

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
—
PARIS
—

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

2 574 071

②1 N° d'enregistrement national :

85 17950

⑤1 Int Cl⁴ : C 04 B 35/64, 35/80.

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 4 décembre 1985.

③0 Priorité : DE, 5 décembre 1984, n° P 34 44 397.5.

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 23 du 6 juin 1986.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : Société dite : DIDIER-WERKE AG. —
DE.

⑦2 Inventeur(s) : Ludwig Wirth, Ingo Elstner, Ulrich Hintzen,
Rudolf Ganz, Miroslav Rausch et Robert Burger.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Bureau D. A. Casalonga, Office Josse et
Petit.

⑤4 Procédé de fabrication de pièces moulées résistantes au feu et/ou réfractaires en matériau fibreux céramique,
pièces moulées produites selon le procédé ainsi que leur utilisation.

⑤7 L'invention concerne un procédé de fabrication de pièces
moulées résistantes au feu ou réfractaires en matériau fibreux
céramique, dans lequel :

a. On réalise une mise en suspension dans l'eau de fibres
résistantes au feu et/ou réfractaires et de matériaux fins
et/ou très fins, résistants au feu et/ou réfractaires et d'autres
additifs, le cas échéant;

b. Par utilisation d'un agent flocculant, les matériaux fins
et/ou très fins sont flocculés sur les fibres, et

c. La pièce moulée souhaitée est fabriquée par égouttage
de la suspension dans un moule approprié permettant l'esso-
rage de l'eau, et par séchage de la pièce moulée.

Le procédé selon l'invention est caractérisé en ce que :

d. On utilise des fibres qui consistent à ≥ 90 % en fibres
de longueur maximale $\leq 500 \mu\text{m}$;

e. L'addition de l'agent flocculant est réalisée sous forme
d'une solution aqueuse ajoutée à la dispersion de fibres et de
matériaux fins et/ou très fins résistants au feu et/ou réfrac-
taires et des autres additifs usuels, le cas échéant, et

f. Lors de l'égouttage de la suspension, en formant la pièce
moulée souhaitée, on exerce une pression sur la pièce moulée
en cours de formation pour densifier ainsi la pièce moulée.

FR 2 574 071 - A1

Procédé de fabrication de pièces moulées résistantes au feu et/ou réfractaires en matériau fibreux céramique, pièces moulées produites selon le procédé ainsi que leur utilisation.

L'invention concerne un procédé de fabrication de pièces moulées résistantes au feu ou réfractaires en matériau fibreux céramique, dans lequel

- a) on réalise une mise en suspension dans l'eau de fibres
5 résistantes au feu et/ou réfractaires et de matériaux fins et/ou très fins, résistants au feu et/ou réfractaires et d'autres additifs le cas échéant,
- b) par utilisation d'un agent flocculant, les matériaux fins et/ou très fins sont flocculés sur les fibres, et
- 10 c) la pièce moulée souhaitée est fabriquée par égouttage de la suspension dans un moule approprié permettant l'essorage de l'eau et par séchage de la pièce moulée, en outre les pièces moulées produites selon le procédé ainsi que leur utilisation.

- 15 Par DE-AS 19 47 904, on connaît un matériau isolant thermique, réfractaire, qui a été préparé à partir de 10 à 97 % en poids d'un composant de fibres réfractaires et de 1 à 20 % en poids d'une poudre métallique en utilisant un sol colloïdal de dioxyde de silicium, et de l'amidon
- 20 comme liant. Dans ce DE-AS 19 47 904, il est indiqué qu'on prépare une suspension aqueuse à partir de ces composants solides avec une teneur en solide de 1 %, qui est égouttée dans un moule filtrant approprié, et le corps moulé ainsi préparé est séché à des températures de l'ordre de 160°C.
- 25 Par la demande de brevet européen publiée O 077 444 on connaît une plaque renforcée à fibres et un procédé de sa fabrication, dans lequel la plaque renforcée à fibres contient de 15 à 40 % en poids de fibres céramiques, 1 à 6 % en poids de fibres organiques, 1 à 6 % en poids d'un
- 30 liant organique, 0 à 5 % en poids de dioxyde de silicium

colloïdal, 0,2 à 2 % en poids d'un agent flocculant et environ 50 à 80 % en poids d'une charge minérale réfractaire. Selon le mode opératoire décrit dans cette demande de brevet européen, les fibres organiques sont désagrégées dans un
5 dispositif de broyage, pour une teneur en solide d'environ 1 à environ 15 % en poids dans la suspension aqueuse, et ensuite on ajoute les autres composants. Il est alors indiqué que le liant et le dioxyde de silicium colloïdal sont préci-
10 pités sur les fibres par l'agent flocculant. Comme agents flocculants sont indiqués des polyacrylamides, polyacryli- mides, ainsi que des composés fournissant des ions poly- valents. Comme liant, on peut utiliser de l'amidon. En outre, on connaît par la demande de brevet européen O 073 854 un matériau fibreux, dans la fabrication duquel on imprègne
15 d'abord des fibres dispersées dans l'eau avec un agent flocculant et on sèche ensuite. A partir de ces fibres impré- gnées séchées, pour lesquelles il peut s'agir aussi de fibres minérales, on prépare ensuite à nouveau une dispersion aqueuse, en ajoutant des poudres minérales fines, et on
20 forme un matériau en plaque selon les techniques de fabri- cation papetières. Dans cette demande de brevet européen O 073 854, il est cependant nettement indiqué que la longueur de fibre doit être de préférence supérieure à 0,5 mm et en particulier supérieure à 1,5 mm.

25 L'objet de la présente invention est un procédé de fabrication de pièces moulées résistantes au feu ou réfractaires en matériau fibreux céramique, dans lequel les pièces moulées présentent des propriétés mécaniques amé-
liorées et en particulier une meilleure résistance à l'éro-
30 sion, en particulier par les gaz très chauds. En particulier, les pièces moulées préparées selon le procédé de l'invention doivent posséder aussi bien dans l'air que dans l'eau une résistance élevée aux changements de température, et être en soi si solides qu'elles peuvent être transformées aussi
35 au moyen de procédés d'usinage mécaniques, par exemple par fraisage.

Pour atteindre cet objectif convient le procédé selon l'invention, caractérisé en ce que

- d) on utilise des fibres qui consistent, à $\geq 90 \%$, en fibres de longueur maximale $\leq 500 \mu\text{m}$,
- 5 e) l'addition de l'agent flocculant est réalisée sous forme d'une solution aqueuse ajoutée à la dispersion de fibres et de matériaux fins et/ou très fins, résistants au feu et/ou réfractaires et des autres additifs usuels, le cas échéant, et,
- 10 f) lors de l'égouttage de la suspension en formant la pièce moulée souhaitée, on exerce une pression sur la pièce moulée en cours de formation pour densifier ainsi la pièce moulée.

Selon un mode de réalisation préférentiel, on
15 utilise au stade d) des fibres qui consistent, à $\geq 98 \%$, en fibres de longueur maximale $\leq 500 \mu\text{m}$.

Selon un autre mode de réalisation préférentiel, on utilise au stade f) la pression d'un poinçon où la pression appliquée est de préférence une surpression ≥ 2 bar.

20 Selon un autre mode de réalisation préférentiel, on utilise au stade d) des fibres, qui ont été précuites à des températures $\geq 900^\circ\text{C}$.

Selon un autre mode de réalisation préférentiel, le procédé comprend encore un stade g) selon lequel les
25 pièces moulées sont portées à une température suffisamment élevée pour que les fibres et les matériaux fins et/ou très fins soient frittés entre eux et/ou les uns avec les autres en formant une structure mécaniquement solide. Ce stade g) est alors toujours avantageux quand les pièces moulées ne
30 sont pas entièrement portées, lors de leur utilisation, à une température si élevée que ce frittage se produise, ou quand les pièces moulées produites doivent être transformées encore par un usinage mécanique, par exemple par fraisage.

L'invention concerne en outre les pièces moulées
35 réalisées selon le procédé de l'invention, qui, après la

cuisson, possèdent une résistance aux changements de température de plus de 30 cycles aussi bien par trempe dans l'air que par trempe dans l'eau.

Les fibres réfractaires utilisées à la fabrication des pièces moulées sont des fibres céramiques usuelles avec des teneurs en Al_2O_3 de 45 % en poids ou plus. De telles fibres réfractaires ou résistantes au feu sont connues et sont caractérisées habituellement par leur température limite d'application ; les températures limites d'application usuelles sont 1260°C , ou 1600°C pour les fibres à teneur supérieure en Al_2O_3 .

Les matériaux utilisés selon le procédé de l'invention, fins et/ou très fins, résistants au feu et/ou réfractaires sont des matériaux déjà connus, par exemple SiO_2 , Al_2O_3 , chamotte, kaolin, dioxyde de zirconium, silicate de zirconium, dioxyde de titane et/ou oxyde de chrome (Cr_2O_3). Ces matériaux réfractaires et résistants au feu peuvent chacun être utilisés seuls, ou en mélange aussi. Les matériaux sont mis en oeuvre soit sous une forme à granulométrie fine, c'est-à-dire avec des tailles de grains jusqu'à 0,9 mm, ou sous forme très fine, c'est-à-dire avec des tailles de grains inférieures à 0,09 mm et avantageusement en dessous de 0,044 mm. SiO_2 et Al_2O_3 peuvent aussi être utilisés sous forme colloïdale comme des sols aqueux ou des gels. Les autres additifs usuels, qui sont utilisés dans le procédé selon l'invention pour fabriquer des pièces moulées, sont des liants minéraux ou organiques, par exemple des phosphates minéraux comme des phosphates d'aluminium, des liants organiques comme des amidons ou de la carboxyméthylcellulose, ainsi que le cas échéant des agents tensioactifs, ou des agents de surface.

Dans le procédé selon l'invention, on utilise des agents flocculants. En tant qu'agents flocculants, on peut utiliser soit des amidons cationiques soit des produits tensioactifs cationiques, anioniques ou non ioniques, ou des

agents de surface ainsi que des agents flocculants polymères comme les agents flocculants cités dans la demande de brevet européen 0 077 444, comme des polyacrylamides, polyacrylamides ou aminopolyamides. Ceux-ci sont utilisés habituellement à raison de 0,5 à 12 parties en poids pour 100 parties en poids de solide. Les fibres réfractaires ou résistantes au feu ont des longueurs jusqu'à 50 mm au moment de leur livraison. Selon le stade d) du procédé selon l'invention, ces fibres réfractaires ou résistantes au feu sont d'abord placées en suspension aqueuse à une concentration ou consistance de 5 à 20 parties en poids, rapportées à la teneur en eau de la suspension, et dans cet état pâteux, voient leur longueur raccourcie dans la suspension dans des mélangeurs rapides, jusqu'à ce qu'au moins 90 % des fibres possèdent une longueur maximale $\leq 500 \mu\text{m}$. Le temps approprié de traitement peut être déterminé facilement par des essais préliminaires et des prélèvements d'échantillons, ainsi que par l'établissement du spectre de répartition des longueurs. Comme appareils pour raccourcir les fibres, on peut utiliser des agitateurs rapides à turbine. La durée de traitement dans un tel appareil dépend de la fibre brute, de la densité du matériau, de l'appareil utilisé et de la longueur de fibre visée.

A ce stade d) du procédé selon l'invention, on peut déjà ajouter les matériaux à grains fins et/ou très fins, réfractaires et/ou résistants au feu et/ou d'autres additifs le cas échéant. En outre, on peut utiliser ici des fibres réfractaires ou résistantes au feu qui ont été pré-cuites au préalable.

L'avantage de l'utilisation de fibres pré-cuites est qu'elles possèdent un retour élastique réduit, de sorte qu'en utilisant des fibres pré-cuites on peut obtenir des pièces moulées avec une densité supérieure en gardant les mêmes rapports de mélange de chaque constituant. L'agent flocculant, qui peut être aussi un mélange d'agents floccu-

lants, est ensuite ajoutée à la suspension, celle-ci pouvant être au préalable diluée, le cas échéant, à une consistance, c'est-à-dire à un rapport solides : eau, jusqu'à 1:150, au cas où l'agent flocculant n'est pas ajouté avec une si grande
5 quantité d'eau que la consistance soit réduite par là-même. Les agents flocculants sont ajoutés sous forme d'une solution diluée, habituellement en concentrations de 1 à 5 % en poids.

Au stade f) du procédé selon l'invention a lieu la mise en forme des pièces moulées par essorage dans un
10 moule d'égouttage, habituellement un moule muni d'un fond formant tamis. Ici, il est cependant essentiel que la pièce en cours de formation à partir de la suspension par essorage de l'eau subisse une pression, c'est-à-dire qu'on la comprime pendant sa formation pour ainsi la densifier. On a trouvé
15 qu'une augmentation sensible de la densité ne pouvait être obtenue, lors du processus combiné d'essorage de l'eau hors de la suspension et de compression, que si 90 % des fibres possèdent une longueur maximale $\leq 500 \mu\text{m}$.

Un avantage essentiel des pièces moulées réalisées selon le procédé de l'invention est que lors du processus de
20 pressage, elles subissent une augmentation sensible de la densité, sans qu'il se produise un "retour élastique" ou une détente, c'est-à-dire une diminution progressive de la densité par dilatation spontanée du corps moulé.

Selon l'addition de matériaux fins ou très fins, les densités des pièces moulées à l'état sec sans exercer de pression à l'égouttage sont par exemple de 100 kg/m^3 , tandis qu'en exerçant la pression, c'est-à-dire par le processus de
25 compression, on peut obtenir des densités jusqu'à 1000 kg/m^3 , c'est-à-dire une augmentation durable et stable de la densité d'un facteur pouvant atteindre 10. L'application de la pression lors du processus d'égouttage sur les pièces moulées peut, en cas de corps moulés sous forme de plaques, être obtenue par des cylindres, sinon il est nécessaire
30 d'utiliser une forme de pressage adaptée à la forme de la
35

pièce moulée. Par réglage de la pression de pressage, on peut déterminer à volonté l'augmentation souhaitée de densité à l'intérieur d'une plage possible.

Dans le procédé selon l'invention, le rapport des fibres aux matériaux fins et/ou très fins est en général de 100 parties en poids de fibres pour 1 à 40 parties en poids de matériaux fins ou très fins. Avantageusement, on utilise, pour 100 parties en poids de fibres, 5 à 25 parties en poids de matériaux fins et/ou très fins. Les teneurs en liants se situent en général dans la plage de 0,1 à 3 parties en poids pour 100 parties en poids de fibres et de matériaux fins et/ou très fins. Même en utilisant une quantité pouvant atteindre 15 parties en poids, de préférence surtout jusqu'à 10 parties en poids de matériaux fins et/ou très fins pour 100 parties en poids de fibres, on obtient après la cuisson des pièces moulées qui présentent une résistance élevée à la rupture par flexion et qui ne présentent pas la souplesse des pièces en fibre moulées habituelles avec une teneur en fibres relativement élevée.

Les pièces moulées selon l'invention peuvent être mises en oeuvre dans un grand nombre d'applications, qu'il s'agisse des pièces moulées selon le procédé de l'invention ou, dans le cas de pièces moulées de forme compliquée et impossibles à fabriquer dans un moule sous pression, après l'un des usinages mécaniques suivants. Ainsi est-il possible sans complication de réaliser dans des pièces moulées cuites des gorges, rainures, contre-dépouilles, à partir d'une pièce brute moulée.

Comme possibilités d'utilisation, citons par exemple les suivantes :

- comme matériel d'enfournement ou pour produire des matériels d'enfournement, où en particulier la résistance élevée est un avantage ;
- comme élément filtrant ou pour la fabrication d'éléments filtrants pour gaz d'échappement, en particulier gaz

d'échappement de moteurs à combustion, où la résistance, c'est-à-dire l'abrasion réduite par des gaz à grande vitesse est un avantage ;

- 5 - comme revêtement ou pour fabriquer des revêtements qui entrent en contact avec des gaz très chauds, en particulier des gaz à vitesse élevée, où à nouveau l'abrasion réduite et la résistance mécanique élevée sont des avantages ;
- 10 - comme échangeur de chaleur ou pour fabriquer des échangeurs de chaleur, où la possibilité d'usinage et la faible abrasion par les gaz sont des avantages ;
- comme support de catalyseur ;
- comme corps de base céramique pour les corps moulés à renforcer par de l'aluminium ou ses alliages ;
- 15 - comme isolation à la chaleur, imperméable à l'infrarouge, dans les centrales thermiques solaires.

L'invention sera expliquée plus en détail à l'aide des exemples suivants :

Exemple 1

- 20 100 parties en poids de fibres de silicate d'aluminium avec une température limite d'application de 1260°C et une teneur en Al_2O_3 de 47 % ont été ajoutées à 1000 parties en poids d'eau, à quoi on a ajouté 6 parties en poids de SiO_2 colloïdale, calculées en SiO_2 , sous forme d'un
- 25 sol à 30 % en poids dans l'eau. Ensuite on a ajouté encore 20 parties en poids de poudre de chamotte avec une taille de grains maximale de 0,9 mm. Cette suspension a été traitée dans un agitateur rapide à turbine pendant 20 minutes ; après cet intervalle de temps la mesure effectuée sur un
- 30 échantillon prélevé montre que les fibres ont été raccourcies à plus de 93 % en dessous de 0,5 mm. A cette suspension traitée on ajoute encore 5 parties en poids d'un amidon cationique, dissous dans 1000 parties en poids d'eau, de sorte que la suspension obtenue présente un rapport solides :

eau d'environ 1,2:20. Cette suspension a été encore agitée pendant un instant, jusqu'à ce que la suspension trouble au départ soit devenue complètement claire. Ensuite cette suspension a été mise en forme dans un moule à aspiration
5 résistant à la pression, sur une plaque formant tamis, après mise en place d'un poinçon de compression et aspiration par un vide pour donner une plaque de fibres humide d'une épaisseur de 150 mm.

La plaque a après pressage et séchage une masse
10 volumique brute de 750 kg/m^3 . Le séchage a eu lieu aux températures habituelles entre 100 et 180°C.

La plaque séchée et cuite 72 heures à 1200°C^a a une résistance à la rupture à la flexion à froid de $2,3 \text{ N/mm}^2$ et une résistance aux cycles de température de plus de
15 30 cycles, aussi bien après la trempe dans l'air qu'après la trempe dans l'eau.

Exemples 2 à 9

Le mode opératoire de l'exemple 1 a été répété avec les produits de départ indiqués dans le tableau suivant
20 dans lequel on donne aussi les résultats des mesures obtenues sur les pièces moulées produites, avec les valeurs de l'exemple 1.

Ainsi, on constate clairement que les corps moulés produits présentent, malgré leur teneur en fibres élevées,
25 une densité élevée ou un poids spécifique élevé, ainsi qu'une grande résistance à la rupture à la flexion à froid après cuisson.

Comme fibre A, on a mis en oeuvre les fibres utilisées dans l'exemple 1, comme fibre B des fibres à
30 haute teneur en Al_2O_3 et à température limite d'application de 1600°C.

TABLEAU

EXEMPLE	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fibre A (1260°C)	100	100	100	90	75	50	25	-	-
Fibre B (1600°C)	-	-	-	10	25	50	75	100	100
SiO ₂ colloïdale	6	2	-	7	5	5	3	6	5
Kaolin < 44 µm	-	10	10	-	20	-	5	-	-
Alumine < 44 µm	-	-	-	2	-	12	-	-	-
Dioxyde de zirconium < 44 µm	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Silicate de zirconium < 44 µm	-	-	-	-	-	1	-	-	-
Oxyde de chrome < 44 µm	-	2,5	-	-	-	-	0,5	-	-
Dioxyde de titane < 44 µm	-	0,75	-	-	-	0,5	-	-	-
Poudre de chamotte < 90 µm	20	-	-	-	-	-	-	-	-
Amidon cationique *	5	-	6	10	5	8	6	2	-
Polyacrylate cationique **	-	8	-	-	1	-	-	0,5	5
Tensioactif anionique ***	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Propriétés									
Poids spécifique (kg/m ³)	750	500	480	250	600	590	620	670	520
cuit à °C	1200	1200	1200	1250	1300	1300	1450	1250	1550
TWB **** dans l'air	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
" dans l'eau	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
KBF ***** (N/mm ²)	2,3	2,0	2,2	1,8	2,1	3,6	4,5	5,9	4,2

Remarques concernant le Tableau :

- 5 * sous forme de solution à 2,5% en poids dans l'eau,
calculé en tant que solide ;
- ** sous forme de solution à 1,0% en poids dans l'eau,
calculé en tant que solide ;
- 10 *** sous forme de solution à 0,5% en poids dans l'eau,
calculé en tant que solide, agent flocculant, nom
de marque Rohafloc SF 170 de Röhm ;
- **** Résistance aux changements de température, cycles
- 15 ***** Résistance à la rupture à la flexion à froid

REVENDEICATIONS

1. Procédé de fabrication de pièces moulées résistantes au feu ou réfractaires en matériau fibreux céramique, dans lequel
 - a) on réalise une mise en suspension dans l'eau de fibres
5 résistantes au feu et/ou réfractaires et de matériaux fins et/ou très fins, résistants au feu et/ou réfractaires et d'autres additifs le cas échéant,
 - b) par utilisation d'un agent flocculant les matériaux fins et/ou très fins sont flocculés sur les fibres, et
 - 10 c) la pièce moulée souhaitée est fabriquée par égouttage de la suspension dans un moule approprié permettant l'essorage de l'eau et par séchage de la pièce moulée, caractérisé en ce que
 - d) on utilise des fibres qui consistent à ≥ 90 % en fibres
15 de longueur maximale $\leq 500 \mu\text{m}$,
 - e) l'addition de l'agent flocculant est réalisée sous forme d'une solution aqueuse ajoutée à la dispersion de fibres et de matériaux fins et/ou très fins, résistants au feu et/ou réfractaires et des autres additifs usuels le cas
20 échéant, et
 - f) lors de l'égouttage de la suspension, en formant la pièce moulée souhaitée, on exerce une pression sur la pièce moulée en cours de formation pour densifier ainsi la pièce moulée.
- 25 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on utilise au stade d) des fibres qui consistent à ≥ 98 % en fibres de longueur maximale $\leq 500 \mu\text{m}$.
3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'on utilise au stade f) la pression
30 exercée mécaniquement par la pression d'un poinçon.
4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'on applique une pression de ≥ 2 bar de surpression.

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'on utilise des fibres résistantes au feu et/ou réfractaires qui ont été précuites à des températures de $\geq 900^{\circ}\text{C}$.
- 5 6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que les pièces moulées obtenues au stade f) sont portées, dans un autre stade g) à une température suffisamment élevée pour que les fibres et les matériaux fins et/ou très fins soient frittés entre eux et/ou les
10 uns avec les autres en formant une structure mécaniquement solide.
7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que, pour 100 parties en poids de fibres, on utilise de 1 à 40 parties en poids de matériaux
15 fins et/ou très fins.
8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que, pour 100 parties en poids de fibres, on utilise de 5 à 25 parties en poids de matériaux fins et/ou très fins.
9. Pièces moulées résistantes au feu ou réfractaires
20 en matériau fibreux céramique, préparées selon le procédé de l'une des revendications 1 à 8.
10. Utilisation des pièces moulées selon la revendication 9 comme matériel d'enfournement ou pour la fabrication de matériel d'enfournement.
- 25 11. Utilisation de pièces moulées selon la revendication 9 comme éléments filtrants ou pour la fabrication d'éléments filtrants pour gaz d'échappement, en particulier gaz d'échappement de moteurs à combustion interne.
- 30 12. Utilisation de pièces moulées selon la revendication 9 comme revêtement ou pour la fabrication de revêtements qui entrent en contact avec des gaz très chauds, en particulier des gaz à vitesse élevée.