



**Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein**  
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein



**(12) FASCICULE DU BREVET A5**

(11)

**617 556**

(21) Numéro de la demande: 10166/77

(73) Titulaire(s):  
Saint-Gobain Industries, Neuilly-sur-Seine (FR)

(22) Date de dépôt: 18.08.1977

(30) Priorité(s): 19.08.1976 FR 76 25205

(72) Inventeur(s):  
Georges Chiron, Chambéry (FR)

(24) Brevet délivré le: 30.05.1980

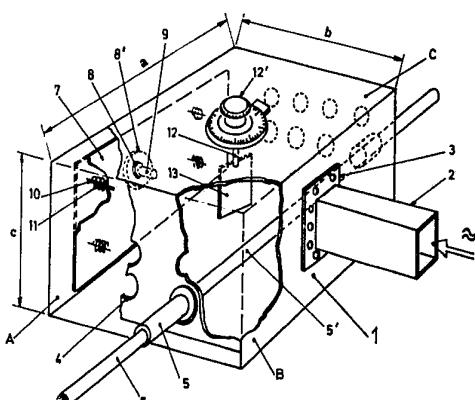
(45) Fascicule du brevet  
publié le: 30.05.1980(74) Mandataire:  
Kirker & Cie, Genève

**(54) Dispositif de chauffage par hyperfréquence comportant au moins une cavité résonante.**

(57) Il comprend une boîte métallique (1) parallélépipédique associée à un émetteur injectant l'énergie hyperfréquentielle dans la boîte (1) par l'intermédiaire d'un guide d'onde (2), boîte dont les trois dimensions sont des multiples impairs du quart de la longueur d'onde de l'émetteur.

De façon avantageuse, un ensemble auxiliaire comprenant un piston constitué d'une plaque de faible épaisseur (7) et une plaquette orientable (13) permet d'adapter la cavité en fonction des conditions opératoires.

L'appareil peut être utilisé pour l'application de traitements par pertes diélectriques, en particulier pour la fabrication de fils, joncs, profilés de sections diverses, à partir de résines synthétiques thermodurcissables et il a l'avantage de concilier un volume interne relativement important avec un rendement énergétique satisfaisant.



## REVENDICATIONS

1. Dispositif de chauffage par hyperfréquences comportant au moins une cavité résonante, constitué d'au moins une boîte métallique parallélépipédique associée à un émetteur par l'intermédiaire d'un organe d'alimentation, et dont les trois dimensions sont des multiples du quart de la longueur d'onde de l'émetteur, caractérisé en ce que ces multiples sont impairs.

2. Dispositif selon la revendication 1, comprenant au moins un organe auxiliaire d'adaptation (7) présentant une surface disposée parallèlement à une face et caractérisé en ce que cet organe est constitué d'une plaque mince déformable, sa distance à la dite face étant réglable entre 0 et  $\lambda/8$  environ.

3. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, comprenant au moins un organe auxiliaire d'adaptation, caractérisé en ce que cet organe est constitué d'une plaquette orientable (13) disposée en face de l'organe d'alimentation en énergie.

4. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que les dimensions de la plaquette sont comprises entre  $\lambda/4$  et  $\lambda/2$ .

5. Dispositif selon l'une des revendications 2 à 4, caractérisé en ce qu'un système de mesure (15, 15a, 15b, 15c, 16, 16') des puissances incidente et réfléchie monté sur le guide d'entrée permet de régler les organes d'adaptation.

6. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par un ensemble de gaines étanches (5') traversant la cavité perpendiculairement à la direction du faisceau d'ondes incident.

7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que plusieurs cavités sont associées en série et comportent des filières de conformation métalliques courtes (22) disposées entre les dites cavités.

8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que les cavités (1a, 1b, 1c) sont alimentées à partir d'un même émetteur d'hyperfréquences (18).

9. Utilisation du dispositif selon la revendication 1 pour fabriquer des profilés (6) élaborés à partir de résines synthétiques thermodurcissables renforcées de fibres de verre.

L'invention a pour objet des dispositifs de chauffage par hyperfréquences utilisables notamment pour traiter thermiquement, au cours de leur fabrication, par l'effet des pertes diélectriques, des matériaux destinés à constituer des fils, joncs, profilés divers .. pour effectuer un séchage, une polymérisation, etc.

Ce dispositif peut en particulier être utilisé lors de l'élaboration de profilés de sections diverses à partir de résines synthétiques thermodurcissables renforcées de fibres de verre par exemple, pour effectuer l'apport d'énergie nécessaire au démarage et à la poursuite de la réaction de durcissement ou polymérisation. Comme ce genre de matériau possède une faible conductivité thermique et des propriétés diélectriques généralement favorables, le chauffage par pertes diélectriques apparaît en effet comme la meilleure méthode pour conduire à des mises en température extrêmement rapides et apporter ensuite le complément d'énergie nécessaire.

Pour un corps donné, la puissance dissipée est fonction de la fréquence et du carré du champ électrique E. Néanmoins la valeur de E est limitée par les risques de claquage du diélectrique, sources d'ennuis tels qu'inflammation de la matière chauffée. En dernier ressort, c'est donc sur la fréquence qu'il faudra agir si l'on veut augmenter la puissance dissipée par unité de masse.

En pratique, on peut utiliser deux bandes de fréquences qui font appel à des technologies très différentes:

- les hautes fréquences (HF) de 1 à 100 MHz, utilisant la technique traditionnelle des circuits à constantes localisées;

– les hyperfréquences ou ultra hautes fréquences (UHF), utilisant des lignes de transmission blindées ou guides d'onde où les inductances et capacités classiques sont remplacées par des éléments jouant le même rôle mais de structure différente.

Si la UHF semble plus commode d'emploi, elle est cependant soumise à des contraintes qui en limitent l'utilisation.

En effet, les cellules sont en général constituées par des systèmes à ondes progressives tels que, pour 2.450 MHz, les guides d'ondes du type RG 112 dont la section est de  $43 \times 86$  mm ou des tronçons de guide d'ondes combinés entre eux pour former des cavités résonnantes. Ces cellules engendrent un champ électrique de répartition bien précise, créant des zones utiles réduites. D'autre part, si les dimensions des produits à traiter sont excessives et par exemple, pour des profilés de section compacte, si cette section dépasse  $15 \text{ mm}^2$ , la perturbation ainsi apportée à la propagation des ondes électromagnétiques rend le système inutilisable.

Pour pallier ces inconvénients, il est possible d'utiliser des cavités dites multimodes essentiellement constituées d'une boîte métallique parallélépipédique (cuivre, aluminium ou alliage léger), associée à un émetteur approprié par l'intermédiaire d'un organe d'alimentation convenable, boîte dont les trois dimensions sont des multiples du quart de la longueur d'onde  $\lambda$  de l'émetteur.

Ces dispositifs présentent des dimensions plus importantes, permettant le chauffage de pièces plus volumineuses ; mais généralement ce type de matériel possède des rendements médiocres.

L'invention a pour objet un dispositif comparable mais permettant de traiter thermiquement des matériaux de forte section, par hyperfréquences, avec un taux de rendement élevé. Ce dispositif est caractérisé en ce que les trois dimensions de la boîte sont des multiples impairs de  $\lambda$ . Selon l'invention, on observe alors, bien qu le mode de mise en résonance ne puisse être défini, un accord conduisant à une réflexion minimale vers la source UHF excitant la cellule : des mesures de réflexion montrent que l'on peut obtenir facilement des atténuations en réflexion de 25 à 30 dB, correspondant à des taux d'ondes stationnaires (TOS) dans les organes d'alimentation de 1,08 à 1,12 environ.

Une telle cellule se comporte donc comme une cavité résonante comportant une multitude de modes dégénérés et il en résulte que le champ électrique est sensiblement uniforme, ce qui rend le volume interne de la cavité pratiquement homogène quant à la puissance de chauffage ; ceci est d'autant plus vrai que les produits se déplacent à travers la cellule.

Les trois dimensions de la cavité, hauteur, largeur, longueur, peuvent être différentes, dans la mesure où leurs valeurs sont chacune égale à  $(2k + 1)\lambda/4$  avec k entier, ou très proches. Cette disposition permet de construire des cavités adaptées aux produits à traiter qui peuvent être en particulier des profilés de formes et types divers.

Selon une forme d'exécution de l'invention, particulièrement avantageuse, un ensemble auxiliaire permet de compenser les écarts de dimensions de la cavité, qu'il est difficile en pratique de construire a priori avec toute la précision voulue ; il permet en outre d'adapter la cavité en fonction de la charge traitée, avec un contrôle permanent et, le cas échéant, un ajustement automatique du réglage.

Cet ensemble d'adaptation est essentiellement constitué par un double système permettant d'assurer les réglages grossiers et fins de l'accord en fréquence, compte tenu de la charge de la cavité :

- l'organe de réglage grossier est constitué d'un piston formé d'une plaque de faible épaisseur disposé, parallèlement à une face, de préférence en regard de l'organe d'alimentation, sa

distance à cette face étant réglable à volonté entre 0 et  $\lambda/8$  environ;

— l'organe de réglage fin est constitué par une plaque orientable disposée sensiblement en face du faisceau d'ondes incident, l'orientation de l'obstacle ayant pour rôle de modifier la répartition et la réflexion du champ électromagnétique. Les dimensions de la plaque ne sont pas critiques mais doivent être comprises entre  $\lambda/4$  et  $\lambda/2$ .

De plus, pour contrôler l'adaptation, un système de mesure des puissances incidente et réfléchie est monté sur le guide d'ondes constituant l'organe d'alimentation. Il s'agit d'un coupleur bidirectionnel classique relié à deux milliwattmètres UHF; le premier appareil indique la puissance incidente et le deuxième la puissance réfléchie.

La rotation des boutons gradués commande le déplacement du piston et la position angulaire de la plaque d'adaptation, permettant d'obtenir un réglage correspondant au minimum de puissance réfléchie (TOS voisin de 1,1) conditionnant un bon rendement.

Cette vérification peut être permanente et la correction peut être réalisée même en cours de travail, pour compenser les variations inévitables des pertes diélectriques que peuvent causer soit la variation de température, soit l'hétérogénéité de la matière chauffée.

Pour constituer des lignes de traitement telles que des lignes de polymérisation de profilés, il est bien entendu possible d'associer plusieurs de ces cavités alimentées par un même générateur à travers des diviseurs de puissance.

Il est également possible de prévoir entre les cellules des systèmes de conformation de la matière traitée tels que des filières métalliques courtes, formant par exemple un ensemble homogène permettant le calibrage de plusieurs profilés.

En outre, les zones séparant deux cellules peuvent être isolées thermiquement par des manchons dans lesquels passent les profilés.

La description qui suit est relative à des formes de réalisation particulièrement intéressantes et à des modes de mise en œuvre du dispositif décrit ci-dessus, donnés à titre d'exemples non limitatifs. Elle met en évidence d'autres caractéristiques, avantages et objets de l'invention et se réfère aux dessins annexés qui montrent:

— figure 1, une vue perspective représentant une cavité résonnante multimodes pour chauffage et polymérisation de joncs cylindriques;

— figure 2, une vue de dessus d'une installation comprenant une cavité résonnante multimodes avec le système de mesure contrôlant l'adaptation;

— figure 3, une ligne de polymérisation pour joncs cylindriques utilisant trois cavités résonnantes multimodes.

La figure 1 représente une cavité selon l'invention, construite en tôle d'aluminium de 1,5 mm d'épaisseur et adaptée à la fréquence  $F = 2.450$  MHz. Elle se présente sous la forme d'un parallélépipède dont les dimensions perpendiculaires aux faces respectives A, B, C sont les suivantes:

Longueur a = 458 mm correspondant à  $k = 7$ ,  
Largeur b = 336 mm correspondant à  $k = 5$ ,  
Hauteur c = 214 mm correspondant à  $k = 3$ .

L'énergie hyperfréquentielle est injectée à travers une ouverture rectangulaire de  $43 \times 86$  mm pratiquée dans l'une quelconque des parois, soit B, par l'intermédiaire d'un guide 2 du type normalisé RG 112, fixé sur la boîte 1 par une bride 3.

Sur deux faces perpendiculaires opposées de la cavité, sup-

posées verticales, sont prévus les trous 4 protégés par les tubes métalliques 5 qui permettent aux profils 6 de traverser la cavité, tout en assurant un blindage efficace à l'extrémité des gaines de passage étanches 5', constituées de polytétrafluoréthylène, qui sont destinées à protéger la cavité des salissures.

A l'intérieur et parallèlement à la face opposée à celle qui supporte le guide 2, c'est-à-dire en face du faisceau incident, se trouve un piston mobile 7 constitué par une plaque d'aluminium dont les dimensions sont a-20 soit 438 mm et c-20 soit 194 mm. Cette plaque est guidée par les axes 10 et rappelée vers l'intérieur par les ressorts 11. Un axe de commande 9 à tige filetée fixé au centre de la plaque permet d'assurer le déplacement du piston parallèlement à lui-même sur une distance de l'ordre de 2 cm à l'aide de l'écrou 8 situé à l'extérieur de la cavité. Un bouton gradué 8' entraînant l'écrou 8 repère la position du piston.

Sur la face C de la cavité, supposée ici horizontale, est monté un axe 12 solidaire d'une plaque 13 de  $55 \times 55$  mm et muni d'un bouton gradué 12'.

— L'axe de la plaque 13 coupe à angle droit l'axe du guide 2 et son arête inférieure se trouve à 70 mm environ de la face C, au-dessus du passage des tubes 5'.

La figure 2 montre la même installation, en vue de dessus, avec en plus le dispositif de contrôle de l'adaptation.

— Le boîtier 15, coupleur bidirectionnel de type connu, permet de prélever des proportions connues de l'énergie incidente et de l'énergie réfléchie traversant le guide. Ces énergies sont mesurées par l'intermédiaire des milliwattmètres à bolomètres classiques 16 et 16'.

— Le réglage des boutons 8' et 12', entraînant le déplacement du piston 7 et la rotation de la plaque 13, permettent l'adaptation de la cavité par recherche d'un minimum du rapport de la puissance réfléchie lue par le milliwattmètre 16' à la puissance incidente lue par le milliwattmètre 16. Un organe de mesure différentiel 17 peut en outre asservir directement la rotation de l'axe 12 de la plaque 13 à la différence de lecture entre 16 et 16'.

La figure 3 représente une ligne de polymérisation complète pour jons cylindriques.

— Un générateur UHF 18 injecte de l'énergie hyperfréquentielle à travers les guides d'ondes 20 et les diviseurs de puissance 19a, 19b pour alimenter les cavités 1a, 1b, 1c.

La première cavité, 1a, reçoit la moitié de la puissance à l'aide du diviseur 19a. L'autre moitié est envoyée sur le diviseur 19b, qui lui-même envoie sur les cavités 1b et 1c le quart de l'énergie totale.

Cette répartition permet à la cavité 1a de chauffer le matériau de l'ambiance à la température idéale de polymérisation, les autres cavités assurant le maintien de la température de réaction ce qui n'exige plus qu'une puissance réduite.

Des systèmes de mesure 15a, 15b, 15c permettent l'accord de chaque cavité. D'autre part, entre les cavités 1a, 1b, 1c se trouvent des organes de conformation tels que la plaque 22 porteuse de filières métalliques courtes, ainsi que des manchons 55 d'isolation thermique 23, évitant le refroidissement entre chaque module chauffant.

Les organes placés en amont et aval de la ligne pour élaborer et entraîner le profilé sont classiques et ne seront pas décrits ici.

— A titre d'exemple, on a pu effectuer à une vitesse de 1 m/mn la polymérisation simultanée de quatre jons de résine polyester de 20 mm de diamètre renforcés par de la fibre de verre, à l'aide d'un générateur de 5 kW alimentant à une fréquence de 2.450 MHz la ligne représentée figure 3.

Fig. 1

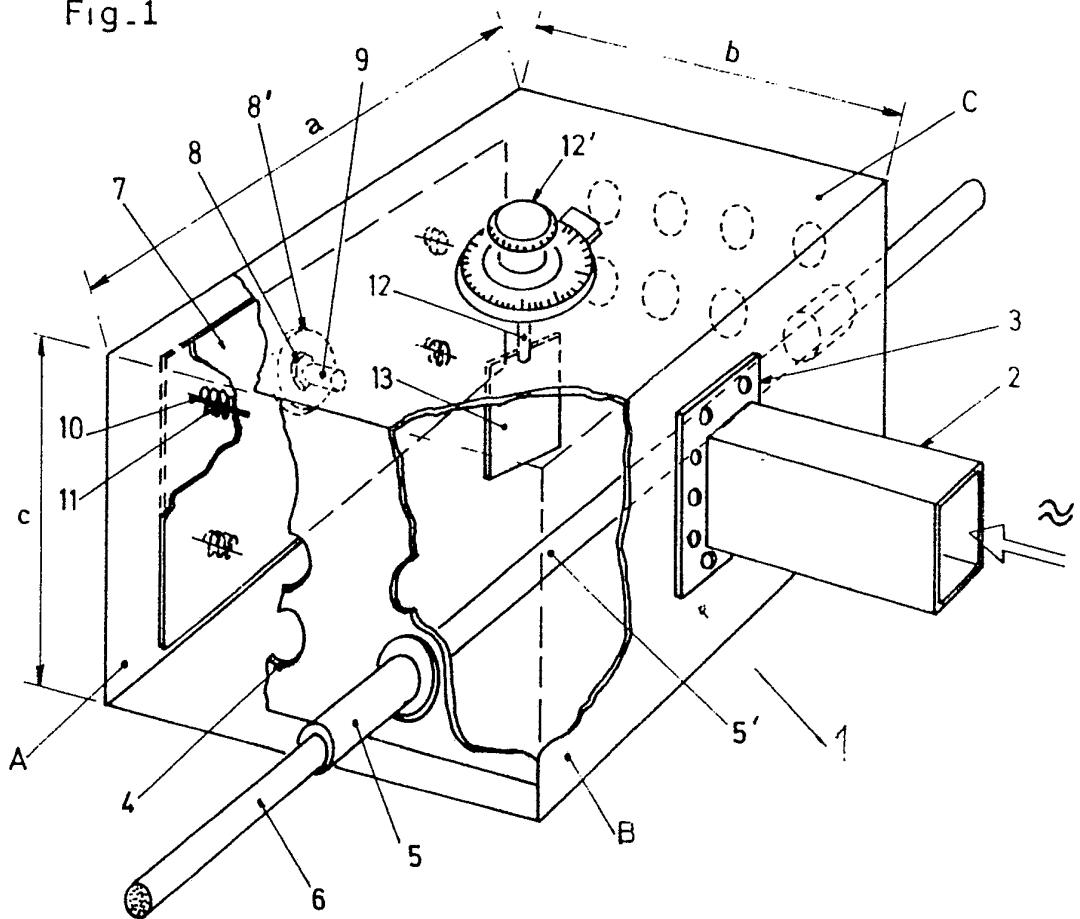


Fig. 2

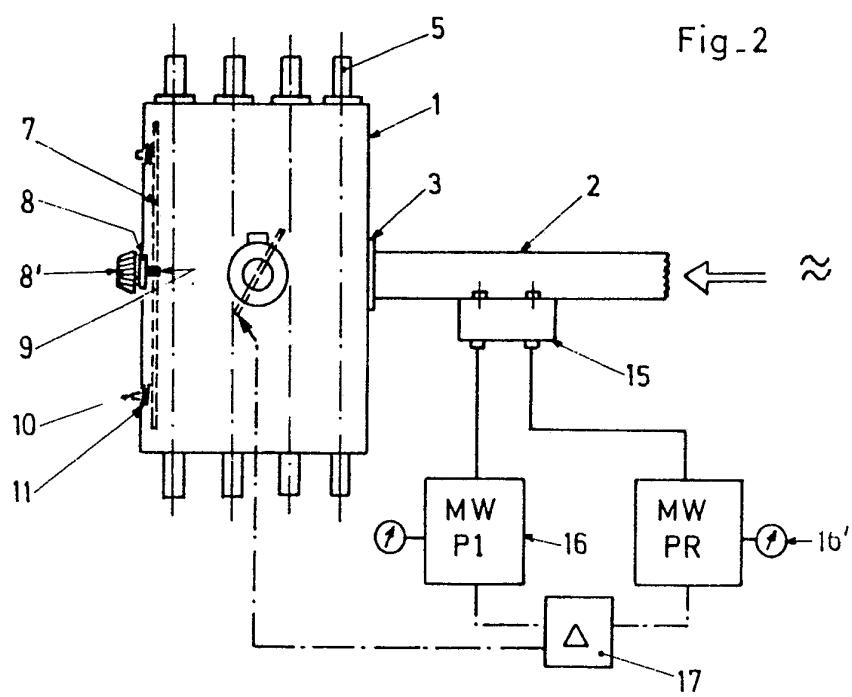


Fig. 3

