

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

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

**2 478 693**

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21) **N° 81 04879**

- 
- (54) Procédé pour réduire la porosité d'un tissu, notamment de fibres de carbone, pré-imprégné.
- (51) Classification internationale (Int. Cl. 3). D 06 M 15/42; B 29 J 1/02; B 32 B 27/04, 31/20;  
C 08 J 5/24.
- (22) Date de dépôt ..... 11 mars 1981.
- (33) (32) (31) Priorité revendiquée : EUA, 20 mars 1980, n° 132.017.
- (41) Date de la mise à la disposition du public de la demande ..... B.O.P.I. — « Listes » n° 39 du 25-9-1981.
- (71) Déposant : Société dite : HEXCEL CORP., résidant aux EUA.
- (72) Invention de : George R. Brown et Juan Chorne.
- (73) Titulaire : *Idem* (71)
- (74) Mandataire : Cabinet Plasseraud,  
84, rue d'Amsterdam, 75009 Paris.
-

1  
Procédé pour réduire la porosité d'un matériau pré-imprégné

L'invention concerne la fabrication de tissus imprégnés de résine, et elle concerne plus particulièrement un tissu imprégné de résine tissé à partir de fibres comprenant des filaments de graphite 5 possédant un module d'élasticité élevé.

Il est courant de fabriquer des éléments structurels à partir d'un matériau composite résine/filaments. Les matériaux filamenteux appropriés comprennent, entre autres, le verre et le graphite, lesquels 10 possèdent un module d'élasticité élevé. Ce dernier convient particulièrement bien pour des applications où la résistance doit être importante et le poids faible, par exemple dans l'industrie aéronautique et aérospatiale. Dans un tel matériau composite, le 15 matériau filamenteux agit comme élément de renforcement augmentant la résistance à la traction. Le matériau filamenteux se présente normalement sous la forme d'un tissu tissé à partir de brins de matériau, lesdits brins, appelés fibres, comprenant essentiellement des filaments non retordus. Le tissu est 20 ensuite imprégné avec la résine appropriée pour former une feuille de matériau composite, généralement appelée matériau pré-imprégné. Les matériaux pré-imprégnés peuvent être utilisés pour fabriquer des 25 pièces moulées, ainsi que des feuilles planes destinées à être utilisées par exemple dans la fabrication de panneaux sandwiches en nids d'abeilles. Pour former le produit fini, le matériau pré-imprégné est disposé en plusieurs couches et polymérisé 30 par application de chaleur et d'une pression, ceci dans un moule où un dispositif prévu pour disposer de telles couches.

Une exigence souvent imposée à de telles pièces, par exemple les matériaux constituant les faces 35 d'un panneau sandwich en nids d'abeilles, est qu'elles ne présentent pas ou pratiquement pas de

porosité. De façon classique, le problème de la porosité peut être résolu en augmentant la teneur en résine du matériau pré-imprégné et/ou en augmentant le nombre de fibres par unité de surface du matériau pré-imprégné,

5 de manière que les interstices entre les fibres diminuent de plus en plus et soient plus facilement comblés par la résine pendant le durcissement. Dans une variante, le produit peut être constitué par un nombre plus important de couches de matériau pré-imprégné pour éliminer la

10 porosité. Cependant, aucune de ces solutions n'est pratique et économique pour un matériau pré-imprégné comprenant des filaments de graphite possédant un module d'élasticité élevé. D'abord, le graphite est une matière première excessivement coûteuse (environ 400 F

15 le kg). De ce fait, augmenter simplement la quantité de graphite pour fabriquer le produit n'est souvent pas possible du point de vue économique.

En outre, augmenter la quantité de résine imprégnant le produit n'est pas possible du fait que la

20 résine ajoutée ne peut pas normalement être absorbée par le tissu pendant le durcissement et doit, par conséquent, être enlevée. De plus, de nombreuses résines appropriées peuvent être aussi coûteuses que le graphite, de sorte que cette technique est souvent

25 également impossible du point de vue économique. De plus, les deux solutions mentionnées augmentent nettement le poids du produit fini et, par conséquent, réduisent l'avantage de légèreté dû à l'utilisation de matériaux pré-imprégnés au graphite.

30 L'augmentation du nombre de fibres pour un poids donné sans augmenter la teneur globale en graphite réduit les dimensions des interstices et aide, de ce fait, à réduire ou éliminer la porosité sans augmenter le poids du produit fini. Cependant, le coût

35 de fibres de dimensions plus faibles augmente rapidement. Par exemple, des fibres de graphite possédant un module d'élasticité élevé et constituées par 1000 filaments de graphite sont approximativement trois

fois plus coûteuses (à poids égal) que les fibres de graphite constituées par 3000 filaments, c'est-à-dire que de telles fibres plus fines coûtent approximativement 1200 F le kg. En outre, les dimensions des fibres de graphite disponibles dans le commerce sont limitées, de sorte qu'il n'est souvent pas possible d'obtenir une dimension optimale pour chaque utilisation donnée, comme c'est le cas avec d'autres matériaux tels les fibres de verre qui sont disponibles dans une gamme de dimensions de filaments plus importante.

En dépit des inconvénients résumés ci-dessus que l'on rencontre lors du moulage d'un matériau à base de graphite pré-imprégné pour obtenir une pièce donnée, notamment des pièces non poreuses, de tels matériaux pré-imprégnés sont de plus en plus utilisés en raison de leur rapport élevé résistance/poids. Le coût plus élevé résultant de l'utilisation de quantités plus importantes de graphite et/ou de résine et la pénalité du point de vue du poids ont été acceptés comme étant inévitables lors de la fabrication d'articles non poreux en tels matériaux très résistants.

La présente invention permet de pallier les inconvénients mentionnés ci-dessus lorsqu'on travaille avec des matériaux pré-imprégnés, notamment un matériau pré-imprégné constitué par des matières premières coûteuses qui, en outre, ne sont disponibles que dans des dimensions limitées. La présente invention élimine la porosité apparaissant dans des articles constitués par un matériau pré-imprégné très mince possédant une teneur en résine relativement faible, sans nécessiter de fibres plus fines pour augmenter le nombre de fibres par unité de surface de matériau pré-imprégné.

De façon générale, la présente invention propose que le matériau pré-imprégné, constitué comme indiqué ci-dessus, c'est-à-dire constitué par un tissu tissé de fibres imprégné par la quantité souhaitée de résine,

soit soumis à une force de compression localisée qui est déplacée sur le matériau pré-imprégné alors que la température du matériau est augmentée et avant que le matériau pré-imprégné durcisse et soit moulé pour obtenir l'article final. De préférence, la force est appliquée en déplaçant de façon répétée un ou plusieurs cylindres, possédant une surface extérieure élastique, sur le matériau pré-imprégné chauffé, avec une force suffisante pour étaler ou aplatisir les fibres à la fois parallèlement et perpendiculairement à l'axe du cylindre. Les dimensions des interstices entre les fibres se trouvent ainsi réduites, de sorte que, lors du durcissement, ils peuvent être presque complètement fermés par la résine. De cette manière, un article, à savoir une feuille plane constituée par deux couches de matériau pré-imprégné, possédant respectivement une épaisseur qui n'est pas supérieure à environ 0,18 mm, peut être rendu sensiblement imperméable aux gaz.

Ceci est obtenu sans avoir recours à une quantité plus importante de matériaux filamenteux ou de résine, et sans avoir à augmenter le nombre de couches de matériau pré-imprégné, comme cela était nécessaire jusqu'ici. Par exemple, lors de l'utilisation de fibres de graphite possédant un module d'élasticité élevé et comportant respectivement 3000 filaments, une épaisseur de matériau pré-imprégné d'environ 0,18 mm et une teneur en résine d'environ 35% en poids, il était nécessaire jusqu'ici de superposer quatre couches de matériau pré-imprégné pour éliminer la porosité ou perméabilité aux gaz. Suivant la présente invention, la même imperméabilité aux gaz est obtenue avec seulement deux couches, ce qui réduit fortement le poids, les dimensions et, par conséquent, le coût de l'article.

De façon tout à fait inattendue, le cylindrage du matériau pré-imprégné à une température élevée suivant la présente invention augmente encore la résistance à la traction du matériau pré-imprégné,

augmentation pouvant aller jusqu'à 10%. Il semble que le fait que les filaments soient plus aplatis se traduise par une réduction de l'amplitude des ondulations des filaments dans le tissu.

5        Un autre résultat inattendu du cylindrage du matériau imprégné chauffé est la diminution de la tendance à la formation de vides dans l'article stratifié fini. De tels vides représentent une faiblesse structurelle qui ne peut souvent pas être détectée par un essai au vide ou un essai semblable.

10      Tout ceci est obtenu sans utiliser plus de matériau de base coûteux ou sans utiliser des matériaux de base sous une forme plus coûteuse, par exemple sous la forme de fibres constituées par un nombre plus 15      faible de filaments de façon à augmenter le nombre de fibres par unité de surface, pour réduire les dimensions des interstices entre elles.

20      Dans un mode de réalisation préféré de l'invention, le tissu au graphite possédant un module d'élasticité élevé est tout d'abord pré-imprégné avec la résine appropriée, la teneur en résine étant par exemple de 35% en poids. Ensuite, des feuilles de déchargement, à savoir du papier de déchargement, sont appliquées de chaque côté du matériau pré-imprégné et le matériau 25      composite résultant est tiré sur un plateau plat. Le plateau est réchauffé suffisamment pour ramollir la résine non durcie du matériau pré-imprégné, il est normalement chauffé jusqu'à une température dans la gamme de 37,8°C à 93°C, et pour beaucoup des résines 30      les plus couramment utilisées, il est chauffé à environ 66°C. Lorsque le matériau composite est tiré sur le plateau, un cylindre est appuyé contre le matériau composite et effectue un mouvement de va-et-vient suivant une direction parallèle au mouvement du 35      matériau composite sur le plateau. Suivant la force appliquée au cylindre, la dureté de sa surface, l'épaisseur du papier de déchargement, etc., la vitesse du mouvement de va-et-vient du cylindre

est telle que ce cylindre passe sur chaque partie du matériau composite entre 10 à 200 fois. Le nombre exact de passages est déterminé sur place en observant le matériau pré-imprégné et en aplatisant les fibres du tissu jusqu'à ce que les interstices entre les fibres soient suffisamment petits pour que le durcissement ultérieur du matériau pré-imprégné provoque effectivement leur remplissage par la résine.

Ensuite, au moins une des feuilles de papier de déchargement est enlevée et le matériau pré-imprégné est enroulé pour être stocké pendant sa disposition, sa finition et son durcissement dans des moules appropriés.

On remarquera que le traitement du matériau pré-imprégné suivant la présente invention peut naturellement être effectué de différentes façons. Par exemple, le plateau chauffé peut être remplacé par des paires de cylindres chauffés opposés. En outre, le cylindre appliquant la force peut être formé par plusieurs cylindres disposés les uns à la suite des autres qui effectuent un mouvement de va-et-vient en tandem sur le matériau pré-imprégné, ceci pour réduire la vitesse à laquelle les cylindres doivent effectuer le mouvement de va-et-vient tout en assurant le nombre souhaité de passages sur le matériau pré-imprégné.

D'après ce qui précède, on remarquera que la présente invention permet de former des articles imperméables aux gaz extrêmement minces, par exemple des feuilles constituées seulement par deux couches de matériau pré-imprégné, tout en augmentant la résistance du matériau. Ceci est obtenu sans augmentation notable du coût du matériau final. Simultanément, cela permet d'obtenir un matériau aussi léger que possible, ce qui est très important dans de nombreuses industries, notamment les industries aéronautiques et spatiales. Ceci résulte finalement en une économie de grande portée due à une réduction du poids mort des avions, des véhicules spatiaux, etc...

La présente invention sera mieux comprise à l'aide de la description suivante de plusieurs modes de réalisation préférés mais non limitatifs représentés aux dessins annexés, sur lesquels :

- 5        La fig. 1 est un organigramme illustrant le procédé de formation d'articles imperméables aux gaz à paroi mince à partir de matériaux comprenant des filaments de carbone imprégnés de résine, suivant l'invention ;
- 10      La fig. 2 est une vue de côté schématique d'un équipement conçu et utilisé suivant l'invention, pour réduire la porosité d'un tissu mince imprégné de résine, en le pressant au moyen de cylindres ;
- 15      La fig. 3 est une vue de côté schématique partielle qui illustre la façon dont est déterminée la porosité du matériau pré-imprégné une fois qu'il a été pressé par des cylindres, pour régler celle-ci ;
- 20      La fig. 4 est une vue en coupe transversale d'un matériau pré-imprégné antérieur ;
- 25      La fig. 5 est une vue similaire à la fig. 4, mais représente un matériau pré-imprégné traité suivant la présente invention et illustre son "aplatissement" plus important ;
- 30      La fig. 6 est une vue de côté partielle, certaines parties étant arrachées, d'une variante de la présente invention pour le pressage au moyen de cylindres du matériau pré-imprégné; et
- 35      La fig. 7 est une vue de côté schématique partielle d'une autre variante de la présente invention pour le pressage, au moyen de cylindres, du matériau pré-imprégné .
- En se référant tout d'abord à la fig. 1, on va décrire le processus complet pour fabriquer un article fini, à paroi mince, non poreux à partir d'un matériau imprégné de résine. Tout d'abord, des filaments fins de carbone ou de graphite possédant un module d'élasticité élevé sont mis sous la forme d'une fibre de filaments de graphite constitué par

3000 filaments non retordus sensiblement unidirectionnels. Naturellement, la fibre peut être formée par d'autres matériaux. Cependant, étant donné que la présente invention convient particulièrement bien aux filaments  
5 de carbone, elle sera décrite en se référant à de tels filaments.

Ensuite, la fibre est tissée.

En se référant momentanément à la fig. 4, le tissu 2 est formé par des fibres transversales, par exemple  
10 perpendiculaires, dont une première série 6 s'étend suivant une direction longitudinale, et une seconde série 8 s'étend suivant une direction transversale. Les fibres définissent entre elles des interstices  
15 de forme générale carrée. La fig. 4 montre également que l'ondulation des fibres constituant le tissu possède une amplitude "A" relativement importante.

En se référant de nouveau à la fig. 1, une fois que le tissu a été tissé, il est imprégné avec une résine appropriée non polymérisée pour former un matériau pré-imprégné. La quantité de résine avec laquelle le tissu est imprégné dépend des matériaux impliqués, du procédé suivant lequel le matériau pré-imprégné est ultérieurement traité, et de facteurs semblables. Ces paramètres sont bien connus de ceux qui sont familiers avec cette technique. Cependant, à titre d'exemple, dans un mode de réalisation préféré de l'invention, le tissu 2 décrit ci-dessus est imprégné d'une quantité de résine qui représente généralement environ 33 à 45% en poids du matériau pré-imprégné, et de préférence  
30 environ 35 à 42%.

Le matériau pré-imprégné est ensuite soumis à une pression localisée, c'est-à-dire à une pression appliquée sur une région relativement petite du matériau pré-imprégné. La pression est déplacée de  
35 façon répétée sur le matériau, aplatisant les fibres longitudinales et transversales 6, 8 dans le plan du tissu, comme représenté sur la fig. 5. Ceci réduit les dimensions des interstices 10 et facilite

leur remplissage ultérieur par la résine lorsque celle-ci durcit, de façon à rendre l'article fini sensiblement imperméable aux gaz. Pour faciliter cet aplatissement, le matériau pré-imprégné est 5 chauffé pour ramollir la résine. On remarquera que les fibres aplatises 6a, 8a (fig. 5) résultent également en une réduction de l'amplitude d'ondulation a représentée sur la fig. 5 par rapport à l'amplitude initiale "A" représentée sur la fig. 4. Il 10 semble que cette réduction de l'amplitude d'ondulation soit responsable d'une augmentation de la résistance à la torsion de l'article fini, augmentation pouvant être de 10%. On remarquera que cet effet est fortement exagéré sur les fig. 4 et 5. La 15 réduction de l'amplitude d'oscillation s'accompagne d'une augmentation des dimensions linéaires du matériau pré-imprégné. Une augmentation typique est de 0,32 cm pour une largeur de 1,06 cm de matériau pré-imprégné.

20 En se référant de nouveau uniquement à la fig. 1, la porosité du tissu pré-imprégné est notablement réduite pendant le processus de pressage par cylindres décrit ci-dessus en raison de l'aplatissement des fibres 6a et 8a et de la réduction résultant des 25 dimensions des interstices 10a entre elles. La porosité du matériau pré-imprégné peut être contrôlée par intermittence comme décrit ci-après en appliquant le vide sur un côté du matériau et en mesurant le débit d'air à travers ce matériau. Le débit mesuré peut 30 ensuite être utilisé comme signal de contre-réaction pour augmenter ou diminuer la mesure dans laquelle le matériau pré-imprégné traité ultérieurement est chauffé et/ou pressé de façon à augmenter ou diminuer de façon correspondante l'aplatissement des fibres 35 6a et 8a.

Normalement, on peut accepter une certaine gamme de valeurs de porosité. Une fois qu'on a établi des paramètres de fonctionnement satisfaisants, l'obser-

vation de tous les décalages systématiques dans cette gamme permet d'effectuer des réglages correctifs des paramètres de fonctionnement, de manière que la porosité reste dans cette gamme.

5       Ensuite, le matériau pré-imprégné est stratifié, c'est-à-dire qu'au moins deux couches de matériau pré-imprégné sont placées l'une au-dessus de l'autre dans un moule ou un dispositif approprié. Le matériau pré-imprégné est chauffé et soumis à une pression pour  
10 polymériser la résine et former, de ce fait, l'article fini.

Il s'est avéré que deux couches de matériau pré-imprégné traité de la manière décrite ci-dessus, chaque couche possédant une épaisseur non supérieure à 0,18 mm  
15 et une teneur en résine non supérieure à 35% en poids du matériau pré-imprégné, peuvent être moulées pour obtenir un article fini à paroi mince (c'est-à-dire d'environ 0,36 mm d'épaisseur) sensiblement non poreux ou imperméable aux gaz.

20       On comprendra que, bien que la présente invention s'applique à tout le processus décrit ci-dessus, elle concerne plus spécifiquement les phases intermédiaires désignées par la référence 13 sur la fig. 1, consistant à appliquer de la chaleur et une pression suivant un  
25 mouvement de va-et-vient pour étaler et redresser les fibres dans le matériau pré-imprégné, et à contrôler la porosité pour la régler. Les figures 2, 3, 6 et 7 représentent, sous forme schématique, un dispositif approprié pour effectuer les phases opératoires 13  
30 du processus représenté sur la fig. 1.

La fig. 2 représente une machine pour chauffer et cylindrer le matériau pré-imprégné. Le matériau pré-imprégné est généralement fourni sous la forme d'un rouleau, une longueur de 30 m ou plus de matériau étant enroulée sur une bobine 16. Le matériau pré-imprégné peut être pré-plié avec une couche de séparation en polyéthylène 14 avant d'être enroulé sur la bobine 16. De façon générale, le matériau compo-

site, constitué par le matériau pré-imprégné et le polyéthylène, est déroulé de la bobine 16 et est envoyé suivant la direction 17 dans la machine de la fig. 2 qui enlève la couche de polyéthylène 14, place le matériau 5 pré-imprégné 12 entre des couches de papier de déchargement, chauffe et cylindre le matériau pré-imprégné, enlève les couches de papier de déchargement, replace une couche de séparation en polyéthylène, et enroule 10 de nouveau le matériau pré-imprégné sur une bobine réceptrice pour une utilisation ultérieure.

En se référant plus particulièrement à la fig. 2, le matériau pré-imprégné 12 est délivré par la bobine débitrice 16, tandis que la couche de séparation 14 en polyéthylène est enlevée de façon continue et enroulée 15 sur une bobine réceptrice 20. Le matériau pré-imprégné 12 est alors muni de couches inférieure et supérieure 22 et 25 de papier de déchargement qui proviennent respectivement de bobines débitrices inférieure et supérieure 27 et 28. Le papier de déchargement 22 passe 20 au-dessus d'un rouleau inférieur 30, le papier de déchargement 25 passe au-dessous d'un rouleau supérieur 32, et le matériau pré-imprégné 12 passe entre les deux, formant ainsi un matériau en sandwich. Alors que 25 les trois couches sont représentées comme étant séparées pour une meilleure clarté, en réalité le matériau pré-imprégné 12 et les couches 22 et 25 de papier de déchargement sont en contact intime. Le matériau en sandwich passe ensuite sur un plateau plan 35 qui est chauffé par un dispositif de chauffage 37. 30 Un cylindre transversal élastique 40, monté sur un chariot 42, est chargé vers le bas en direction du plateau 35, comme indiqué par la flèche 43. Le chariot 42 peut se déplacer librement suivant un mouvement de va-et-vient, suivant une direction parallèle à la 35 direction 17 du mouvement du matériau pré-imprégné.

Bien que le passage du matériau pré-imprégné 12 sous le cylindre 40 soumette le matériau pré-imprégné à une pression de cylindrage de type souhaité,

on a trouvé que plusieurs passages sous des cylindres sont nécessaires. Par conséquent, des moyens sont prévus pour faire effectuer un mouvement de va-et-vient au chariot 42 (et au cylindre 40 en même temps) suivant la direction A. Des moyens commodes permettant ce mouvement de va-et-vient comprennent un moteur 45, une manivelle 47 entraînée par le moteur 45, et un arbre à manivelle 50 couplant le chariot 42 et la manivelle 47, pour transformer le mouvement de rotation du moteur 45 en mouvement alternatif pour le chariot 42.

Le matériau en sandwich constitué par le matériau pré-imprégné et le papier de déchargement est ensuite passé entre des cylindres opposés 60 et 62. Ensuite, le matériau en sandwich passe entre des cylindres 64 et 65 de déflection du papier pour enlever les couches de papier de déchargement 22 et 25, celles-ci étant respectivement enroulées sur des bobines réceptrices 67 et 68. Suivant l'application particulière envisagée, les cylindres 64 et 65 peuvent être situés l'un en face de l'autre, ou peuvent être décalés longitudinalement suivant la direction 17. Le matériau pré-imprégné 12 passe ensuite sous le cylindre 70 qui le double d'une couche de séparation 72 en polyéthylène provenant de la bobine débitrice 72. Le matériau composite constitué par le matériau pré-imprégné et le polyéthylène est ensuite enroulé sur la bobine réceptrice 80.

La température appropriée du plateau 35, la pression d'appui du cylindre 40, et le nombre de passages du cylindre 40 se déterminent mieux en se référant à une situation définie. La pression exercée par le cylindre lui-même n'est pas très significative, en raison de l'élasticité du matériau pré-imprégné, de l'effet d'amortissement des couches de papier de déchargement, et de l'élasticité du cylindre lui-même. La température à laquelle doit être porté le matériau pré-imprégné est plus facile à déterminer d'avance, étant donné que le but du chauffage est de ramollir

la résine et non de la durcir. Ce ramollissement fait suffisamment diminuer la viscosité de la résine pour permettre aux filaments de se déplacer, ce qui facilite l'aplatissement des fibres sous l'action de la pression du cylindre 40. Des types de résine différents présentent des caractéristiques de température différentes, les résines polyesters se ramollissant et durcissant généralement aux températures les plus basses, les résines polyamides aux températures les plus élevées, et les résines époxy aux températures intermédiaires. Les résines époxy sont les plus couramment utilisées. Dans le cas d'un matériau pré-imprégné avec de la résine époxy durcissant à 177°C, une température dans la gamme de 37,8°C à 93°C convient habituellement, la gamme de 60°C à 71°C étant préférée. Naturellement, la pression exercée par les cylindres et le nombre de passages des cylindres y sont liés. Cependant, la combinaison correcte se détermine le mieux de façon empirique, c'est-à-dire en observant l'aplatissement réel. La valeur de l'aplatissement des fibres dans le matériau pré-imprégné non durci est liée directement à une diminution de la porosité du matériau pré-imprégné. On remarquera que cette diminution de la porosité du matériau pré-imprégné ne doit pas être confondue avec l'élimination notable de la porosité dans le produit stratifié fini durci. Elles sont liées, la première rendant la seconde possible.

La fig. 3 représente schématiquement un instrument convenant pour contrôler la porosité du matériau pré-imprégné traité. Une tête aspirante 90 communique avec une source de vide 92 par l'intermédiaire d'une conduite 95. Un débit-mètre 97 est disposé dans la conduite 95 pour mesurer le débit d'air dans cette conduite. La source de vide 92 peut être un dispositif à vide soufflant comportant un échappement, dans lequel cas le débit-mètre 97 peut également être disposé dans l'échappement de la source de vide 92. Une lecture dans l'une ou l'autre position est représentative de

la porosité du matériau pré-imprégné 12, un débit plus important étant représentatif d'une porosité plus importante.

La vitesse correcte du matériau pré-imprégné en sandwich dans la machine est choisie une fois qu'on connaît le nombre de passages des cylindres, en étant déterminée par la fréquence et l'amplitude du mouvement de va-et-vient du cylindre 40. En particulier, la vitesse est choisie de manière qu'une partie donnée du matériau pré-imprégné se trouve dans la plage de déplacement du cylindre 40 suffisamment longtemps pour être soumise au nombre nécessaire de passages.

Il est important que le matériau pré-imprégné ne soit pas soumis à une tension irrégulière pendant le passage dans la machine. Si on n'y fait pas extrêmement attention, des plis peuvent se former dans le matériau pré-imprégné. Etant donné que les filaments de graphite possèdent une très faible résistance au cisaillement, la formation de plis, aggravée par le cylindrage, peut se traduire par une faiblesse très importante dans le matériau pré-imprégné, pouvant éventuellement le rendre inutilisable. Ceci nécessite également que la vitesse des couches 22 et 25 de papier de déchargement corresponde de façon précise à la vitesse du matériau pré-imprégné 12 dans la machine. Cette correspondance est facilitée par le fait que le matériau pré-imprégné chauffé adhère mieux aux couches de papier de déchargement lorsqu'il est chaud. Ainsi, un mouvement tangentiel relatif est empêché. En outre, les tensions dans les différents cylindres sont réglées soigneusement pour assurer une transmission uniforme suivant la direction du déplacement. Par exemple, les cylindres ou rouleaux 30, 32, 60, 62 (64 et 65 s'ils sont situés l'un en face de l'autre), et 80 sont de préférence entraînés par des moteurs à couple réglable, leurs couples étant réglés de manière qu'il n'apparaisse aucun déplacement lorsque tous les moteurs, exceptés ceux qui entraînent les rouleaux 30 et 32, sont entraînés mais que le déplacement ait lieu lorsque les

rouleaux 30 et 32 sont également entraînés.

Dans la machine représentée sur la fig. 2, il n'y a qu'un seul cylindre sur le chariot 42 pour appliquer une pression, mais d'autres modes de réalisation sont possibles. La fig. 6 représente une possibilité dans laquelle plusieurs cylindres, comprenant des cylindres 100 et 101, sont montés en parallèle sur le chariot 105, de manière que tous les cylindres entrent en contact avec le matériau pré-imprégné à un instant donné. De cette manière, un nombre plus faible de passages d'un agencement de plusieurs cylindres permet d'obtenir les mêmes résultats.

Bien qu'il soit commode d'obtenir plusieurs passages de cylindres en faisant effectuer un mouvement de va-et-vient à un ou plusieurs cylindres, comme représenté sur les fig. 2 et 6, un tel agencement peut présenter un problème dans le cas où la pression exercée par les cylindres est très importante. Ce problème est dû au fait que le cylindre se déplace la moitié du temps dans une direction opposée à la direction de déplacement 17 du matériau pré-imprégné et parallèlement à la direction 17 l'autre moitié du temps. Dans le premier cas, le matériau pré-imprégné est soumis à un certain entraînement dû au frottement qui peut se traduire par une tension non uniforme du matériau pré-imprégné. En outre, le mouvement du cylindre n'est pas uniforme et l'inversion aux extrémités du parcours peut agraver la situation. La fig. 7 représente un agencement dans lequel le matériau pré-imprégné peut être soumis à des passages de plusieurs cylindres, allant tous dans la même direction. Plusieurs cylindres parallèles 110 sont montés circonférentiellement sur un support tournant 112. Le support 112 des cylindres tourne dans la direction 115 de manière que les cylindres entrent séquentiellement en contact avec le matériau pré-imprégné alors qu'il se déplace tangentiellement suivant la direction 17.

Il est également possible d'utiliser des cylindres opposés chauffés au lieu d'utiliser un cylindre chargé en direction d'un plateau. Cependant, il n'est pas possi-

ble, dans ce cas, d'obtenir plusieurs passages des cylindres.

Comme il va de soi, et comme il résulte d'ailleurs déjà de ce qui précède, l'invention ne se limite 5 nullement à ceux de ses modes d'application et de réalisation qui ont été plus particulièrement envisagés ; elle en embrasse, au contraire, toutes les variantes.

REVENDICATIONS\*

1.- Procédé pour fabriquer un tissu pré-imprégné de résine, de porosité relativement faible, pour le mettre ultérieurement sous la forme d'un article, en soumettant le tissu pré-imprégné à une température 5 et à une pression suffisantes pour durcir la résine, caractérisé en ce qu'il consiste à former une fibre de filaments qui possède une section transversale relativement circulaire ; à tisser la fibre pour former un tissu (2) défini par des fibres transversales qui 10 forment entre elles des interstices ouverts relativement grands ; à imprégner le tissu (2) avec une résine non durcie ; à prévoir un cylindre (40) ; à charger le cylindre contre une surface du tissu imprégné tout en supportant l'autre surface du tissu au moins en face du 15 cylindre ; et à transformer la section transversale relativement circulaire de la fibre en une section transversale relativement plate (6a, 8a) qui se trouve sensiblement dans le plan du tissu et à réduire les dimensions des interstices (10a) en déplaçant le cylindre sur le tissu 20 en nombre de fois suffisant pour obtenir l'aplatissement souhaité de la fibre et, de ce fait, la réduction souhaitée des dimensions des interstices pour faciliter le remplissage des interstices lorsque la résine durcit, l'opération consistant à charger le cylindre (40) ayant lieu après 25 l'opération d'imprégnation.

2.- Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend une opération consistant à faire effectuer un mouvement de va-et-vient au cylindre (40) sur le tissu.  
30 3.- Procédé suivant la revendication 2, caractérisé en ce que l'opération consistant à supporter l'autre surface consiste à prévoir une plaque (35) de support plane, et à faire avancer de façon continue le tissu pré-imprégné sur la plaque, et que l'opération consistant à faire effectuer un mouvement de va-et-vient au cylindre 35 consiste à faire déplacer ce cylindre (40) suivant un

mouvement de va-et-vient dans une direction sensiblement parallèle à la direction de déplacement du tissu pré-imprégné sur la plaque.

4.- Procédé suivant la revendication 3, caractérisé  
5 en ce qu'il comprend une opération consistant à faire effectuer un mouvement de va-et-vient au cylindre avec une vitesse suffisante pour qu'il entre en contact avec chaque partie du tissu pré-imprégné au moins environ dix fois.

10 5.- Procédé suivant la revendication 4, caractérisé en ce qu'il comprend une opération consistant à chauffer la résine sur la plaque suffisamment pour faire diminuer sa viscosité et, de ce fait, faciliter l'élargissement relatif des fibres.

15 6.- Procédé pour fabriquer un article relativement mince, léger, très résistant et pratiquement imperméable aux gaz, caractérisé en ce qu'il consiste (a) à former une fibre avec un grand nombre de filaments de carbone ou analogue sensiblement non retordus, possédant un mo-  
20 dule d'élasticité élevé ; (b) à tisser les fibres pour former un tissu (2) comprenant un grand nombre de fibres transversales de manière que des paires de fibres pa-  
rallèles adjacentes soient espacées, des paires trans-  
versales de fibres parallèles adjacentes définissant  
25 un vide (10) entre elles ; (c) à imprégner le tissu avec une quantité de résine non durcie qui est insuf-  
fisante pour remplir les vides afin de former un matériau (12) pré-imprégné possédant une largeur et une longueur données ; (d) à augmenter ensuite une  
30 dimension de la section transversale des fibres sensi-  
blement dans le plan du tissu et à faire diminuer de façon correspondante une dimension de la section trans-  
versale des fibres dans une direction sensiblement perpendiculaire au plan du tissu, à réduire les dimen-  
35 sions des vides (10a) pour augmenter, de ce fait, la mesure dans laquelle les vides sont remplis par la résine, et à réduire l'amplitude des ondulations défi-  
nies par les fibres : (i) en prévoyant au moins un

- cylindre (40 ; (ii) en prévoyant une plaque plane (35) ;  
(iii) en transportant le matériau (12) longitudinalement  
sur la plaque ; (iv) en chargeant le cylindre contre une  
partie du matériau disposé sur la plaque ; (v) en dé-  
5 plaçant le cylindre (40) par rapport au matériau tout  
en le chargeant contre celui-ci de manière que le cylindre  
(40) applique une pression qui se déplace à chaque partie  
du matériau, au moins environ dix fois ; (e) à enlever  
ensuite la partie de matériau (12) de la plaque (35) ;  
10 (f) à placer au moins deux couches de matériau en super-  
position dans un moule ; et (g) à appliquer au moule  
de la chaleur et une pression suffisantes pour durcir la  
résine et, de ce fait, finir de mettre l'article en  
forme ; l'article étant sensiblement imperméable aux gaz  
15 en raison du remplissage des vides par la résine durcie.
- 7.- Procédé suivant la revendication 6, caractérisé  
en ce que les opérations (a) à (c) sont effectuées de  
manière que le tissu pré-imprégné (12) possède une  
épaisseur non supérieure à environ 0,18 mm.
- 20 8.- Procédé suivant la revendication 6, caractérisé  
en ce que l'opération (c) consiste à imprégner le tissu  
(12) avec une quantité de résine telle que la teneur  
en résine du matériau ne soit pas supérieure à environ  
42% en poids.
- 25 9.- Procédé suivant la revendication 8, caractérisé  
en ce que l'opération (c) consiste à imprégner le tissu  
(12) avec une quantité de résine telle que la teneur en  
résine du matériau ne soit pas supérieure à environ 35%  
en poids.
- 30 10.- Procédé suivant la revendication 6, caractérisé  
en ce qu'il comprend une opération consistant à maintenir  
la température de la résine suffisamment élevée  
pour réduire sa viscosité et, de ce fait, faciliter  
l'aplatissement de la fibre.
- 35 11.- Procédé suivant la revendication 6, caractérisé  
en ce que l'opération (v) consiste à faire effectuer un  
mouvement de va-et-vient au cylindre (40) sur la partie de  
tissu.

12.- Procédé suivant la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comprend une opération consistant à appliquer le vide à une zone de surface relativement faible d'un côté du tissu pré-imprégné après qu'il a été soumis à 5 l'opération (v) ; à déterminer le débit d'air provoqué par l'application du vide à travers le tissu ; et à changer le nombre de passages du cylindre (40) sur la partie de matériau pré-imprégné en fonction du débit d'air mesuré.

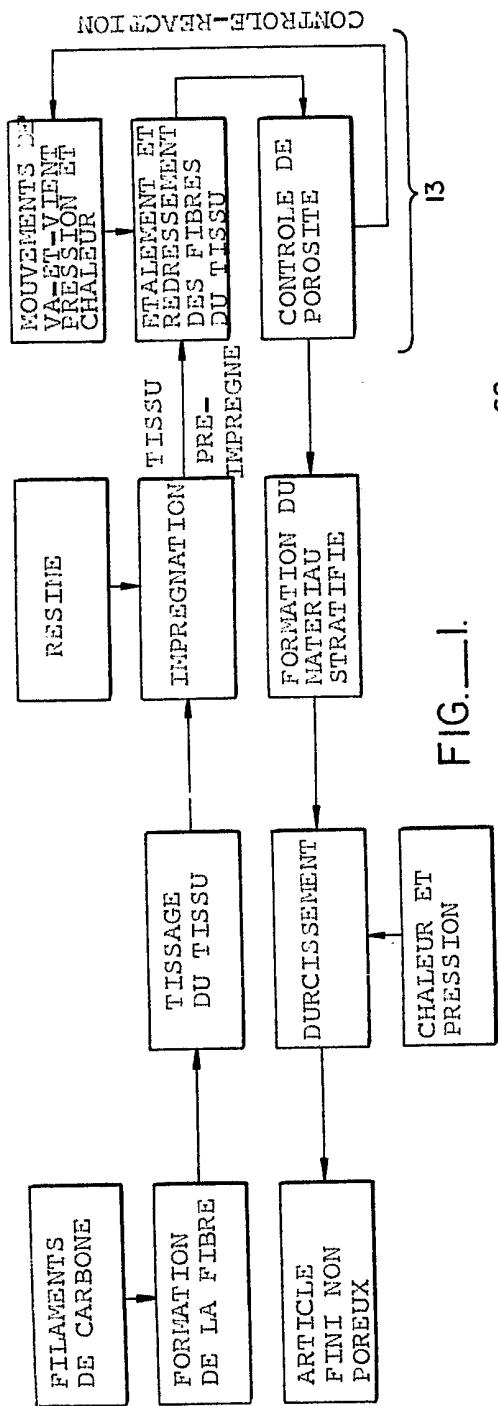


FIG. 1.

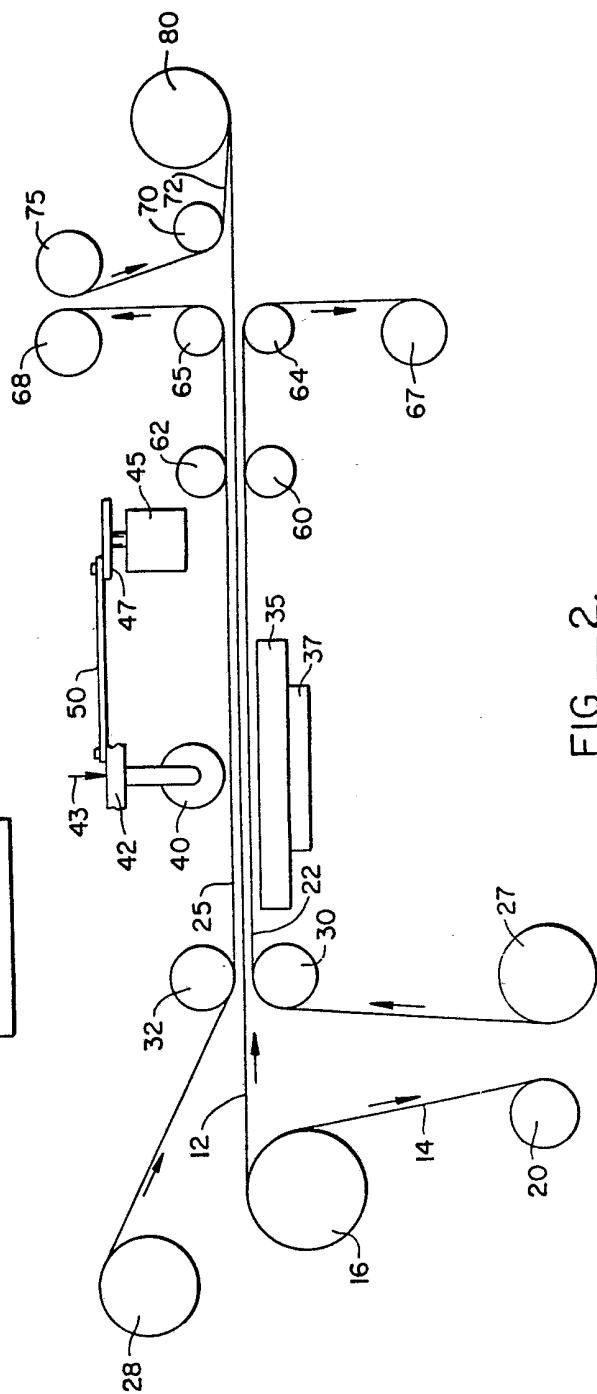


FIG. 2.

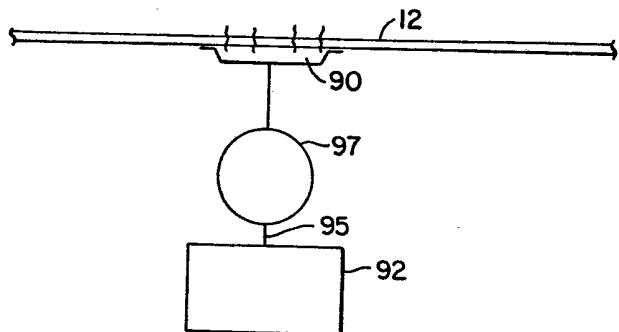


FIG. 3.

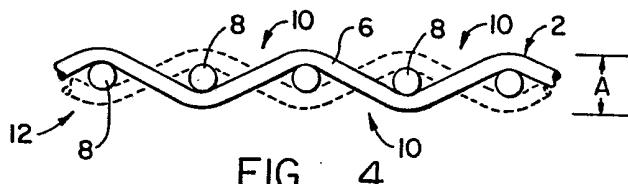


FIG. 4.

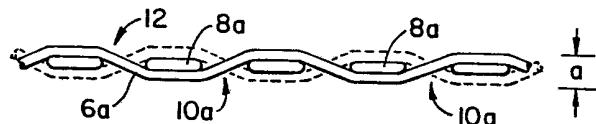


FIG. 5.

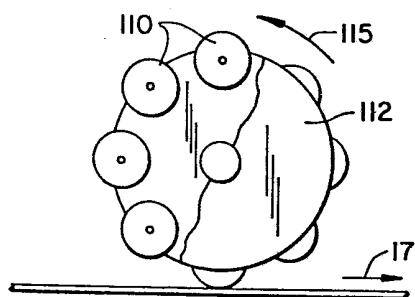


FIG. 7.

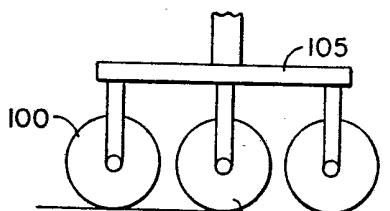


FIG. 6.