

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 80 23245

(54) Procédé de soudage électronique de métaux de natures différentes avec oscillations transversales du faisceau électronique et assemblages soudés obtenus par ledit procédé.

(51) Classification internationale (Int. Cl. ³). B 23 K 15/00.

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

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 18 du 7-5-1982.

(71) Déposant : KOCHARMIN Sergei Petrovich, GAVRINTSEV Sergei Vasilievich, ZORIKHIN Alexandr Fomich, PAVLJUKOV Valentin Grigorievich et FILATOV Gennady Nikolaevich, résidant en URSS.

(72) Invention de : Sergei Petrovich Kocharmin, Sergei Vasilievich Gavrintsev, Alexandr Fomich Zorikhin, Valentin Grigorievich Pavljukov et Gennady Nikolaevich Filatov.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Z. Weinstein,
20, av. de Friedland, 75008 Paris.

La présente invention concerne le soudage électronique, sous vide, de métaux de natures différentes et a notamment pour objet un procédé de soudage électronique de métaux de natures différentes avec oscillations transversales
5 du faisceau électronique.

L'invention peut être utilisée avec succès notamment dans les constructions mécaniques et dans la construction des appareils de mesure et de contrôle pour le soudage de pièces en métaux ayant des propriétés physiques, thermi-
10 ques et mécaniques différentes.

Dans la production industrielle moderne, les éléments fabriqués en métaux de natures différentes doivent satisfaire à des exigences plus sévères en ce qui concerne leur qualité et leur fiabilité. Il en est de même, par
15 conséquent, des assemblages soudés de ces métaux réalisés dans lesdits éléments.

Le soudage électronique est le procédé le plus prometteur de soudage de métaux ayant des propriétés thermiques et physiques différentes, puisqu'il est réalisé
20 sous vide, facilement contrôlable, et que l'énergie très concentrée du faisceau électronique focalisé permet d'obtenir une fusion (pénétration) profonde et dirigée des métaux à souder tout en réduisant considérablement la zone d'influence thermique.

On connaît un procédé de soudage électronique de métaux de différente nature avec oscillations transversales du faisceau électronique (Cf., par exemple, le brevet Japon N° 42-24816, cl. 12B11/B23K 15/00, publié en 1967) par déplacement du joint à souder des métaux de natures diffé-
30 rentes et par action d'un faisceau électronique effectuant des oscillations transversales par rapport au joint à souder. Selon ce procédé, la commande de la focalisation du faisceau électronique se fait de manière que le faisceau soit focalisé lorsqu'il passe sur la surface du métal qui
35 est le meilleur conducteur de chaleur, et qu'il soit défocalisé lorsqu'il passe sur la surface du métal qui est moins bon conducteur de chaleur.

Toutefois, au cours du soudage, selon ce procédé, de métaux de natures différentes, avec une profondeur de fusion ou pénétration supérieure à 2 mm, la zone de fusion du métal qui conduit mieux la chaleur est en contact, au pied de la soudure, avec une zone non ou incomplètement chauffée ("froide") du métal qui est moins bon conducteur de chaleur, ce qui conduit à des défauts de soudage sous forme de pores ou de soufflures et, par conséquent, limite l'utilisation de ce procédé.

En outre, selon ce procédé, lorsque le faisceau électronique est défocalisé au moment de son passage sur le métal qui est moins bon conducteur de chaleur, il faut augmenter fortement la puissance du faisceau électronique, ce qui entraîne une augmentation de la zone de chauffage du métal et une fusion partielle de l'autre métal conducteur de chaleur, ce qui, à son tour, rend les conditions de formation de la soudure moins favorables et augmente les dépenses d'énergie.

On connaît un autre procédé de soudage électronique de métaux de natures différentes avec oscillations transversales du faisceau électronique (Cf., par exemple, la revue périodique "Avtomaticheskaya svarka", N° 5, Mai 1973 (Moscou), par F.N. Ryzhkov et al., "Svarka bronzy BrX-0,8 i stali 3N 811 kolebljuschimsya elektronnym luchom", page 56), par déplacement du joint à souder des métaux de natures différentes à une vitesse déterminée et par action d'un faisceau électronique animé d'oscillations transversales d'amplitude et de fréquence déterminées par rapport au joint à souder.

Toutefois, dans ce procédé de soudage de métaux de natures différentes, la zone de fusion du métal conducteur de chaleur est décalée par rapport à la zone de fusion de l'autre métal, de sorte que le métal conducteur de chaleur en fusion est en contact avec la zone "froide" de l'autre métal suivant toute la section à souder, ce qui provoque des défauts de soudage (pores, soufflures) au cours du soudage des métaux dont les propriétés thermiques et physiques sont

les plus différentes, d'où une réduction de la qualité de la soudure obtenue.

Dans le cadre de la présente invention, on s'est donc proposé de créer un procédé de soudage électronique de métaux de natures différentes avec oscillations transversales du faisceau électronique, dans lequel la position relative des zones de fusion des métaux de natures différentes serait choisie de façon à assurer une meilleure qualité de la soudure.

10 Ce but est atteint du fait que le procédé de soudage électronique de métaux de natures différentes avec oscillations transversales du faisceau électronique, du type consistant à déplacer le joint à souder desdits métaux à une vitesse déterminée et à faire agir sur ceux-ci un
15 faisceau électronique effectuant, par rapport au joint à souder, des oscillations transversales d'amplitude et de fréquence déterminées, est caractérisé, suivant l'invention, en ce que le plan de mouvement du joint à souder et le plan des oscillations transversales du faisceau électronique sont
20 disposés, l'un par rapport à l'autre, sous un angle

$$\alpha = \arctan \frac{4Af}{V},$$

où A est l'amplitude des oscillations transversales du faisceau électronique par rapport au joint à souder (mm) ;
25 f est la fréquence des oscillations du faisceau électronique par rapport au joint à souder (1/s) ;
V est la vitesse de déplacement du joint à souder (mm/s).

L'invention permet de faire coïncider les zones de fusion des métaux de natures différentes et de former un
30 bain de fusion commun et symétrique par rapport au joint, ce qui permet d'exclure la formation de défauts (tels que pores, soufflures, cavités) dans toute la profondeur de fusion ou de pénétration et d'améliorer ainsi la qualité de la soudure.

35 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux compris à la lecture de la description,

qui va suivre, de plusieurs modes de réalisation non limitatifs, faite en se référant aux dessins annexés dans lesquels :

- 5 - la figure 1 représente un dispositif pour le soudage électronique de métaux de natures différentes avec oscillations transversales du faisceau électronique, utilisé pour mettre en oeuvre le procédé selon l'invention par déplacement du plan des oscillations transversales du faisceau électronique (vue en perspective isométrique et en coupe), selon l'invention ;
 - 10 - la figure 2 représente un dispositif pour le soudage électronique de métaux de natures différentes avec oscillations transversales du faisceau électronique, utilisé pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention par rotation du plan du mouvement du joint à souder (vue en perspective isométrique et en coupe), selon l'invention ;
 - 15 - la figure 3 est une vue schématique illustrant les oscillations transversales du faisceau électronique par rapport au joint à souder de la figure 1, selon l'invention ;
 - 20 - la figure 4 est une vue schématique montrant les oscillations transversales du faisceau électronique par rapport au joint à souder de la figure 2, selon l'invention.
- Le procédé de soudage électronique de métaux de différentes natures avec oscillations transversales du faisceau électronique consiste à déplacer le joint à souder desdits métaux à une vitesse déterminée et à animer le faisceau électronique d'un mouvement d'oscillations transversales par rapport au joint à souder. Le plan du mouvement du joint à souder et le plan des oscillations transversales du faisceau électronique sont disposés, l'un par rapport à l'autre, sous un angle

$$\alpha = \text{arc tg } \frac{4Af}{v},$$

où A est l'amplitude des oscillations transversales du faisceau électronique par rapport au joint à souder (mm) ;

f est la fréquence des oscillations transversales du faisceau électronique par rapport au joint à souder (1/s) ;

V est la vitesse de déplacement du joint à souder (mm/s) .

Selon un mode de réalisation de l'invention, lorsqu'il s'agit notamment du soudage d'éléments de grandes dimensions, la position relative du plan de mouvement du joint à souder et du plan des oscillations transversales du faisceau électronique sous un angle α est obtenue en déplaçant dudit angle α le plan des oscillations transversales du faisceau électronique.

Selon un autre mode de réalisation de l'invention, la position relative sous un angle α du plan de mouvement du joint à souder et du plan des oscillations transversales du faisceau électronique est obtenue en déplaçant dudit angle α le plan de mouvement du joint à souder.

Selon encore un autre mode de mise en oeuvre du procédé, objet de l'invention, la position relative sous un angle α du plan de mouvement du joint à souder et du plan des oscillations transversales du faisceau électronique est obtenue en déplaçant le plan des oscillations transversales du faisceau électronique et en déplaçant en même temps angulairement le plan de mouvement du joint à souder, chacun d'un tel angle respectif tel, que l'angle résultant soit égal à l'angle α voulu.

Le procédé de soudage électronique de métaux de natures différentes avec oscillations transversales du faisceau électronique, selon l'invention, peut être mis en oeuvre au moyen de n'importe quel dispositif connu de soudage électronique de métaux de natures différentes avec oscillations transversales du faisceau électronique.

Le dispositif pour le soudage électronique de métaux de différentes natures avec oscillations transversales du faisceau électronique conformément au procédé de l'invention comprend une chambre 1 (figure 1) renfermant un socle 2 doté de guidages 3. Le long des guidages 3 se

déplace un chariot 4 portant les métaux à souder 5 et 6 de différentes natures. Un canon à électrons 8 est fixé de manière étanche dans une ouverture pratiquée dans la paroi 7 de la chambre 1, au-dessus des métaux 5 et 6. Le canon 8 comprend, disposés en série et mécaniquement reliés entre eux, un émetteur d'électrons 9, une lentille de focalisation 10 avec un index de lecture fixe 11 et un système de déflexion 12 avec une échelle de lecture 13 et un indicateur 14 d'angle α . Le système de déflexion 12 est tourné ou décalé angulairement par rapport à la lentille 10 de telle manière que le faisceau électronique 15 intersecte le joint à souder en mouvement 16 sous un angle α .

Dans le dispositif de soudage représenté sur la figure 2, les indicateurs 11 et 14 (figure 2) peuvent se trouver l'un en face de l'autre. Le socle 2 est tourné ou déplacé angulairement de telle manière que le joint à souder en mouvement 16 intersecte le faisceau électronique 15 sous un angle α .

La figure 3 représente schématiquement les oscillations transversales du faisceau électronique 15 (figures 1,3) sur la surface des métaux 5 et 6 par rapport au joint à souder 16 quand le plan des oscillations transversales du faisceau électronique 15 est déplacé d'un angle α . Les zones 17 et 18 de fusion des métaux 5 et 6, respectivement, se disposent d'une manière symétrique par rapport au joint 16 pendant le déplacement à une vitesse déterminée des métaux 5 et 6 pendant la période de temps τ_1 et τ_2 , respectivement.

Les oscillations transversales du faisceau électronique 15 sont d'amplitude A et de période $T = 1/f$ déterminées, pour une trajectoire 19 d'intersection de la surface des métaux 5 et 6 par le faisceau 15.

La figure 4 représente schématiquement les oscillations transversales du faisceau électronique (figures 2, 4) sur la surface des métaux 5 et 6 par rapport au joint à souder 16 quand le plan de mouvement du joint à souder 16 est tourné ou déplacé d'un angle α .

Le procédé selon l'invention est mis en oeuvre comme suit à l'aide du dispositif connu pour le soudage électronique avec oscillations transversales du faisceau électronique.

5 Avant le soudage, on procède au calcul des principaux paramètres du soudage électronique avec oscillations transversales du faisceau électronique 15 (figure 1) :

V est la vitesse de déplacement du joint à souder 16 ;

10 f est la fréquence des oscillations du faisceau électronique 15 ;

A est l'amplitude des oscillations du faisceau électronique 15.

15 On calcule ensuite l'angle α entre le plan des oscillations du faisceau électronique 15 et le plan de déplacement du joint 16, à l'aide de la formule :

$$\alpha = \text{arc tg } \frac{4Af}{V} .$$

20 On accoste les métaux à souder 5 et 6 et on tourne le système de déflexion 12 par rapport à la lentille de focalisation 10 de manière à obtenir sur l'échelle de lecture 13 l'angle α calculé entre les indicateurs 11 et 14.

Ensuite, on met la chambre 1 sous vide. On règle les paramètres de soudage calculés et on met en marche l'émetteur d'électrons 9 du canon à électrons 8. Puis on met en mouvement le chariot 4 à la vitesse calculée et l'on dirige en même temps sur le joint à souder 16 le faisceau électronique 15 qui effectue des oscillations transversales d'amplitude A et de fréquence f calculées. Une fois le soudage du joint 16 terminé, on supprime le faisceau 15 et on arrête le mouvement du chariot 4 portant les métaux à souder de différentes natures 5 et 6.

30 On supprime le vide dans la chambre et on enlève du chariot 4 les métaux 5 et 6 soudés entre eux.

35 Dans le cas où l'angle α est obtenu en déplaçant angulairement le plan de mouvement du joint à souder 16

(figure 2), le calcul préalable de l'angle α est effectué comme dans le mode de réalisation précédent. On tourne de l'angle calculé α le socle 2 portant les métaux à souder 5 et 6. L'indicateur de lecture 11 de la lentille de focalisation 10 se trouve alors en regard de l'indicateur 14 de l'échelle 13 du système de déflexion 12. Les autres opérations sont effectuées dans le même ordre que dans le cas précédent.

Le procédé selon l'invention sera mieux compris à la lecture de la description de l'exemple de réalisation concret mais non limitatif suivant.

On a soudé de l'acier avec du bronze.

On a mesuré le diamètre du faisceau électronique 15 (figures 1, 2) par la méthode connue de la sonde tournante. Le diamètre de la tache focale était de 0,66 mm.

On a calculé la vitesse de soudage V (figures 3,4) à l'aide de la formule :

$$V = \frac{I.U.}{2,1-H-d-\rho(cT_1 - L)} - \frac{5\lambda}{d\rho(cT_1 + L)} \cdot 1 + \frac{1}{2a\rho(cT_1 + L)},$$

où I = 0,056 A (courant de soudage) ;

U = 22500 V (tension d'accélération),

H = 0,475 cm (profondeur de fusion du bronze),

d = 0,48 cm (largeur de la zone de soudure au sommet) ;

c = 0,381 $\frac{J}{g \cdot \text{degrés}}$ (capacité calorifique),

$\rho = 8,4 \text{ g/cm}^2$ (densité),

$T_1 = 1080^\circ\text{C}$ (température de fusion du bronze),

L = 205 J/g (énergie spécifique de fusion du bronze),

a = 1,234 cm^2/s (coefficient de conductibilité thermique),

$\lambda = 3,95 \text{ W/cm} \cdot \text{degrés}$ (conductibilité calorifique).

On a ainsi :

$$V = \frac{0,56 \cdot 22500}{2,1 \cdot 0,475 \cdot 0,48 \cdot 8,4 (0,381 \cdot 1080 + 205)} -$$

- 9 -

$$- \frac{5.3,95}{0,48.8,4(0,381.1080+205)} \cdot 1 + \frac{1}{2.1,234.8,4(0,381.1080+205)} \approx 0,5$$

$$V = 0,5 \text{ cm/s} = 5 \text{ mm/s.}$$

On détermine la fréquence f des oscillations du faisceau électronique 15 (figures 1, 2, 3, 4) suivant la formule :

$$V = \frac{d(1-k)}{\tau_1 + \tau_2},$$

10 où $\tau_1 + \tau_2 = T = \frac{1}{f}$,

donc

$$V = d(1-k).f \text{ et } f = \frac{V}{d(1-k)},$$

15 où $V = 5 \text{ mm/s}$ (vitesse de soudage),
 $d = 0,66 \text{ mm}$ (diamètre de la tache focale),
 $k = 0,5$ (coefficient de recouvrement).

On a ainsi :

$$f = \frac{5}{0,66(1-0,5)} = 15.$$

20 L'amplitude A du faisceau électronique 15 a été calculée suivant la formule :

$$A = k.k_1.k_2.F.U.^{-1/2} |U_o|$$

$$\text{où } k = \frac{\mu_0}{2\pi} \quad ; \quad k_1 = \frac{aW}{Ld} \quad ; \quad k_2 = \frac{Z\pi L}{|Z_o|}$$

- 10 -

En substituant les valeurs de k_1 , k_2 , k_3 , on obtient :

$$A = \frac{\mu_0 \cdot d \cdot W}{d |Z_0|} \cdot F \cdot U^{-1/2} |U_0|,$$

- 5 où $\mu_0 = 1$ (perméabilité magnétique du vide),
 $a = 15$ mm (hauteur),
 $W = 900$ (nombre de spires),
 $d = 45$ mm (diamètre moyen),
 $Z_0 = 1000$ ohms - résistance des bobines de déflexion
 10 (non représentées sur le dessin),
 $F = 50$ mm (distance entre le centre du système de
 déflexion 12 et la surface des métaux à souder 5 et 6),
 $U = 22500$ V (tension d'accélération),
 $U_0 = 0,2$ V (tension aux bornes du système de déflexion
 15 12 du canon 8).

On a ainsi :

$$A = \frac{1 \cdot 15 \cdot 9000 \cdot 50 \cdot 0,2}{45 \cdot 1000 \cdot 150} = 0,2.$$

$$A = 0,2 \text{ mm.}$$

- 20 On calcule ensuite l'angle α entre la direction
 des oscillations transversales du faisceau 15 et la direction
 de déplacement du joint 16, d'après la formule :

$$\alpha = \arctg \frac{4Af}{V} = \arctg \frac{4 \cdot 0,2 \cdot 15}{5} \approx 67^\circ 22'$$

- 25 En tournant le système de déflexion 12, on règle
 l'angle α à $67,5^\circ$ à l'aide de l'échelle 13 et des indi-
 cateurs 11 et 14 de lecture de la lentille de focalisation
 10 et du système de déflexion 12.

Le soudage a été effectué au régime suivant :

- 30 $U = 22,5$ kV et $I = 56$ mA.

L'étude de la structure et des propriétés du métal de la soudure obtenue par le procédé selon l'invention a démontré que, comparé aux procédés existants, le procédé selon l'invention permet d'obtenir des soudures d'une haute
5 étanchéité et d'une haute résistance mécanique, avec une profondeur de fusion supérieure à 2 mm. On n'a constaté aucun défaut dans la soudure, la résistance de la soudure à l'essai de rupture a été de 294 à 392 MPa ou 30 à 40 kgf/mm². La rupture des métaux essayés s'est produite
10 dans le métal de plus faible résistance mécanique.

En outre, le procédé conforme à l'invention permet d'augmenter la gamme des métaux à souder, qui peuvent comprendre des composants facilement vaporisables (par exemple : Al, Mn, Sn).

15 Bien entendu, l'invention n'est nullement limitée aux modes de réalisation décrits et représentés qui n'ont été donnés qu'à titre d'exemple. En particulier, elle comprend tous les moyens constituant des équivalents techniques des moyens décrits, ainsi que leurs combinaisons,
20 si celles-ci sont exécutées suivant son esprit et mises en oeuvre dans le cadre de la protection comme revendiquée.

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

1 - Procédé de soudage électronique de métaux de natures différentes par déplacement du joint à souder desdits métaux et par action d'un faisceau électronique effectuant, par rapport au joint à souder, des oscillations transversales d'amplitude et de fréquence déterminées, caractérisé en ce que le plan de déplacement du joint à souder et le plan des oscillations transversales du faisceau électronique sont disposés, l'un par rapport à l'autre, sous un angle

$$\alpha = \text{arc tg } \frac{4A \cdot f}{V},$$

où A est l'amplitude des oscillations transversales du faisceau électronique par rapport au joint à souder (mm) ;
f est la fréquence des oscillations transversales du faisceau électronique par rapport au joint à souder (1/s) ;
V est la vitesse de déplacement du joint à souder (mm/s).

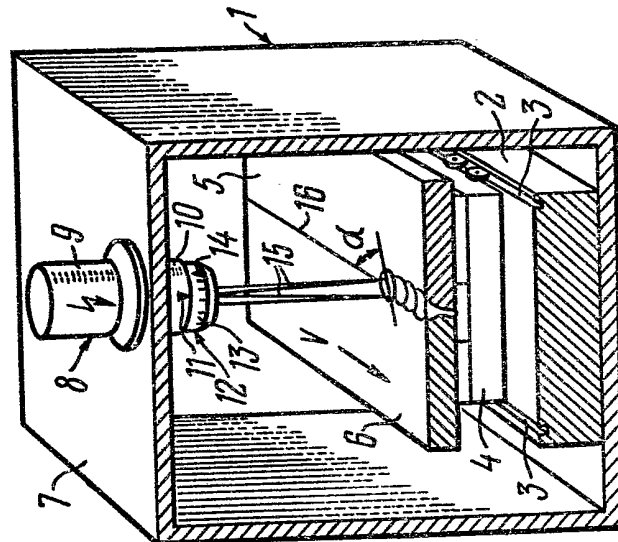
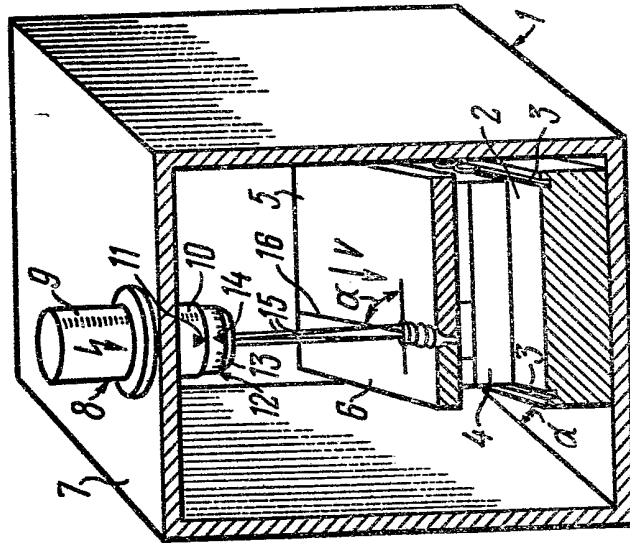
2 - Procédé de soudage électronique suivant la revendication 1, caractérisé en ce que la position relative du plan de mouvement du joint à souder et du plan des oscillations transversales du faisceau électronique sous un angle α est obtenue en déplaçant dudit angle α le plan des oscillations transversales du faisceau électronique.

3 - Procédé de soudage suivant la revendication 1, caractérisé en ce que la position relative sous un angle α du plan de mouvement du joint à souder et du plan des oscillations transversales du faisceau électronique est obtenue en déplaçant dudit angle α le plan de mouvement du joint à souder.

4 - Procédé de soudage suivant la revendication 1, caractérisé en ce que la position relative sous un angle α du plan de mouvement du joint à souder et du plan des oscillations transversales du faisceau électronique est

obtenue en déplaçant le plan des oscillations transversales du faisceau électronique et en déplaçant en même temps angulairement le plan de mouvement du joint à souder, chacun d'un angle respectif tel, que l'angle résultant
5 soit égal à l'angle α voulu.

5 - Pièces ou assemblages soudés caractérisés en ce qu'ils sont obtenus par soudage conformément au procédé suivant l'une des revendications 1, 2, 3 et 4.



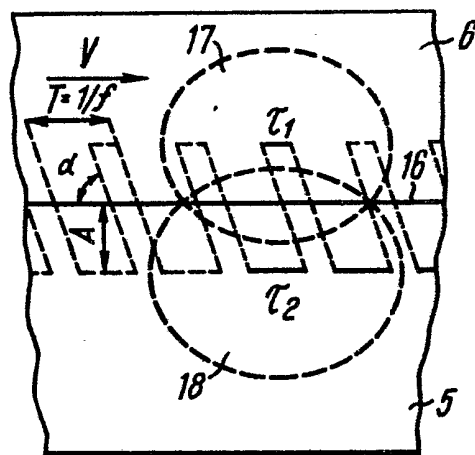


FIG. 3

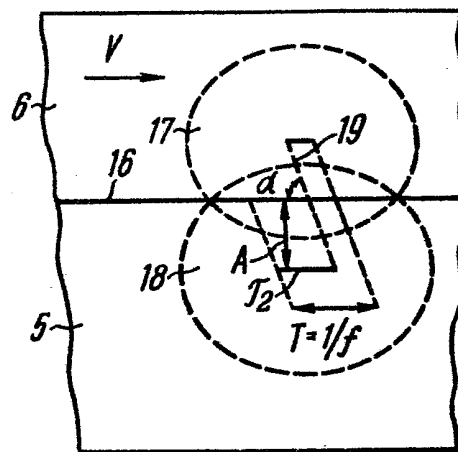


FIG. 4