

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 80 24215

(54)

Procédé de soudage électronique et dispositif pour sa mise en œuvre.

(51)

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

(22)

Date de dépôt..... 14 novembre 1980.

(33) (32) (31)

Priorité revendiquée : URSS, 19 juin 1980, n° 2932149.

(41)

Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 52 du 24-12-1981.

(71)

Déposant : INSTITUT ELEKTROSVARKI IMENI E.O. PATONA AKADEMII NAUK UKRAINSKOI
SSR, résidant en URSS.

(72)

Invention de : V. K. Lebedev, O. K. Nazarenko, V. E. Lokshin, V. I. Tashlai, J. G. Kaminsky, B.
N. Ponomarev, V. D. Schelyagin, M. I. Tregubov, V. D. Zabolotny, I. S. Libman, E. G.
Shvarts, V. V. Galushka et V. E. Ginzburg.

(73)

Titulaire : *Idem* (71)

(74)

Mandataire : Cabinet Lavoix,
2, place d'Estienne-d'Orves, 75441 Paris Cedex 09.

La présente invention concerne un procédé et un dispositif pour le soudage électronique. Elle peut être utilisée avantageusement dans les constructions mécaniques pour le soudage de métaux, de préférence d'une épaisseur
5 supérieure à 3 mm avec un courant de soudage supérieur à 0,5 A.

Jusqu'à présent le problème de l'élimination des défauts dans les assemblages soudés dus au développement de claquages dans le canon à souder ainsi que celui de la
10 protection efficace de la source et du canon électronique à souder contre les claquages n'a pas été résolu de manière satisfaisante.

Le claquage dans le canon électronique se produit de la façon suivante. Lors du soudage électronique sous
15 vide les surfaces chauffées dégagent des gaz qui sont ionisés sous l'effet du champ à haute tension, et forment ainsi entre les électrodes du canon électronique, des décharges d'arc à faible résistance électrique. Les électrodes sont traversées par un courant de court-
20 circuit d'une valeur inadmissible qui maintient l'arc (processus anormal non stationnaire) et détruit les électrodes du canon électronique.

Dans un procédé connu, mis en oeuvre à l'aide d'un dispositif de soudage électronique (voir le certifi-
25 cat d'auteur de l'URSS n° 465844) on utilise, pour prévenir la formation de l'arc, une self à haute inductance dans le circuit primaire de la source d'alimentation. Ce procédé est peu efficace, car la self ne réagit qu'à la variation du courant au moment de l'apparition de
30 l'arc et ne réagit pas au processus stationnaire qui se déroule dans l'arc formé.

On connaît un procédé de soudage électronique dans lequel, en vue de prévenir le développement des processus d'arc dans l'espace accélérateur du canon
35 électronique à souder de puissance relativement faible et à courant allant jusqu'à 100 mA, le courant de la décharge d'arc est limité par le courant nominal du canon. La décharge d'arc est alors coupée arbitrairement.

Ce procédé est mis en oeuvre à l'aide d'un dispositif dans lequel la source d'alimentation à haute tension du canon électronique à souder est réalisé suivant le schéma d'une source de courant (voir par exemple le certificat d'auteur de l'URSS n° 204377).

Le procédé et le dispositif connus présentent l'inconvénient d'être peu efficaces dans le cas des installations dans lesquelles le courant du faisceau d'électrons est supérieur à 0,5 ou 1,0 A. Avec un tel courant du faisceau électronique relativement élevé, le processus d'arc dans l'intervalle accélérateur du canon à souder peut avoir une durée prolongée due au dégagement intense de gaz à partir des électrodes et du corps du canon.

On connaît également un procédé de soudage électronique (voir brevet japonais n° 48-27278) dans lequel, en vue de prévenir le développement des décharges d'arc, on coupe périodiquement l'irradiation des pièces à souder pour un laps de temps ne dépassant pas 25 ms. On coupe l'irradiation des pièces à souder, lorsque le courant de soudage atteint la valeur maximale (0,6 A), en coupant le courant dans le circuit d'alimentation du canon électronique à souder.

Il a été constaté expérimentalement par le Demandeur que pour des vitesses différentes de soudage, la coupure de l'irradiation des pièces à souder, même pour un laps de temps choisi dans la gamme indiquée, ne provoque pas l'effet désiré. Par exemple, si le temps de coupure est égal à 25 ms, la vitesse de soudage dépassant 20 m/h, on voit apparaître un défaut de l'assemblage soudé voire une pénétration incomplète. Pour ces mêmes vitesses, la durée de coupure de l'irradiation égale à 1-2 ms est insuffisante pour la création de l'isolation par le vide et lorsque la source d'alimentation est branchée, il y a un risque d'apparition d'un claquage, puis une coupure et de nouveau un claquage lors du branchement etc..., c'est-à-dire dans ce dernier cas on aura une série de claquages et de coupures et, il en résulte, l'érosion électrique des

électrodes du canon à souder, ainsi que des défauts dans la soudure, en particulier une pénétration incomplète.

On connaît un dispositif pour la mise en oeuvre de ce procédé (voir brevet japonais n° 48-27278), comportant
5 un circuit en série composé d'une source d'alimentation, d'un élément régulateur (sous forme d'une lampe électronique tétrode) et d'un canon électronique à souder, ainsi qu'un ensemble de réaction connecté à l'élément régulateur par l'intermédiaire d'un circuit de commande de ce dernier.
10 L'ensemble de réaction fournit un signal de commande lorsque la valeur du courant traversant la lampe dépasse 0,6 A. Ce signal attaque le circuit de commande qui fournit une impulsion de commande à la lampe pour couper le soudage pendant la durée de cette impulsion.

15 Ce dispositif présente une faible précision de réglage du courant de coupure du faisceau électronique et ne permet ni de stabiliser la tension ni de réduire les pulsations de celle-ci.

La précision de réglage du courant de coupure du
20 faisceau électronique est limitée par les facteurs suivants.

Premièrement, le dispositif donne lieu à une commande séparée du courant de coupure et du courant du canon électronique de sorte qu'il n'est pas possible de
25 maintenir avec une bonne précision les valeurs de consigne de ces courants.

Deuxièmement, on constate une faible sensibilité du circuit de réaction au signal désiré, car le circuit de réaction est parcouru, en plus du courant du canon
30 (signal désiré), par un courant de fuite capacitif dû à la capacité propre par rapport à la terre du transformateur à haute tension et du redresseur. Ce courant de fuite, dans le cas des sources d'une tension de 60 à 120 kV, peut avoir une intensité de plusieurs dizaines de milliampères
35 et, de ce fait, la précision obtenue ne peut pas dépasser les valeurs indiquées. Par ailleurs, le fait de shunter la résistance de réaction par une capacité conduit à une baisse de rapidité de fonctionnement du système.

Le dispositif connu présente une faible fiabilité du fait que la disposition d'un élément semi-conducteur dans le circuit cathodique de la lampe régulatrice, conduit à une défaillance de cet élément lors de la charge de la capacité de passage de la lampe au moment de son blocage rapide ce qui est surtout possible à une tension supérieure à 100 kV. Ce dernier phénomène s'explique par le fait que lors du blocage rapide de la lampe sa capacité de passage reçoit la tension totale de la source d'alimentation et le courant de charge de cette capacité passe par le circuit cathodique de la lampe. Sur les éléments du circuit cathodique apparaît une tension élevée qui provoque le claquage de la jonction du transistor. L'impulsion complémentaire sur la résistance de réaction, due au courant capacitif, exige une plus grande valeur de réglage de courant de coupure par rapport à la valeur nominale. Les processus décrits ci-dessus se déroulent également dans le cas de l'utilisation de la modulation par impulsions de tension.

L'invention vise un procédé et un dispositif de soudage électronique de pièces qui, grâce à la mise en correspondance de la durée de coupure de l'irradiation et des paramètres de soudage, permettent d'assurer une haute fiabilité du dispositif et d'obtenir un assemblage soudé sans défauts.

L'invention a donc pour objet un procédé de soudage électronique consistant à irradier des pièces à souder par un faisceau électronique à souder qui est coupé par coupure de la tension d'accélération lors du développement du processus non stationnaire anormal dans le canon électronique à souder, caractérisé en ce que l'on coupe l'irradiation au stade initial du processus non stationnaire anormal lorsque le courant nominal de faisceau électronique dudit canon est dépassé de 5 à 10% pendant un temps t proportionnel au rapport entre le diamètre d du faisceau électronique et la vitesse de soudage V , le temps t étant maintenu dans des limites de 0,1 à 0,15 d/V .

Ce procédé permet de choisir exactement le moment de

coupure de l'irradiation et la durée de cette coupure, ce qui permet d'une part de courir le risque d'apparition de défauts dans les assemblages soudés, défauts dus aux claquages dans le canon électronique et d'autre part
5 d'augmenter sensiblement la fiabilité du dispositif dans son ensemble.

L'invention a également pour objet un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé défini ci-dessus, ce dispositif comportant un circuit série composé d'une
10 source d'alimentation, d'un élément régulateur et d'un canon électronique à souder, ainsi qu'un ensemble de réaction connecté à l'élément régulateur par l'intermédiaire du circuit de commande de cet élément, et étant caractérisé en ce qu'il comprend un organe de commande du
15 courant de soudage, l'élément régulateur étant constitué par une lampe électronique à trois anodes, et l'ensemble de réaction par un diviseur de tension monté en parallèle avec le canon électronique, le circuit de commande de l'élément régulateur comportant une source de tension
20 réglable alimentant les électrodes de la lampe électronique à trois anodes, une résistance de réaction, un circuit de mise en forme des impulsions du courant de coupure du faisceau électronique, un interrupteur ou clé analogique, un découpleur et un amplificateur à
25 réaction, la sortie négative de la source de tension réglable, étant connectée, par l'intermédiaire de la résistance de réaction à la cathode de cette lampe, la sortie de l'ensemble de réaction étant connectée à l'entrée de l'amplificateur à réaction et du circuit de mise
30 en forme, les sorties de l'amplificateur à réaction et de la clé analogique étant branchées sur l'électrode de commande de ladite lampe électronique, l'entrée de la clé analogique étant connectée, par l'intermédiaire du découpleur, à la résistance de réaction et aux sorties
35 dudit circuit de mise en forme et de l'organe de commande du courant dont la deuxième sortie est connectée à l'électrode de commande du canon électronique à souder.

La commande automatique du courant de coupure du faisceau électronique et la commande programmée de la durée des impulsions de coupure dans ce dispositif permet d'assurer le soudage des pièces pour une soudure sans défauts, car le claquage dans le canon est coupé au stade initial et le processus de soudage est rapidement rétabli. Le dispositif permet également d'assurer la protection des électrodes du canon à souder contre la destruction due aux décharges puissantes. De plus, lors de la limitation du courant de décharge, il se produit un prévieillissement des électrodes du canon tandis que, sa rigidité diélectrique totale est augmentée. En outre, le dispositif assure la stabilisation de la tension d'accélération, la réduction des pulsations de la source d'alimentation et une protection efficace contre les surcharges et court-circuits.

L'invention sera mieux comprise et d'autres buts, détails et avantages de celle-ci apparaîtront mieux à la lumière de la description explicative qui va suivre de différents modes de réalisation donnés uniquement à titre d'exemples non limitatifs avec référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- la Fig. 1 représente une coupe macrographique de l'alliage d'aluminium AMC-6 ($V=50$ m/h; $I=250$ mA; $t=10$ à 200 ms) ;

- la Fig. 2 est une coupe macrographique d'un échantillon d'acier IXI8H9T ($V=50$ m/h; $I=200$ mA; $t=50$ à 300 ms);

- la Fig. 3 représente une coupe macrographique d'un échantillon d'acier IXI8H9T ($V=50$ m/h; $I=300$ mA; $t=50$ à 300 ms);

- la Fig. 4 est une coupe macrographique d'un échantillon d'acier IXI8H9T ($V=50$ m/h; $I=400$ mA); $t=100$ à 450 ms);

- la Fig. 5 représente un schéma très simplifié du dispositif de soudage électronique conforme à l'invention;

- la Fig. 6 est un schéma plus détaillé de ce dispositif.

Le procédé de soudage électronique consiste à irradier des pièces à souder par un faisceau électronique dirigé provenant du canon électronique, et à couper cette irradiation périodiquement pendant un temps t qui est proportionnel au rapport entre le diamètre d du faisceau élec-
5 électronique et la vitesse de soudage V . L'irradiation des pièces à souder est coupée par coupure de la tension d'accélération au stade initial du processus non station-
naire anormal, lorsque la valeur nominale du courant du
10 faisceau électronique est dépassée de 5 à 10%, le temps t étant maintenu dans des limites de $(0,1-0,15) d/V$.

Au cours du soudage les surfaces irradiées dégagent de manière intense, des gaz qui sont ensuite ionisés dans le champ à haute tension ce qui provoque la formation
15 d'arcs (processus non stationnaire anormal).

Pour couper la formation des arcs, on coupe la source de tension alimentant le canon électronique à souder. La coupure est effectuée au stade initial du développement de l'arc en vue de diminuer le temps néces-
20 saire à la création d'une isolation par le vide requis entre les électrodes du canon.

Si l'on procède à la coupure de la source de tension non pas au stade initial du processus non stationnaire anormal (c'est-à-dire lorsque l'intensité du courant de soudage nominal, choisie au préalable est dépassée de plus
25 de 10%), il se produit un dégagement de gaz supplémentaire des électrodes du canon durant la période de présence de l'arc ce qui exige une durée de traitement par le vide prolongée. En outre, il se produit une érosion des élec-
30 trodes du canon qui nuit à l'isolation par le vide entre les électrodes ce qui risque de provoquer un ré-amorçage de l'arc.

Pour déterminer l'influence de la durée de coupure du soudage sur la qualité de l'assemblage soudé, on a
35 soudé plusieurs échantillons sous des régimes variés.

La tension d'alimentation a été coupée à des intervalles de temps égaux. La durée de coupure était de 10 à 450 ms.

La Fig. 1 représente une section macrographique de l'alliage d'aluminium AMC-6. Le soudage a été effectué en présence d'une tension d'alimentation de 70 kV, d'un courant du faisceau de 250 mA et d'une vitesse de soudage de 50 m/h. Pour une durée de coupure du processus de soudage inférieure à 10 ms, la qualité de l'assemblage soudé n'est pas affectée. Une pénétration incomplète de la racine de la soudure n'a lieu que lorsque la durée de coupure atteint 20 ms et devient plus accentuée avec l'augmentation de la durée de coupure.

Les Fig. 2, 3 et 4 représentent des coupes macrographiques des échantillons d'acier IXI8H9T (vitesse de soudage: 50 m/h; tension d'accélération: 30 kV; courant de soudage: 200 mA, 300 mA et 400 mA, respectivement).

Les défauts de la pénétration incomplète "a" dans la racine de la soudure apparaissent à partir d'une durée de soudage égale à 50 ms.

Des essais ont montré que la coupure de la tension d'accélération ne se répercute ni sur la formation de la soudure ni sur la qualité du métal de la soudure dans le cas où le temps de coupure ne dépasse pas le temps de déviation de l'axe du faisceau de 10 à 15% de son diamètre. Il a été établi que la dépendance de la durée de coupure $t = (0,1 \text{ à } 0,15) d/V$ est appropriée dans toute la gamme de vitesses de soudage utilisées. Ainsi, par exemple, pour une vitesse de soudage $V = 10 \text{ m/h}$, la durée de coupure t est de 30 à 45 ms, pour $V = 100 \text{ m/h}$, $t = 3 \text{ à } 4,5 \text{ ms}$. Plus la durée de coupure est grande lors de l'apparition de l'arc, plus complètement sera rétablie la rigidité diélectrique de l'isolation par le vide du canon. Mais cette durée ne doit pas dépasser le temps t déterminé à partir de la relation $t = (0,1 \text{ à } 0,15) d/V$, car sinon la racine de la soudure présente une pénétration incomplète.

Le dispositif de soudage électronique comprend un circuit série composé d'une source de tension 1, d'un élément régulateur 2 et d'un canon électronique à souder 3, ainsi qu'un ensemble de réaction 4 connecté à l'élément

5 régulateur 2 par l'intermédiaire d'un circuit de commande
5 de l'élément régulateur 2. Le dispositif selon l'inven-
tion comporte un organe 6 de commande du courant dont la
sortie est connectée à l'électrode de commande du canon
électronique à souder 3. L'élément régulateur 2 est une
lampe électronique à trois anodes. L'ensemble de
réaction 4 est un diviseur de tension couplé en parallèle
avec le canon électronique à souder 3. Le circuit de com-
mande 5 comporte une résistance de réaction 7, une source
10 de tension réglable 8 alimentant les électrodes de la
lampe 2 à trois anodes, la sortie négative de ladite
source étant connectée, par l'intermédiaire de la résis-
tance de réaction 7, à la cathode de cette lampe 2. Le
circuit comprend également un circuit 9 de mise en forme
15 des impulsions du courant de coupure du faisceau électro-
nique du canon 3, un découpleur 10, un interrupteur ou
clé analogique 11 et un amplificateur à réaction 12. L'en-
trée du circuit de mise en forme 9 est couplée à l'en-
semble de réaction 4. La sortie de la clé analogique 11
20 est connectée à l'électrode de commande de la lampe 2. A
l'entrée de la clé analogique 11 sont connectées par
l'intermédiaire du coupleur 10, une résistance de réaction
7 et les sorties du circuit de mise en forme 9 et de
l'organe 6 de commande du courant. L'entrée de l'amplifica-
25 teur à réaction 12 est connectée à l'ensemble de réaction
4, sa sortie est branchée à l'électrode de commande de la
lampe 2.

Le dispositif fonctionne comme suit. En régime nomi-
nal de fonctionnement, c'est-à-dire en l'absence de con-
30 ditions exigeant la coupure du courant du canon électro-
nique à souder 3, la stabilisation et la réduction de la
pulsation de tension s'effectuent de la manière suivante.
La variation de la tension sur le canon 3 est transmise,
à l'aide du diviseur de tension 4, à l'entrée de l'ampli-
35 ficateur 12 qui traite ce signal de manière convenable pour
commander la lampe 2 en imposant un potentiel à sa pre-
mière anode d'une valeur qui permet de compenser la va-
riation de la tension sur le canon 3. Si à ce régime, la

tension à la sortie de l'amplificateur 12 est égale à U , on établit, sur l'anode de la diode de la clé 11, une tension $U + \Delta U = U + 0,01 U$ à l'aide de l'organe 6 de commande du courant de soudage. La tension $U + \Delta U$ détermine un courant de coupure de la lampe dépassant de 1% le courant imposé du faisceau électronique du canon à souder 3. En régime non stationnaire de fonctionnement, c'est-à-dire lors du développement du claquage électrique ou décharge dans le canon 3, la lampe 2 fait passer un courant ne dépassant pas $1,01 U$ imposé déterminé par la tension $1,01 U$ à l'électrode de commande de la lampe 2. C'est uniquement dans le cas où la tension de l'électrode de commande de la lampe augmente, que la lampe peut faire passer le courant augmenté à une chute de tension totale invariable de celle-ci. Pourtant, cette limite supérieure de tension est limitée par la diode de la clé analogique 11 qui est reliée, par l'intermédiaire du découpleur 10, à l'organe 6 de commande du courant de travail du canon 3. De ce fait la tension de l'électrode de commande de la lampe ne dépassera pas $1,01 U$ et la chute de tension totale de la lampe 2 augmentera, ce qui à son tour entraînera une baisse de tension du canon électronique 3 et du diviseur de tension 4. La tension de ce diviseur 4 étant au-dessous de la valeur imposée. Le circuit de mise en forme 9 par l'intermédiaire du circuit du découpleur 10, ouvre la clé analogique 11, en diminuant la tension de l'électrode de commande de la lampe jusqu'au potentiel de sa cathode. Il en résulte un blocage de la lampe 2 et, par conséquent, une mise hors circuit du canon 3.

Au bout d'un certain temps, imposé par la durée de l'impulsion de coupure du circuit de mise en forme 9 (le temps est donné d'après la formule $t = (0,1 \text{ à } 0,15) d/V$, le circuit est mis à l'état initial, la tension du canon 3 est rétabli et, lorsque le courant du circuit de charge ne dépasse pas le courant imposé, le processus continue.

Dans le cas où on se trouve en présence de conditions qui ont provoqué l'accroissement du courant (par

exemple un court-circuit, une chute de vide dans le canon), et lorsque la tension à l'entrée du circuit de mise en forme 9 est inférieure à la tension imposée, le circuit 9 fournit les impulsions suivantes et le courant moyen dans le circuit canon 3 - source 1 - lampe 2 a une intensité que de 20 à 30 mA. Dès que les conditions provoquent une augmentation du courant dans le canon disparaissent, le circuit est remis à son état initial et le régime de fonctionnement est complètement rétabli.

La source de tension réglable 8 impose les potentiels sur les électrodes de la lampe, potentiels correspondant au courant de travail maximal du canon 3, ce qui exclut un risque de surcharge de la source d'alimentation 1.

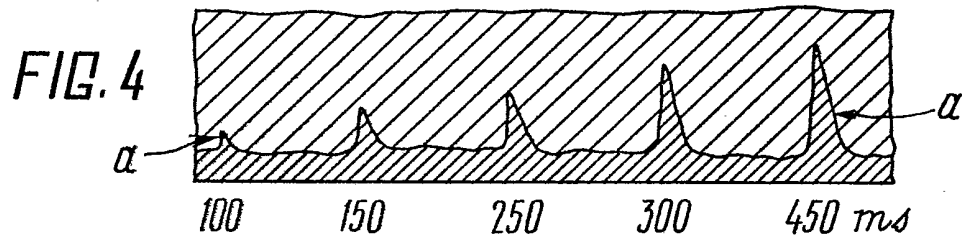
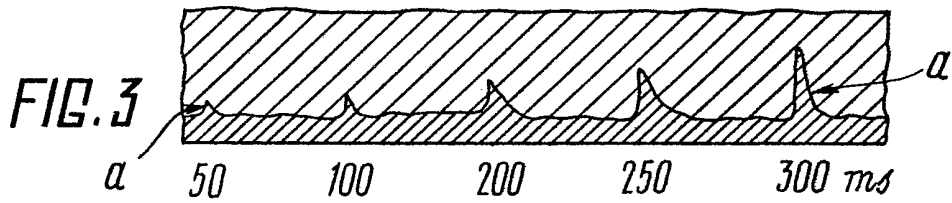
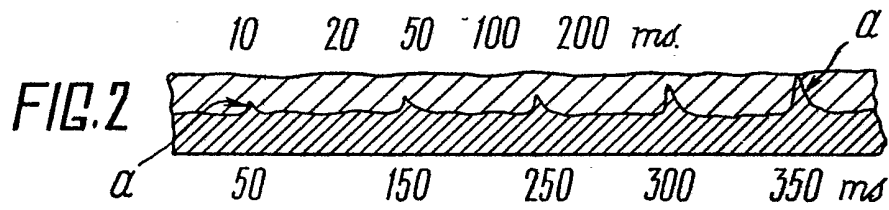
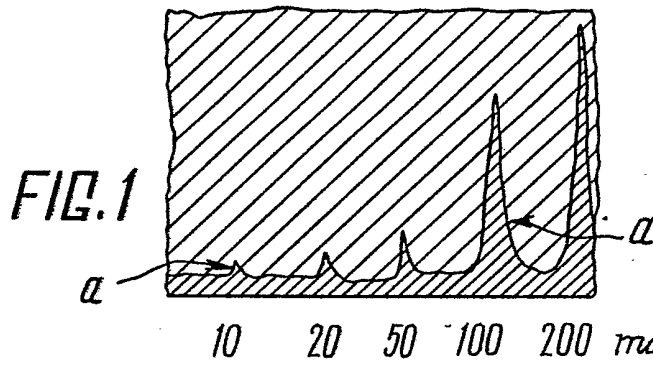
Pour limiter le courant dans le circuit de la deuxième anode de la lampe 2 et le courant total de la source réglable 8, ce qui est possible lors de la baisse ou de la coupure de la tension à la troisième anode de la lampe 2, on intercale dans le circuit du pôle négatif de la source 8, la résistance 7 à partir de laquelle la tension est appliquée au circuit de la clé analogique 11 par l'intermédiaire du découpleur 10. Lorsque le courant dans le circuit de la source 8 dépasse la valeur imposée, la clé analogique 11 diminue le potentiel de l'électrode de commande de la lampe 2 ce qui conduit à une baisse du courant dans le circuit anode-cathode de celle-ci.

REVENDICATIONS

1. Procédé de soudage électronique consistant à irradier les pièces à souder par un faisceau électronique provenant d'un canon électronique à souder, l'irradiation étant interrompue par coupure de la tension d'accélération
5 lors du développement du processus non stationnaire anormal dans le canon électronique à souder, caractérisé en ce que l'irradiation est coupée au stade initial du processus non stationnaire anormal lorsque le courant nominal du faisceau électronique est dépassé de 5 à 10% pendant un
10 temps t proportionnel au rapport entre le diamètre d du faisceau électronique et la vitesse de soudage V , le temps t étant maintenu dans des limites de (0,1 à 0,15) d/V .

2. Dispositif pour la mise en oeuvre du procédé suivant la revendication 1, comportant un circuit série
15 composé d'une source d'alimentation (1), d'un élément régulateur (2) et d'un canon électronique à souder (3), ainsi qu'un ensemble de réaction (4) connecté à l'élément régulateur (2) par l'intermédiaire du circuit de commande (5) de celui-ci, caractérisé en ce qu'il comprend également
20 un organe de commande du courant de soudage, l'élément régulateur étant une lampe électronique (2) à trois anodes, et l'ensemble de réaction étant un diviseur de tension (4) couplé en parallèle avec le canon électronique (3), le circuit de commande de l'élément régulateur
25 (2) comportant une source de tension réglable (8) alimentant les électrodes de la lampe (2), une résistance de réaction (7), un circuit (9) de mise en forme des impulsions du courant de coupure du faisceau électronique (3), un interrupteur ou clé analogique (11), un découpleur (10) et un
30 amplificateur à réaction (12), la sortie négative de la source de tension réglable (8) alimentant les électrodes de la lampe (2), étant connectée, par l'intermédiaire de la résistance de réaction (7), à la cathode de cette lampe (2), la sortie de l'ensemble de réaction (4) étant
35 connectée aux entrées de l'amplificateur à réaction (12)

et du circuit de mise en forme (9), les sorties de l'amplificateur à réaction (12) et de la clé analogique (11) étant branchées à l'électrode de commande de ladite lampe (2) et l'entrée de la clé analogique (11) étant connectée, par
5 l'intermédiaire du découpleur (10), à la résistance de réaction (7) et aux sorties dudit circuit de mise en forme (9) et de l'organe (6) de commande du courant dont la deuxième sortie est connectée à l'électrode de commande du canon électronique à souder (3).



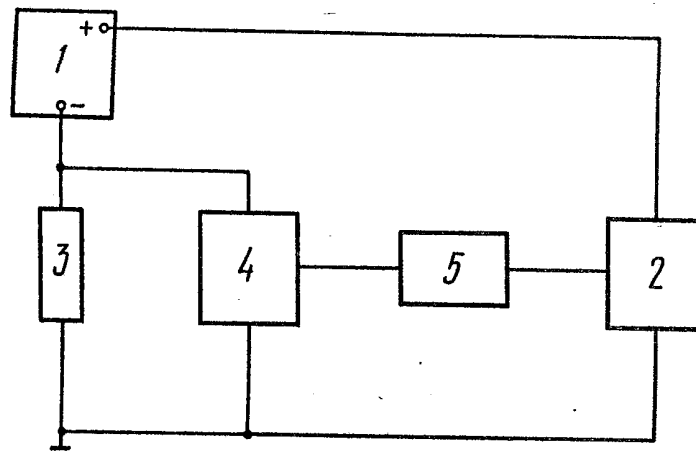


FIG. 5

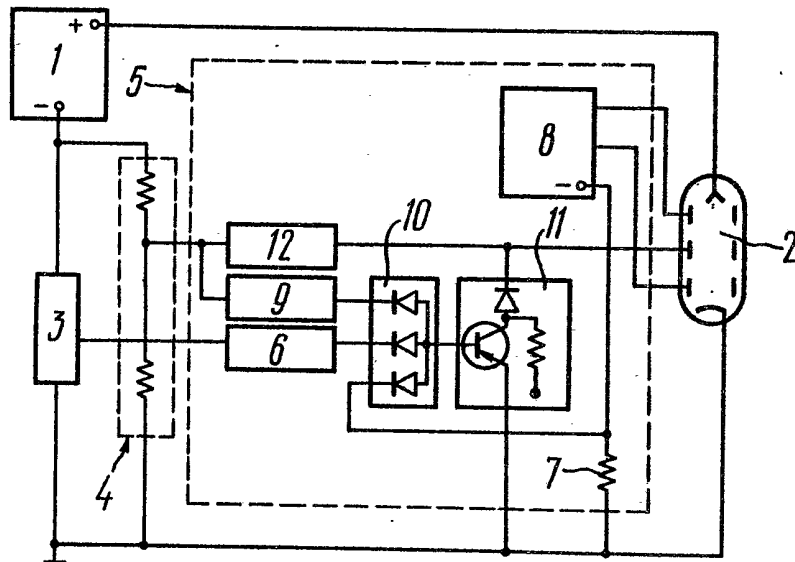


FIG. 6