

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

②①

**N° 80 23216**

---

⑤④ Procédé et appareil de mesure de l'épaisseur d'une couche superficielle dans une pièce métallique.

⑤① Classification internationale (Int. Cl. 3). G 01 B 7/06; G 01 R 17/02.

②② Date de dépôt..... 30 octobre 1980.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée : *Italie, 31 octobre 1979, n° 69132-A/79.*

④① Date de la mise à la disposition du  
public de la demande ..... B.O.P.I. — « Listes » n° 19 du 8-5-1981.

---

⑦① Déposant : Société dite : CENTRO RICERCHÉ FIAT SPA, résidant en Italie.

⑦② Invention de : Marco Omini et Aldo Rastaldo.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Cabinet Beau de Loménie,  
55, rue d'Amsterdam, 75008 Paris.

La présente invention concerne un procédé et un appareil permettant de mesurer l'épaisseur d'une couche superficielle dans une pièce métallique, cette couche présentant des caractéristiques physiques différentes de celles du reste de la pièce.

5 C'est une pratique courante de soumettre les surfaces de pièces métalliques devant être exposées à l'usure au cours de leur utilisation à des traitements superficiels thermiques, chimiques ou chimico-physiques (tels que trempe et carbonitruration), ou bien à une combinaison de ces traitements afin d'améliorer la caractéristique d'usure des surfaces.

10 Au cours de la production en longues séries de pièces soumises à un traitement de surface, se pose le problème de devoir effectuer rapidement des mesures de type non destructif permettant de vérifier si le traitement de surface a été effectué de manière satisfaisante et, en particulier, si l'épaisseur de la couche traitée se situe dans certaines limites préétablies. Un tel problème n'a pas été jusqu'ici résolu de manière satisfaisante.

Dans le but de résoudre ce problème, l'invention propose un procédé de mesure des couches superficielles qui comprend  
20 les opérations suivantes :

- faire passer un courant électrique constant de valeur connue à travers la pièce entre deux régions de sa surface de façon à établir une distribution de courant à l'intérieur de la pièce et, par conséquent, une distribution superficielle de potentiel électrique qui dépend de l'épaisseur de la couche superficielle;
- 25 - mesurer la différence de potentiel électrique entre au moins un couple de points de la surface de la pièce;
- effectuer une comparaison entre la valeur mesurée pour la différence de potentiel et une série de valeurs de référence correspondant chacune à une épaisseur connue de la couche superficielle, et
- 30 - déduire de la comparaison l'indication de l'épaisseur de la couche superficielle de la pièce.

Selon un autre aspect de l'invention, il est proposé  
35 un appareil de mesure des couches superficielles qui comprend :

- un générateur de courant continu ;

- deux électrodes connectées au générateur et destinées à être placées, en utilisation, en contact avec deux régions de la surface de la pièce soumise à essai de façon à faire passer un courant électrique constant de valeur connue à travers la pièce et, ainsi, établir une distribution de courant à l'intérieur de la pièce entraînant une distribution superficielle de potentiel électrique qui dépend de l'épaisseur de la couche superficielle;

- un instrument de mesure de tension; et

- deux électrodes de mesure connectées à l'instrument de mesure et destinées à être placées, en utilisation, en contact avec deux points de la surface de la pièce soumise à essai afin de mesurer la différence de potentiel électrique entre lesdits deux points de la surface de la pièce.

La description suivante, conçue à titre d'illustration de l'invention, vise à donner une meilleure compréhension de ses caractéristiques et avantages; elle s'appuie sur les dessins annexés, parmi lesquels :

- la figure 1 présente une première forme de l'appareil de mesure, cette forme étant adaptée à la mise en oeuvre du procédé de mesure sur une surface plane d'une pièce métallique;

- la figure 2 présente une deuxième forme de l'appareil, cette forme étant adaptée à la mise en oeuvre du procédé de mesure sur une pièce métallique cylindrique;

- la figure 3 est une vue en perspective d'une pièce métallique cylindrique repérée dans un système de coordonnées cylindriques;

- la figure 4 est une représentation cartésienne illustrant une distribution de densité de courant, imaginée théoriquement, sur la surface de la pièce de la figure 3, cette distribution correspondant à des courants circulant perpendiculairement à la surface de la pièce et servant au calcul de la distribution théorique de la tension sur la surface de la pièce lorsque des courants lui sont appliqués selon ledit procédé de mesure;

- la figure 5 est un graphe montrant les valeurs théoriques et des valeurs mesurées de la tension  $V$  à la surface de pièces cylindriques choisies comme échantillons pour plusieurs épaisseurs  $S$  de

la couche superficielle (les valeurs correspondantes du rapport  $S/R$  étant également indiquées et  $R$  étant le rayon de la pièce); et

- la figure 6 est un graphe montrant des valeurs théoriques et des valeurs mesurées du rapport de la différence de potentiel existant entre un premier couple de points et de la différence de potentiel existant entre un deuxième couple de points à la surface de pièces cylindriques choisies comme échantillons dans le cas d'une variation de l'épaisseur  $S$  (et du rapport  $S/R$ ) de la couche superficielle.

10 Sur la figure 1, on peut voir une pièce métallique 1 dotée d'une couche superficielle la présentant des caractéristiques physiques différentes de celles du reste lb de la pièce 1.

La couche la a par exemple été formée par application à la surface lc de la pièce (laquelle est une surface plane sur la 15 figure 1) d'un traitement de trempe ou de carbonitruration.

Le procédé de mesure des couches superficielles qui va maintenant être décrit comprend une première opération consistant à faire passer un courant électrique constant d'une valeur connue à travers la pièce 1 entre deux régions de la surface lc de la pièce 20 de manière à établir une distribution de courant à l'intérieur de la pièce et, par conséquent, une distribution superficielle de potentiel électrique, laquelle dépend de l'épaisseur de la couche superficielle la. A cet effet, l'appareil de la figure 1 comprend deux électrodes 2 placées en contact avec deux régions distinctes de la 25 surface lc de la pièce 1. Les électrodes 2 sont connectées à un générateur de courant continu 3 conçu de manière à délivrer un courant sensiblement constant d'environ 10 ampères.

Du fait de la différence de caractéristiques physiques entre la couche superficielle la et la partie lb de la pièce, la 30 couche la présente des caractéristiques électriques différentes de celles de la partie restante lb. En particulier, la couche la a une conductivité électrique différente de celle de la partie lb. Par conséquent, le courant passant dans la pièce 1 par l'intermédiaire des électrodes 2 se répartit dans la pièce 1 d'une manière qui dépend 35 de la profondeur de la couche la. Par conséquent, le potentiel électrique existant en un point général de la surface lc de la pièce 1 prend une valeur qui, en plus d'être dépendante de la disposition

des électrodes 2 et de la position du point considéré relativement aux électrodes, dépend également de l'épaisseur de la couche superficielle  $l_a$ . Le procédé de mesure des couches superficielles implique donc une deuxième opération qui consiste à mesurer la différence de potentiel électrique existant entre au moins un couple de points de la surface  $l_c$  de la pièce 1. A cet effet, l'appareil de mesure comprend deux électrodes de mesure 4 qui sont connectées à un micro-voltmètre 5 et sont placées en contact avec des points respectifs de la surface  $l_c$  de la pièce 1. Les deux couples d'électrodes 2 et 4 sont portés par une structure de support isolante 6.

Une fois que la mesure de la différence de potentiel entre les points choisis à la surface a été effectuée, une troisième opération du procédé de mesure est alors mise en oeuvre. Cette opération consiste à comparer la valeur mesurée de la différence de potentiel avec une série de valeurs de référence correspondant chacune à une valeur déterminée d'épaisseur de la couche  $l_a$ .

Ces valeurs de référence peuvent être déterminées empiriquement par mesure de valeurs de ladite différence de potentiel pour une série de pièces ayant des couches superficielles de différentes épaisseurs (les autres paramètres qui affectent la valeur de cette différence de potentiel étant maintenus à la même valeur et étant ceux utilisés pour la réalisation d'une mesure d'essai, ces paramètres comprenant les dimensions et la composition matérielle des pièces, la configuration des électrodes de l'appareil de mesure, et la valeur du courant mis en circulation). Les épaisseurs des couches superficielles  $l_a$  des pièces utilisées pour déterminer les valeurs de référence sont obtenues par exemple au moyen de mesures effectuées par des méthodes destructrices.

De cette manière, il est possible de préparer un tableau ou diagramme relatif aux valeurs de la différence de potentiel mesurée en fonction des diverses épaisseurs de la couche  $l_a$ .

Par conséquent, en comparant les valeurs de référence et la valeur de la différence de potentiel qui est mesurée pour une pièce ayant une couche superficielle d'épaisseur inconnue, il est possible de déduire une valeur de l'épaisseur de la couche superficielle  $l_a$  de la pièce soumise à l'essai.

La forme de l'appareil illustrée sur la figure 2 est adaptée à l'utilisation permettant la mesure de l'épaisseur de la couche superficielle d'une pièce cylindrique 11. Les éléments de l'appareil de la figure 2 qui correspondent à des éléments de l'appareil de la figure 1 sont indiqués sur la figure 2 au moyen des mêmes numéros de référence. Dans l'appareil de la figure 2, la structure de support isolante des électrodes 2 et 4 est une structure annulaire 6 entourant la pièce 11.

L'appareil de la figure 2 est utilisé de la même manière que celui de la figure 1 pour la mise en oeuvre du procédé de mesure des couches superficielles, la valeur mesurée de la différence de potentiel entre les électrodes 4 étant comparée à des valeurs de référence de cette différence de potentiel. Ces valeurs de référence peuvent être déterminées soit empiriquement de la manière indiquée ci-dessus, ou bien à partir d'une relation mathématique exprimant la valeur de la différence de potentiel théoriquement mesurable entre deux points de la surface 11c de la pièce 11, en fonction de l'épaisseur de la couche superficielle 11a. L'obtention de cette relation mathématique pour une pièce cylindrique sera donnée ci-dessous en relation avec les figures 3 et 4, cette relation exprimant la manière dont la différence de potentiel dépend de l'épaisseur de la couche superficielle en fonction des caractéristiques géométriques de la pièce et de la disposition géométrique des électrodes 2 d'alimentation en courant et des électrodes 4 de mesure.

Sur la figure 3, est schématiquement représentée, en perspective, une pièce métallique cylindrique P de rayon  $R_2$  qui possède une surface extérieure  $P_c$  de longueur  $l$  et une couche superficielle  $P_a$  ayant une épaisseur  $(R_1 - R_2)$ . La couche  $P_a$  a une conductivité électrique différente de celle de la partie restante  $P_b$  de la pièce P. Les différents points de l'intérieur et de la surface de la pièce sont identifiés dans un système de coordonnées cylindriques  $r, \varphi, z$ , l'origine de l'axe des  $z$  se trouvant en un point O situé au centre de la pièce P.

Les deux régions M et N se trouvant sur la surface cylindrique de la pièce P sont les régions supposées de contact des électrodes 2 d'alimentation en courant de l'appareil de la figure 2.

Commodément, les centres des régions M et N se trouvent dans le plan  $z = 0$ , tandis que les rayons reliant le point O auxdits centres forment entre eux un angle  $\theta$ . Les dimensions des segments de cercle et des segments de droite qui délimitent chacune des régions M et N sont respectivement désignées par  $a$  et  $b$ .

Dans la discussion suivante, les conductivités électriques de la partie cylindrique intérieure non traitée  $P_b$  et de la couche superficielle  $P_a$  de la pièce seront respectivement désignées par  $\sigma_1$  et  $\sigma_2$ . De plus, on supposera qu'un courant d'intensité  $I$  passe dans la pièce entre les régions M et N, la densité  $J$  de ce courant étant sensiblement constante sur toute la surface des régions M et N, comme cela est indiqué sur la figure 4. Les paramètres  $I$  et  $J$  sont reliés par l'expression  $I = J(a+b)$ .

Comme cela est connu, le potentiel électrique  $V$  en un point intérieur général, écarté des surfaces de discontinuité, doit satisfaire l'équation de Laplace :

$$\nabla^2 V = 0 \quad (1),$$

laquelle s'écrit en coordonnées cylindriques :

$$\frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial V}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 V}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0 \quad (1').$$

Pour tous les points de la région intérieure  $P_b$  de la pièce  $P$ , se trouvant par conséquent à une distance  $r$  de l'axe  $z$  qui est inférieure à  $R_1$ , la solution de l'équation de Laplace est du type :

$$V = \sum_p \sum_n A_n(p) \cdot \cos pz \cdot I_n(pr) e^{in\varphi} \quad (2).$$

Pour les points de la couche superficielle  $P_a$ , qui se trouvent par conséquent à une distance  $r$  de l'axe  $z$  comprise entre  $R_1$  et  $R_2$ , la solution de l'équation de Laplace prend la forme :

$$V_2 = \sum_p \sum_n [B_n(p) I_n(pr) + C_n(p) K_n(pr)] e^{in\varphi} \cos pz \quad (2').$$

Les symboles apparaissant dans les expressions (2) et (2') donnant les potentiels  $V_1$  et  $V_2$  ont les significations indiquées ci-dessous :

$p, n$  : nombres entiers;

- $A_n(p), B_n(p), C_n(p)$  : coefficients pouvant être déterminés par la fixation des conditions aux limites;
- $I_n$  : fonction de Bessel modifiée du premier type, d'ordre  $n$ ;
- 5  $K_n$  : fonction de Bessel modifiée du second type, d'ordre  $n$ ;
- $e$  : base des logarithmes naturels;
- $i$  : unité imaginaire  $\sqrt{-1}$ .

- On peut déterminer les coefficients  $A_n, B_n, C_n$  en fixant
- 10 les conditions aux limites. La première condition se rapporte à la continuité du potentiel  $V$  pour  $r = R_1$ . La deuxième condition se rapporte à la continuité du vecteur densité de courant pour  $r = R_1$ , c'est-à-dire :

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} = \sigma \text{grad } V \quad (3).$$

- 15 La troisième condition se rapporte à la distribution des courants sur la surface cylindrique de la pièce  $P$ , pour  $r = R_2$ . Plus précisément, la composante radiale de la densité de courant pour  $r = R_2$  doit être nulle partout, sauf en correspondance avec les régions  $M$  et  $N$ , comme cela est illustré par le graphe de la figure 4.
- 20 En fixant les conditions aux limites ci-dessus, il est possible d'obtenir l'expression suivante pour le potentiel en un point général se trouvant sur le cercle qui constitue l'intersection entre la surface cylindrique de la pièce  $P$  et le plan  $z = 0$  :

$$V = -\frac{2Jb}{\sigma_2} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \cdot \sin\left(\frac{na}{2R_2}\right) [\cos n\psi - \cos n(\psi - \theta)].$$

$$25 \quad \lim_{p \rightarrow 0} \frac{1}{p} \cdot \left\{ \frac{K_n(pR_2)}{K'_n(pR_2)} + h_n(p) \left[ \frac{I_n(pR_2)}{I'_n(pR_2)} - \frac{K_n(pR_2)}{K'_n(pR_2)} \right] \right\}$$

$$- \frac{2Jl}{\sigma_2} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{nm^2} \sin\left(\frac{m\pi b}{l}\right) \sin\left(\frac{na}{2R_2}\right) [\cos n\psi - \cos n(\psi - \theta)].$$

$$\cos\left(\frac{2m\pi}{l} z\right) \cdot \left\{ \frac{K_n(mR_2)}{K'_n(mR_2)} + h_{nm} \left[ \frac{I_n(mR_2)}{I'_n(mR_2)} - \frac{K_n(mR_2)}{K'_n(mR_2)} \right] \right\} \quad (4),$$



où :

$$h_{nm} = \left\{ 1 + (\chi - 1) \frac{K'_n(m\rho_2)}{I'_n(m\rho_2)} \cdot \left[ \frac{K'_n(m\rho_1)}{I'_n(m\rho_1)} - \chi \cdot \frac{K_n(m\rho_1)}{I_n(m\rho_1)} \right]^{-1} \right\}^{-1},$$

$$\rho_1 = \frac{2\eta}{\lambda} R_1, \quad \rho_2 = \frac{2\eta}{\lambda} R_2, \quad \chi = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}.$$

Dans le cas de pièces cylindriques de petit diamètre,

- 5 les fonctions de Bessel modifiées qui apparaissent dans l'expression donnée ci-dessus peuvent être approchées de la manière suivante :

$$K_n(r) \simeq 2^{n-1} \cdot \frac{(n-1)!}{r^n}, \quad I_n(r) \simeq \frac{r^n}{2^n n!},$$

qui vérifient :

$$\lim_{p \rightarrow 0} \frac{1}{p} \left\{ \frac{K_n(pR_2)}{K'_n(pR_2)} + H_n(p) \cdot \left[ \frac{I_n(pR_2)}{I'_n(pR_2)} - \frac{K_n(pR_2)}{K'_n(pR_2)} \right] \right\} =$$

10 
$$\frac{R_2}{n} \cdot \left[ \frac{2}{1 + \frac{\chi-1}{\chi+1} \cdot \left( \frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^{2n-1}} \right].$$

Il est donc finalement possible de simplifier l'expression de V donnée ci-dessus.

Puisque le potentiel est défini à une constante près, on peut imposer que celle-ci soit nulle pour  $\varphi = 0$ .

- 15 De cette manière, si l'on pose en outre :

$$\alpha = \frac{2\eta a}{\lambda}, \quad \beta = \frac{2\eta b}{\lambda}, \quad \zeta = \frac{2\eta' z}{\lambda}, \quad \text{et sachant que } J : I/ab, \text{ on}$$

obtient

$$V = \frac{2I}{\eta \lambda \sigma_2} \cdot (F_1 + F_2) \quad (4),$$

où

20 
$$F_1 = \frac{\rho_2}{\alpha} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin\left(\frac{n\alpha}{2\rho_2}\right) [\cos n\varphi - \cos n(\varphi - \theta) - 2\sin\frac{2n\theta}{2}].$$

(suite de la formule, page suivante).

$$\left[ \frac{2}{1 + \frac{x-1}{x+1} \left( \frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^{2n}} - 1 \right],$$

$$F_2 = \frac{4}{\alpha\beta} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{m^2 n} \sin\left(\frac{m\beta}{2}\right) \sin\left(\frac{n\alpha}{2\rho_2}\right).$$

$$\left\{ \cos m \left\{ [\cos n \psi + \cos n(\psi - \theta)] - 2 \sin \frac{n\theta}{2} \right\}^2 \right\}.$$

$$\left\{ \frac{K_n(m\rho_2)}{K'_n(m\rho_2)} + h_{mn} \left[ \frac{I_n(m\rho_2)}{I'_n(m\rho_2)} - \frac{K_n(m\rho_2)}{K'_n(m\rho_2)} \right] \right\}.$$

- 5 Une fois que l'expression du potentiel en un point du cercle formé par l'intersection entre la surface cylindrique de la pièce 1 et le plan  $z = 0$  est connue, il est possible de calculer, pour diverses valeurs du rapport  $R_1/R_2$  (c'est-à-dire pour diverses valeurs de l'épaisseur de la couche superficielle  $l_a$ ), la différence
- 10 de potentiel existant entre deux points du cercle lorsqu'un courant de densité de courant connue passe à travers les deux régions M et N de dimensions connues qui sont séparées angulairement l'une de l'autre par un angle connu.

- Comme on peut le voir sur les figures 5 et 6, la comparai-
- 15 son des courbes théoriques obtenues par l'évaluation de la différence de potentiel entre deux points au moyen de l'expression mathématique avec diverses expressions expérimentales obtenues par des mesures réalisées sur des pièces choisies comme échantillons confirme la fiabilité des données qui peuvent être déduites des expressions mathé-
- 20 matiques.

- Sur la figure 5, la courbe A représente la variation du potentiel V en microvolts qui est théoriquement mesurable entre deux points de la surface cylindrique d'une pièce cylindrique en acier du type C43 lorsque l'épaisseur S d'une couche superficielle P varie
- 25 entre 0 et 4,5 mm; les valeurs de l'épaisseur sont également exprimées en valeurs relatives S/R (R étant le rayon de la pièce) comprises entre 0,9 % et 25 %. La courbe A a été produite au moyen des expressions mathématiques précédemment obtenues, dans l'hypothèse où le

courant passant à travers la pièce est de 10 ampères. La différence de potentiel " $V(150^\circ - 270^\circ)$ " qui est portée le long de l'ordonnée de la figure 5 a été calculée par la détermination de la différence de potentiel calculée pour deux points dont les coordonnées angulaires  $\varphi$  sont respectivement de  $150^\circ$  et de  $270^\circ$ . Les petites croix se trouvant à proximité droite de la courbe A de la figure 5 indiquent les valeurs correspondant à " $V(150^\circ - 270^\circ)$ " mesurées expérimentalement sur des cylindres pris comme échantillons d'acier C43 dans lesquels passe un courant de 10 ampères. L'accord étroit entre les valeurs théoriques et les valeurs expérimentales peut être clairement vu.

Une deuxième courbe B est présentée sur la figure 5, et cette courbe représente les valeurs théoriques de la tension " $V(270^\circ - 330^\circ)$ " calculées pour deux points de coordonnées angulaires  $\varphi$  de  $270^\circ$  et de  $330^\circ$  respectivement, les mêmes valeurs de S et S/R et les mêmes échantillons étant utilisés que pour la courbe A. Les petites croix qui se trouvent à proximité de la courbe B indiquent les valeurs de " $V(270^\circ - 330^\circ)$ " mesurées expérimentalement. De nouveau, l'accord entre la théorie et la mesure est remarquablement bon.

En fait, un examen précis des courbes présentées sur la figure 5 montre que la corrélation entre les valeurs théoriques et les valeurs réelles de la différence de potentiel s'écarte pour les parties des courbes A et B où  $S/R > 20\%$ . Toutefois, il a été vérifié que, si les expressions données ci-dessus servent à évaluer le rapport de  $V(150^\circ - 270^\circ) / V(270^\circ - 330^\circ)$  en fonction de S (ou de S/R), alors l'accord entre les résultats théoriques et expérimentaux est excellent pour  $S/R > 20\%$ ; la précision de cet accord peut être vue sur la figure 6. Sur cette base, on peut modifier le procédé décrit de mesure des couches superficielles pour des pièces cylindriques de façon que le procédé comprenne les opérations suivantes :

a) mesurer le potentiel électrique entre trois points distincts X, Y, Z (au lieu de deux) sur la surface cylindrique de la pièce ou bien, plutôt, mesurer la différence de potentiel par exemple entre X et Y et entre Y et Z;

b) calculer le rapport entre lesdites différences de potentiel (par exemple le rapport  $V_{X-Y} / V_{Y-Z}$ ; et

c) comparer ce rapport avec une série de valeurs de référence ou un ensemble continu de valeurs (tableaux, graphes, etc.) obtenu au moyen des expressions mathématiques théoriques données ci-dessus.

5 L'expression mathématique du rapport  $V_{X-Y}/V_{Y-Z}$  peut être facilement déduite des expressions déjà données.

La détermination des valeurs de référence citées à propos de l'opération c) ci-dessus peut naturellement être effectuée empiriquement au lieu que ce soit théoriquement, les opérations (a) et (b) 10 restant les mêmes. La détermination empirique d'une série de valeurs de référence s'effectue par des mesures sur une série de pièces choisies comme échantillons qui présentent chacune les mêmes dimensions et la même composition que celles de la pièce soumise à essai et qui sont dotées chacune d'une couche superficielle d'une épaisseur 15 connue différente de celles des autres pièces.

Ce qui vient d'être indiqué précédemment montre que le procédé et l'appareil de mesure de l'invention permettent de résoudre de manière simple et économique le problème posé par la mesure rapide de l'épaisseur de la couche superficielle de pièces métalliques produites en grandes quantités. 20

Bien entendu, l'homme de l'art sera en mesure d'imaginer, à partir des procédés et des dispositifs dont la description vient d'être donnée à titre simplement illustratif et nullement illustratif, diverses variantes et modifications ne sortant pas du cadre de l'invention. 25

RE V E N D I C A T I O N S

1. Procédé de mesure de l'épaisseur d'une couche superficielle d'une pièce métallique, cette couche ayant des caractéristiques physiques différentes de celles du reste de la pièce, le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend les opérations suivantes :

5 - faire passer un courant électrique constant de valeur connue à travers la pièce entre deux régions de la surface de celle-ci de manière à établir une distribution de courant à l'intérieur de la pièce et, par conséquent, une distribution superficielle du potentiel électrique qui dépend de l'épaisseur de ladite couche superficielle;

10 - mesurer la différence de potentiel électrique entre au moins un couple de points de la surface de la pièce;

- effectuer la comparaison entre la valeur mesurée de ladite différence de potentiel et une série de valeurs de référence correspondant chacune une épaisseur connue pour ladite couche superficielle; et

15 - déduire de cette comparaison l'indication de l'épaisseur de la couche superficielle de la pièce.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que  
20 l'on effectue l'opération de comparaison en comparant la valeur mesurée de la différence de potentiel avec un ensemble de valeurs de différence de potentiel mesurées de la même manière sur une série d'échantillons d'essai possédant chacun les mêmes dimensions et la même composition matérielle que ladite pièce, lesdits échantillons  
25 ayant des couches superficielles de différentes épaisseurs connues.

3. Procédé selon la revendication 1, où la pièce métallique a une forme cylindrique, le procédé étant caractérisé en ce qu'on effectue l'opération de mesure en mesurant la valeur de la différence de potentiel entre au moins un couple de points se trouvant sur la  
30 surface cylindrique de la pièce suivant une circonférence définie par l'intersection d'un plan perpendiculaire à l'axe longitudinal de la pièce avec ladite surface cylindrique, l'opération de comparaison impliquant la comparaison de la valeur de différence de potentiel mesurée avec une série de valeurs de référence déduites d'une  
35 expression mathématique exprimant la différence de potentiel

mesurable entre deux points de ladite circonférence de la pièce en fonction de l'épaisseur de la couche superficielle.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que ladite série de valeur de référence forme un continuum de valeurs représenté par une courbe liant la valeur de la différence de potentiel mesurée à l'épaisseur de la couche superficielle.
5. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'opération de mesure implique la mesure de la différence de potentiel entre deux couples de points, les deux valeurs de différence de potentiel mesurées étant ensuite divisées l'une par l'autre de façon à former un rapport caractéristique qui est comparé, dans ladite opération de comparaison, avec des rapports de référence obtenus par la division de valeurs de référence de différence de potentiel correspondantes.
- 10 6. Appareil de mesure de l'épaisseur d'une couche superficielle d'une pièce métallique, cette couche ayant des caractéristiques physiques différentes de celles du reste de la pièce, l'appareil étant caractérisé en ce qu'il comprend :
- un générateur (3) de courant continu;
  - 20 - deux électrodes (2) d'alimentation connectées au générateur et destinées à être placées, en utilisation, en contact avec deux régions de la surface ( $1c$ ,  $11c$ ) de la pièce (1, 11) soumise à l'essai de manière à faire passer un courant électrique constant de valeur connue à travers la pièce et, ainsi, établir une distribution de courant à l'intérieur de la pièce et, par conséquent, une distribution superficielle de potentiel électrique qui dépend de l'épaisseur de la couche superficielle ( $1a$ ,  $11a$ );
  - un instrument (5) de mesure de potentiel; et
  - un couple d'électrodes (4) de mesure connectées à
  - 30 l'instrument de mesure et destinées à être placées, en utilisation, en contact avec deux points de la surface ( $1c$ ,  $11c$ ) de la pièce soumise à l'essai afin de mesurer la différence de potentiel électrique entre lesdits deux points de la surface de la pièce.
7. Appareil selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comporte en outre un moyen de support (6) fait d'un matériau électriquement isolant, les électrodes d'alimentation (2) et les
- 35

électrodes de mesure (4) étant portées par ce moyen de support.

8. Appareil selon la revendication 6 ou 7, caractérisé en ce que l'instrument de mesure de tension est un micro-voltmètre.

FIG. 1

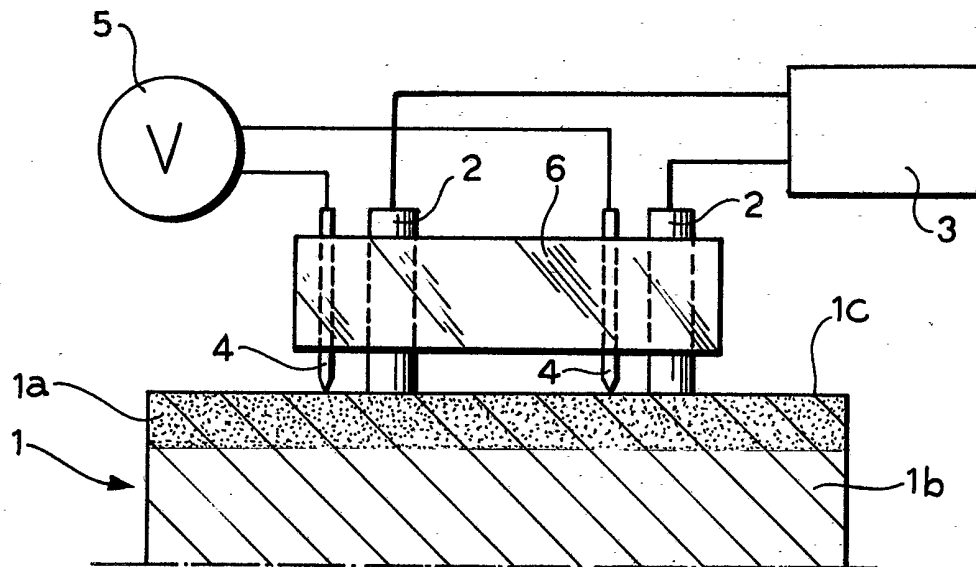


FIG. 2

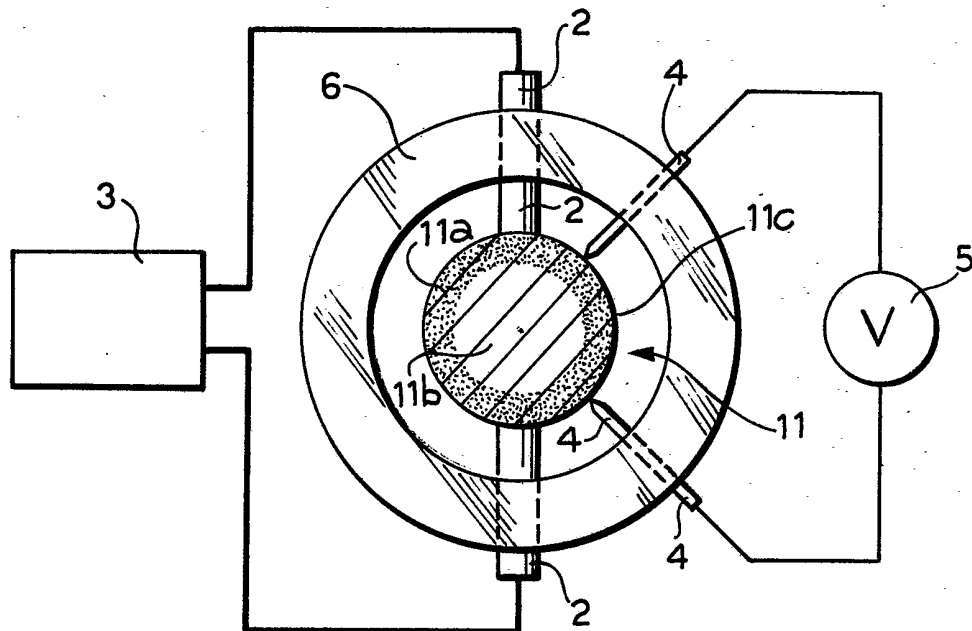




FIG. 3

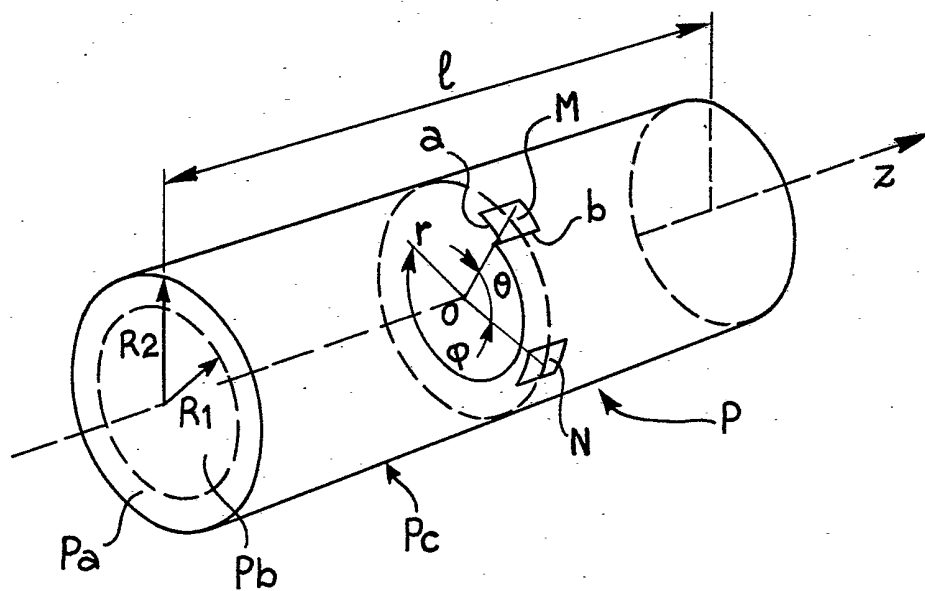
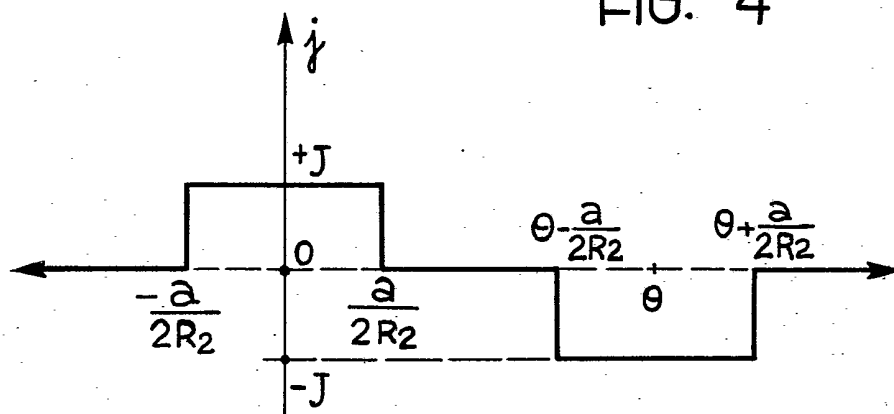


FIG. 4



2468876

