

SHORTER COMMUNICATIONS

UNE METHODE DE MESURE DE TEMPERATURES DE SURFACE UTILISANT LA SENSIBILITE THERMIQUE DE LA LUMINESCENCE

M. CHOIGNOT

Nord-Aviation, Chatillon/Bagneux, France

(Reçu le 29 Novembre 1963)

Résumé—Une méthode de mesure des températures utilisant la variation de sensibilité thermique des substances luminescentes (Méthode Thureau) [1], dont le principe, est rappelé ci-dessous, a été mise en oeuvre au laboratoire d'Aérodynamique du Centre National de la Recherche Scientifique [2], en vue de déterminer la température de surface de cylindres en plexiglas placés avec un angle de flèche $\Delta = 43^\circ$ dans un écoulement supersonique à un nombre de Mach $M_\infty = 2,42$.

Les résultats de ces mesures sont comparés à ceux obtenus dans les mêmes conditions expérimentales par la méthode des thermocouples. L'accord des deux méthodes se révèle très bon.

PRINCIPE DE LA METHODE

Le spectre d'une émission luminescente peut être représenté par une fonction de la forme

$$I(\nu) = \sum_i A_i \exp[-B_i(\nu_1 - \nu_{0i})^2]$$

où I est l'intensité lumineuse,

A_i, B_i, ν_{0i} , sont des constantes liées aux conditions expérimentales et à la température θ ,

ν est le nombre d'ondes, égal à l'inverse de la longueur d'onde λ .

Pour définir un paramètre thermosensible, il suffit d'isoler dans le spectre deux bandes centrées sur les longueurs d'onde λ_1 et λ_2 et de faire le rapport $\alpha(\theta)$ de leurs intensités,

$$\alpha(\theta) = \frac{I(\nu_1)}{I(\nu_2)} = \frac{\sum_i A_i \exp[-B_i(\nu_1 - \nu_{0i})^2]}{\sum_j A_j \exp[-B_j(\nu_2 - \nu_{0j})^2]}$$

Dans le cas d'un spectre à bande d'émission unique ($i = j = 1$)

$$\alpha(\theta) = \exp[-B(\nu_2 - \nu_1)(\nu_1 + \nu_2 - 2\nu_0)]$$

Les valeurs de ν_1 et ν_2 sont choisies de sorte que $(1/\alpha) \cdot (d\alpha/d\theta)$ soit le plus grand possible dans la zone de températures que l'on se propose d'explorer.

En fait, $\alpha(\theta)$ dépend également des conditions expérimentales (intensité d'excitation en particulier). Mais Leroux [3] a montré que les courbes $\alpha(\theta)$ obtenues dans des conditions expérimentales différentes étaient affines l'une par rapport à l'autre. Il suffit de retenir une courbe d'étalonnage et d'effectuer avant chaque série de mesures, une visée à température connue θ_0 permettant de déterminer le rapport d'affinité k .

APPAREILLAGE (Fig. 1)

Il comprend deux parties principales:

1° *Appareil d'excitation de la luminescence.* Le faisceau lumineux issu d'une lampe à vapeur de mercure est concentré par un système optique sur la surface à étudier, sur laquelle la substance luminescente a été préalablement déposée. Un filtre ne laisse passer que les radiations lumineuses du proche ultra-violet.

2° *Appareil de réception et d'amplification du signal.* La lumière émise par la substance est canalisée par un système optique, au travers des filtres interférentiels correspondant à λ_1 et λ_2 , jusqu'à la cathode d'un photomultiplicateur.

Le courant amplifié est converti en tension au moyen d'une résistance de charge.

Les tensions V_{λ_1} et V_{λ_2} correspondant aux longueurs d'onde λ_1 et λ_2 sont enregistrées pour permettre un dépouillement ultérieur.

RESULTAT DES MESURES

Nous avons utilisé le sulfure de zinc phosphorescent vert (référence D des laboratoires Lumina) et choisi les longueurs d'onde $\lambda_1 = 5275 \text{ \AA}$ et $\lambda_2 = 4530 \text{ \AA}$.

La courbe d'étalonnage de l'appareil complet est donnée par la Fig. 2. Elle est définie avec une précision de $\pm 0,25^\circ\text{C}$. Une température inconnue θ_p étant déterminée par deux lectures de la courbe d'étalonnage sera donc connue à $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

Les mesures ont été effectuées sur des cylindres pleins de plexiglas de diamètre $D = 10 \text{ mm}$.

Le sulfure est déposé dans une fine rainure creusée le long d'une génératrice sur une longueur de 4 mm, une largeur de 0,3 mm, et une profondeur de 0,2 mm.

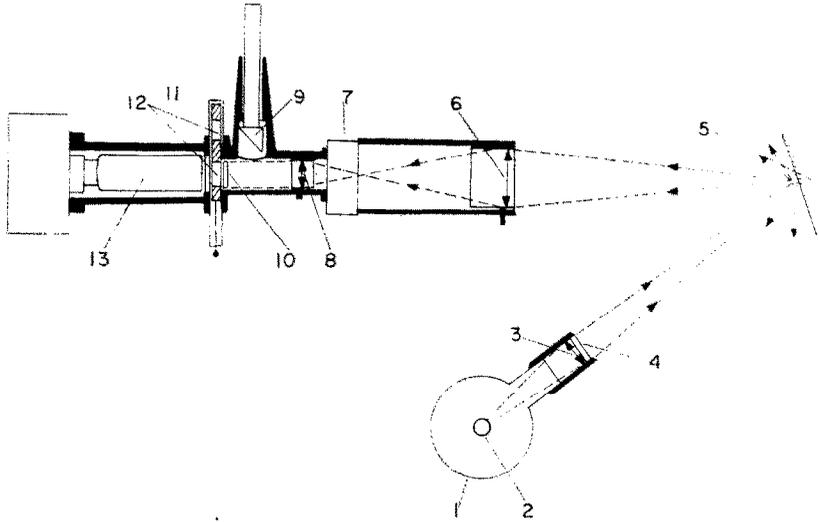


FIG. 1. Schéma de l'appareillage.

- | | |
|------------------------------|------------------------------|
| 1. Boitier | 8. Lentille L_2 |
| 2. Lampe à vapeur de mercure | 9. Prisme à réflexion totale |
| 3. Système optique L | 10. Filtre anti ultra-violet |
| 4. Filtre ultra-violet | 11. Plaquette porte filtres |
| 5. Substance luminescente | 12. Filtres interférentiels |
| 6. Lentille L_1 | 13. Photomultiplicateur |
| 7. Système à fentes | |

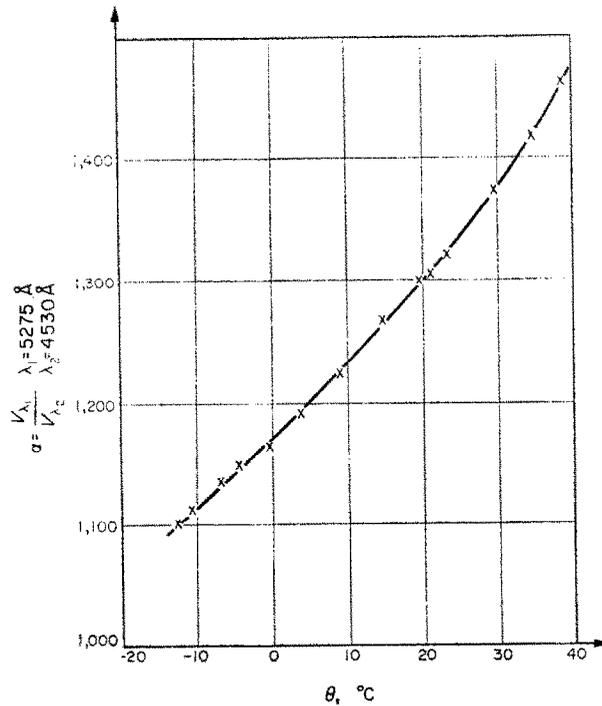


FIG. 2. Courbe d'étalonnage de l'appareil.

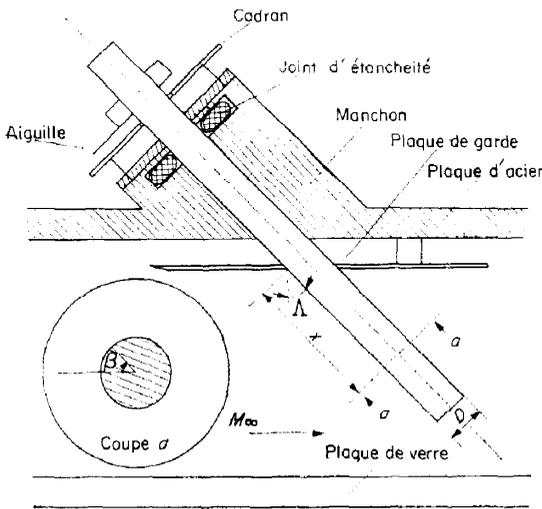


FIG. 3. Coupe de la veine de la soufflerie.

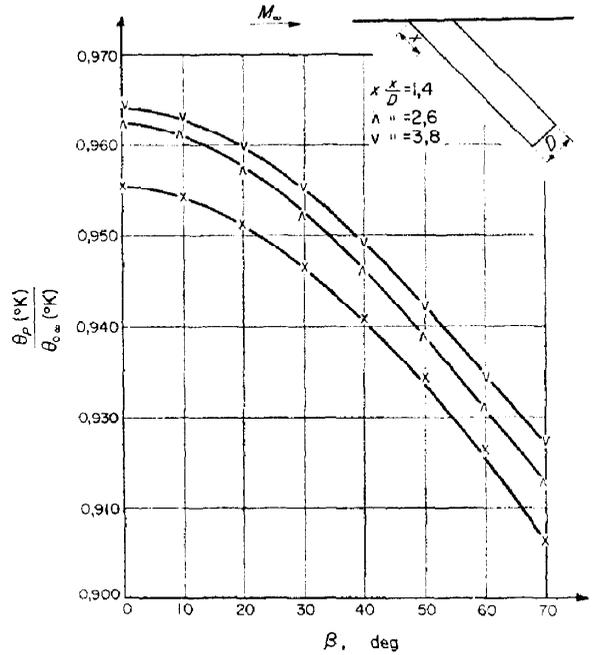


FIG. 4. Variation de la température de paroi en fonction de l'azimut dans diverses sections droites du cylindre.

La position d'une rainure sur le cylindre est définie par son azimut β dans une section droite et par la distance X de la plaque de garde à la section droite passant par le milieu de la rainure, comptée le long de la génératrice d'arrêt (Fig. 3).

Les résultats des mesures, effectuées avec une température génératrice $\theta_{0\infty}$ de la soufflerie, dans trois sections droites pour des azimuts égaux ou inférieurs à 70° (limite de visée directe) sont résumés dans les tableaux

ci-dessous et les courbes de la Fig. 4, le Tableau 1 expliquant comment on détermine la température θ_p .

Dans la ligne $\theta_p/\theta_{0\infty}$ des tableaux, nous avons fait figurer entre parenthèses les valeurs obtenues au moyen de thermocouples [4]. Pour une température génératrice $\theta_{0\infty}$ de 300°K , une unité du troisième ordre de $\theta_p/\theta_{0\infty}$ correspond en gros à $0,3^\circ\text{C}$. Sur l'ensemble des mesures, l'écart moyen entre les résultats des deux méthodes d'expérimentation ne dépasse pas $0,5^\circ\text{C}$.

Tableau 1. $X/D = 1,4$

β	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
V_{λ_1}	181,5	201	143	179	150	198	147	169,5
V_{λ_2}	206,5	183	156	186,5	150	171,5	144,5	172,8
k	1,516	1,215	1,458	1,316	1,261	1,115	1,210	1,119
$\alpha(\theta) = k \frac{V_{\lambda_1}}{V_{\lambda_2}}$	1,332	1,336	1,338	1,261	1,261	1,287	1,210	1,214
θ_p ($^\circ\text{C}$)	$24^{\circ}4$	$24^{\circ}9$	$25^{\circ}1$	$15^{\circ}1$	$15^{\circ}1$	$18^{\circ}8$	$10^{\circ}7$	$7^{\circ}9$
$\theta_{0\infty}$ ($^\circ\text{C}$)	$38^{\circ}4$	$39^{\circ}9$	$40^{\circ}3$	$31^{\circ}5$	$33^{\circ}6$	$39^{\circ}4$	$33^{\circ}3$	$33^{\circ}5$
$\frac{\theta_p}{\theta_{0\infty}}$ ($^\circ\text{K}$)	0,955	0,954	0,951	0,946	0,940	0,934	0,926	0,916
$\frac{\theta_p}{\theta_{0\infty}}$ ($^\circ\text{K}$)	(0,957)	(0,956)	(0,953)	(0,949)	(0,942)	(0,934)	(0,926)	(0,917)

Tableau 2. $X/D = 2,8$

β	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
θ_p (°C)	11°	25°	11°7	21°8	10°2	15°	16°1	13°6
$\theta_{0\infty}$ (°C)	22°1	37°1	26°4	36°5	26°3	33°8	37°6	37°7
$\frac{\theta_p}{\theta_{0\infty}}$ (°K)	0,962	0,961	0,957	0,952	0,946	0,939	0,931	0,922
	(0,962)	(0,961)	(0,957)	(0,952)	(0,946)	(0,939)	(0,931)	(0,923)

Tableau 3. $X/D = 3,8$

β	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
θ_p (°C)	27°1	25°5	17°4	16°4	15°3	17°2	19°1	15°3
$\theta_{0\infty}$ (°C)	38°4	37°	29°7	30°	30°9	35°1	39°8	38°
$\frac{\theta_p}{\theta_{0\infty}}$ (°K)	0,964	0,962	0,959	0,955	0,949	0,942	0,934	0,927
	(0,963)	(0,961)	(0,958)	(0,953)	(0,947)	(0,940)	(0,932)	(0,924)

REFERENCES

1. P. THUREAU, Etude d'une méthode de mesure de températures utilisant la sensibilité thermique des couleurs de fluorescence. Thèse, Paris (1955).
2. M. CHOGNOT, Réalisation et mise au point d'un appareil de mesure de températures utilisant les propriétés des émissions de luminescence. Application à la mesure de la température de surface de cylindres en attaque oblique. Diplôme d'Etudes Supérieures, Paris (8 Novembre, 1963).
3. J. P. LEROUX, Etude sur la détermination des températures de surface (0-400°) par l'intermédiaire des émissions de minces revêtements photoluminescents. Thèse, Paris (1961).
4. G. B. DIEP, Etude expérimentale des facteurs thermiques pariétaux de cylindres circulaires en attaque oblique dans un écoulement supersonique, *Int. J. Heat Mass Transfer*, en presse.

HEAT TRANSFER WITH UNSYMMETRICAL THERMAL BOUNDARY CONDITIONS

H. BARROW and Y. LEE

The Department of Mechanical Engineering, The University of Liverpool

(Received 22 November 1963)

RECENTLY, Hatton and Quarmbly [1] presented the results of a comprehensive analytical study of the effects of axially varying and unsymmetrical boundary conditions on heat transfer in turbulent flow between parallel plates. These authors made a thorough investigation of heat transfer in the entrance and fully developed regions covering a wide range of Reynolds number, Prandtl number and thermal situations. The flow was assumed to be fully developed in the hydrodynamic sense.

In their solution of the simplified energy equation for the temperature, Hatton and Quarmbly used the separation-of-variables technique† which results in an eigen-

† This method is possible if the velocity (and consequently the eddy diffusivity) is a function of wall distance only. It is therefore restricted to the case of a flow which is developed hydrodynamically.