

12 **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

21 Numéro de dépôt: 83420053.7

51 Int. Cl.³: **C 21 D 1/68, C 21 D 1/62,**
B 21 B 45/02

22 Date de dépôt: 24.03.83

30 Priorité: 25.03.82 FR 8205682

71 Demandeur: **Société de Vente de l' ALUMINIUM PECHINEY, 23 rue Balzac B.P. 787-08, F-75360 Paris Cedex 08 (FR)**

43 Date de publication de la demande: 05.10.83
Bulletin 83/40

72 Inventeur: **Bouvaist, Jean, 11, boulevard Maréchal Leclerc, F-38000 Grenoble (FR)**
Inventeur: **Dubost, Bruno, 39, Quai Jongkind, F-38000 Grenoble (FR)**

84 Etats contractants désignés: **AT BE CH DE FR GB IT LI NL SE**

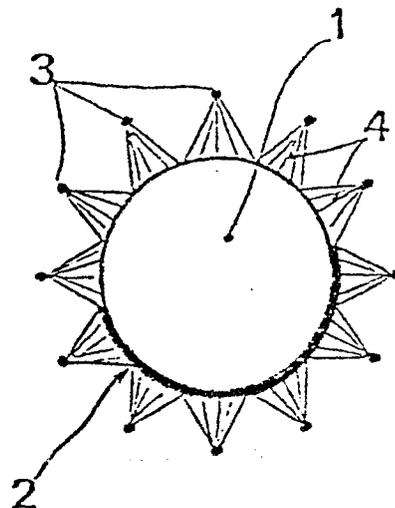
74 Mandataire: **Seraphin, Léon et al, PECHINEY UGINE KUHLMANN 28, rue de Bonnel, F-69433 Lyon Cedex 3 (FR)**

54 **Procédé de refroidissement minimisant les déformations des produits métallurgiques.**

57 L'invention est relative à un procédé de refroidissement économique de produits métallurgiques qui minimise les déformations de ceux-ci tout en préservant leurs propriétés d'emploi.

La méthode consiste à refroidir le produit métallurgique (1) avec un mode de refroidissement différent entre approximativement les deux moitiés adjacentes de sa surface extérieure, chacune d'elles s'étendant selon le sens long ou le plan principal du produit quand il(s) existe(nt). Cette différence de refroidissement est de préférence assurée par enduction d'une des moitiés du produit (1) par un revêtement isolant (2) et par immersion dans un bain ou arrosage unilatéral, côté revêtement.

La méthode s'applique particulièrement bien aux produits relativement minces. Il en résulte également une économie de fluide de refroidissement et une augmentation de la productivité des installations.



PROCEDE DE REFROIDISSEMENT MINIMISANT LES DEFORMATIONS
DES PRODUITS METALLURGIQUES

Cette invention est relative à un procédé de refroidissement économique de produits métallurgiques qui minimise les déformations de ceux-ci, tout en préservant leurs propriétés d'emploi.

5 Le refroidissement des produits métallurgiques intervient dans un grand nombre d'opérations telles que la coulée et solidification, après la transformation à chaud sur divers outils (laminoirs, presses à filer, etc...) ou encore dans le cas de la trempe métallurgique.

10

Pour des raisons de productivité (en particulier pour le refroidissement des produits en continu au défilé), et/ou de qualité métallurgique (solidification, trempe), il est souvent nécessaire que ces refroidissements soient effectués avec des vitesses élevées, par exemple par pulvérisation d'eau sous forte pression ou pulvérisation biphasique (air-eau). On sait que la densité de chaleur extraite des produits peut atteindre 1 à 5 MW/m² pour des débits d'eau de l'ordre de 20 kg/m² sec., soit 1 200 l/m² minute.

15

20

Cependant, ces procédés présentent les inconvénients suivants :
a) la pulvérisation d'eau à fort débit (> 2 000 l/m² min.) et sous forte pression (p > 1,5 MPa ou 15 bar) entraîne des consommations d'eau importantes et nécessite des équipements onéreux (surpresseur de très forte capacité).

25

De plus, elle n'est pas adaptée au refroidissement des produits minces, notamment à celui des tôles ou bandes minces en alliages légers car la force d'impact du jet entraîne des déformations importantes de ces produits ;

30

b) dans la pulvérisation pneumatique d'eau et d'air sous pression, ces deux fluides sont introduits simultanément dans les buses à pulvérisation pneumatique à faible débit d'eau, ou séparément par soufflage d'air comprimé en sortie de buse de pulvérisation mécanique d'eau, à débit élevé.

La pulvérisation pneumatique présente l'inconvénient d'être onéreuse en raison du prix des buses (dix fois plus élevé que celui des buses mécaniques) et du coût élevé d'investissement et de fonctionnement des compresseurs d'air. De plus, ce système est dangereux à cause des risques d'éclatement des conduites d'air comprimé et est excessivement bruyant.

De plus, avec des vitesses de refroidissement élevées, les produits sont le siège d'un niveau de contraintes internes élevées s'ils sont épais, ou de déformations très importantes s'ils sont minces, ces deux effets étant néfastes :

- Les déformations ou distorsions des produits refroidis imposent souvent leur redressage ou leur remise en forme à l'aide de moyens puissants tels que presses, planeuses à rouleaux, bancs de traction, etc... opérations qui, à leur tour, induisent dans ceux-ci des contraintes internes néfastes, par exemple : distorsions lors d'un usinage chimique ou mécanique ultérieur.
- L'utilisation de dispositifs spéciaux limitant ou supprimant les distorsions lors du refroidissement, par exemple, lors de la trempe, tels que cadres, brides, trempe sous presse, etc... est d'une certaine efficacité, mais cependant limitée car, de toute façon, et malgré toutes les précautions prises, le niveau de contraintes internes reste élevé.

La méthode selon l'invention, qui élimine, ou du moins, minimise ces distorsions, consiste à refroidir le produit métallurgique avec un mode de refroidissement différent entre approximativement deux moitiés adjacentes de sa surface extérieure, chacune d'elles s'étendant selon le sens long ou le plan principal du produit, quand il(s) existe(nt).

Ainsi, pour une barre rectangulaire, on applique un refroidissement différent entre les deux faces latérales adjacentes du produit et les deux faces opposées. Pour un tube ou une barre cylindrique, on applique un refroidissement différent entre ses deux faces opposées. Bien sûr, la méthode est généralisable aux autres produits métallurgiques matricés, filés, forgés ou moulés pourvu qu'ils ne soient

pas auto-bridés par leur forme et/ou leurs dimensions lors du refroidissement.

Le refroidissement différencié est assuré par les moyens suivants :

- 5 - dans le cas d'un refroidissement par immersion dans un milieu refroidisseur, par enduction de la moitié environ de la surface externe par un revêtement constitué d'un produit isolant ou nettement moins conducteur de la chaleur que l'alliage à refroidir (exemples : placage acier/alliage d'Al, poteyage isolant et ré-
- 10 fractaire) avant immersion ;
- dans le cas du refroidissement par aspersion ou pulvérisation, par la différence de l'état de surface entre deux moitiés considérées, l'une d'elle étant revêtue, avant arrosage du produit, d'un
- 15 enduit peu ou pas conducteur de la chaleur.

15

En particulier, il a été constaté, de façon surprenante, que le refroidissement unilatéral par aspersion ou pulvérisation classique de la moitié de la surface du produit, celle-ci étant préalablement enduite d'un revêtement isolant ou mauvais conducteur de la chaleur,

20 conduisait à des vitesses de refroidissement plus élevées des produits minces que celles des produits non revêtus et ce, sans distorsion notable. Le fluide de refroidissement généralement utilisé est essentiellement constitué d'eau, éventuellement additionnée de certains adjuvants (anticorrosion, antimoussant, etc...).

25

Le revêtement peut être effectué à un stade quelconque de la gamme de fabrication, antérieur au refroidissement pourvu que celui-ci reste adhérent et conserve son efficacité au cours de la gamme (par exemple, le produit peut être revêtu avant le chauffage de mise en solution qui précède la trempe).

30

Il est préférable, dans tous les cas, que l'arrosage se fasse par la partie inférieure des produits, le sens long de ceux-ci étant sensiblement horizontal.

35

Comme indiqué, le procédé s'applique principalement, mais non exclusivement aux produits métalliques longs (fils, barres, tubes,

profilés) ou plats (bandes, tôles, méplats) de relativement faibles dimensions transversales et d'épaisseurs sensiblement constantes.

5 Pour l'Al et les alliages d'aluminium, l'épaisseur des produits plats est, de préférence, inférieure ou égale à 15 mm (ce qui correspond sensiblement à un diamètre de 30 mm pour une barre ronde pleine).

10 Pour le cuivre et les alliages de cuivre, l'épaisseur est, de préférence, inférieure ou égale à 35 mm (ou à un diamètre de 70 mm environ).

Pour les aciers ou les alliages ferreux, l'épaisseur est, de préférence, inférieure ou égale à 8 mm (ou à un diamètre de 15 mm environ).

15 On considérera que deux produits ont des sections transversales équivalentes si le rapport surface latérale extérieure/volume est le même.

20 La méthode s'applique particulièrement bien à la trempe des alliages d'Al à haute résistance pour lesquels les caractéristiques d'emploi (résistance mécanique et/ou à la corrosion) ne sont pratiquement pas modifiées par rapport à la trempe classique avec, cependant, des déformations très faibles.

25 Lorsque le refroidissement est assuré par pulvérisation ou aspersion à l'aide de buses, il est important que les zones d'impact des jets couvrent l'ensemble de la surface refroidie du produit, soit directement, soit indirectement par ruissellement, rebonds, etc... Les déficits surfaciques d'eau restent inférieurs à $2\ 000\ \text{lm}^{-2}\text{min.}^{-1}$ et, de préférence, $800\ \text{lm}^{-2}\text{min.}^{-1}$; les buses sont placées à une distance inférieure à 15 cm de la surface de produit, et la pression d'injection est inférieure à 1,5 MPa (15 bars) et, de préférence, 1 MPa (10 bars).

35 Le procédé suivant l'invention offre, par rapport aux méthodes de refroidissement classiques, les avantages suivants :

- Produits minces (vois dimensions ci-dessus) :
 - . absence de distorsions notables ou meilleure planéité (ou rectitude) et contraintes résiduelles faibles après refroidissement même rapide;
 - 5 . élimination ou simplification des opérations de planage, dressage ou remise en forme ultérieure (par exemple traction ou compression contrôlées des alliages d'Al avant revenu ou maturation).

- Pour les produits de dimensions quelconques :
 - 10 . conservation des propriétés optimales (résistance mécanique, tenue à la corrosion) à l'état d'utilisation ;
 - . diminution des consommations ou volumes de fluide de refroidissement mises en jeu ;
 - . meilleure fiabilité ou répétabilité des opérations de refroidissement ;
 - 15 . possibilité de contrôle et de modulation des vitesses de refroidissement des produits.

20 L'invention sera mieux comprise à l'aide des dessins et exemples suivants :

La figure 1 représente une vue en bout de produits (1)

- | | |
|----------------------|-------------------------------|
| (a) barre ronde | (d) cornière (côté intérieur) |
| (b) tôle | (e) profilé en T |
| (c) tube cylindrique | (f) profilé quelconque |

25 munis d'un revêtement isolant (2), sur environ la moitié de leur surface extérieure et refroidissoit à l'aide de buses de pulvérisation (3), soit par immersion dans un milieu refroidisseur (4) contenu dans le bac (5).

30 La figure 2 représente les caractéristiques de déformation après refroidissement : flèche (f) et tuile (t) d'un produit plat rectangulaire, initialement plan.

EXEMPLE 1 :

35 Trois tôles de dimension 400 x 400 x 10 mm en alliages d'aluminium (7075) ont été trempées par immersion verticale dans l'eau froide

(20°C) ou chaude (60°C) après mise en solution de 4 h à 470°C en four à air ventilé.

. Les tôles A et B, non revêtues, ont été trempées dans des bacs d'eau à des températures respectivement égales à 20°C et 60°C.

- 5 . La tôle (C) a été trempée par immersion dans l'eau à 60°C après décapage des surfaces et revêtement d'une seule grande surface au moyen d'une couche continue isolante de faible effisivité thermique, constituée essentiellement d'un mélange de silicate de sodium en solution dans l'eau, de sulfate de baryum et d'oxyde de titane.

10

Le tableau I ci-dessous donne les vitesses de trempe mesurées entre 400 et 250°C à 1,5 mm sous chaque surface au moyen de thermocouples placés au centre des grandes faces des tôles ainsi que les déformations macroscopiques mesurées après trempe (flèche maximum le long de l'axe horizontal - tuile maximum le long de l'axe vertical des tôles) et les caractéristiques mécaniques de traction longitudinales à mi-épaisseur au centre des tôles, mesurées après revenu à l'état T6 (24 h à 120°C). On constate, en particulier, que la tôle (C) trempée selon l'invention par refroidissement dissymétrique, est dotée à la fois des caractéristiques mécaniques de traction équivalentes à celles des tôles trempées le plus rapidement de façon symétrique dans l'eau froide (pratique actuelle) et de déformation de trempe nettement plus faibles que les autres tôles y compris la tôle (B) trempée symétriquement avec des vitesses de refroidissement pourtant relativement lentes.

25

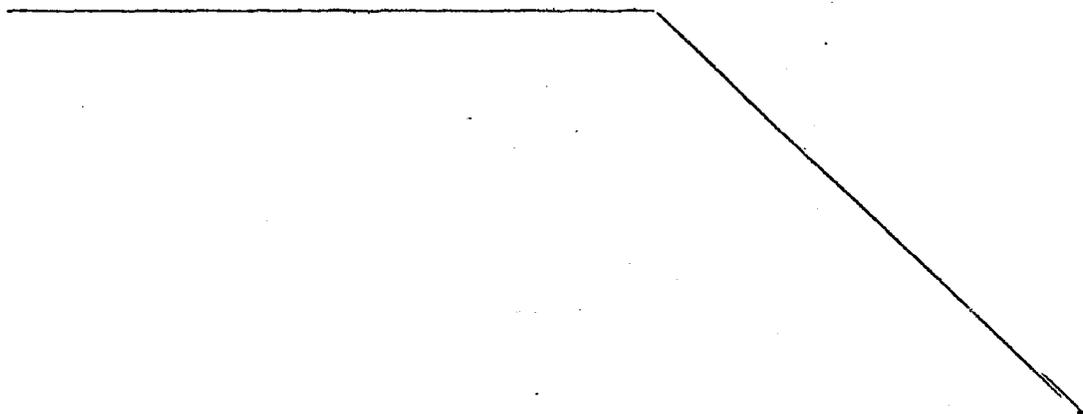


TABLEAU I

Repère tôle	Température eau (°C)	Etat des surfaces	Vitesse de trempe sous les surfaces (°C/sec)	Déformations de trempe		Caractéristiques de traction état T6		
				Flèche f(mm)	Tuile t(mm)	R _{po,2} (MPa)	R _m (MPa)	A %
A	20	2 faces nues	165 185	+17,1	-5,3	551	613	8,1
B	60	2 faces nues	86 93	+10,0	-3,5	515	580	8,9
C	60	1 face dé- capée 1 face re- vêtue	89 173	+ 1,2	-1,2	547	612	8,3

EXEMPLE 2 :

Des tôles minces de dimension 630 x 350 x 2 mm (épaisseur totale) en alliages 7475 plaquées de 70 µm d'alliage 7072 sur chaque face, ont été trempées après mise en solution de 30 minutes à 475°C, soit par immersion verticale dans un bac d'eau à 18°C selon la pratique habituelle, soit par pulvérisation d'eau à 18°C sur la seule surface inférieure horizontale statique d'une tôle revêtue sur sa seule surface intérieure d'une couche constituée du même revêtement à base de silicate de sodium que dans l'exemple n° 1.

La pulvérisation était assurée sur toute la surface inférieure horizontale des tôles par des buses à jets adjacents à cône plein, d'angle environ 60°, délivrant un débit surfacique de 145 l/mn.m² sous une pression de 3 bars (0,3 MPa).

Le tableau II ci-dessous donne les déformations des tôles après trempe, la conductivité électrique superficielle des tôles cinq jours après trempe (qui est d'autant plus basse à l'état trempé-mûri que la trempe est plus rapide), la vitesse de refroidissement moyenne

des tôles dans l'intervalle critique de trempe (400 - 250°C) et les caractéristiques mécaniques sur éprouvettes de traction traitées par revenu à l'état - T76 (6 h à 107°C + 16 h à 160°C) après décapage du revêtement et traction contrôlée des tôles avant revenu

5

TABLEAU II

Mode de trempe	Revêtement	Vit. de refroidissement	Déform.		Conductivité élect. (% IACS)	Caractéristiques mécaniques de traction Etat T76		
			f (mm)	t (mm)		Rp0,2 (MPa)	Rm (MPa)	A (%)
Immersion	non (tôles nues)	350°C/s	31	4	29,6	428	492	15,4
Pulvérisation unilatérale sur face inférieure	Face sup. non revêtue Face inf. revêtue	230°C/s	3,5	2	29,6	432	495	15,7

On constate que les tôles trempées suivant l'invention présentent des déformations résiduelles notablement plus faibles que celles obtenues par trempe symétrique, tout en conservant des propriétés mécaniques sensiblement égales et bien que les débits surfaciques utilisés ici soient relativement faibles.

25

EXEMPLE 3 :

Nous avons trempé, par pulvérisation horizontale au défilé ou en statique, des tôles de dimension 650 x 350 x 4 mm en alliage 2024 après mise en solution de 30 minutes à 495°C en four à air ventilé.

30

L'installation de trempe comportait une fenêtre de trempe longue de 700 mm, constituée de rampes de pulvérisation situées de part et d'autre d'un chariot destiné à supporter et translater les tôles avec une vitesse de passage modulable, de façon à simuler la trempe horizontale au défilé en sortie de four à passage. Les buses de pulvérisation étaient constituées de pulvérisateurs en jets à cône

35

plein, d'angle 60°, alimentés par un débit d'eau à 15°C pressurisée à 6,5 bars. Une tôle a été trempée par pulvérisation symétrique sur les deux faces non revêtues, selon la pratique habituelle. Les autres tôles ont été trempées par pulvérisation unilatérale horizontale sur la face inférieure avec le même débit surfacique avec poteyage de la surface à arroser par un revêtement isolant à base de silicate de sodium.

Le tableau III ci-dessous donne les conditions d'essai, les vitesses de refroidissement moyennes mesurées entre 400 et 250°C par thermocouples au centre des tôles, les déformations des tôles après trempe (flèche longitudinale - tuile transversale) ainsi que la sensibilité à la corrosion intergranulaire des tôles trempées et débarrassées du revêtement évaluée d'après le test d'immersion en solution de chlorure de sodium et d'eau distillée selon la norme AIR 9048.

TABLEAU III

Trempe	Revêt.	Vit. de passage (cm/s)	Débit surfacique d'eau (l/mn/m ²)		Vit. refroidissement (°C/sec)	Déformations (mm)	Sensibilité à la corrosion intergranulaire	
			Face sup.	Face inf.				
25	Symétr. sans revêtement	Non	15	250	250	95	f + 15 t + 2	Forte
30	Unilatérale s/ face inférieure	Face inférieure	50	0	250	220	f + 5 t + 2	Faible à modérée

On constate que la trempe dissymétrique au défilé de la tôle revêtue selon l'invention améliore à la fois les vitesses de trempe (x 2 environ) et la résistance à la corrosion intergranulaire de l'alliage.

ainsi que la planéité des tôles tout en augmentant la productivité de l'installation (x 3) et en diminuant les consommations d'eau nécessaires (: 2 environ) par rapport à la trempe symétrique des tôles nues.

5

EXEMPLE 4 :

Nous avons trempé par pulvérisation mécanique au défilé à 25 cm/s, après mise en solution de 1 h à 500°C, des cornières de section 50 x 50 x 5 mm et de longueur 600 mm en alliage d'aluminium 6061.

10

Deux cornières ont été trempées à l'eau à 18°C, soit par pulvérisation symétrique (sur les deux faces) ou unilatérale (sur leur face inférieure) au moyen de rampes de pulvérisation longitudinales à buses distantes de 100 mm du sommet des cornières, de façon à refroidir directement l'ensemble de la cornière par les deux faces ou par la face inférieure seule, revêtue préalablement d'une couche uniforme de silicate de sodium ($\text{Na}_2\text{O} : 3,3 \text{SiO}_2$) en solution dans l'eau à densité 1,08 (voir figure 1d).

15

20

Les buses donnaient des jets à cône plein, d'angle 60°, avec un débit surfacique de 580 l/mn/m² sous une pression d'eau de 6 bars (0,6 MPa).

25

Le tableau IV ci-après donne les conditions d'essais ainsi que les vitesses de refroidissement et les déformations longitudinales moyennes (flèches) après trempe. Les résultats montrent que la cornière trempée par pulvérisation unilatérale sur la surface revêtue selon l'invention, présente un meilleur compromis vitesse de refroidissement-rectitude que les cornières refroidies par refroidissement symétrique classique par pulvérisation au défilé ou par immersion.

30

35

Le revêtement et la trempe unilatérale permettent d'augmenter notablement la productivité (x 3) avec des déformations de trempe acceptables.

TABLEAU IV

Mode de trempe	Revêtement	Défilement (cm/sec)	Pression (MPa)	Débit surfacique d'eau (l/mn/m ²)		Vitesse de re- froidissement (400-250) (°C/sec.)	Flèche longitu- dinale (mm)
				Face sup.	Face inf.		
Pulvérisation symétrique eau 18°C sans revêtement	Non	20	0,6	580	580	160	5,1
Pulvérisation unilatérale sur la face inférieure eau 18°C	Oui	30	0,6	0	580	227	0,6
Immersion eau 18°C	Non	sans	-	-	-	232	2,5

REVENDICATIONS

1. - Méthode de refroidissement de produits métallurgiques (1) essentiellement longs ou plats et d'épaisseur sensiblement constante en vue de minimiser les distorsions géométriques sans altération des propriétés d'emploi, caractérisée en ce qu'on revêt sensiblement la
5 moitié de la surface latérale par un revêtement (2) isolant ou plus mauvais conducteur de la chaleur que le produit à refroidir (1) avant mise en contact du produit revêtu (1, 2) avec un milieu de refroidissement approprié (4).
- 10 2. - Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce que le refroidissement se fait par immersion dans un fluide (ou mélange de fluides) ou une suspension appropriée.
- 15 3. - Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce que le refroidissement du produit revêtu se fait par aspersion ou pulvérisation avec un fluide ou un mélange de fluides à l'aide de buses.
- 20 4. - Méthode selon la revendication 3, caractérisée en ce que l'aspersion ou la pulvérisation sont limitées à la surface latérale revêtue (2) du produit.
5. - Méthode selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que le sens long du produit (1) est sensiblement horizontal.
- 25 6. - Méthode selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisée en ce que le refroidissement du produit se fait par sa (ou ses) face(s) inférieure(s).
- 30 7. - Méthode selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que le milieu de refroidissement (4) est essentiellement aqueux.
8. - Méthode selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisée en ce que le produit (1) est un produit en alliage d'Al à traitement thermique dont la section transversale est équivalente à celle d'un

produit plat d'épaisseur inférieure ou égale à 15 mm.

5 9. - Méthode selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisée en ce que le produit (1) est un produit en cuivre ou alliage cuivreux dont la section transversale est équivalente à celle d'un produit plat dont l'épaisseur est inférieure ou égale à 35 mm.

10 10. - Méthode selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisée en ce que le produit (1) est un alliage ferreux dont la section transversale est équivalente à celle du produit plat dont l'épaisseur est inférieure ou égale à 8 mm.

15 11. - Méthode selon l'une des revendications 3 à 10, caractérisée en ce que le débit surfacique des buses est inférieur à $2\ 000\ \text{lm}^{-2}\text{min.}^{-1}$ et, de préférence, à $800\ \text{lm}^{-2}\text{min.}^{-1}$.

20 12. - Méthode selon l'une des revendications 6 à 11, caractérisée en ce que la pression d'alimentation des buses est inférieure à 1,5 MPa (15 bars) et de préférence inférieure à 1 MPa (10 bars).

13. - Méthode selon l'une des revendications 3 à 12, caractérisée en ce que la distance des buses au produit est inférieure ou égale à 15 cm.

1-1

FIG. 1

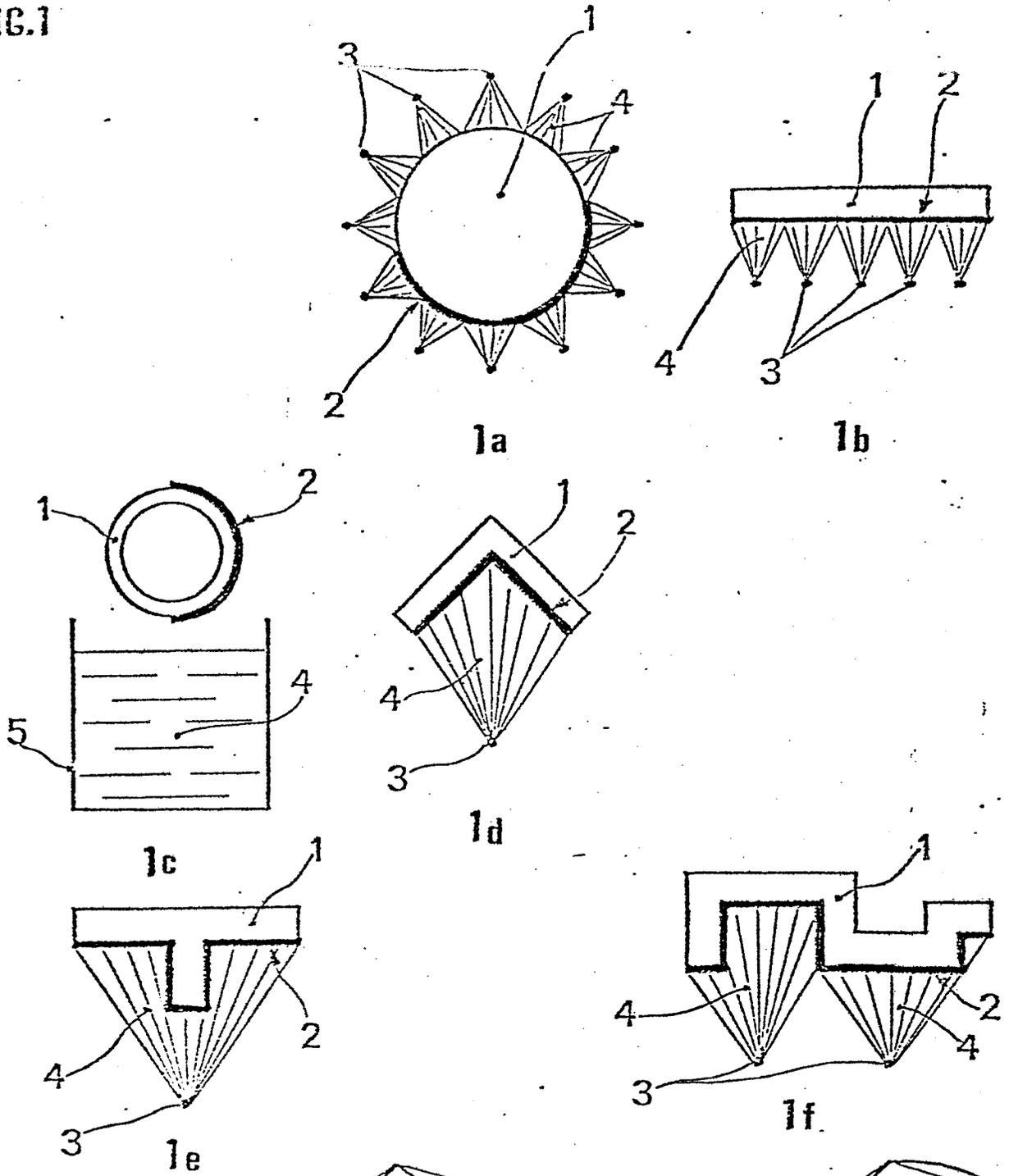
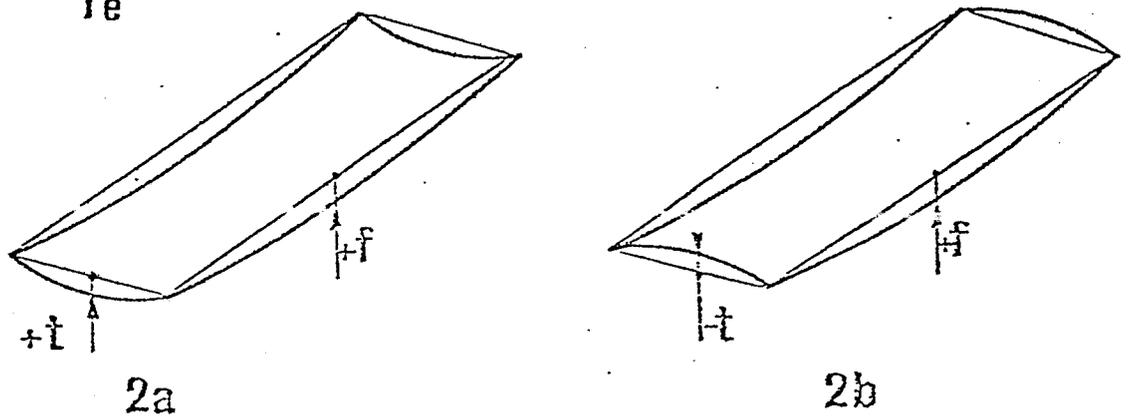


FIG. 2





DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 3)
X	FR-A-2 286 880 (ROCHLING-BURBACH) * Revendications 1,5 *	1	C 21 D 1/68 C 21 D 1/62 B 21 B 45/02
A	FR-A- 698 201 (BERLINGER HÄRTEPULVER-GESELLSCHAFT)		
A	FR-A- 706 652 (KRUPP)		
A	FR-A-2 004 251 (YAWATA)		
A	FR-A-2 232 602 (NIPPON KOKAN)		
A	DE-C- 955 042 (FRIEDRICHSHÜTTE)		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 3) C 21 D B 21 B
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 30-06-1983	Examineur MOLLET G.H.J.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			