



(11) (21) (C) **2,043,095**
(22) 1991/05/23
(43) 1991/12/14
(45) 2000/10/17

(72) Pastureau, Nicole, FR

(72) Dourthe, Patrice, FR

(73) Aérospatiale Société Nationale Industrielle, FR

(51) Int.Cl.⁵ C04B 35/54, C04B 35/84

(30) 1990/06/13 (90 07319) FR

(54) **MANDRIN POUR LA FABRICATION DE CORPS CREUX EN
MATERIAU COMPOSITE ET FABRICATION DE TELS
CORPS CREUX A L'AIDE DUDIT MANDRIN**

(54) **MANDREL FOR PRODUCING COMPOSITE MATERIAL
HOLLOW BODIES; HOLLOW BODIES THUS OBTAINED**

(57) L'invention porte sur un mandrin pour la fabrication d'un corps creux en matériau composite. Selon l'invention, le mandrin est constitué par un bloc homogène de feutre de graphite dont les fibres sont noyées dans une matrice de carbone de pyrolyse. La densification de l'agencement de fibres destiné à former le corps creux est réalisé sous atmosphère neutre.

ABRÉGÉ DESCRIPTIF

5 L'invention porte sur un mandrin pour la fabrication d'un corps creux en matériau composite. Selon l'invention, le mandrin est constitué par un bloc homogène de feutre de graphite dont les fibres sont noyées dans une matrice de carbone de pyrolyse. La densification de l'agencement de fibres destiné à former le corps creux est réalisé sous atmosphère neutre.

- 1 La présente invention se rapporte à la fabrication des corps creux en matériau composite.

Quoique non exclusivement, elle est particulièrement appropriée à la fabrication de corps creux en matériau composite tridimensionnel selon un procédé dans lequel, dans un mandrin de support dont la surface extérieure correspond à la surface intérieure dudit corps creux, on plante des organes rigides au moins sensiblement orthogonaux à ladite surface extérieure, puis on applique sur la surface extérieure dudit mandrin des nappes successives de fibres (verre, carbone, bore, etc...) superposées et croisées et on durcit l'agencement desdites fibres à l'aide d'un liant durcissable, qui forme matrice et qui peut être introduit dans ledit agencement de fibres soit par imprégnation desdites fibres préalablement à leur application sur le mandrin, soit de préférence par imprégnation dudit agencement de fibres après réalisation de celui-ci (par exemple par dépôt en phase vapeur dudit liant), après quoi on dégage dudit mandrin le corps creux ainsi obtenu.

20 L'invention concerne plus particulièrement un procédé pour la réalisation d'un mandrin pour la mise en oeuvre du procédé de fabrication de corps creux décrit ci-dessus, ainsi qu'un mandrin destiné à la fabrication de corps creux composites.

- 25 Un tel procédé de fabrication de corps creux est par exemple décrit par le brevet américain US-A-3 577 294.

Dans ce brevet américain, lesdits organes rigides sont constitués eux-mêmes de fibres destinées à rester prisonnières dudit agencement de nappes pour former l'une des trois dimensions des corps creux. Afin de permettre de planter de tels organes rigides, le mandrin utilisé est réalisé superficiellement en une matière, telle qu'une mousse, dans laquelle lesdits organes rigides peuvent tout

1 d'abord facilement pénétrer, puis être retenus. Par
ailleurs, afin d'obtenir des corps creux de forme aussi
précise que possible, le durcissement dudit liant durcis-
sable est réalisé alors que ledit agencement de fibres est
5 supporté par ledit mandrin, celui-ci assurant la stabilité
dudit agencement pendant son durcissement. Ainsi, l'extrac-
tion du mandrin n'est réalisée qu'après durcissement des
fibres. Pour permettre l'extraction du mandrin hors du corps
creux durci, le brevet US-A-3 577 294 prévoit que le mandrin
10 utilisé est partiellement thermiquement destructible.

Le fait que le durcissement de l'agencement des fibres doive
être effectué avant extraction du mandrin présente un
inconvenient important. En effet, ce durcissement ne peut
être effectué à température élevée, car, sinon, la matière
15 mousse maintenant lesdits organes rigides et/ou la partie
thermiquement destructible dudit mandrin seraient détruites
lors du durcissement dudit agencement des fibres, de sorte
que le mandrin ne pourrait plus assurer le maintien de cet
agencement. Or, on sait que les opérations de durcissement
20 peuvent nécessiter l'usage de températures élevées (par
exemple supérieures à 150°C) pour la polymérisation de
certaines résines pouvant être utilisées comme liant
durcissable. On sait de plus, comme cela est mentionné
ci-après, que, pour obtenir des propriétés mécaniques
25 élevées pour le corps creux obtenu de cette façon, il est
souvent nécessaire de mettre en oeuvre des opérations de
densification nécessitant des traitements à température
encore plus élevée.

Dans le brevet français FR-A-2 587 375 est décrit un mandrin
30 supportant en continu une température d'environ 1650°C et
pouvant supporter temporairement une température proche de
2000°C. Ce mandrin est à cet effet réalisé superficiellement
en un feutre constitué de fibres de silice et d'un liant
minéral constitué par exemple d'un mélange de silicates.
35 Ledit mandrin est obtenu par fixation par collage dudit

- 1 feutre de silice sur un support interne, par exemple en
ciment ou en métal, et par cuisson dudit feutre à 80°C
pendant au moins 48 heures pour le rigidifier grâce au
durcissement du liant minéral. La forme du mandrin est
5 obtenue, soit par conformage ou moulage sous pression dudit
feutre (vraisemblablement avant cuisson), soit par usinage
dudit feutre après cuisson.

On remarquera tout d'abord que la structure d'un tel mandrin
est hétérogène (revêtement superficiel de feutre collé sur
10 un support en une autre matière), de sorte que le manque
d'homogénéité dudit mandrin soulève des difficultés lorsque
celui-ci est soumis à des températures élevées.

Par ailleurs, les performances de résistance à la tempéra-
ture avancées pour un tel mandrin de feutre de silice
15 paraissent justifiées, puisque la silice fond à environ
1600°C. Cependant, dans ce brevet antérieur, il est indiqué,
sans autre précision particulière, qu'il est possible de
réaliser ledit mandrin en un feutre constitué d'une matière
minérale autre que la silice, comme par exemple le carbone.

20 Toutefois, puisque le carbone se consume à environ 400°C, on
doit en déduire que les performances de résistance à la
température d'un tel mandrin réalisé en un feutre de carbone
sont très inférieures à celles du mandrin en feutre de
silice. De plus, ce brevet antérieur n'indique pas de
25 méthode spécifique de rigidification du feutre de carbone,
de sorte que l'on doit en déduire que ce durcissement est
également obtenu grâce à un liant minéral du type utilisé
pour le mandrin en feutre de silice, ce qui accroît encore
le manque d'homogénéité du mandrin.

30 Cependant, il est intéressant de pouvoir disposer d'un
mandrin en feutre de carbone homogène pour réaliser des
corps creux composites soumis à des opérations de densifica-
tion à température élevée, car le feutre de carbone est

1 moins cher que le feutre de silice.

Aussi, l'un des objets de la présente invention est-il de permettre d'obtenir un mandrin homogène en feutre de carbone.

5 A cette fin, selon l'invention, le procédé pour la réalisation d'un mandrin destiné à la fabrication d'un corps creux en matériau composite, selon un procédé de fabrication dans lequel on applique sur ledit mandrin un agencement de fibres, puis on durcit et on densifie ledit agencement de
10 fibres par des opérations nécessitant l'application de températures élevées, après quoi on dégage dudit mandrin le corps creux formé par ledit agencement de fibres, durci et densifié, ledit mandrin étant réalisé à l'aide d'un feutre de graphite que l'on rigidifie et que l'on usine de façon à
15 ce que sa surface extérieure corresponde à la surface intérieure dudit corps creux, est remarquable en ce qu'on rigidifie un bloc de feutre de graphite par imprégnation par un produit polymérisable générateur de carbone, puis on soumet ledit bloc de feutre de graphite à une température
20 élevée sous atmosphère neutre afin de pyrolyser ledit produit polymérisable, après quoi on usine ledit bloc rigidifié à la forme désirée pour le mandrin.

Ainsi, l'utilisation d'un bloc de feutre de graphite permet de se dispenser d'un support interne de nature différente
25 dudit feutre. De plus, la pyrolyse dudit produit polymérisable engendre la formation d'une matrice de carbone enrobant les fibres de graphite dudit feutre. On obtient donc un mandrin en matériau carbone/carbone. On remarquera que, grâce au fait que l'on opère sous atmosphère neutre, le bloc
30 de feutre de graphite supporte sans dommage la température élevée de la pyrolyse (par exemple de l'ordre de 850°C).

- 1 Par la mise en oeuvre de l'invention, on obtient donc un
mandrin constitué par un matériau carbone/carbone (donc
homogène en ce qui concerne sa matière constitutive), qui :
· permet l'implantation superficielle desdits organes
5 rigides et le maintien de ceux-ci pendant l'application des
nappes superposées croisées ;
· résiste à des températures élevées, de l'ordre de 400°C
en atmosphère oxydante ; et
· présente une résistance mécanique suffisante pour
10 supporter sans déformation les efforts appliqués par
lesdites nappes superposées (principalement celles qui
correspondent à des enroulements circonférentiels) au cours
de leur application.

De préférence, la masse spécifique du feutre rigidifié est
15 au moins égale à 0,2 g/cm³.

Un tel mandrin peut être plein ou creux. Il peut présenter
une forme de révolution pour permettre l'application des
nappes superposées croisées par bobinage de filaments.

On sait que, dans le commerce, le feutre de carbone se
20 présente généralement sous la forme de plaques (éventuelle-
ment circulaires) et non pas sous la forme de blocs. Aussi,
selon une forme de mise en oeuvre du procédé selon
l'invention, on part de plaques de feutre que l'on assemble
pour obtenir ledit bloc. Afin que lesdites plaques présen-
25 tent une résistance mécanique satisfaisante pendant leur
assemblage, il est avantageux de procéder à l'imprégnation
desdites plaques par le produit polymérisable avant leur
assemblage, la pyrolyse dudit produit étant réalisé après
assemblage desdites plaques. Ainsi, pendant leur assembla-
30 ge, lesdites plaques sont au moins partiellement rigidi-
fiées par ledit produit générateur de carbone polymérisé.

- 1 De préférence, l'assemblage desdites plaques est obtenu par collage au moyen d'un produit également générateur de carbone. Ce produit de collage peut être de la même nature que le produit d'imprégnation du feutre, par exemple une
5 résine phénolique. Le produit de collage est avantageusement chargé par de la poudre de carbone. Ainsi, le mandrin obtenu n'est constitué que de carbone.

- Dans le cas où le procédé d'application de l'agencement de fibres met en oeuvre non seulement des organes rigides
10 fixes, tels que des picots (comme cela est le cas du brevet US-A-3 577 294), mais encore un organe rigide mobile, tel qu'une aiguille, destinée à introduire à travers les nappes de fibres reposant sur le mandrin un fil continu formant des boucles successives ouvertes (comme cela est décrit dans le
15 brevet européen EP-A-0 284 497), il peut être avantageux d'améliorer le coefficient de frottement de ladite aiguille, animée d'un mouvement de va et vient, par rapport au mandrin dans lequel elle pénètre.

- Aussi, dans un mode de réalisation du mandrin plus particulièrement, quoique non exclusivement, destiné à la mise en oeuvre du procédé décrit dans le brevet européen précité, on prévoit que ledit mandrin, au moins dans sa couche superficielle, est imprégné par un liant caoutchouteux.
Avantageusement, l'épaisseur de la couche superficielle du
25 mandrin imprégnée par ledit liant caoutchouteux est au moins égale à la profondeur de la pénétration de ladite aiguille dans ledit mandrin.

- Dans ce cas, l'usinage du bloc de feutre rigidifié n'est réalisé que de façon approximative de façon à obtenir une
30 ébauche de mandrin, puis cette ébauche est soumise au moins superficiellement à une imprégnation par un liant caoutchouteux durcissable, après quoi on usine l'ébauche à la forme définitive du mandrin.

- 1 Une telle imprégnation peut être réalisée par mise en
rotation de l'ébauche dans un réservoir contenant une
solution du liant caoutchouteux, l'excédent de liant étant
éliminé par exemple par essorage, avant durcissement dudit
5 liant.

Un tel liant peut être du latex de néoprène.

- On remarquera que le liant caoutchouteux ne forme pas un
simple revêtement superficiel du mandrin ajoutant une
surépaisseur à celui-ci, mais au contraire est imprégné en
10 profondeur dans la matière superficielle dudit mandrin.

- On voit donc que l'invention concerne de plus un mandrin
destiné à la fabrication d'un corps creux en matériau
composite, selon un procédé de fabrication dans lequel on
applique sur ledit mandrin un agencement de fibres, puis on
15 durcit et on densifie ledit agencement de fibres par des
opérations nécessitant l'application de températures
élevées, après quoi on dégage dudit mandrin le corps creux
formé par ledit agencement de fibres, durci et densifié,
ledit mandrin comportant du feutre de graphite rigidifié et
20 usiné de façon à ce que sa surface extérieure corresponde à
la surface intérieure dudit corps creux, ce mandrin étant
remarquable en ce qu'il est constitué d'un bloc homogène de
feutre de graphite dont les fibres sont noyées dans une
matrice de carbone de pyrolyse.

- 25 Le mandrin conforme à l'invention peut de plus être
remarquable en ce qu'au moins sa couche superficielle est
imprégnée par un liant caoutchouteux.

- Un autre objet de la présente invention est de remédier aux
inconvénients décrits ci-dessus, de la technique antérieure
30 apparaissant au moment de la densification de l'agencement
de fibres et de permettre de maintenir en place le mandrin

- 1 dans l'agencement de fibres pendant le durcissement et la densification de celui-ci, même si ces opérations de densification nécessitent la mise en oeuvre de températures élevées, par exemple 2600°C ou plus.
- 5 Aussi, selon un autre aspect de la présente invention, le procédé pour la fabrication d'un corps creux en matériau composite, selon lequel :
- on commence par réaliser un mandrin à l'aide d'un feutre de graphite, que l'on rigidifie et que l'on usine de façon
 - 10 'à ce que sa surface extérieure corresponde à la surface intérieure dudit corps creux ;
 - puis, on applique sur ledit mandrin un agencement de fibres qui est durci et densifié par des opérations nécessitant des températures élevées ;
 - 15 - après quoi, on dégage dudit mandrin le corps creux formé par ledit agencement de fibres, durci et densifié ; est remarquable :
 - en ce que, pour obtenir ledit mandrin, on rigidifie un bloc de feutre de graphite par imprégnation par un produit
 - 20 polymérisable générateur de carbone, puis on soumet ledit bloc de feutre de graphite à une température élevée sous atmosphère neutre afin de pyrolyser ledit produit polymérisable, après quoi on usine ledit bloc rigidifié à la forme désirée pour le mandrin ;
 - 25 - et en ce que la densification dudit agencement de fibres est effectuée sous atmosphère neutre.

Puisque la densification est effectuée sous atmosphère neutre, elle peut être réalisée à des températures élevées sans que ledit mandrin perde ses qualités de stabilité

30 dimensionnelle.

Dans une forme de mise en oeuvre avantageuse du procédé selon l'invention, ledit agencement de fibres est constitué de fibres de carbone présentant une grande résistance à la

1 rupture lorsqu'elles sont appliquées sur le mandrin et au
moins un traitement de graphitisation à au moins 2600°C sous
atmosphère neutre est appliqué auxdites fibres supportées
par ledit mandrin, après réalisation dudit agencement de
5 fibres sur celui-ci.

Ainsi, la réalisation dudit agencement de fibres sur le
mandrin est facilitée puisqu'alors lesdites fibres sont
souples, et lesdites fibres ne sont rigidifiées (par
l'opération de graphitisation) qu'après formation dudit
10 agencement.

Après une telle graphitisation, on procède à la densification
dudit agencement de fibres par dépôt chimique de carbone en
phase vapeur. Ainsi, ce dépôt de carbone forme matrice pour
ledit agencement de fibres.

15 Afin d'obtenir une densification optimale, il est
avantageux de procéder, après une première opération de
dépôt chimique de carbone en phase vapeur, à une opération
d'élévation de température à au moins 2400°C sous
atmosphère neutre, puis à une seconde opération de dépôt
20 chimique de carbone en phase vapeur. En effet, cette
opération d'élévation de température permet d'ouvrir les
pores de l'agencement de fibres, de sorte que le carbone
déposé par la seconde opération de dépôt chimique en phase
vapeur peut pénétrer profondément à l'intérieur dudit
25 agencement en augmentant la densité de ce dernier.

Eventuellement, pour obtenir la densité désirée, on alterne
plusieurs opérations supplémentaires d'élévation de
température à au moins 2400°C et plusieurs opérations de
dépôt chimique de carbone en phase vapeur.

30 Les exemples I et II ci-après feront bien comprendre
comment on peut réaliser un mandrin conforme à l'invention.

1 Exemple I

Pour réaliser un mandrin conforme à la présente invention ayant une forme de révolution, on part de disques de feutre de graphite disponibles sur le marché sous la marque
5 déposée SIGRATHERM et fabriqués par la société allemande SIGRI ELEKTROGRAPHIT GmbH. Ces disques portent la référence commerciale PR-201-16 et présentent une masse spécifique de 0,16 g/cm³. Leur épaisseur est de 40 mm et leur teneur en carbone est au moins égale à 99%. Le processus de
10 réalisation du mandrin est alors le suivant :

a) on imprègne ces disques de feutre de graphite par une résine phénolique polymérisable, par exemple celle connue sous la référence commerciale RA 101 fabriquée par la Société française RHONE POULENC, puis on procède à la
15 polymérisation de ladite résine. De la sorte, on obtient des disques de feutres de graphite rigidifiés susceptibles d'être usinés, par exemple par tournage ;

b) après la rigidification des disques de feutre individuels obtenue sous a), ces disques sont empilés et collés pour
20 former un cylindre. De préférence, afin que le collage résiste bien à la température, il est effectué à l'aide de résine chargée de poudre de carbone. Cette résine peut être la même que celle utilisée dans l'opération a). La proportion de poudre de carbone peut être de 3% en masse ;

25 c) le cylindre de feutre de graphite obtenu à l'issue de l'opération b) est soumis à pyrolyse à 850°C en atmosphère neutre. Grâce à cette pyrolyse, la résine phénolique est transformée en carbone, rigidifiant le feutre de graphite. Après pyrolyse, la masse spécifique du cylindre de feutre de
30 graphite est égale à 0,22 g/cm³. Il résiste à une température de 400°C en atmosphère oxydante. Ses propriétés mécaniques sont les suivantes :

- 1 . contrainte à limite élastique parallèlement aux
disques = 0,3 MPa ;
2 . contrainte à limite élastique perpendiculairement aux
disques = 0,1 MPa ;
5 . module d'élasticité parallèlement aux
disques = 160 Mpa ;
6 . module d'élasticité perpendiculairement aux
disques = 7 MPa.
- 10 d) le cylindre de feutre de graphite rigidifié obtenu à
l'issue de l'opération c) est usiné à la forme définitive
désirée par le mandrin.

Exemple II

- On répète les opérations a), b) et c) de l'exemple I et,
dans l'opération d'usinage d), au lieu d'usiner le mandrin à
15 sa forme définitive, on réalise une ébauche approximative du
mandrin. Ensuite, on procède aux opérations suivantes :

- 20 e) l'ébauche de mandrin en feutre de graphite rigidifié est
imprégnée au moins superficiellement par un liant caoutchou-
teux. Ce liant caoutchouteux est par exemple un latex de
néoprène, tel que celui connu sous la référence commerciale
115 et fabriqué par la Société américaine E.I. DU PONT DE
NEMOURS and Co. L'imprégnation peut être réalisée par mise
en rotation de l'ébauche de mandrin dans un réservoir
étanche contenant le latex de néoprène dilué à l'eau (75% de
25 latex - 25% eau). L'excédent de latex de néoprène est
éliminé par essorage par dépression ;

- f) l'ébauche de mandrin imprégnée de latex de néoprène est
séchée ;

- 30 g) après le séchage de l'opération f), le latex de néoprène
est vulcanisé ; et

- 1 h) l'ébauche de mandrin imprégnée au moins superficielle-
ment de latex de néoprène vulcanisé est usinée à la forme
définitive désirée pour le mandrin.

Ainsi, grâce à l'invention, on obtient des mandrins
5 susceptibles de maintenir les nappes de fibres résistantes
superposées et croisées pendant leur durcissement. Dans le
cas où le mandrin selon l'invention comporte une imprégna-
tion superficielle caoutchouteuse, il peut se faire que
cette imprégnation soit détruite au cours des opérations de
10 durcissement du corps creux. Toutefois, on remarquera que
cette destruction est sans conséquence sur le maintien du
corps creux par le mandrin avant durcissement complet
desdites nappes devant donner lieu au corps creux en
matériau tridimensionnel.

- 15 L'exemple III ci-après illustre la fabrication d'un corps
creux conformément à l'invention.

Exemple III

Sur le mandrin obtenu par la mise en oeuvre du procédé
décrit à l'Exemple II, on dispose un agencement de fibres de
20 carbone à haute résistance à la rupture (c'est-à-dire de
grande souplesse) par la mise en oeuvre du procédé décrit
dans le brevet européen EP-A-0 284 497 mentionné ci-dessus.
La disposition de cet agencement de fibres de carbone sur le
mandrin est facilitée par la grande souplesse desdites
25 fibres.

Après réalisation dudit agencement de fibres de carbone, on
soumet celui-ci (porté par ledit mandrin) :

- i) à un traitement de graphitisation en atmosphère neutre,
destiné à transformer lesdites fibres de carbone à haute
30 résistance à la rupture en fibres à haut module d'élastici-
té, c'est-à-dire à grande rigidité. Ce traitement de

- 1 graphitisation peut par exemple comporter les opérations suivantes :
- . i1) montée en température jusqu'à 2600°C en 25 heures ;
 - . i2) maintien de la température à 2600°C pendant 1 heure ;
 - 5 . i3) descente de la température de 2600°C à la température ambiante, sans contrainte de temps ;
- j) puis à un dépôt chimique de carbone en phase vapeur pour augmenter la densité de l'agencement de fibres de graphite. Par exemple, cette opération de dépôt en phase vapeur est
- 10 réalisée à 1000°C, pendant 50 heures ;
- k) ensuite, on procède à une nouvelle élévation de température en atmosphère neutre à 2600°C, afin de parfaire la graphitisation des fibres de carbone et d'ouvrir les porosités de l'agencement de fibres en cours de densification ;
- 15 l) enfin, on effectue un nouveau dépôt chimique de carbone en phase vapeur à 1000°C, pendant une cinquantaine d'heures.

Les réalisations de l'invention, au sujet desquelles un droit exclusif de propriété ou de privilège est revendiqué, sont définies comme suit:

1. Procédé pour la réalisation d'un mandrin
5 destiné à la fabrication d'un corps creux en matériau composite, selon un procédé de fabrication dans lequel on applique sur ledit mandrin un agencement de fibres, puis on durcit et on densifie ledit agencement de fibres par des opérations nécessitant l'application de températures élevées,
10 après quoi on dégage dudit mandrin le corps creux formé par ledit agencement de fibres, durci et densifié, ledit mandrin étant réalisé à l'aide d'un feutre de graphite que l'on rigidifie et que l'on usine de façon à ce que sa surface extérieure corresponde à la surface intérieure dudit corps
15 creux,
caractérisé en ce qu'on rigidifie un bloc de feutre de graphite par imprégnation par un produit polymérisable générateur de carbone, puis on soumet ledit bloc de feutre de graphite à une température élevée sous atmosphère neutre afin
20 de pyrolyser ledit produit polymérisable, au moins la couche superficielle dudit mandrin est imprégnée par un liant caoutchouteux, après quoi on usine ledit bloc rigidifié à la forme désirée pour le mandrin.

2. Procédé selon la revendication 1,
25 caractérisé en ce que le bloc de feutre rigidifié n'est usiné

que de façon approximative de façon à obtenir une ébauche de mandrin, puis la couche superficielle du mandrin est imprégnée par un liant caoutchouteux durcissable, après quoi on usine l'ébauche de mandrin à la forme définitive du mandrin.

5 3. Procédé selon la revendication 2,
caractérisé en ce que l'imprégnation par le liant
caoutchouteux est réalisée par la rotation de l'ébauche de
mandrin dans un réservoir contenant une solution du liant
caoutchouteux, l'excédent de liant caoutchouteux étant retiré
10 avant le durcissement du liant caoutchouteux.

4. Procédé selon la revendication 1,
caractérisé en ce que ledit liant caoutchouteux est du latex
de néoprène.

5. Procédé selon la revendication 1,
15 pour former un mandrin utilisé pour mettre en oeuvre un
procédé d'agencement de fibres dans lequel un fil continu est
introduit à travers les nappes de fibres reposant sur le
mandrin, pour former des boucles successives ouvertes, au
moyen d'un organe rigide mobile, tel qu'une aiguille,
20 caractérisé en ce que l'épaisseur de la couche superficielle
du mandrin imprégnée de liant caoutchouteux est au moins égale
à la profondeur de pénétration de ladite aiguille.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que la masse spécifique dudit feutre rigidifié est au moins égale à $0,2 \text{ g/cm}^3$.

5 7. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que l'on part de plaques de feutre que l'on assemble pour obtenir ledit bloc.

10 8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'on procède à l'imprégnation desdites plaques avec le produit polymérisable avant leur assemblage, la pyrolyse dudit produit étant réalisée après assemblage desdites plaques.

9. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'assemblage desdites plaques est obtenu par collage au moyen d'un produit générateur de carbone.

15 10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que ledit produit de collage est de même nature que le produit d'imprégnation du feutre.

20 11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que ledit produit de collage est chargé de poudre de carbone.

12. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit bloc de feutre est usiné à la forme définitive du mandrin après imprégnation dudit bloc avec ledit liant caoutchouteux.

5 13. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la masse spécifique dudit feutre rigidifié est au moins égale à $0,2 \text{ g/cm}^3$.

14. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on part de plaques de feutre que l'on assemble pour obtenir ledit bloc.
10

15. Procédé selon la revendication 14, caractérisé en ce qu'on procède à l'imprégnation desdites plaques avec le produit polymérisable avant leur assemblage, la pyrolyse dudit produit étant réalisée après assemblage desdites plaques.
15

16. Procédé selon la revendication 14, caractérisé en ce que l'assemblage desdites plaques est obtenu par collage au moyen d'un produit générateur de carbone.

17. Procédé selon la revendication 16, caractérisé en ce que ledit produit de collage est de même nature que le produit d'imprégnation du feutre.
20

18. Procédé selon la revendication 17,
caractérisé en ce que ledit produit de collage est chargé de
poudre de carbone.

5 19. Mandrin destiné à la fabrication d'un corps
creux en matériau composite, selon un procédé de fabrication
dans lequel on applique sur ledit mandrin un agencement de
fibres, puis on durcit et on densifie ledit agencement de
fibres par des opérations nécessitant l'application de
températures élevées, après quoi on dégage dudit mandrin ledit
10 corps creux formé par ledit agencement de fibres, durci et
densifié, ledit mandrin comportant du feutre de graphite
rigidifié et usiné de façon à ce que sa surface extérieure
corresponde à la surface intérieure dudit corps creux, ledit
mandrin étant constitué d'un bloc homogène dudit feutre de
15 graphite dont les fibres sont noyées dans une matrice de
carbone de pyrolyse,
caractérisé en ce qu'au moins la couche superficielle dudit
mandrin est imprégnée d'un liant caoutchouteux.

20. Mandrin selon la revendication 19,
20 caractérisé en ce que ledit liant caoutchouteux est du latex
de néoprène.

21. Mandrin selon la revendication 19,
caractérisé en ce que la masse spécifique dudit feutre

rigidifié est au moins égale à $0,2 \text{ g/cm}^3$.

22. Mandrin selon la revendication 19, caractérisé en ce que ledit bloc est composé de plaques de feutre assemblées.

5 23. Mandrin selon la revendication 19, caractérisé en ce que ledit bloc est composé de plaques de feutre assemblées l'une à l'autre, lesdites plaques de feutre contenant dans leur intérieur un matériau pyrolysé polymérisable.

10 24. Mandrin selon la revendication 22, caractérisé en ce que lesdites plaques de feutre ont été collées ensemble au moyen d'un produit de collage générateur de carbone.

15 25. Mandrin selon la revendication 24, caractérisé en ce que ledit produit de collage est une résine phénolique.

26. Mandrin selon la revendication 24, caractérisé en ce que ledit produit de collage est de la poudre de carbone.