

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication : **2 536 764**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **83 15416**

⑤1 Int CI³ : C 21 C 7/10.

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION** A1

②2 Date de dépôt : 28 septembre 1983.

③0 Priorité US, 30 novembre 1982, n° 06/445 600.

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 22 du 1^{er} juin 1984.

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

⑦1 Demandeur(s) : *Société dite : A. FINKL & SONS COM-
PANY, constituée selon les lois de l'Etat de New Jersey.*
— US.

⑦2 Inventeur(s) : Charles W. Finkl, Albert L. Lehman et
Herbert S. Philbrick Jr.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Rinuy, Santarelli.

⑤4 Procédé et appareil pour l'affinage en poche de l'acier.

⑤7 L'invention concerne en particulier un procédé d'affinage
de l'acier en poche selon lequel on soumet un volume d'acier
fondu à un système de vide incrémentiel et à un brassage
permettant de transporter l'acier du fond vers la surface.
L'acier est soumis également à un chauffage par arc à courant
alternatif. L'essentiel de l'invention consiste à adapter l'applica-
tion du système de vide à la condition limite du procédé telle
que le débordement par bouillonnement et à commander le
vide appliqué à l'acier par des moyens de restriction.

Domaine d'application : affinage de l'acier visant une écono-
mie en temps et en énergie.

FR 2 536 764 - A1

La présente invention concerne des procédés et des appareils pour l'affinage en poche de l'acier et particulièrement des améliorations par rapport aux procédés et aux appareils divulgués dans le brevet des Etats-Unis d'Amérique N° 3 501 289.

Des efforts ont été faits il y a une vingtaine d'années pour faire avancer la technique de l'affinage en poche de l'acier étant donné les prix de revient accrus et d'autres facteurs de l'industrie de l'acier. Une des tentatives s'est traduite par le système connu comme le dégazage sous vide au four électrique à arc (VAD) qui utilise trois caractéristiques essentielles : soumission à des niveaux appropriés de vide ; brassage par injection de gaz ; et chauffage à l'arc par courant alternatif au moment où l'acier est soumis à l'effet simultané du vide et du brassage par injection de gaz qui viennent juste d'être mentionnés. Le traitement de l'acier par soumission au vide et au brassage par injection de gaz est décrit dans le procédé divulgué dans le brevet des Etats-Unis d'Amérique N° 3 236 635. Ce procédé, bien qu'utilisé de façon extensive dans des buts commerciaux par la Demanderesse et par d'autres dans les périodes subséquentes, implique une limitation de temps à cause de la chute de température permise de l'acier. La caractéristique supplémentaire de chauffage à l'arc à courant alternatif dont le brevet des Etats-Unis d'Amérique N° 3 501 289 a montré un exemple a éliminé la limitation due à la chute de température et a permis un dégazage en phase finale tout en fournissant une période de réserve qui pouvait être utilisée pour exécuter un autre traitement ou simplement comme un expédient nécessité par des limitations de production.

Depuis qu'on a développé et expérimenté le dégazage sous vide à arc électrique (appelé quelquefois ci-après VAD), ce procédé et d'autres techniques de raffinage en poche de l'acier se sont avérés comme la méthode la plus rapide, la plus simple et la plus économique de fabriquer des aciers au carbone et faiblement alliés.

En fait, le raffinage en poche de l'acier est désormais l'une des techniques de raffinage de l'acier les plus populaires sur le marché. Cependant, pendant cette période de grande concurrence de fabrication de l'acier, il est essentiel que le fabricant réduise davantage le coût du raffinage. Ceci est réalisé en réduisant le temps, l'énergie, et l'espace nécessaires pour le raffinage en poche de l'acier.

Il est essentiel de réduire le temps nécessité par le procédé pour accroître la capacité, ce qui réduit le prix de revient par tonne traitée et permet au dégazage sous vide à arc de s'adapter aux fours à ultra haute puissance et aux fours pneumatiques. Lors de l'affinage en poche de l'acier, le temps équivaut à une perte de température car tout le temps que l'acier se trouve dans la poche, il se met à perdre de la chaleur. Cette perte de chaleur peut être compensée par un surchauffage dans le four de fusion ou par un chauffage à l'arc dans la poche. L'une ou l'autre technique consomme beaucoup d'énergie électrique coûteuse qui pourrait être réduite considérablement en raccourcissant le temps du procédé VAD en utilisant les nouvelles techniques originales proposées selon la présente invention.

La réduction du temps du procédé permet également l'utilisation d'un seul poste de procédé, de telle sorte que le dégazage et le chauffage à l'arc peuvent être réalisés simultanément sans les complexités logistiques des installations à plusieurs postes et à but unique qui consomment beaucoup de temps et d'espace dans l'unité de fusion.

La présente invention est basée sur trois améliorations nouvelles par rapport aux trois caractéristiques originales essentielles du procédé VAD (à savoir vide, chauffage à l'arc, et un certain type de brassage). Ces améliorations peuvent être appliquées individuellement, en double, ou simultanément et ne sont pas interdépendantes contrairement aux exigences de base posées par les systèmes de vide, de chauffage à l'arc et de

brassage. Les trois nouvelles techniques sont : (1) la modulation par rampe du niveau de vide pour s'adapter au bouillonnement de l'acier ou à la durée du traitement ; (2) le changement proportionnel de la tension de l'électrode en ligne selon les niveaux de vide pour éviter le début de l'incandescence ; et (3) la fourniture d'un moyen pour garantir une circulation suffisante du métal à mesure que s'accroît la dimension de la piquée.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention résulteront de la description détaillée qui va suivre de plusieurs formes de réalisation données à titre d'exemple non limitatif, et à la lumière des dessins, sur lesquels :

- la figure 1 est une courbe illustrant l'économie de temps réalisée par l'application de la caractéristique constituée par la modulation par rampe du niveau de vide ;

- la figure 2 représente une courbe temps/pression qui montre les économies de temps et de température résultant de l'application des améliorations décrites dans la présente demande, en comparaison d'un procédé classique VAD ; et

- la figure 3 est une courbe temps/température/pression illustrant une autre amélioration du fonctionnement du système avec arc courant alternatif à vide poussé, c'est-à-dire à moins de 133 Pa.

La présente invention va maintenant être décrite à propos de trois techniques qui sont expliquées individuellement pour éviter toute confusion.

1. Modulation par rampe du bouillonnement sous vide

Les éjecteurs de jet de vapeur utilisés dans le procédé de base VAD (dégazage sous vide au four à arc) ont typiquement un rapport de compression proche de 6,25:1. Pour enlever rapidement l'hydrogène, un niveau de vide d'environ 67 Pa de pression absolue est nécessaire, même si la loi de Sieverts indique que le niveau de solubilité de 1 ppm d'hydrogène ou moins se trouve considérablement

supérieur à ce niveau. La différence entre le niveau de Sieverts et les niveaux réels de vide est la force d'entraînement nécessaire pour permettre à l'hydrogène d'exploser hors de l'interface vide-acier. Avec un niveau de vide nécessaire prouvé par l'expérience inférieur à 133 Pa de pression absolue, on peut décrire en pratique le nombre d'étapes d'éjecteurs de jet de vapeur nécessitées comme montré ci-dessous.

(Tous les niveaux de vide sont en kPa)

10	Niveau de fonctionnement x rapport de compression = pression de décharge			
	Etape 1	1,7	x 6,25	= 10,6
	Etape 2	10,6	x 6,25	= 66,2
	Etape 3	66,0	x 6,25	= 412,5
15	Etape 4	405,8	x 6,25	= 2536,2

Pour mettre en route l'éjecteur de façon appropriée, on doit pomper séquentiellement de manière que les étapes puissent fonctionner convenablement à l'intérieur de leurs gammes de travail. Dans un système à quatre étapes, par exemple, l'étape 4 qui est l'étape de décharge vers l'atmosphère, est la première mise en route et elle constitue la seule étape qui fonctionne jusqu'à ce que la pression absolue de 15,96 kPa est approchée ; ensuite l'étape 3 est mise en route et ainsi de suite. Ces étapes peuvent être déclenchées manuellement en observant un appareil de vide ou peuvent être mises en route séquentiellement de façon automatique, soit par le temps, soit par le niveau de vide.

Aucun de ces deux systèmes automatiques ne fournit un temps de pompage minimal. De façon spécifique, ils ne peuvent permettre une charge de gaz dans l'acier et le laitier, qui varient avec les procédés de fabrication de l'acier et de désoxydation, avec l'humidité, et avec l'hygrométrie ou la condensation dans le système de vide. Un pompage trop rapide avec une charge élevée de gaz dans l'acier et le laitier peut provoquer un débordement au bullage trop fort, et un pompage trop lent est une perte de temps et d'énergie.

Le procédé de modulation par rampe de la présente invention consiste à détecter le niveau de vide à l'entrée ou espace de la première étape ou à la cuve de vide et à mettre en route automatiquement les étapes à la pression optimale de fonctionnement de l'étape tout en isolant le système d'éjecteur de la chambre de vide de la poche (ou poche à vide) avec une soupape d'isolement. La soupape d'isolement est normalement ouverte et n'est resserrée que lorsque le bouillonnement dans la poche monte jusqu'au bord de celle-ci. Le bouillonnement est maintenu proche de cette hauteur maximale tolérable soit par un actionnement visuel de la valve d'isolation, soit par une commande automatique détectant la hauteur du bouillonnement, soit en anticipant une montée de la hauteur de bouillonnement avant de mettre en route une étape suivante inférieure d'éjecteurs, comme par exemple l'étape 2, et en positionnant la soupape de façon correspondante par des moyens automatiques.

Cette technique permet de libérer l'opérateur des mises en route et des interruptions des étapes pour commander la hauteur du bouillonnement, ce qui est peu intéressant et prend du temps ; c'est-à-dire que lorsque les étapes sont arrêtées, dans les systèmes de l'art antérieur, le bouillonnement se calme à peu près complètement et le système doit à nouveau être pompé jusqu'au niveau maximal tolérable de bouillonnement. Cette procédure incrémentielle est répétée jusqu'à ce qu'une quantité suffisante de gaz (surtout du CO) soit enlevée de l'acier de façon que toutes les étapes et un vide maximal puissent être utilisés. Au contraire, un pompage avec étranglement tel qu'il est divulgué dans la présente invention permet un dégazage maximal à tout moment, ce qui fournit le temps de pompage le plus court possible sans débordement par bouillonnement.

Une forme de réalisation spécifique du principe de l'étranglement peut entraîner l'utilisation d'une commande automatique du temps auquel les étapes successives sont mises en route (c'est-à-dire que les étapes successives

sont découpées à des intervalles de temps prédéterminés), l'étranglement de l'entrée de la première étape étant commandé par l'opérateur. Même ce travail de l'opérateur peut être éliminé par l'utilisation d'un système de détection de la hauteur de bouillonnement qui fonctionne de manière à commander la soupape d'étranglement en réponse à la hauteur de bouillonnement.

Dans des installations plus sophistiquées, le bouillonnement du carbone et les étapes de désoxydation peuvent fournir des données à un microprocesseur, ce qui permet de commander les niveaux de vide par rampe en fonction du temps de manière à fournir des cycles optimaux.

15 II. Variation proportionnelle de la tension
d'électrodes en ligne par rapport aux niveaux
de vide pour éviter un début d'incandescence.

Cette seconde technique, qui peut être utilisée avec ou sans pompage commandé, raccourcit la période du cycle en réduisant la tension en ligne avec un accroissement du niveau de vide pour ainsi éviter le début de l'incandescence.

20 Le système VAD fonctionne normalement depuis une condition initiale de chambre fermée qui a pour résultat une situation allant d'un léger vide à un vide de 26,6 kPa de pression absolue pour un chauffage optimal sous vide sans incandescence. Le système peut dériver légèrement en dessous de 26,6 kPa de pression absolue sans incandescence mais pour obtenir un fonctionnement consistant on évite l'incandescence en restant autour de 26,6 kPa de pression absolue, ce qui est un procédé de fonctionnement normal comme le montre le tableau I ci-après.

TABLEAU I

CYCLE VAD CLASSIQUE SANS REDUCTION DE TENSION

ZERO Δ t A LA CUVE A VIDE : 66 t D'ACIER AU CARBONE MOYEN

Temps Δ t	FONCTION	TEMPERATURE
0	à la cuve à vide	1566°C
2	prendre essais t = 3°/min. perte = -6°	1560°C
10	chauffer à l'arc avec pompe à 26,6 kPa t = 8 x 1,375°/min = 11°	1571°C
27	chauffer à l'arc à 26,6 kPa t = 17 x 2,47° = 42°	1613°C
32	pomper à 0,133 kPa t = 5 x -3,2° = -16°	1597°C
40	8 minutes à vide max. t = 8 x -3,375° = -27°	1570°C
42	2 min. rompre vide et prendre essai = 2 x -1° = -2°	1568°C
44	2 min. raccrocher 2 x -1° = -2°	1566°C

Le tableau I montre un soutirage d'échantillon typique dégazé à des températures sans dégazage de coulée à l'air. La perte de chaleur du dégazage est compensée par un chauffage sous vide à l'arc électrique. Ce cycle pour un échantillon de 66 tonnes et une puissance de 5,25 mégawatts à courant alternatif triphasé s'effectue en 44 minutes durant lesquelles le chauffage à l'arc est utilisé pendant 25 minutes. Les arcs ne sont utilisés qu'à 26,6 kPa pour éviter la gamme des incandescences, tout en produisant l'arc électrique à 225 volts.

La présente invention permet également de fonctionner à 225 volts avec un échantillon similaire de 66 tonnes mais seulement pendant 18 minutes. Un dispositif de changement de soutirage en ligne qui peut être une tension diminuant automatiquement ou manuellement est utilisé à mesure que le système est pompé, ce qui permet de se trouver juste en dehors de l'incandescence, comme le montre le tableau II.

TABLEAU II
CYCLE A TENSION REDUITE
ZERO Δ t A LA CUVE A VIDE

<u>Temps</u>	<u>Δ t</u>	<u>FONCTION</u>	<u>TEMPERATURE</u>
0		à la cuve à vide	1566°C
2	2	prendre essais	1560°C
10	8	chauffer à l'arc avec pompe à 26,6 kPa 8 x 1,375° = + 11°C	1571°C
20	10	chauffer à l'arc à 26,6 kPa - Echantillon B 10 x 2,5° = +25	1596°C
22	2	chauffer arc à 2,66 kPa - Echantillon C 2 x 0,5° = +1	1597°C
24	2	chauffer arc à 0,266 kPa - Echantillon D 2 x -0,5° = -1	1596°C
25	1	chauffer arc à 133 Pa - Echantillon E 1 x -1° = -1	1595°C
33	8	dégazer à vide max. 8 x -3,375° = -27	1568°C
35	2	prendre essai 2 x -1° = -2	1566°C
37	2	accrocher 2 x -1° = -2	1564°C

PARAMETRES DE CALCUL POUR UNITE DE 66 t

	0-2 min.	- Prendre essais
	2-10 min.	- Perte 4,4°/min. ou chauffer à 1,375°/min Echantillon B
5	10 min. et ensuite	- Gain 2,5°/min. Echantillon B 225 volts 5250 KW 180 volts 3367KW perte 0,5°/min. Echant. D 150 V 2338 KW perte 1°/min. Echant. E 138 V 1979 KW perte 1,7°/min. Echant. F 118 V 1447 KW
10	Casse-vide et prendre essai	- perte 1°/min.
	Accrocher grue à poche	- perte 1°/min.

CARACTERISTIQUES D'ARC ET DE POMPAGE DE VIDE

	à 26,6 kPa	- Prend de 1,5 à 2 min - Ech. B 235 V arc possible à 26,6 kPa sans incandescence
15	de 26,6 à 2,66 kPa	- Prend 2 min. Ech. C 180 V arc possible courtes périodes à 2,66 kPa sans incandescence
	de 2,66 à 0,266 kPa	- Prend 2 min. Ech. D 150 V arc possible courtes périodes à 0,266 kPa sans incandescence
20	de 0,266 à 0,133 kPa	- Prend 1 min. Ech. E 138 V arc possible courtes périodes à 0,133 kPa sans incandescence

En maintenant la puissance électrique, même à une puissance réduite, on obtient une économie double parce que la perte non inhibée de température de dégazage à des niveaux de vide plus faibles sans production d'arc existe toujours. Par conséquent, lorsqu'on chauffe à l'arc avec vide, même avec une entrée plus faible, de l'énergie est absorbée par le bain pendant une période où l'arc est normalement absent. Cette absorption d'énergie raccourcit la période de vide qui normalement aurait pour résultat une perte thermique accrue et, bien sûr, la chaleur du bain ou l'énergie contenue dans l'acier règle la période du processus.

Le fait d'éviter l'incandescence en raison du niveau de vide et du chauffage à l'arc électrique a été déterminé expérimentalement dans une installation VAD de 66 tonnes ayant une impédance de 0,006 ohm avec un courant maximal de 20 000 ampères. Avec un système plus

rigide ayant une impédance plus faible et une puissance plus grande, la production d'arc pourrait en fait exister dans la gamme de déshydrogénation. Un tel résultat a été expérimenté durant des essais pilote à des tensions entre 80 et 100 V et à des pressions absolues inférieures à 133 Pa.

Cette seconde nouvelle technique évite le problème de l'incandescence qui est liée au vide et à la tension, ce problème ayant à son tour pour conséquence une condition de court-circuit, ce qui réduit la chaleur fournie au bain de métal et surchauffe l'équipement de transmission de la puissance de courant alternatif. En commandant la vitesse du pompage de vide et simultanément en réduisant ou diminuant la tension de production d'arc, le système VAD est capable d'éviter davantage l'incandescence. Cette technique permet la production d'arc sans incandescence tout en ajoutant de la chaleur au bain et/ou en perdant moins de température durant la période de pompage normalement sans arc. Un bon retrait d'oxygène est réalisé pendant cette période de chauffage tout en pompant à 13,3 kPa et en dessous, ce qui permet un bouillonnement plus uniforme tout en abaissant la pression absolue. Voir par exemple le brevet des Etats-Unis d'Amérique N° 3 635 696, page 4, colonne 1, lignes 72-75. Ceci également réduit la possibilité de débordement avec des poches à faible garde et réduit davantage la période du processus.

Les tableaux I et II montrent des économies de temps de 16 % lorsqu'on compare le VAD classique avec le cycle à tension réduite selon la présente invention, de la façon suivante :

<u>VAD CLASSIQUE</u>	<u>CYCLE A TENSION REDUITE</u>
44 minutes	37 minutes

Economie = 7 minutes

$$\text{ou } \frac{7}{44} = 16 \% \text{ d'économie en temps}$$

5 La réduction de tension donne aussi une économie en énergie de 16 % :

<u>VAD CLASSIQUE</u>	<u>CYCLE A TENSION REDUITE</u>
en dollars : 2,12/tonne	1,80/tonne

$$\text{ou } \frac{2,12 - 1,80}{2,12} = 16 \%$$

$$\text{Economies} = 2,12 - 1,80 = 0,32/\text{tonne}$$

10

TABLEAU III

Economie prix revient : VAD classique comparé à présente invention

<u>VAD CLASSIQUE</u>	<u>VAD AVEC CHUTE DE TENSION</u>
Arc 25 min. à 5,25 MW = $5250 \times \frac{25}{60} = 2,1875 \text{ MWh}$	18 min.Ech. B à 5,215W x $\frac{16}{60} = 1,575 \text{ h}$
15 pour 66 tonnes = $\frac{2,1875}{77}$	2 min.Ech. C à 3,367W x $\frac{2}{60} = 0,112 \text{ h}$
= 33 KW/tonne	2 min.Ech. D à 2,338W x $\frac{2}{60} = 0,078 \text{ h}$
à 0,06625/KW =	
20 2,12 dollars/tonne traitée	1 Min.Ech. E à 1,719W x $\frac{1}{60} = \frac{0,028\text{h}}{1,793 \text{ h}}$
	25 minutes
	pour 66 tonnes = $\frac{1754}{66} = 27,16 \text{ KW/tonne}$
	à 0,06625/KW = 1,80 dollars/tonne

On voit à nouveau que ces économies de 16 % en temps et en énergie sont basées sur un échantillon de 66 tonnes. Des économies similaires ont lieu sur un échantillon d'une taille quelconque traité par le système VAD.

L'importance d'une économie de 7 minutes dans la période du cycle (qui pourrait même être plus grande avec un système plus rigide) peut se voir lorsqu'on considère un temps de 40 minutes d'échantillon à échantillon provenant d'un four pneumatique. La période de cycle VAD classique de 44 minutes nécessitait deux unités pour travailler avec un four à oxygène basique, tandis que la période de cycle plus courte de 37 minutes permet l'utilisation d'un seul système VAD.

En plus, la faculté d'utiliser des arcs sous un vide poussé permet une autre réduction de la période de cycle dans le cycle VAD à tension réduite. En calculant de façon soignée le système électrique, il est possible de réduire l'impédance de ce système de telle manière que suffisamment de courant puisse passer dans le bain à une tension faible, c'est-à-dire assez bas pour éviter la gamme des incandescences et pour donner de l'énergie dans la gamme de 2000 kW à une pression absolue de 133 Pa ou inférieure. Ce chauffage à l'arc continue pendant tout le cycle avec des économies de temps de 6-7 minutes en plus des économies révélées pendant le cycle de tension réduite.

Par exemple, en utilisant l'installation VAD de 66 tonnes mentionnée ci-dessus, on peut obtenir un arc de chauffage stable courant alternatif à 133 Pa ou en dessous comme suit.

Avec un système électrique ayant une réactance de

$$x = 3,5 \times 10^{-3} + 2,54 = 13100 \text{ amps avec facteur de puissance de } 0,707$$

$$\text{kW} = 13100 \times 100 \times \sqrt{3} \times \frac{1}{1000} = 2272$$

Pour un échantillon d'acier au carbone moyen de 60 tonnes, ceci revient à

$$2272 = \frac{132\ 000 \times 0,18 \times t \times 60}{3416 \times 80 \% \text{ d'efficacité}}$$

$$t = 4,35^{\circ}\text{F} (= 2,42^{\circ}\text{C})$$

5 Si on expérimente une perte normale de 3°C, une augmentation de la température de 2°C provoque une perte nette de seulement 1°C.

En résumé, dans les conditions décrites, une économie additionnelle dans le temps de cycle de 6 à 7 min
10 peut être réalisée. Cette économie de temps est illustrée à la figure 3 qui divulgue un cycle de système VAD montrant la nouvelle technique décrite ci-dessus comme étant un nouveau cycle ainsi que la technique décrite par ailleurs dans la présente demande comme étant un cycle amélioré.

15 Normalement, des laitiers hautement basiques ont des points de fusion extrêmement élevés (approximativement 1650°C). Pendant un traitement classique VAD, le laitier tend à se durcir, à perdre sa fluidité et empêche l'exposition des gouttelettes de métal au vide.

20 La fluidisation additionnelle du laitier provenant de l'utilisation d'arcs dans la gamme élevée de vide renforce l'élimination de H₂ d'une valeur allant jusqu'à 0,6 ppm par rapport au cycle normal VAD.

25 III. Technique pour assurer une circulation de métal suffisante à mesure que s'accroît la dimension de l'échantillon

Dans un système classique VAD, on utilise seulement une seule source de purge de gaz, que cette source soit un élément poreux réfractaire inséré dans la paroi
30 ou dans le fond ou une tuyère installée de façon semblable, ou un dispositif d'insufflation dans une soupape du type tiroir. Cependant, de façon surprenante, des recherches effectuées sur un grand nombre d'échantillons ont montré une réduction de 0,3 ppm d'hydrogène en utilisant plus
35 d'une brique de purge dans un échantillon de 66 tonnes.

Comme le fonctionnement du système VAD nécessite un brassage convenable pour présenter du métal

non dégazé à l'interface métal-laitier-vide, il est essentiel que l'équipement de purge ou de brassage fonctionne convenablement. Vingt-cinq échantillons formés en moyenne d'échantillons de 66 tonnes utilisent un bloc de réglage et un bouchon de purge et de revêtement de la poche, ce qui fait que le coût par bloc est de 0,135 dollar par tonne, calculé de la façon suivante :

Coût du jeu de bloc de purge et de bouchon (brique) = 223,02 dollars.

66 tonnes x 25 échantillons = 1650 tonnes/jeu ou bien 0,135 dollar par tonne.

Une installation à double purge double naturellement ce coût de 0,135 dollar par tonne ; mais cependant, l'accroissement du coût est compensé soit premièrement par une réduction de 0,3 ppm d'hydrogène, deuxièmement par une période de dégazage réduite de façon correspondante de plusieurs minutes, soit troisièmement, par la sécurité d'un équipement double avec des échantillons de dimensions plus grandes.

Normalement, une brique ou bouchon de purge est installée sur le fond à mi-rayon pour être plus efficace et permet de traiter jusqu'à 50 tonnes correctement. Un maximum de 0,14 m³/min (0,745 kW de compresseur) peut provoquer un débordement au bullage. Néanmoins, à mesure qu'augmentent le diamètre et le volume de la poche, des points additionnels de purge à des intervalles de 120° se sont avérés plus efficaces. En extrapolant à partir de données existantes, le tableau suivant est justifié au point de vue prix :

Dimension	NOMBRE DE BRIQUES DE PURGE
jusqu'à 50 t	1 - mi-rayon
50 à 150 t	2 - mi-rayon à 120° d'écart
au-delà de 150 t	3 - mi-rayon à 120 x 120° d'écart

La figure 1 est un graphique permettant de comparer les données des tableaux I et II du texte. La partie hachurée montre que lors du démarrage de la réduction à 21 minutes, la température crête précédente de 1613°C est abaissée approximativement à 1597°C. La zone

hachurée montre ainsi une économie de temps, d'énergie et d'usure des éléments réfractaires, car, comme le comprennent facilement les spécialistes de cette technique, l'abaissement des températures fait décroître l'érosion des éléments réfractaires. La figure 1 montre également que 5 1565°C, qui est la température désirée, ont été atteints en 37 minutes avec la réduction et en 44 minutes sans réduction. De même, la figure 3 montre que 1565°C ont été atteints en 30 minutes par chauffage à l'arc à un vide poussé 10 contre 44 minutes pour le cycle classique.

La figure 2 montre un cycle de dégazage typique avec dans la cuve de l'acier au carbone moyen faiblement allié. Cette figure illustre le fait qu'un vide d'environ 26,6 kPa est atteint à une minute et demie, de 15 2,66 kPa à environ 4 minutes, de 0,266 kPa à 5 minutes et demie et de 0,133 kPa à 7 minutes.

La description ci-dessus permet de montrer de façon évidente aux spécialistes de cette technique qu'aucune des trois caractéristiques mentionnées ne sont 20 incompatibles ou ne se contre-balancent l'une par rapport à l'autre, et que ces caractéristiques isolément ou par deux ne dépendent aucunement du fonctionnement ou du non-fonctionnement d'une autre caractéristique quelconque parmi celles-ci. Il en résulte que ces caractéristiques 25 peuvent être employées individuellement, dans toute combinaison de deux caractéristiques ou bien toutes trois simultanément en conjonction avec un procédé classique de VAD.

Finalement, il est évident que la présente 30 invention n'est pas limitée aux formes de réalisation décrites et illustrées et que des modifications peuvent y être apportées sans sortir de son cadre.

REVENDEICATIONS

1. Procédé pour affiner l'acier du type
qui comprend les étapes consistant à soumettre simultanément un volume d'acier fondu à un système de vide incrémentiel et à des moyens de brassage qui sont capables de
5 transporter l'acier fondu de la partie inférieure du volume d'acier à la surface où l'acier transporté peut être soumis au vide, et à soumettre ledit acier qui est exposé simultanément au vide et aux moyens de brassage à un arc
10 de chauffage par courant alternatif qui est produit entre des moyens formant électrodes et ledit acier pendant au moins une partie de la période de fonctionnement simultané du système de vide et des moyens de brassage, procédé caractérisé par les étapes consistant à adapter l'application
15 du système de vide incrémentiel à la condition limite du procédé, telle que le débordement par bouillonnement, et à commander le vide appliqué à l'acier par des moyens de restriction.

2. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que le système de vide incrémentiel est un
20 système d'éjecteur à jets de vapeur et en ce que le moyen de restriction est une soupape d'isolation qui est maintenue normalement ouverte et qui n'est resserrée seulement qu'après avoir observé une condition limite du procédé.

3. Procédé pour affiner l'acier du type
25 qui comprend les étapes consistant à soumettre simultanément un volume d'acier fondu à un système de vide incrémentiel et à des moyens de brassage qui sont capables de transporter l'acier fondu de la partie inférieure du volume
30 d'acier à la surface où l'acier transporté peut être soumis au vide, et à soumettre ledit acier qui est exposé simultanément au vide et aux moyens de brassage à un arc de chauffage par courant alternatif qui est produit entre des moyens formant électrodes et ledit acier pendant au
35 moins une partie de la période de fonctionnement simultané du système de vide et des moyens de brassage, procédé caractérisé par l'étape consistant à faire décroître la tension d'arc de chauffage à courant alternatif avec une réduction

du niveau de vide, la tension d'arc étant suffisamment basse à tout moment pour éviter toute incandescence.

4. Procédé selon la revendication 3, caracté-
risé en ce que la tension d'arc de chauffage à courant
5 alternatif est réduite à un niveau qui permet à l'arc
d'être maintenu dans la gamme des pressions inférieures
à environ 133 Pa.

5. Procédé selon la revendication 4, caracté-
risé en ce que la tension est maintenue à un niveau qui
10 n'est pas plus élevé qu'environ 90 volts.

6. Procédé pour affiner l'acier du type
qui comprend les étapes consistant à soumettre simultanément
un volume d'acier fondu à un système de vide incrémen-
tuel et à des moyens de brassage qui sont capables de
15 transporter l'acier fondu de la partie inférieure du volume
d'acier à la surface où l'acier transporté peut être
soumis au vide, et à soumettre ledit acier qui est exposé
simultanément au vide et aux moyens de brassage à un arc
de chauffage par courant alternatif qui est produit entre
20 des moyens formant électrodes et ledit acier pendant au
moins une partie de la période de fonctionnement simultané
du système de vide et des moyens de brassage, procédé
caractérisé par l'étape consistant à brasser l'acier par
application de moyens de purge à gaz, lesdits moyens
25 comprenant au moins deux emplacements d'émission de gaz
situés à environ 120° l'un de l'autre par rapport à la
partie centrale du volume d'acier fondu, chaque emplacement
de purge à gaz étant situé approximativement à la moitié
du rayon du volume de métal fondu.

7. Procédé selon la revendication 1, caracté-
risé en ce qu'il comprend l'étape consistant à réduire
la tension d'arc de chauffage à courant alternatif avec
une réduction du niveau de vide, la tension d'arc étant
suffisamment basse à tout moment pour éviter toute incan-
35 descence.

8. Procédé selon la revendication 7, caracté-
risé en ce qu'il comprend l'étape consistant à brasser
l'acier par application de moyens de purge à gaz, lesdits moyens

comprenant au moins deux emplacements d'émission de gaz situés approximativement à 120° l'un de l'autre par rapport à la partie centrale du volume d'acier fondu, chaque emplacement de purge de gaz étant situé approximativement à la moitié du rayon du volume de métal fondu.

5
10
15
20
25

9. Procédé pour affiner l'acier du type qui comprend les étapes consistant à soumettre simultanément un volume d'acier fondu à un système de vide incrémentiel et à des moyens de brassage qui sont capables de transporter l'acier fondu de la partie inférieure du volume d'acier à la surface où l'acier transporté peut être soumis au vide, et à soumettre ledit acier qui est exposé simultanément au vide et aux moyens de brassage à un arc de chauffage par courant alternatif qui est produit entre des moyens formant électrodes et ledit acier pendant au moins une partie de la période de fonctionnement simultané du système de vide et des moyens de brassage, procédé caractérisé par les étapes consistant à réduire la tension d'arc de chauffage de courant alternatif avec une réduction dans le niveau de vide, la tension d'arc étant suffisamment basse à tout moment pour éviter toute incandescence, à brasser l'acier par application de moyens de purge de gaz, lesdits moyens comprenant au moins deux emplacements d'émission de gaz situés approximativement à 120° l'un de l'autre par rapport à la partie centrale du volume d'acier fondu, chaque emplacement de purge de gaz étant situé approximativement à la moitié du rayon du volume de métal fondu.

30
35

10. Appareil pour l'affinage d'acier en poche, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens pour maintenir un corps d'acier fondu à traiter, des moyens pour soumettre un corps d'acier fondu à un système de vide incrémentiel, des moyens pour brasser l'acier qui sont capables de transporter l'acier fondu de la partie inférieure du corps d'acier à la surface où l'acier transporté peut être soumis au vide, des moyens pour soumettre le volume ou corps d'acier durant au moins une partie de la période où il est simultanément soumis au vide et au brassage, à un arc

de chauffage à courant alternatif qui est produit entre des moyens formant électrodes et ledit volume d'acier, et des moyens pour adapter l'application du système de vide incrémentiel à une condition limite de procédé telle que le débordement par bouillonnement.

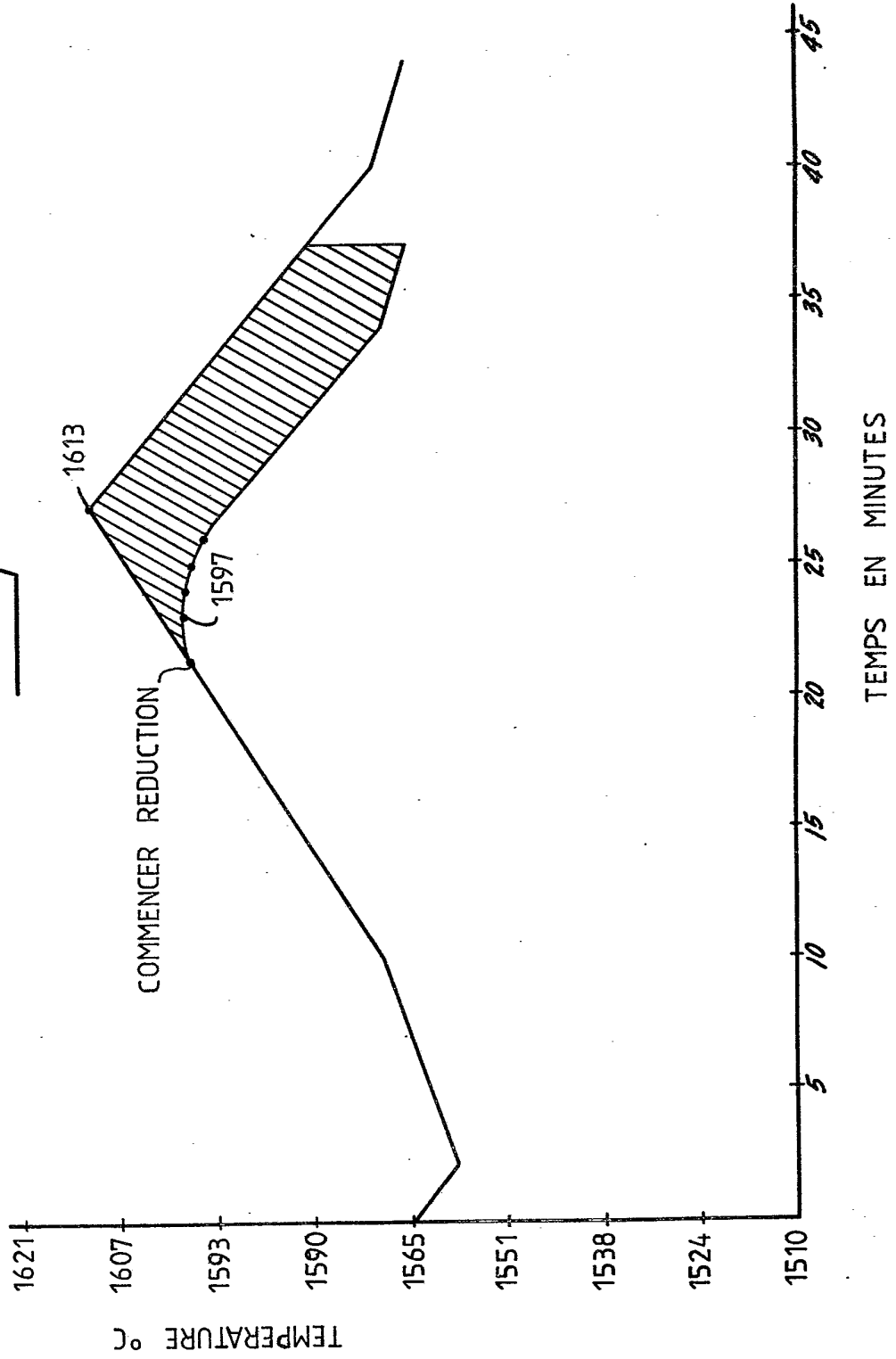
5
10
11. Appareil selon la revendication 10, caractérisé en ce que le système de vide incrémentiel est un système à éjecteur à jets de vapeur et en ce que le moyen d'adaptation est une soupape d'isolation du système d'éjecteur à jets de vapeur qui fonctionne pour restreindre le système à éjecteur à jets de vapeur.

15
20
25
12. Appareil pour l'affinage d'acier en poche, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens pour maintenir un volume d'acier fondu à traiter, des moyens pour soumettre un volume d'acier fondu à un système de vide incrémentiel, des moyens pour brasser l'acier qui sont capables de transporter l'acier fondu de la partie inférieure du volume d'acier à la surface où l'acier transporté peut être soumis à du vide, des moyens pour soumettre le volume d'acier durant au moins une partie de la période où il est simultanément soumis au vide et au brassage, à un arc de chauffage à courant alternatif qui est produit entre des moyens formant électrodes et le volume d'acier, et des moyens pour faire décroître la tension d'arc à courant alternatif avec une réduction dans le niveau de vide.

30
35
13. Appareil pour l'affinage de l'acier en poche, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens pour maintenir un volume d'acier fondu à traiter, des moyens pour soumettre un volume d'acier fondu à un système de vide incrémentiel, des moyens pour brasser l'acier qui sont capables de transporter l'acier fondu de la partie inférieure du corps d'acier à la surface où l'acier transporté peut être soumis à du vide, des moyens pour soumettre le volume d'acier, durant au moins une partie du temps où il est simultanément soumis à du vide et au brassage, à un arc de chauffage à courant alternatif qui est produit entre des moyens formant électrodes et le volume d'acier, et des moyens pour brasser le volume d'acier par une purge à gaz.

14. Appareil selon la revendication 13, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de purge de gaz qui comportent au moins deux structures d'émission de gaz situées approximativement à 120° l'une de l'autre par rapport à la partie centrale du volume d'acier fondu, chaque structure étant située approximativement sur la moitié du rayon du volume de métal fondu.

FIG. 1.



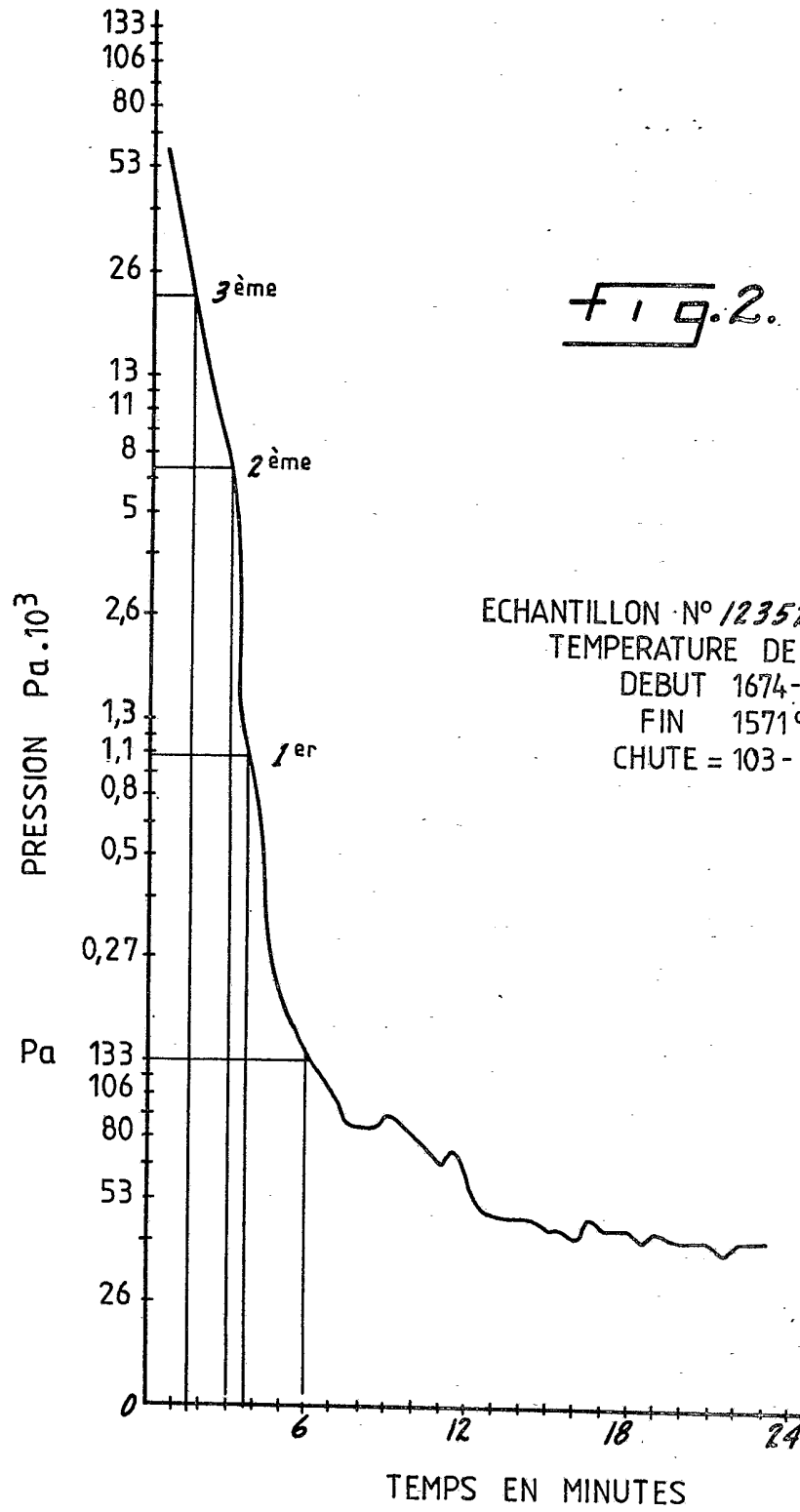


FIG. 3.

