rapport, un miroir plan est excellent comme surface réfléchissante.

Le secteur rotatif 14 peut être un disque rotatif formé d'une surface réfléchissante 14c et d'une surface absorbante 14a pour le rayonnement, et ce comme illustré par la Figure 15(Dans ce cas, la surface réfléchissante 14c sert en même temps d miroir réflecteur 12. La surface absorbante 14a peut être constituée par un intervalle d'air (ou cavité). Dans certains cas, le radiomètre 16 est d'un type à balayage et, pour l'utilisation d'un tel type de radiomètre à balayage, la surface absorbante est disposée au voisinage du miroir réfléchissant 12 de manière que le radiomètre 16 balaye alternativement ce miroir et la surface absorbante. Dans ce cas, le secteur rotatif n'est pas nécessaire.

Suivant la première forme de réalisation de l'invention le radiomètre et le dispositif de rayonnement formant corps noir sont disposés symétriquement et de façon spéculaire par rapport à la normale à la surface à mesurer, et deux sommes différentes d'énergies de rayonnement sont alternativement émises depuis le dispositif de rayonnement formant corps noir vers la surface à mesurer, de manière à mesurer de la sorte la température et l'émissivité de l'objet à mesurer, cas dans lequel le facteur de réflexion diffuse p est introduit dans la méthode, ce qui n'est originellement applicable qu'à une surface à réflexion spéculaire parfaite. De la sorte, l'objet à mesurer est d'un

type pouvant être élargi à une surface à réflexion diffuse non parfaite. La présente invention clarifie la relation étroite entre la valeur p et la rugosité de la surface à mesurer et en dérive un procédé de mesure basé sur la relation entre la valeur p et la longueur d'onde à déceler, et l'angle solide sous-tendant le diamètre de l'ouverture du dispositif de rayonnement formant corps noir par rapport à la surface à mesurer, et elle permet en outre une contre-mesure par rapport à la variation du facteur de transmission K , ce qui permet ainsi la réalisation d'une toute nouvelle mesure de température.

Suivant la seconde forme de réalisation de l'invention il est possible de réaliser de façon avantageuse une mesure de température de rayonnement à réflexion spéculaire du type "self-reference", sans utilisation du four formant corps noir. Bien que cette mesure de température soit avantageuse pour mesurer la température d'un objet se trouvant dans le four, on peut évidemment l'utiliser pour d'autres besoins.

REVENDEICATIONS

1. Méthode de mesure de la température superficielle et de l'émissivité d'un objet à mesurer par agencement d'un radiomètre et d'au moins un dispositif de rayonnement formant corps noir, qui sont disposés de manière spéculaire et symétrique par rapport à une normale de la surface de l'objet susdit, avec émission de deux sommes différentes d'énergie de rayonnement depuis ce dispositif de rayonnement formant corps noir, cette méthode comprenant la détermination de l'émissivité de l'objet à mesurer à partir des valeurs mesurées, décelées par le radiomètre susdit, de la température du dispositif de rayonnement lui-

même formant corps noir et d'un facteur de réflexion diffuse associé à l'objet à mesurer, et ensuite la mesure de la température correcte de l'objet à partir des résultats mentionnées ci-dessus.

2. Méthode de mesure de la température superficielle et de l'émissivité d'un objet à mesurer suivant la revendication 1, dans laquelle l'émissivité de l'objet est déterminée au départ des valeurs mesurées, décelées par le radiomètre, de la température du dispositif de rayonnement lui-même formant corps noir, du facteur de réflexion diffuse associé à l'objet à mesurer, et d'un facteur de transmission d'un parcours optique d'un système de mesure, avec ensuite la mesure de la température superficielle de l'objet au départ des résultats ci-dessus.

3. Méthode de mesure de la température superficielle et de l'émissivité d'un objet suivant la revendication 1 ou 2, dans laquelle une surface réfléchissante ou un miroir est utilisé au lieu du dispositif de rayonnement formant corps noir, et le radiomètre et la surface réfléchissante ou le miroir sont agencés de manière telle que le rayonnement réfléchi provenant de la surface réfléchissante ou du miroir est réfléchi de façon spéculaire depuis la surface de l'objet vers le radiomètre et est interrompu de façon sélective, en mesurant ainsi l'énergie de rayonnement entrante respectivement lors de la réflexion et lors de l'interruption, avec ensuite la détermination de l'émissivité de l'objet à partir de la valeur mesurée, puis la mesure de la température superficielle correcte de l'objet au départ des résultats précédents.

4. Méthode de mesure de la température superficielle

d

5. Appareil pour la mesure correcte d'un objet, qui comprend : au moins un dispositif de rayonnement formant corps noir capable d'émettre deux sommes différentes d'énergie de rayonnement sur la surface de l'objet à mesurer ; un radiomètre disposé en un endroit, par rapport au dispositif de rayonnement formant corps noir et à l'objet susdit, tel que les deux sommes différentes susdites d'énergie de rayonnement émises depuis le dispositif de rayonnement formant corps noir sont réfléchies de façon spéculaire et décelées par le radiomètre ; un dispositif de commutation disposé dans le parcours du rayonnement entre le dispositif de rayonnement formant corps noir et le radiomètre et capable de commuter sélectivement les deux sommes différentes d'énergie de rayonnement ; et une unité mathématique prévue pour le calcul de l'émissivité et de la température de l'objet à partir des valeurs décelées provenant du radiomètre, de la température du dispositif de rayonnement lui-même formant corps noir, et du facteur de réflexion diffuse associé à l'objet.

6. Appareil pour la mesure correcte d'un objet, qui comprend : un dispositif de rayonnement formant corps noir pour l'émission d'une somme choisie d'énergie de rayonnement sur la surface de l'objet à mesurer ; un radiomètre disposé de manière à recevoir et à détecter une énergie de rayonnement provenant du

6

dispositif de rayonnement formant corps noir via la surface d'un objet à mesurer où l'énergie de rayonnement est réfléchie ; un secteur rotatif comportant une portion permettant l'interruption du rayonnement émis depuis le dispositif de rayonnement formant corps noir vers le radiomètre et une portion permettant le passage du rayonnement vers la surface de l'objet à mesurer ; et une unité mathématique pour le calcul de l'émissivité et de la température de l'objet à mesurer au départ des valeurs susdites décelées par le radiomètre, de la température du dispositif de rayonnement lui-même formant corps noir, et du facteur de réflexion diffuse associé à l'objet à mesurer.

7. Appareil pour la mesure correcte d'un objet suivant la revendication 5 ou 6, dans lequel l'unité mathématique calcule l'émissivité et la température de l'objet au départ des valeurs décelées provenant du radiomètre, de la température du dispositif de rayonnement lui-même formant corps noir, du facteur de réflexion diffuse associé à l'objet à mesurer, et d'un facteur de transmission d'un parcours optique du système de mesure.

8. Appareil pour la mesure correcte d'un objet, qui comprend : une surface réfléchissante ou un miroir ; un radiomètre dans lequel un rayonnement réfléchi provenant de la surface réfléchissante ou du miroir est réfléchi de façon spéculaire depuis la surface d'un objet à mesurer ; un secteur rotatif disposé du côté objet de la surface réfléchissante ou du miroir et comportant une portion pour l'interruption du rayonnement émis depuis la surface de l'objet vers la surface réfléchissante ou le miroir, et une portion permettant le passage du rayonnement, avec à nouveau passage du rayonnement réfléchi depuis la surface

réfléchissante ou depuis le miroir vers la surface de l'objet ;
et une unité mathématique pour le calcul de l'émissivité et de
la température de l'objet à partir de la sortie du radiomètre.

9. Appareil pour la mesure correcte d'un objet suivant
la revendication 8, dans lequel la surface réfléchissante ou le
miroir présente une surface plane.

10. Appareil pour la mesure correcte d'un objet sui-
vant la revendication 8, dans lequel la surface réfléchissante
ou le miroir présente une surface concave.

11. Appareil pour la mesure correcte d'un objet sui-
vant la revendication 8, dans lequel la surface réfléchissante
ou le miroir présente une surface à réflexion diffuse.

12. Appareil pour la mesure correcte d'un objet sui-
vant la revendication 8, dans lequel l'objet à mesurer est un
objet chauffé dans un four, le radiomètre et le miroir réflé-
chissant étant disposés à l'extérieur de celui-ci.

13. Appareil pour la mesure correcte d'un objet sui-
vant la revendication 8, dans lequel l'objet à mesurer est un
objet chauffé se trouvant dans un four, le radiomètre et la sur-
face réfléchissante ou le miroir sont disposés sur une chambre
ou plaque de base refroidie par eau, et cette chambre ou cette
plaque de base est incorporée dans le four pour être orientée
vers l'objet à mesurer.

14. Méthode et appareil pour la mesure de la tempéra-
ture superficielle et de l'émissivité d'un objet, tels que dé-
crits ci-dessus et/ou illustrés par les dessins annexés.

Bruxelles, le 3 mars 1931
P.Pon de NIPPON STEEL CORPORATION
P.Pon du Bureau GEVERS, société anonyme

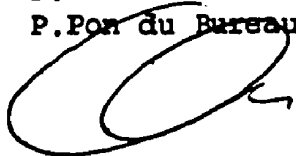


FIG. 1

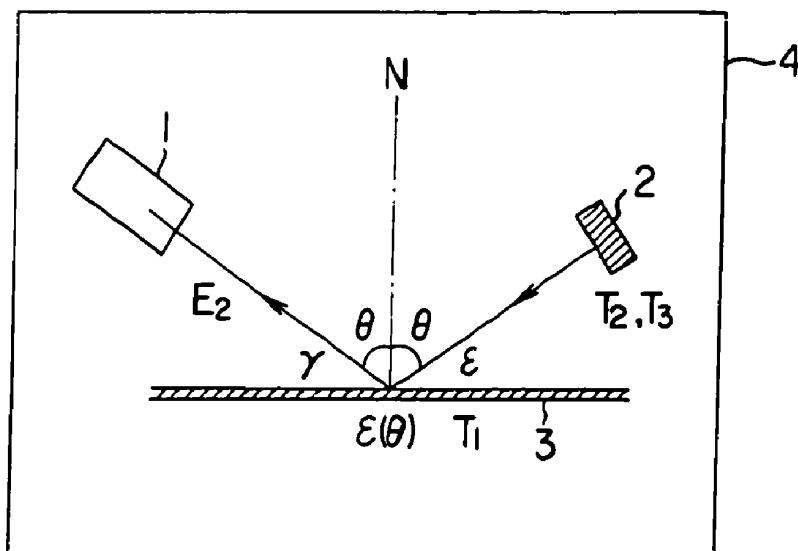


FIG. 3a

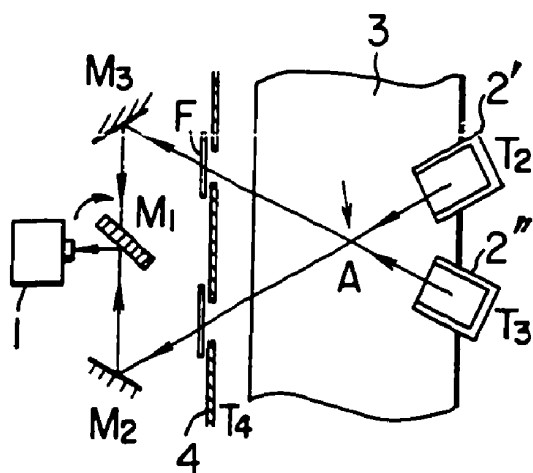
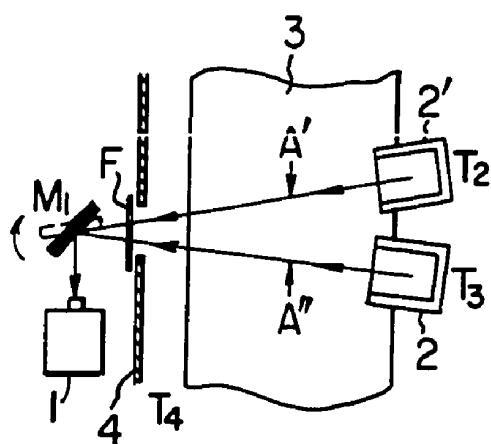


FIG. 3b



BRUXELLES, le 3 mars 1981

P. Pon. de NIPPON STEEL CORPORATION

P. Pon. du Bureau GEVERS

100-10-1000

3 mars 1981

NIPPON STEEL CORPORATION

FIG. 2

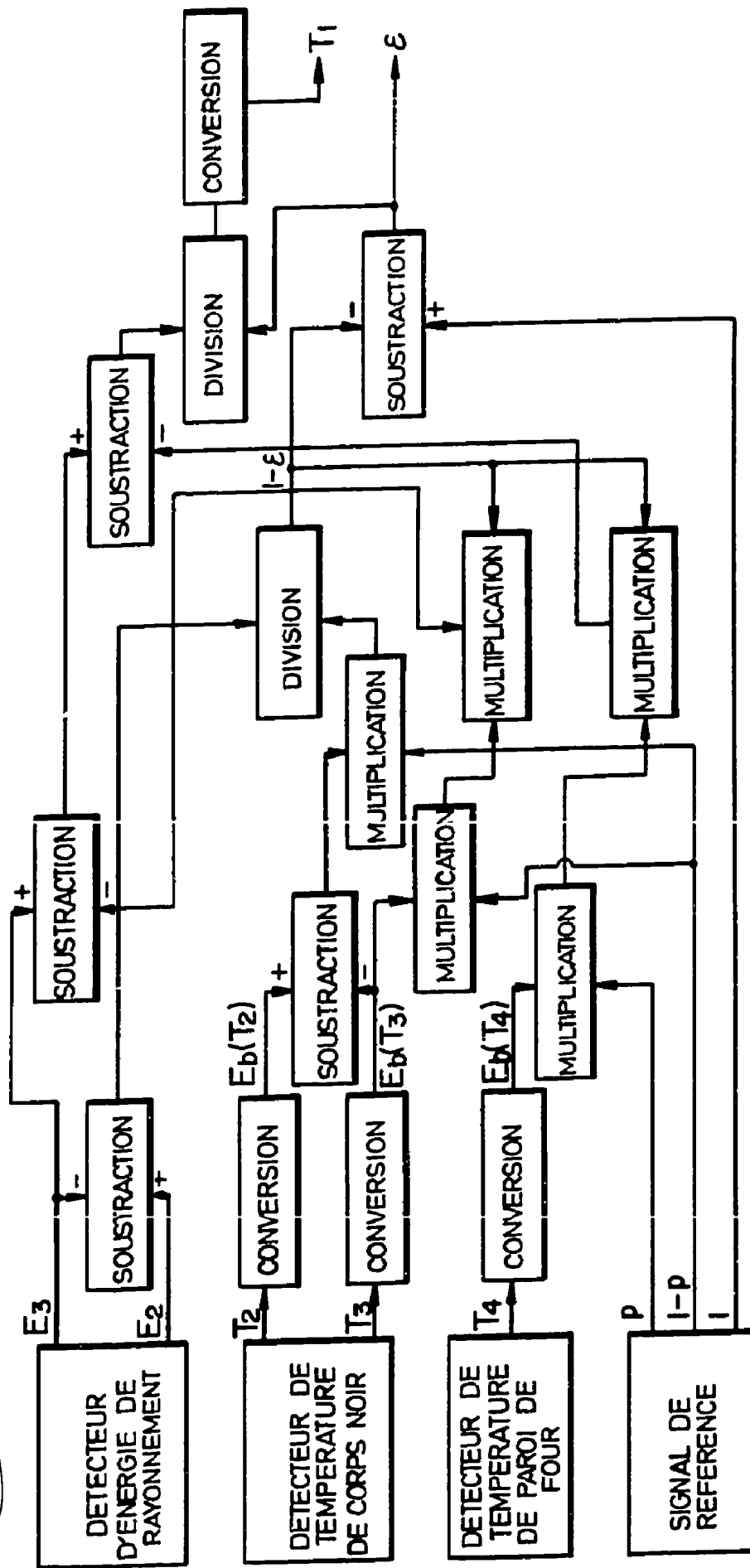


FIG. 4

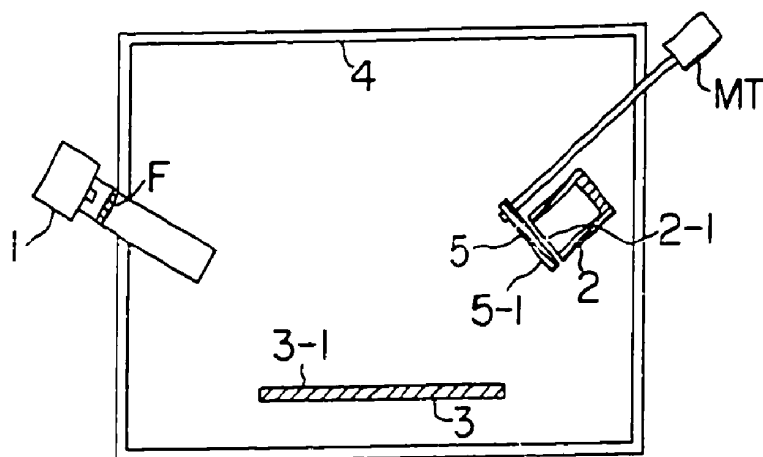
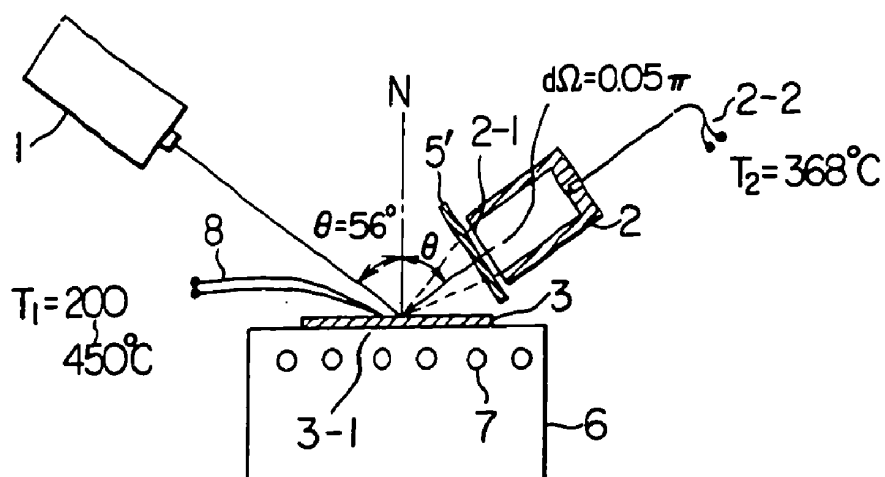


FIG. 6



BRUXELLES, le 3 mars 1981

P. Hon. de NIPPON STEEL CORPORATION

P. Hon. du Bureau GÉNÉRAL

FIG. 5a

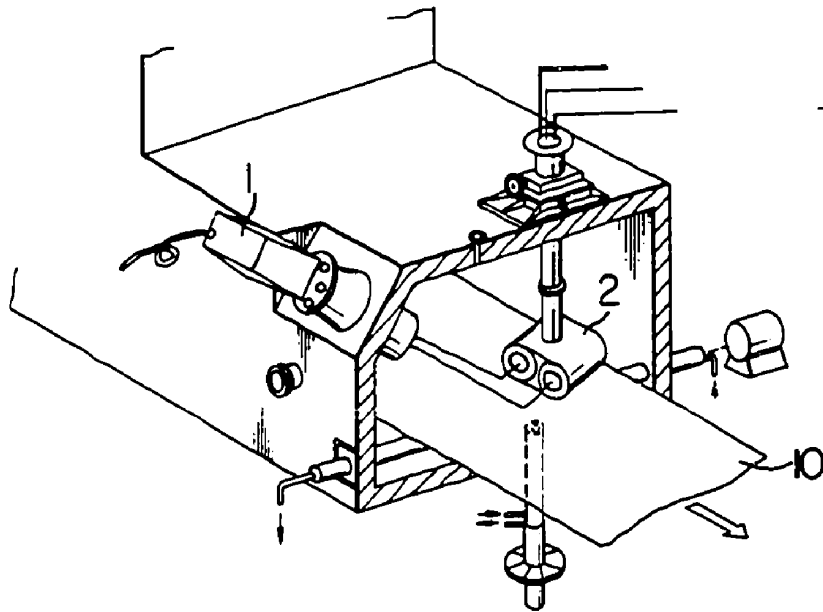
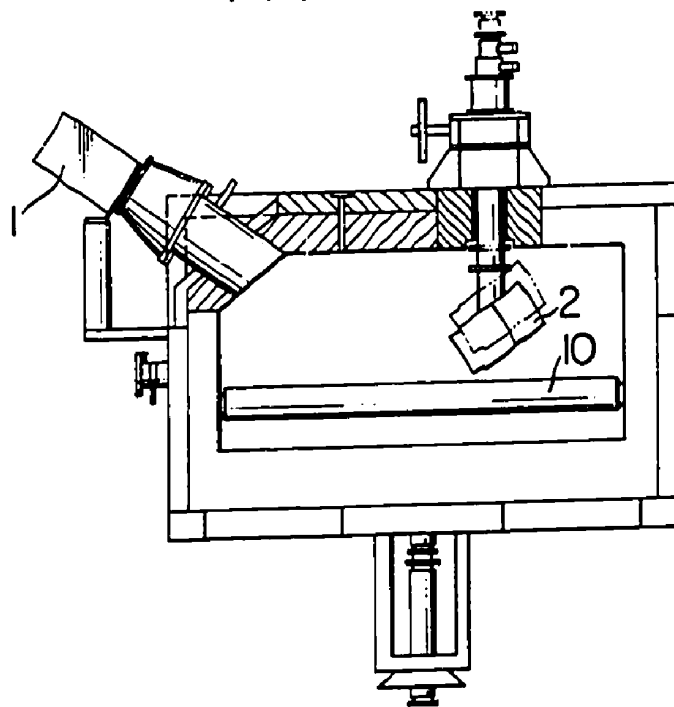


FIG. 5b



3 mars 1981

NIPPON STEEL CORPORATION

[Handwritten signature]

FIG. 7

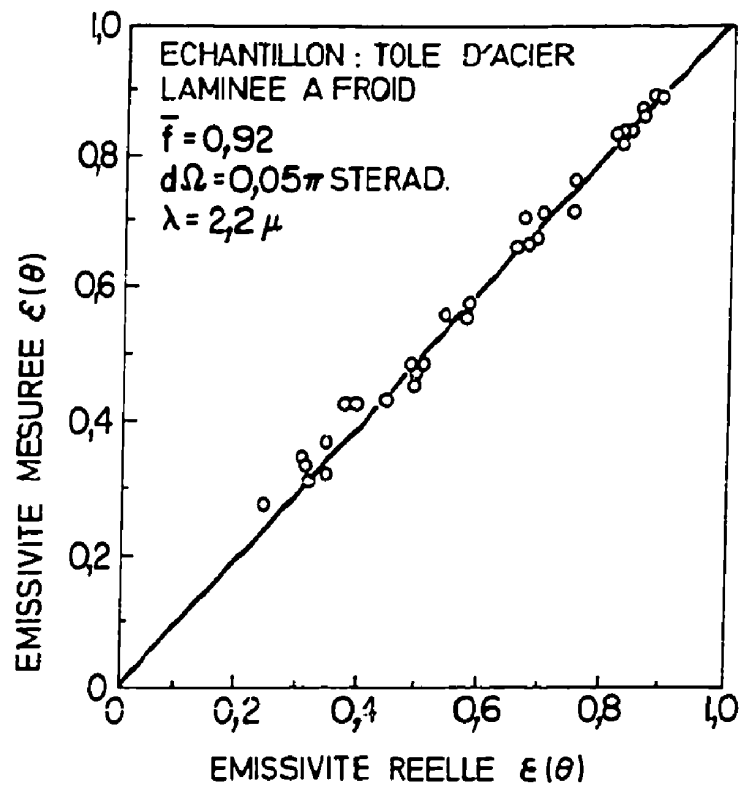
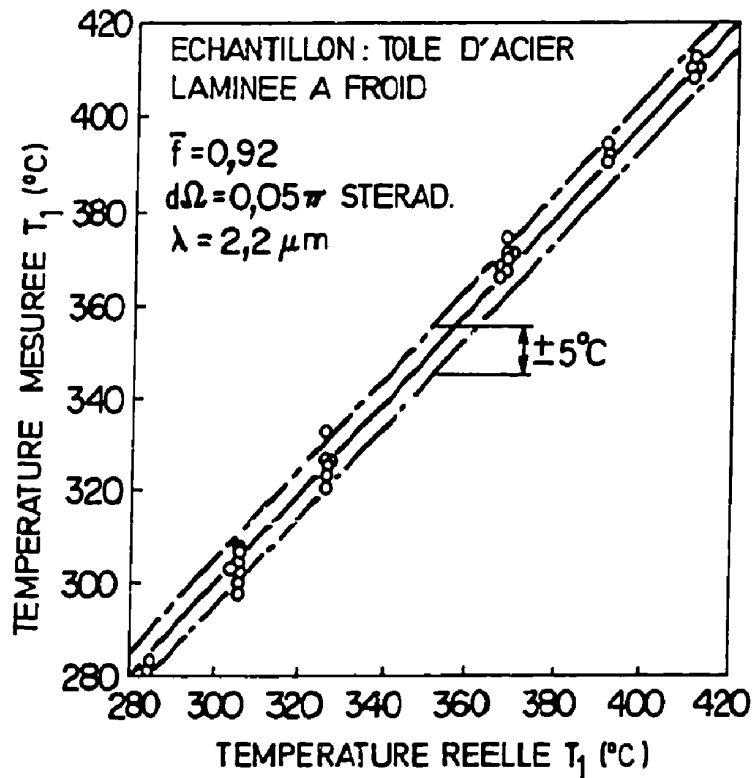


FIG. 8



BRUXELLES, le 3 mars 1981

P. PGN. de NIPPON STEEL CORPORATION

A. PGN. du Bureau GEMERS

2

FIG. 9

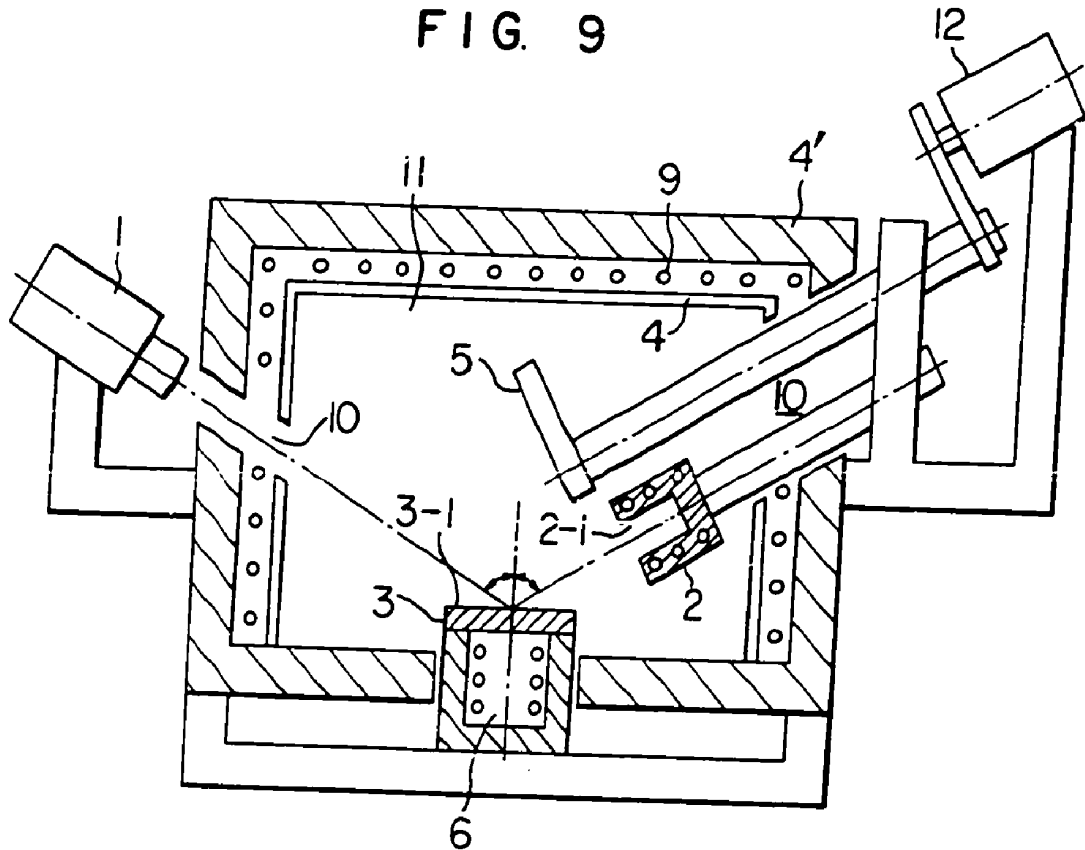
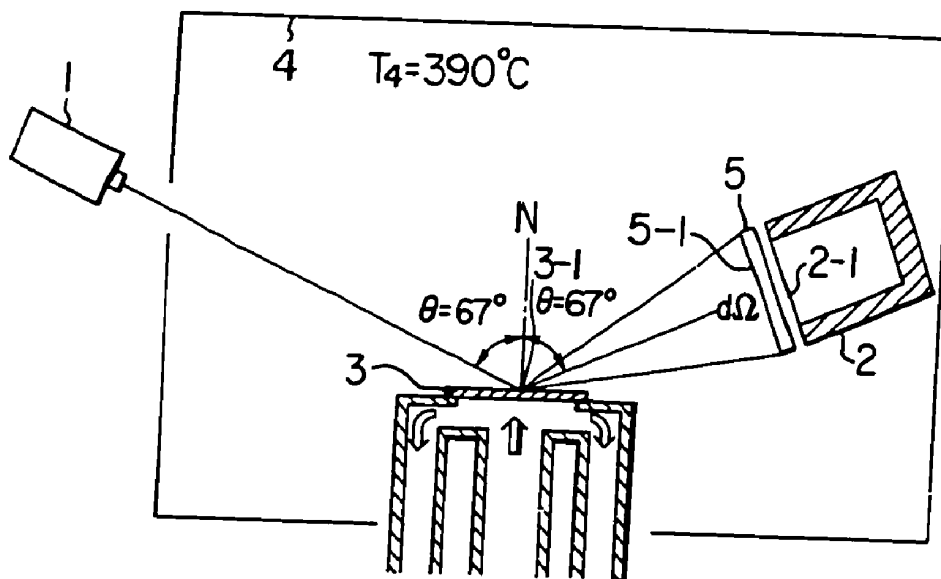


FIG. 10

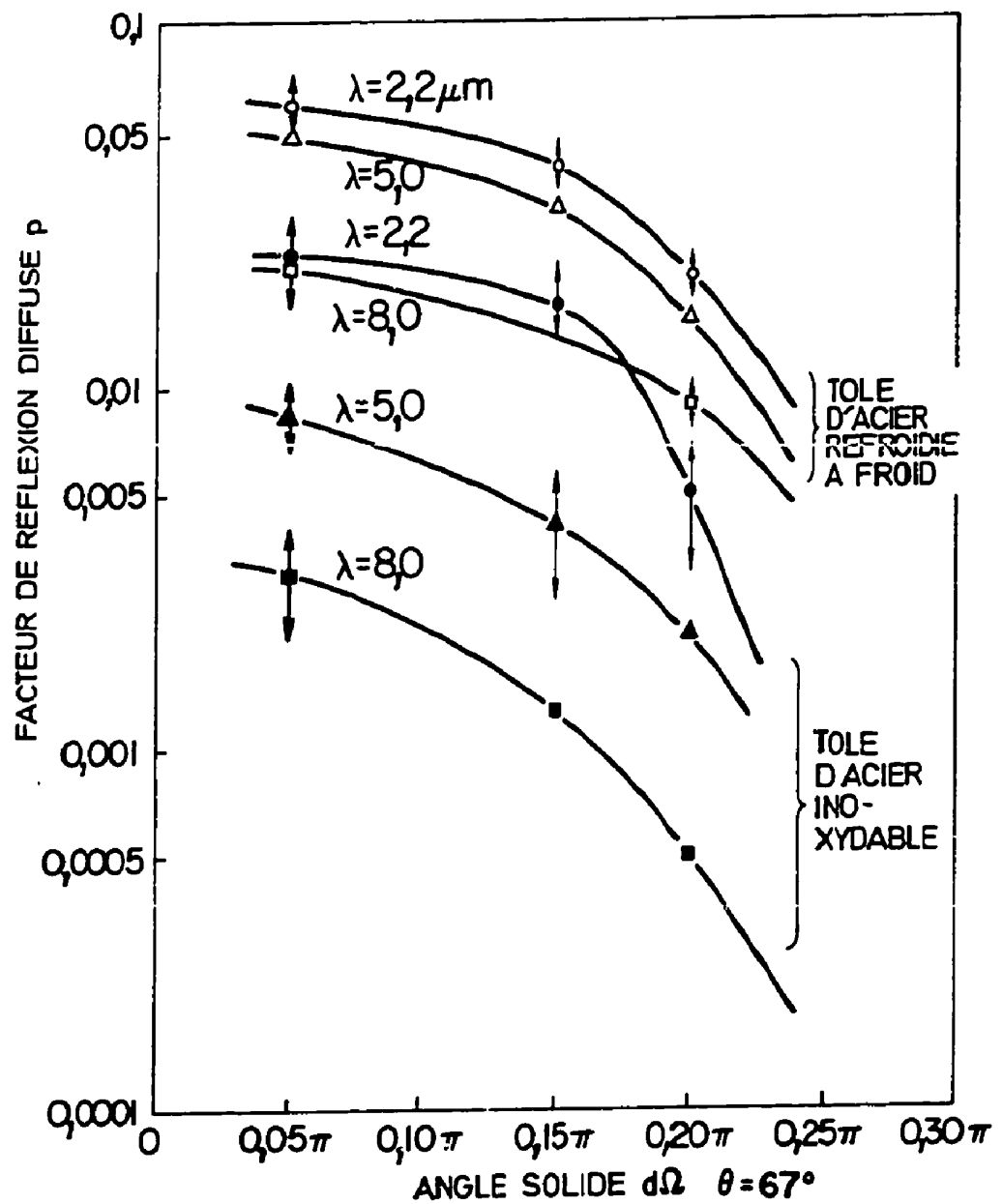


3 mars 1981

NIPPON STEEL CORPORATION

[Handwritten signature]

FIG. II



BRUXELLES, le 3 mars 1981

P. Pen. de NIPPON STEEL CORPORATION

P. Pen. du Bureau GEVERS

FIG. 12

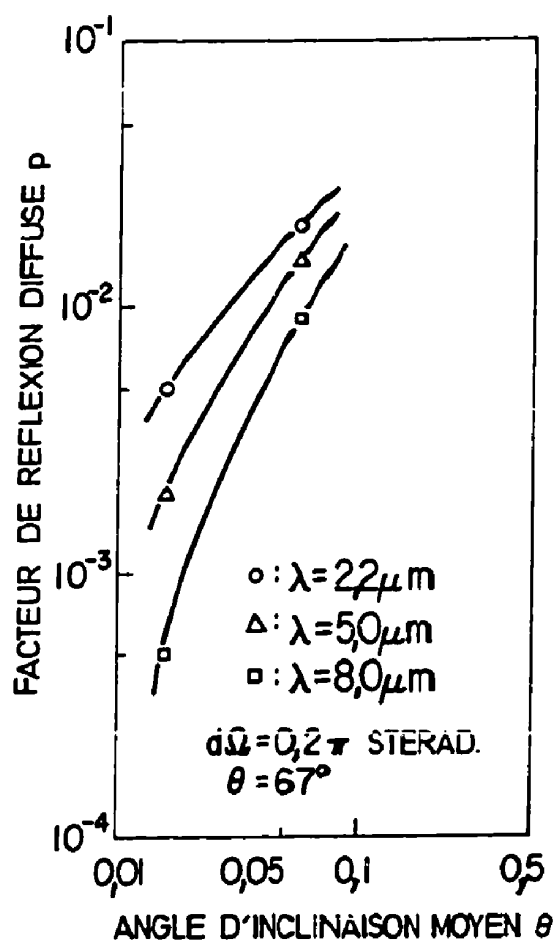
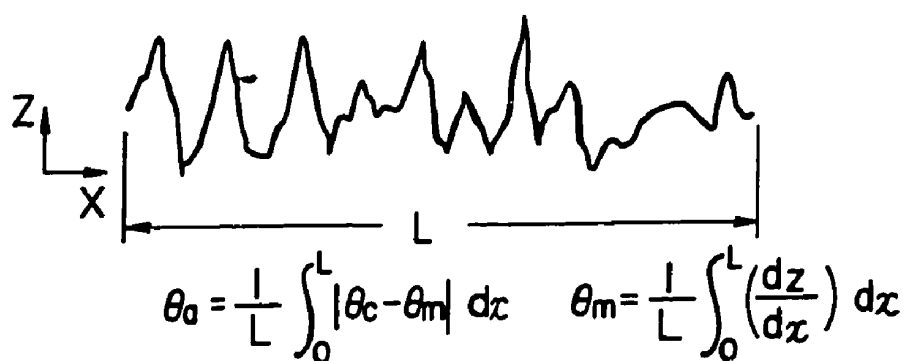


FIG. 13



BRUXELLES, le 3 mars 1981

P. Pen. de NIPPON STEEL CORPORATION

du Bureau GEVERP

FIG. 17

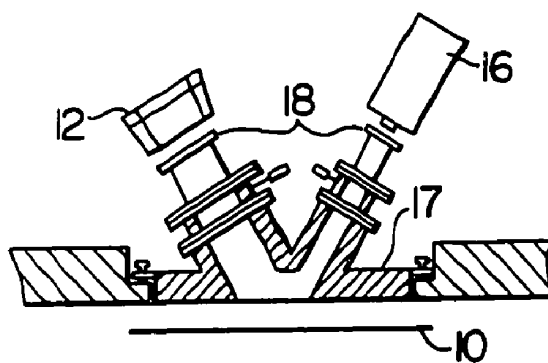
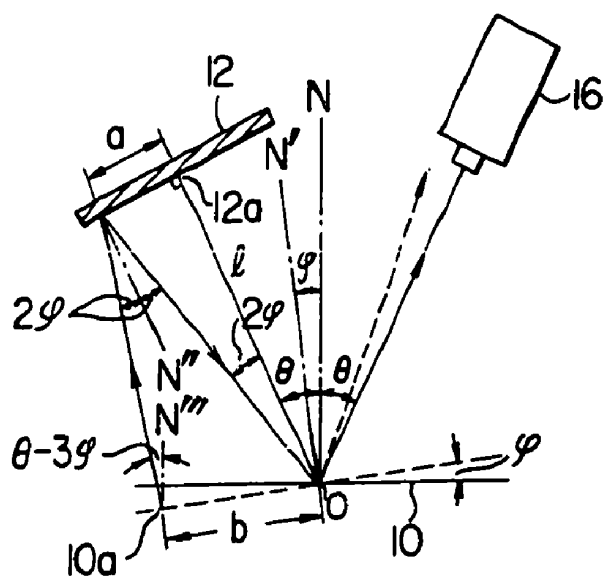


FIG. 19



BRUXELLES, le 3 mars 1981

P. Pon. de NIPPON STEEL CORPORATION

P. Pon. du Bureau GEVERS

[Signature]

FIG. 18

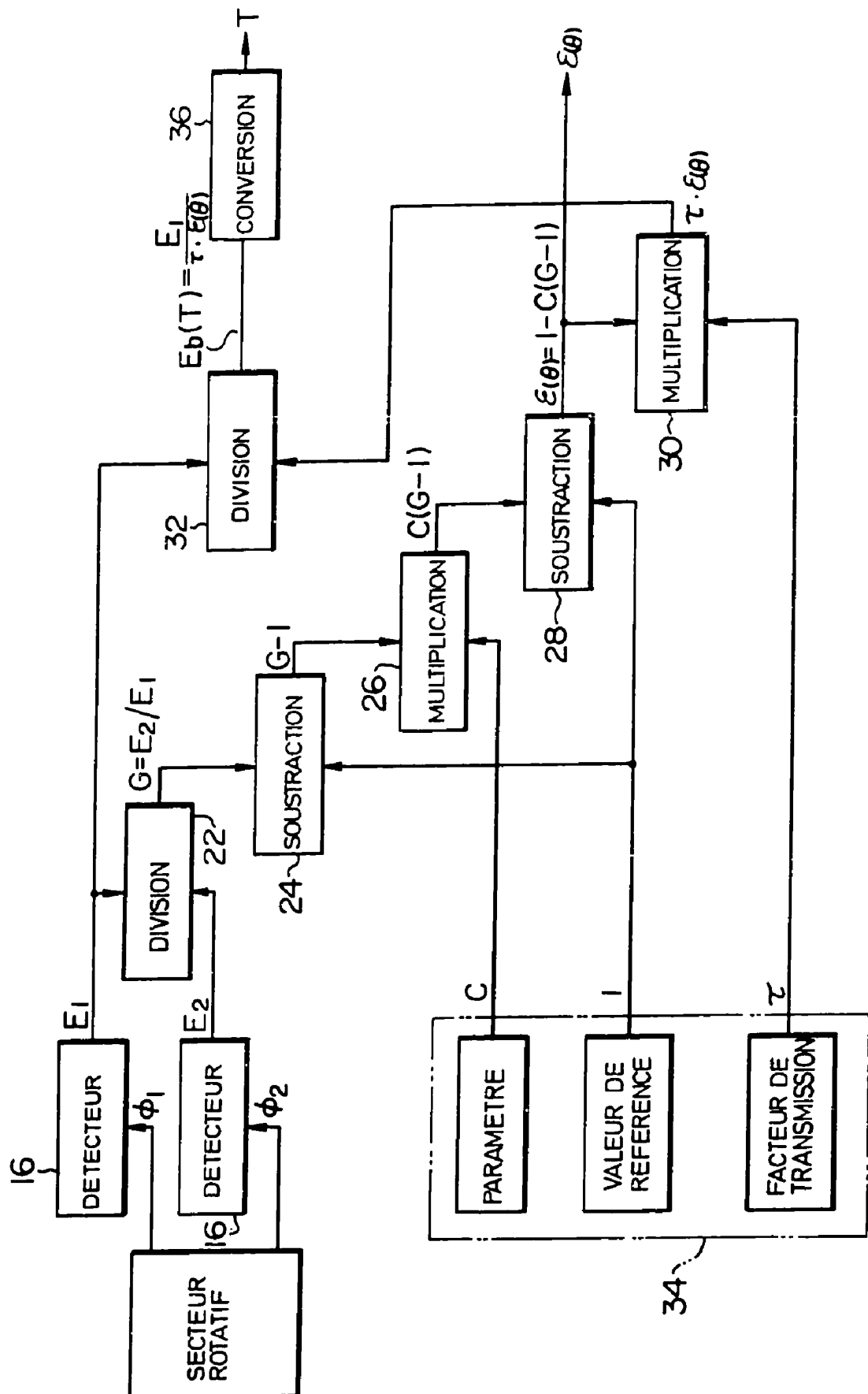


FIG. 20

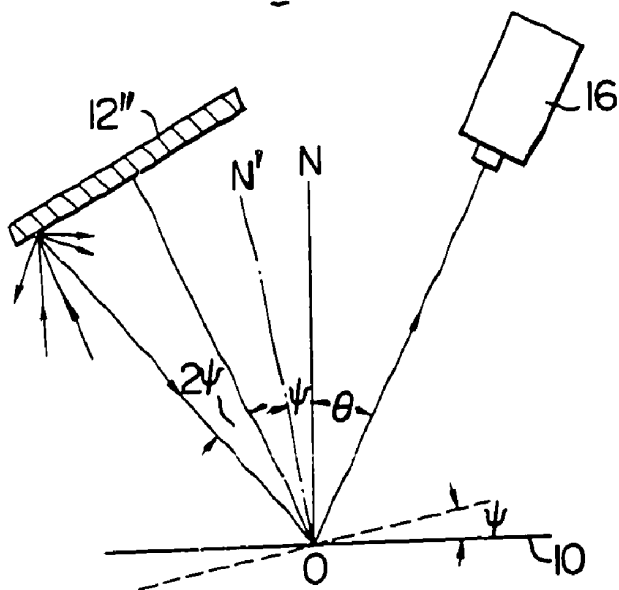


FIG. 21

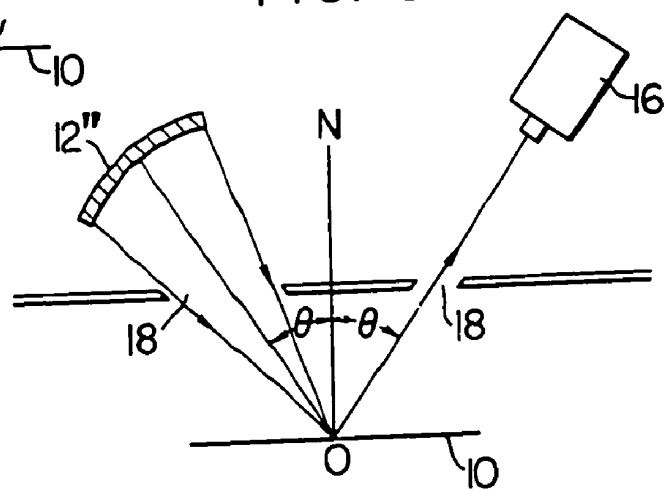
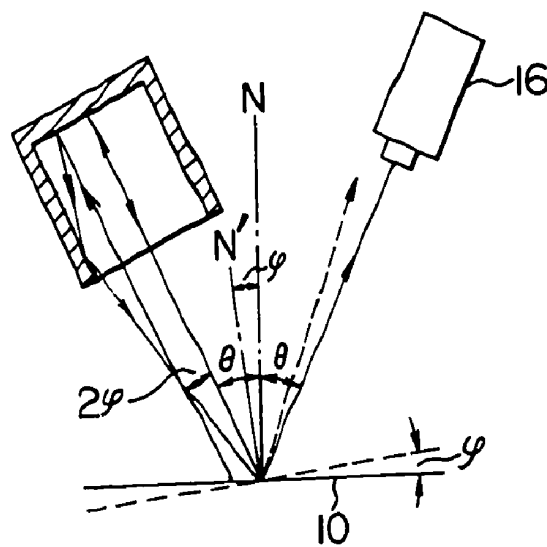


FIG. 22



BRUXELLES, le 3 mars 1981
P. Pon. de NIPPON STEEL CORPORATION

P. Pon. du Bureau-GEVERS