

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :
(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

2 477 451

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 80 05252

(54)

Procédé et dispositif pour faciliter la soudure.

(51)

Classification internationale (Int. Cl. ³). B 23 K 37/06.

(22)

Date de dépôt 7 mars 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° 37 du 11-9-1981.

(71)

Déposant : AGENCE NATIONALE DE VALORISATION DE LA RECHERCHE (ANVAR), résidant
en France.

(72)

Invention de : Jean-Marc Biasse et Marcel Garnier.

(73)

Titulaire : *Idem* (71)

(74)

Mandataire : Cabinet Plasseraud,
84, rue d'Amsterdam, 75009 Paris.

"Procédé et dispositif pour faciliter la soudure"

La présente invention concerne la soudure, notamment la soudure à l'arc électrique, mettant en oeuvre un métal d'apport destiné à former un cordon de soudure entre les parties à souder de deux pièces à assembler par soudage.

On sait que la soudure "à plat" par dessus de deux pièces sensiblement horizontales ne pose guère de problèmes à l'heure actuelle, car la pesanteur favorise dans ce cas le dépôt du métal d'apport et donc la formation du cordon de soudure réalisant l'assemblage correct des deux pièces; par contre la soudure "en position" de pièces peu accessibles ou sensiblement verticales ou bien disposées en surplomb se heurte à de nombreuses difficultés, car la pesanteur, au lieu de plaquer le métal d'apport fondu dans l'espace prévu à cet effet entre les pièces à souder, tend plutôt à l'écarter de cet espace et à le faire retomber, ce qui peut être gênant pour l'ouvrier soudeur.

La présente invention vise à pallier ces difficultés en canalisant le métal d'apport fondu afin de l'appliquer contre les parties à souder de deux pièces à assembler par soudage.

La demande de brevet français n° 2.403.861, déposée le 21 septembre 1977 et mise à la disposition du public le 20 avril 1979, décrit un procédé et un dispositif pour faciliter de telles soudures peu accessibles, verticales ou en surplomb, caractérisés par le fait - en ce qui concerne le procédé - qu'on crée un champ de forces électromagnétiques dirigé vers la zone de réception du métal d'apport disposé entre les parties à souder, ce champ agissant sur le métal d'apport fondu, et - en ce qui concerne le dispositif - qu'on met en oeuvre un inducteur comportant au moins deux conducteurs électriques sensiblement rectilignes et parallèles reliés en série, le plan ou les plans de ces conducteurs étant parallèles à la surface libre des pièces à souder.

Ce procédé et ce dispositif connus ne donnent pas toute satisfaction car ils ne maintiennent pas parfaitement en po-

sition le cordon de soudure pour les raisons qui vont être maintenant exposées.

Le principe sur lequel est basé le procédé et le dispositif de la demande de brevet français n° 2.403.861, comme la présente demande, est le suivant : toute pièce métallique placée au voisinage d'un conducteur parcouru par un courant alternatif est soumise à des variations de flux engendrées par le champ magnétique produit par le conducteur. Ces variations de flux sont à l'origine de la création, dans la pièce métallique, de courants électriques induits de géométrie et de phase telles qu'ils s'opposent aux variations de flux qui leur ont donné naissance. L'interaction de ces courants induits avec le champ magnétique engendré par le conducteur produit une force électromagnétique ou force de Laplace, toujours dirigée dans un sens tel qu'elle tende à éloigner la pièce métallique du conducteur. Un champ de force répulsif peut ainsi être créé dans la partie liquide d'un cordon de soudure par un système de conducteurs alimentés en courant alternatif pour favoriser le dépôt de ce cordon dans quelque position que ce soit des pièces à souder.

On notera en outre que les courants induits produisent de la chaleur par effet Joule non seulement dans le cordon de soudure, mais également au voisinage de celui-ci, dans les pièces à souder, ce qui réalise un préchauffage des pièces à souder qui est avantageux.

Pour maintenir à l'encontre de la pesanteur le cordon de soudure liquide, il faut créer sur chaque élément de la surface libre du cordon un système de forces capables d'équilibrer le poids de la colonne de liquide qui surmonte cet élément de surface.

L'équilibre que l'on désire réaliser doit être stable : c'est-à-dire que toute perturbation de la surface libre du cordon liquide doit être rapidement amortie et tout écart de la position d'équilibre initiale doit être suivi d'un retour à cette position.

Il faudrait donc engendrer un système de forces de rappel qui assure la stabilité de l'équilibre. Le procédé et le dispositif selon la demande de brevet précitée ne réalisent pas une telle stabilité, alors que le procédé et le

dispositif selon l'invention la réalise.

En effet, lorsqu'on considère a priori les solutions possibles pour constituer des moyens aptes à engendrer un champ de forces de Laplace, on peut réaliser ces moyens
5 sous la forme d'un inducteur électrique constitué de différentes manières.

1°- On peut tout d'abord penser à la réalisation la plus simple et à constituer l'inducteur au moyen d'un seul conducteur parcouru par un courant électrique alternatif
10 d'intensité suffisante et placé sous le cordon de soudure et qui engendre une pression d'origine électromagnétique très forte sur l'axe du cordon de soudure et beaucoup plus faible sur les bords du cordon par où celui-ci finit par s'écouler. Cette solution, qui présente l'avantage de la simplicité,
15 ne convient donc pas.

2°- On peut penser à mettre en oeuvre non pas un seul conducteur, mais un système de deux conducteurs parallèles entre eux, situés symétriquement de part et d'autre de l'axe du cordon de soudure et parcourus par des courants alternatifs de même intensité circulant à chaque instant dans le même sens. Cependant un tel système est tout à fait incapable de faire apparaître des forces de rappel et conduit à un équilibre instable. Ce résultat demeure vrai si l'on multiplie le nombre de conducteurs. On voit que cette solution ne
25 convient pas elle non plus.

3°- Si on constitue l'inducteur au moyen de deux conducteurs parallèles entre eux, situés symétriquement de part et d'autre de l'axe du cordon de soudure, parcourus par des courants électriques de même intensité, circulant à chaque
30 instant en sens contraire, un tel inducteur ("trou de potentiel") engendre par symétrie un champ magnétique nul sur l'axe du cordon de soudure et par conséquent une zone de pression électromagnétique nulle où rien ne peut s'opposer à l'écoulement du métal fondu.

35 On constate qu'avec un tel système il subsiste toujours une région où le cordon de soudure ne peut être maintenu en place contre la gravité, même si l'on met en oeuvre une intensité électrique très grande (par exemple supérieure à 2500 ampères). On notera que les forces de tension superfici-

cielle, dont l'action n'est importante que lorsque le rayon de courbure local de la surface libre est faible, sont toujours insuffisantes pour pallier la défaillance du champ magnétique. L'existence de forces de rappel provient de l'augmentation rapide de la pression magnétique lorsque la distance entre l'axe d'un des deux conducteurs et celui du cordon de soudure diminue. De ce fait, si l'on empile plusieurs paires de conducteurs dans des plans successifs parallèles à celui des pièces à souder et de plus en plus éloignés du plan de ces pièces, l'efficacité des paires supplémentaires diminue et en tout cas on n'élimine pas la singularité du champ magnétique nul. On voit, dans ces conditions, que le procédé et le dispositif selon la demande de brevet n° 2.403.861, qui comprend soit une paire de conducteurs connectés en série de manière à être parcourus par des courants en sens inverses, soit plusieurs paires de tels conducteurs, chaque paire étant disposée dans un plan différent parallèle au plan de la surface libre des pièces à souder, comporte une singularité du champ magnétique et de ce fait n'assure pas la stabilité désirée de l'équilibre entre les forces magnétiques, d'une part, et les forces de gravité, d'autre part, équilibre nécessaire pour maintenir parfaitement en position le cordon de soudure à l'état liquide.

En résumé, les trois solutions qui viennent d'être envisagées - et dont la dernière correspond au cas de la demande de brevet français précitée - ne permettent pas d'assurer un maintien correct en position du cordon de soudure.

L'invention a pour objet un procédé et un dispositif qui, contrairement aux solutions envisagées ci-dessus, permettent d'assurer un tel maintien.

L'invention est basée sur la mise en oeuvre d'au moins deux systèmes de deux conducteurs parallèles, les conducteurs de chaque système étant parcourus par des courants de sens contraires, ces deux systèmes n'étant pas, comme dans la demande de brevet précitée, disposés dans deux plans situés à des distances différentes de la surface libre des pièces à souder mais au contraire dans le même plan parallèle à cette surface libre.

En effet, comme exposé ci-dessus, un inducteur constitué de deux conducteurs parallèles parcourus par des courants de sens contraires présente l'avantage de faire apparaître un système de forces de rappel, mais l'inconvénient de produire une singularité de pression nulle. L'invention permet de faire disparaître ces singularités en superposant à une première courbe de pression qui présente une telle singularité une seconde courbe identique à cette première courbe, mais décalée par rapport à elle. La pression résultante est la somme de chacune des deux pressions élémentaires et la singularité disparaît. Il est cependant essentiel de remarquer qu'il ne s'agit pas d'associer à un premier système de deux conducteurs un second système de conducteurs semblable au premier, mais décalé par rapport à lui, en alimentant les deux inducteurs en phase ou en opposition de phase (comme c'est le cas dans la demande de brevet précitée), car la pression magnétique résultante n'est pas la somme des pressions magnétiques engendrées par chacun des systèmes pris isolément; en effet, le champ magnétique produit par un système réagit non seulement avec ses propres courants mais aussi avec les courants induits par l'autre système. Ainsi les effets mécaniques se composent mais ne se superposent pas et la singularité de pression nulle subsiste.

Pour obtenir l'addition cherchée des effets mécaniques produits par chaque système de deux conducteurs, pris isolément, il suffit de faire en sorte que pour le métal liquide tout se passe comme si le champ magnétique de chaque système ne réagissait qu'avec ses propres courants induits. Pour ce faire, il convient de choisir les caractéristiques des courants électriques inducteurs de telle façon que l'interaction d'un des deux champs magnétiques avec les courants induits produits par l'autre donne une force variable, de moyenne nulle dans le temps et de fréquence suffisamment élevée pour que le métal liquide ne puisse la suivre à cause de son inertie.

L'invention a donc pour objet tout d'abord un procédé pour faciliter la soudure en appliquant le métal d'apport contre les parties à souder, qui consiste à créer dans la zone du cordon de soudure constitué par le métal d'apport,

un champ de forces électromagnétiques tendant à maintenir en position le métal d'apport liquide et qui est caractérisé par le fait que ces forces électromagnétiques sont engendrées par des courants électriques inducteurs produisant deux
5 champs magnétiques tels que l'interaction de l'un des deux champs magnétiques avec les courants induits engendrés par l'autre champ magnétique donne naissance à une force de moyenne nulle dans le temps et qui varie à une fréquence suffisamment élevée pour que le métal liquide ne puisse la
10 suivre à cause de son inertie.

L'invention a également pour objet un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé susvisé comportant un inducteur constitué par deux systèmes de deux conducteurs, les deux conducteurs de chaque système étant alimentés par des cou-
15 rants alternatifs dirigés en sens inverses, caractérisé par le fait que les deux systèmes de conducteurs sont disposés sensiblement dans un même plan sensiblement parallèle à la surface libre des pièces à souder, les courants électriques parcourant les deux systèmes de conducteurs étant tels que
20 l'interaction du champ magnétique produit par un des systèmes avec les courants induits engendrés par le champ magnétique produit par l'autre système donne naissance à une force variable, de moyenne nulle dans le temps et de fréquence suffisamment élevée pour que le métal liquide ne
25 puisse la suivre à cause de son inertie.

Le procédé et le dispositif selon l'invention peuvent être mis en oeuvre de deux manières différentes :

a) L'un des deux systèmes de deux conducteurs est alimenté par un courant alternatif de même intensité I et de
30 même fréquence f que le courant alternatif parcourant l'autre système, mais présentant, par rapport à lui, une différence de phase de l'ordre de 90° . Alors l'interaction de l'un des champs magnétiques avec les courants induits engendrés par l'autre champ donne une force de moyenne nulle pulsant à la
35 fréquence $2f$ que le métal ne ressent pas (si f est suffisamment élevé). Plus aucune singularité n'existe dans ce cas et la superposition des effets mécaniques de chaque système est obtenue. Les meilleurs résultats sont obtenus lorsque la différence de phase est égale à 90° , mais l'on

obtient des résultats encore satisfaisants lorsque cette différence de phase est quelque peu différente de 90° .

b) La deuxième solution consiste à faire parcourir les deux systèmes de conducteurs par des courants électriques de même intensité, mais de fréquence f_1 et f_2 différentes. La phase de chacun des courants peut être choisie de façon absolument quelconque. Dans ce cas l'interaction d'un champ magnétique avec les courants induits engendrés par l'autre donne un ensemble de deux forces de moyenne nulle pulsant à la fréquence $(f_1 + f_2)$ pour la première et à la fréquence $|f_1 - f_2|$ pour la seconde. Pourvu que la fréquence $|f_1 - f_2|$ soit suffisamment élevée (condition précisée plus loin), le métal ne ressentira pas l'action de telles forces et l'effet de superposition recherché sera de nouveau obtenu. Dans ce cas la pression magnétique engendrée est identique en tous points à celle engendrée par le même inducteur à deux systèmes de deux conducteurs alimenté par des courants déphasés de 90° .

L'invention pourra, de toute façon, être bien comprise à l'aide du complément de description qui suit, ainsi que des dessins ci-annexés, lesquels complément et dessins sont, bien entendu, donnés surtout à titre d'indication.

La figure 1 représente schématiquement la disposition des deux systèmes de conducteurs constituant un dispositif selon l'invention.

Les figures 2 et 3 illustrent un mode de réalisation d'un tel dispositif mettant en oeuvre des tubes creux, la figure 2 montrant la répartition spatiale théorique du courant électrique et la figure 3 la répartition réelle.

La figure 4 illustre, partiellement et à plus grande échelle, la réalisation d'un de ces tubes creux.

La figure 5, enfin, représente un inducteur selon un mode de réalisation préféré à deux systèmes de conducteurs.

Selon l'invention, et plus spécialement selon celui de ses modes d'application, ainsi que selon ceux des modes de réalisation de ses diverses parties, auxquels il semble qu'il y ait lieu d'accorder la préférence, se proposant, par exemple, de réaliser un procédé et un dispositif pour faciliter la soudure en appliquant le métal d'apport contre les

parties à souder, on s'y prend comme suit ou d'une manière analogue.

On se réfère tout d'abord à la figure 1 sur laquelle on a représenté en 1 et 2 les deux pièces à souder dont les sur-
5 faces planes libres inférieures 1c et 2c respectivement sont horizontales, ce qui pose un problème lorsqu'on veut souder ces pièces au moyen d'un métal d'apport liquide disposé en 16 (zone hachurée horizontale) pour former le cordon de soudure, étant donné que du fait de la gravité dirigée, sur la figure 1, du haut vers le bas, le métal
10 d'apport en fusion a tendance à tomber.

Conformément à l'invention, on dispose deux systèmes de conducteurs 3, 4, d'une part, et 5, 6, d'autre part, les deux conducteurs 3, 4 ou 5, 6 de la même paire étant parcourus
15 par des courants de même intensité mais dirigés en sens inverse, chaque paire 3, 4 ou 5, 6 formant donc un système qui crée un champ magnétique nul le long d'une ligne correspondant à l'intersection du plan des pièces à souder avec le plan de symétrie de chaque paire de conducteurs (de traces
20 respectives XX pour le système 3, 4 et YY pour le système 5, 6).

Par superposition des deux champs magnétiques engendrés par les deux systèmes on arrive à faire apparaître un maximum de pression sur l'axe ZZ du cordon de soudure avec
25 disparition des singularités. Il faut en outre réaliser une certaine condition en ce qui concerne les caractéristiques des courants électriques qui parcourent les deux inducteurs: il faut que ceux-ci soient tels que l'interaction du champ magnétique produit par l'un des inducteurs avec les courants
30 induits engendrés par le champ magnétique produit par l'autre inducteur donne naissance à une force électromagnétique de moyenne nulle dans le temps mais qui varie à une fréquence suffisamment élevée pour que le métal liquide en 16 ne puisse la suivre à cause de son inertie.

35 Comme indiqué dans le préambule, deux solutions sont possibles.

a) Les courants alternatifs qui parcourent en série les conducteurs 3 et 4, d'une part, et 5 et 6, d'autre part, ont même intensité I et même fréquence f, mais ils sont déphasés

d'un angle de phase de l'ordre de 90° , et de préférence sensiblement égal à 90° .

En appelant ϕ l'angle de déphasage, b la distance entre le centre de chacun des conducteurs 4 et 5 à l'axe ZZ du futur cordon de soudure et $2a$ la distance entre le centre du conducteur 6 et le centre du conducteur 5 (ou entre le centre du conducteur 3 et le centre du conducteur 4), la pression magnétique P_m à une distance x de l'axe Z est

$$P_m = \frac{\mu_0 I^2}{\pi^2 h^2} \left\{ \frac{1}{2} \left[\frac{1}{(\eta - 2\alpha + \beta)^2 + 1} - \frac{1}{(\eta + \beta)^2 + 1} \right]^2 + \frac{1}{2} \left[\frac{1}{(\eta + 2\alpha - \beta)^2 + 1} - \frac{1}{(\eta - \beta)^2 + 1} \right]^2 - \left[\frac{1}{(\eta - 2\alpha + \beta)^2 + 1} - \frac{1}{(\eta + \beta)^2 + 1} \right] \left[\frac{1}{(\eta + 2\alpha - \beta)^2 + 1} - \frac{1}{(\eta - \beta)^2 + 1} \right] \cos \phi \right\} \quad (1)$$

avec $\alpha = \frac{a}{h}$, $\beta = \frac{b}{h}$, $\eta = \frac{x}{h}$, μ_0 la perméabilité magnétique du vide, h la distance de l'inducteur aux pièces à souder.

On voit que l'angle ϕ n'a pas besoin d'être égal à 90° , mais que par contre la valeur de 90° est la plus avantageuse, car pour cette valeur $\cos \phi$ est égal à 0 et donc P_m est maximal. On notera également qu'il n'est pas absolument indispensable que les intensités des courants traversant en série les conducteurs 3 et 4 et les conducteurs 5 et 6 soient identiques. L'essentiel est que la courbe de pression donnant la variation de P_m en fonction de x reste en tout point de la zone 16 au-dessus de la droite caractérisant la pression hydrostatique qui est égale à $\rho g H$, avec ρ la masse volumique du métal d'apport de la zone 16, g l'accélération de la pesanteur et H la hauteur ou épaisseur du cordon de soudure. On doit donc avoir, pour tout x compris entre $-d_1$ et $+d_2$: $P_m(x) > \rho g H$, $P_m(x)$ étant donné par la formule 1 ci-dessus et d_1 et d_2 étant représentés sur la figure 1 (distances entre les extrémités de la masse 16 de métal d'apport liquide et l'axe ZZ).

b) On fait parcourir les deux systèmes de deux conducteurs par des courants électriques de même intensité, mais de fréquences f_1 et f_2 différentes.

Dans ce cas on peut choisir de façon quelconque le déphasage entre les deux courants, mais une condition par-

ticulière doit être respectée en ce qui concerne les fréquences f_1 et f_2 étant donné que l'interaction du champ magnétique produit par l'un des inducteurs avec des courants induits engendrés par le champ magnétique produit par l'autre inducteur donne naissance à un ensemble de deux forces de moyenne nulle variant à la fréquence $(f_1 + f_2)$ pour l'une des deux forces^{et} à la fréquence $|f_1 - f_2|$ pour l'autre force; la condition porte sur la fréquence la plus basse de ces deux fréquences, à savoir la fréquence $|f_1 - f_2|$, qui doit être

10 suffisamment élevée pour que le métal d'apport dans la zone 16 ne ressente pas l'action de ces deux forces; de ce fait l'effet de superposition désiré des deux champs sera obtenu et la pression magnétique engendrée sera identique en tous points à celle engendrée dans le cas a. (les deux inducteurs

15 3, 4 et 5, 6 étant alimentés par des courants déphasés d'environ 90°).

On va préciser maintenant l'ordre de grandeur des fréquences d'alimentation de l'inducteur dans les deux cas a et b précités.

20 a) La fréquence unique d'alimentation des deux paires de conducteurs 3, 4 et 5, 6 de l'inducteur doit être supérieure à une fréquence minimum f_{mini} correspondant à une profondeur de pénétration du champ magnétique, et des courants induits qui l'accompagnent, égale à l'épaisseur du

25 cordon de soudure liquide. Toute fréquence inférieure conduirait à induire des courants dans la partie solide du cordon de soudure ou dans les pièces à souder, donc à une dépense de puissance inutile dans une région où il n'est pas utile de produire des effets mécaniques. La fréquence mini-

30 male est définie par

$$f_{\text{mini}} = \frac{1}{4 \cdot 10^{-6} \sigma H^2}$$

où σ représente la conductivité du métal d'apport formant le cordon de soudure d'épaisseur H (ces grandeurs étant exprimées en unités S.I.).

35 b) Dans le cas de deux paires de conducteurs 3, 4 et 5, 6 alimentées avec deux fréquences différentes, la fréquence la plus petite devra vérifier cette condition.

Quelle que soit la nature du métal d'apport, compte

tenu des températures de soudage, l'ordre de grandeur de f_{mini} est toujours le kilohertz. Ceci justifie de négliger les effets produits dans le cordon de soudure par les forces pulsant à deux fois la fréquence d'alimentation dans le cas de l'inducteur alimenté en courants déphasés. Dans le cas de l'inducteur alimenté avec deux fréquences différentes, la fréquence la plus faible f_1 doit être telle que $f_1 > f_{\text{mini}}$ et la fréquence f_2 doit être telle que la différence $f_0 = f_2 - f_1$ soit suffisamment élevée pour que les forces pulsant à la fréquence f_0 soient sans effet sur le métal liquide ($f_0 = f_2 - f_1 \sim 1$ kilohertz).

Par contre, il n'y a aucune limite supérieure à la fréquence d'alimentation en ce qui concerne le dispositif lui-même. Seules des considérations d'ordre économique ou technologiques liées par exemple au générateur alimentant les inducteurs définis plus haut, peuvent imposer un maximum.

Sur la figure 1 on a représenté schématiquement les quatre conducteurs 3 et 4 formant la première paire de conducteurs et 5 et 6 formant la seconde paire de conducteurs. Il est avantageux de réaliser chacun de ces quatre conducteurs au moyen d'un tube creux (par exemple au moyen d'un tube en cuivre ou en un autre métal bon conducteur de l'électricité et de la chaleur), afin de permettre la circulation à l'intérieur du conducteur d'un fluide de refroidissement qui est en fait indispensable étant donné l'importance de l'énergie calorifique libérée par l'effet Joule dans les conducteurs.

L'existence de forces de rappel, qui se traduit, pour une intensité donnée, par une rapide décroissance de la pression magnétique engendrée par l'inducteur lorsque ce dernier s'éloigne du plan des plaques à souder, conduit à placer l'inducteur aussi près que possible du cordon de soudure et à faire en sorte que dans les conducteurs les courants électriques empruntent le chemin le plus favorable, c'est-à-dire circulent, eux aussi, le plus près possible des plaques à souder. Des précautions doivent être prises pour qu'il en soit ainsi puisque, pour des raisons physiques que l'on va préciser ci-dessous, les courants électriques ont une tendance naturelle à emprunter le chemin qui les éloigne

le plus des plaques à souder. Pour comprendre ce fait, il suffit de se reporter au principe même du procédé selon l'invention, à savoir la possibilité de créer une force de répulsion entre un inducteur parcouru par un courant alternatif et une plaque métallique parcourue par des courants induits en opposition de phase avec les courants inducteurs. Cette force de répulsion qui résulte de l'interaction courant électrique - champ magnétique apparaît de la même façon entre deux conducteurs parcourus par des courants alternatifs en opposition de phase. Ainsi deux conducteurs libres parcourus par de tels courants auront tendance à s'éloigner l'un de l'autre; si les conducteurs sont fixes, cet effet mécanique existera quand même et se répercutera sur les courants électriques eux-mêmes : il aura pour effet de forcer les courants électriques à cheminer dans chacun des conducteurs aussi loin que possible l'un de l'autre.

Cet effet, que l'on peut qualifier "d'effet de proximité", qui se produit à cause du voisinage des conducteurs, se trouve encore accentué dans le cas de notre inducteur par la présence des plaques à souder et du cordon de soudure. En effet, vis-à-vis du champ magnétique, à cause de la fréquence des courants inducteurs et de l'effet de peau qui en résulte, l'ensemble plaque à souder - cordon de soudure se comporte comme un véritable "miroir magnétique" qui a tendance à "réfléchir" le champ magnétique. Ainsi le champ magnétique créé par un conducteur, parcouru par un courant alternatif, situé au voisinage d'une plaque métallique, est exactement la résultante du champ magnétique de ce conducteur, considéré comme seul dans l'espace, et du champ magnétique de son "image" par rapport à la plaque : conducteur symétrique du premier par rapport à la surface de la plaque métallique, parcouru par un courant alternatif en opposition de phase avec celui circulant dans le conducteur initial. A cause de la différence de phase qui existe entre les courants qui les parcourent, un conducteur et son image sont donc sujets à l'effet de proximité. La figure 2 montre qualitativement l'effet produit sur les courants électriques parcourant un inducteur de type "trou de potentiel" placé au voisinage d'une plaque métallique. Cet effet répulsif qui

revient à augmenter artificiellement la distance h entre l'inducteur et les plaques à souder est tout à fait néfaste dans le cas présent puisqu'il oblige à augmenter l'intensité des courants dans l'inducteur, par rapport à l'intensité théorique, ce qui conduit à une dépense de puissance surabondante.

Sur les figures 2 et 3 on a représenté deux conducteurs (par exemple 3 et 5 de la figure 1) sous la forme de conducteurs creux 3a, 5a de section rectangulaire comportant un canal de refroidissement interne 7; ces conducteurs 3a et 5a sont disposés en regard de la pièce 1. Sur la figure 2 on a illustré la peau électromagnétique 8 (répartition spatiale théorique du courant électrique) et sur la figure 3 la distribution réelle des courants qui se rassemblent en 9 dans les parties les plus éloignées des pièces à souder et le plus loin possible du courant du conducteur voisin.

Il est évidemment avantageux de contraindre les courants électriques à circuler le plus près possible des pièces 1 et 2 à souder. A cet effet on peut constituer un tube conducteur, comme illustré sur la figure 4 sur laquelle on voit que le conducteur 6b a été partiellement sectionné, le métal enlevé ayant été remplacé par une matière isolante, comme illustré en 10, séparant des zones conductrices 11 et assurant, de manière étanche, le passage du fluide de refroidissement. Dans ce cas les lignes de courant ont la forme illustrée en 12. Le fluide de refroidissement circule en 13. Cette construction supprime l'influence néfaste de "l'effet de proximité" et permet donc de réduire l'intensité des courants dans chaque conducteur en ramenant sa valeur à la valeur théorique.

Enfin sur la figure 5 on a illustré un mode de réalisation pratique de l'inducteur comportant les deux paires de conducteurs 3b, 4b et 5b, 6b. Ces conducteurs sont creux et de section rectangulaire aplatie. On aperçoit les zones isolantes 11 séparant les zones conductrices 10. La baguette de soudure 14 traverse un évidement cylindrique 15 ménagé dans l'inducteur, les différents conducteurs creux 3b, 4b, 5b, 6b contournant la baguette 14.

Conformément à l'invention, les deux paires de conduc-

teurs 3b, 4b et 5b, 6b sont alimentés par des courants électriques ayant les caractéristiques mentionnées ci-dessus, les sens des courants, à un instant donné, étant illustrés sur la figure 5 par des flèches (en traits pleins pour l'un 5 des courants électriques et en traits interrompus pour l'autre) et un fluide de refroidissement circulant à travers les canaux ménagés dans les conducteurs qui sont réalisés avantageusement en cuivre.

Comme il va de soi, et comme il résulte d'ailleurs déjà 10 de ce qui précède, l'invention ne se limite nullement à ceux de ses modes d'application et de réalisation qui ont été plus spécialement envisagés; elle en embrasse, au contraire, toutes les variantes.

REVENDICATIONS

1. Procédé pour faciliter la soudure en appliquant le métal d'apport contre les parties à souder, qui consiste à créer, dans la zone du cordon de soudure constitué par le
5 métal d'apport, un champ de forces électromagnétiques tendant à maintenir en position le métal d'apport liquide et qui est caractérisé par le fait que ces forces électromagnétiques sont engendrées par des courants électriques inducteurs produisant deux champs magnétiques tels que l'in-
10 téraction de l'un des deux champs magnétiques avec les courants induits engendrés par l'autre champ magnétique donne naissance à une force variable, de moyenne nulle dans le temps et qui varie à une fréquence suffisamment élevée pour que le métal liquide ne puisse la suivre à cause de son
15 inertie.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que les courants électriques inducteurs produisant les deux champs magnétiques sont des courants électriques ayant sensiblement même intensité et même fréquence, mais sont
20 déphasés de l'ordre de 90° , la fréquence étant supérieure à $\frac{1}{4 \cdot 10^{-6} \sigma H^2}$, où σ représente la conductivité du métal d'apport formant le cordon de soudure d'épaisseur H (σ et H étant exprimées en unités S.I.).

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le
25 fait que lesdits courants électriques produisant les deux champs magnétiques sont sensiblement de même intensité, mais présentent des fréquences différentes, la différence des fréquences étant supérieure à 1.000 hertz.

4. Dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon
30 la revendication 1 comportant un inducteur constitué par deux systèmes de deux conducteurs, les deux conducteurs de chaque système étant alimentés par des courants alternatifs dirigés en sens inverses, caractérisé par le fait que les deux systèmes de conducteurs sont disposés sensiblement dans
35 un même plan sensiblement parallèle à la surface libre des pièces à souder, les courants électriques parcourant les deux systèmes de conducteurs étant tels que l'interaction du champ magnétique produit par un des systèmes avec les courants induits engendrés par le champ magnétique produit par

l'autre système donne naissance à une force variable, de moyenne nulle dans le temps et de fréquence suffisamment élevée pour que le métal liquide ne puisse la suivre à cause de son inertie.

5 5. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé par le fait que les courants électriques parcourant les deux systèmes de conducteurs ont sensiblement même intensité et même fréquence, mais sont déphasés de l'ordre de 90°, la fréquence étant supérieure à $\frac{1}{4 \cdot 10^{-6} \sigma H^2}$, où σ représente la
10 conductivité du métal d'apport formant le cordon de soudure d'épaisseur H (σ et H étant exprimées en unités S.I.).

6. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé par le fait que les courants électriques parcourant les deux systèmes de conducteurs ont sensiblement même intensité,
15 mais présentent des fréquences différentes, la différence des fréquences étant supérieure à 1.000 hertz.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, caractérisé par le fait que les conducteurs sont des conducteurs tubulaires, réalisés en un métal bon conducteur
20 de l'électricité et de la chaleur, à travers lesquels on fait circuler un fluide de refroidissement.

8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé par le fait que les conducteurs tubulaires ont une section sensiblement rectangulaire.

25 9. Dispositif selon la revendication 7 ou 8, caractérisé par le fait que les conducteurs tubulaires présentent en regard des pièces à souder une série de zones en matière isolante remplaçant la matière conductrice, disposées sensiblement perpendiculairement à la surface libre des pièces
30 à souder.

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, caractérisé par le fait que les éléments tubulaires de chaque système ont sensiblement la forme d'épingles à cheveux qui sont entrelacées dans la portion active, les
35 éléments tubulaires s'écartant vers l'extérieur dans le centre de leur zone active de manière à former un évidement cylindrique destiné à recevoir la baguette de soudure fournissant le métal d'apport.



