(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 563 537**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **84 06506**

(51) Int Cl⁴ : C 23 C 2/26, 2/06; C 21 D 1/42, 9/46, 11/00.

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) Date de dépôt : 25 avril 1984.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 44 du 31 octobre 1985.

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

(71) Demandeur(s) : *STEIN HEURTEY.* — FR.

(72) Inventeur(s) : Didier Brun et Olivier Schwebel.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : Cabinet Armengaud Aîné.

(54) Procédé et dispositif de recuit de diffusion pour l'obtention de tôles à revêtement allié.

(57) Procédé de recuit de diffusion pour l'obtention de tôles à revêtement allié, notamment de tôles d'acier revêtues de zinc, selon lequel les tôles revêtues sont soumises à un traitement thermique provoquant une diffusion progressive du fer depuis le substrat vers la couche du revêtement, caractérisé en ce que l'échauffement nécessaire à la diffusion est localisé audit substrat, et en ce que l'on contrôle la cinétique de la diffusion par une variation instantanée du régime thermique du substrat.

FR 2 563 537 - A1

2563537

La présente invention concerne l'obtention de tôles à revêtement allié, par un traitement thermique de recuit. On sait que, pour de nombreuses applications, notamment dans le domaine automobile et électroménager, les tôles d'acier revêtues de zinc doivent être soumises à un traitement thermique, au terme duquel le fer de la tôle diffuse dans la couche de zinc en formant un alliage fer /zinc à faible teneur, qui présente de nombreux avantages sur le plan de la "soudabilité" et "peintabilité".

Cet alliage est obtenu généralement par action de brûleurs, placés soit face à la bande, soit tangentiellement à la bande, qui utilisent des combustibles fossiles ou des gaz résiduaires pour générer des fumées à haute température. La tôle défile en continu dans cette atmosphère à haute température, généralement supérieure à 900°C. Le revêtement de zinc et la tôle elle-même sont portés à des températures généralement comprises entre 400 et 700°C, fréquemment de l'ordre de 500°C.

Dans cette technique, le flux thermique est transmis au revêtement, puis à la tôle, principalement par rayonnement des flammes et des fumées, cette action étant complétée par un transfert convectif des fumées sur le revêtement de zinc et un transfert conductif vers le substrat.

Au cours de ce traitement, le fer diffuse progressivement depuis le substrat, et la couche fortement alliée gamma vers les couches delta, dzeta et êta. Le processus doit être interrompu quand la teneur moyenne en fer du revêtement est encore inférieure à 15 %. On a représenté, sur les Figures 1 et 2, la coupe du revêtement avant (Figure 1) et après (Figure 2) un tel recuit de diffusion.

Les techniques habituelles de traitement thermique de diffusion présentent un inconvénient important, du fait que l'écart de température entre les flammes ou les fumées ou les parois des tubes rayonnants et le zinc doit être important pour compenser la faible émissivité de la surface de cette couche de zinc, maintenue le plus souvent à l'état liquide.

Une amélioration notable peut être obtenue en augmentant la part de transfert par convection, grâce à l'utilisation de brûleurs à forte impulsion, ou par recyclage à haute vitesse des fumées chaudes. Néanmoins, dans toutes les techniques qui utilisent le mode d'apport de flux thermique depuis l'extérieur de la bande vers le substrat, le rendement en fumées ne peut qu'être mauvais, celles-ci étant rejetées à l'atmosphère à des températures générale-

ment supérieures à 800°C.

L'utilisation d'une enceinte à haute température a pour conséquence une inertie importante du système, inertie aggravée par les écoulements des fumées le long de la bande. Cette relative inertie thermique rend difficile, voire même aléatoire, le contrôle des cinétiques de diffusion, et par là même, de la qualité du revêtement allié. A ces inconvénients s'ajoute une certaine détérioration du dépôt de zinc, par oxydation superficielle et évaporation du zinc, du fait des hautes températures des gaz en contact avec celui-ci.

La présente invention se propose d'apporter un procédé permettant, notamment, de contrôler la cinétique de la diffusion du fer du substrat dans la couche de zinc du revêtement de la bande de tôle. Ce procédé est essentiellement caractérisé en ce que l'échauffement nécessaire à la diffusion est localisé audit substrat, et en ce que la cinétique de la diffusion est contrôlée par une variation instantanée du régime thermique du substrat.

Selon l'invention, la variation du régime thermique du substrat de la bande est obtenue par induction électromagnétique. Ainsi, on induit le flux thermique dans le substrat en le soumettant à un champ magnétique variable, qui donne naissance à des courants de Foucault qui, par effet Joule, se transforment en chaleur.

L'invention vise également une installation pour la mise en oeuvre du procédé précisé ci-dessus, cette installation étant caractérisée en ce qu'elle comporte : une enceinte de réchauffement, au travers de laquelle la bande, sortant du bain de revêtement, circule en continu, cette enceinte comportant un ou plusieurs inducteurs successifs placés autour de la bande, de manière à développer, dans son axe, un champ variable ; un ou plusieurs générateurs alimentant les inducteurs ; et des moyens agissant en réponse aux variations d'épaisseur de la bande et de son revêtement, pour faire varier la fréquence ou la puissance délivrée par le générateur, ou pour modifier le temps de séjour de la bande dans l'enceinte de réchauffement, par augmentation ou réduction de la vitesse de défilement de la bande.

Selon l'invention, le dispositif comporte en outre des moyens de contrôle en temps réel du recuit de diffusion, et, par conséquent, de l'état de surface de la bande revêtue, qui sont basés sur les variations des propriétés optiques et électromagnétiques du revêtement, en fonction du degré d'alliage obtenu. Ces moyens peuvent être réalisés sous la forme de cap-

teurs opto-électroniques, ou de capteurs basés sur le principe de l'absorption d'une onde électromagnétique, qui sont placés en aval des inducteurs et qui engendrent un signal représentant l'écart entre la valeur,mesurée en continu, de l'état de surface de la bande, et la valeur de consigne, ce signal étant utilisé pour piloter la puissance délivrée aux inducteurs.

D'autres caractéristiques et avantages de cette invention ressortiront de la description faite ci-après en référence au dessin annexé, qui en illustre un exemple de réalisation dépourvu de tout caractère limitatif. Sur le dessin :

- les Figures 1 et 2 représentent, en coupe, le revêtement de la bande avant et après le recuit de diffusion, respectivement ;
- la Figure 3 est une vue schématique d'un dispositif selon l'invention.

Comme on l'a précisé ci-dessus, le procédé de l'invention se propose d'obtenir et de contrôler la diffusion du fer du substrat dans la couche de zinc en induisant un flux thermique dans le substrat, en soumettant ce dernier à un champ magnétique variable qui donne naissance à des courants de Foucault qui, par effet Joule, se transforment en chaleur.

L'énergie dissipée P peut s'exprimer sous la forme habituelle :

$$P\,\frac{w}{m^2} = a\,H_e^2\,\sqrt{\rho\,\mu_r\,f}\;.\;F$$

et la profondeur de pénétration, ou épaisseur de peau :

$$d_o = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\rho\,10^7}{\mu_r\,f}}$$

où :

H_e	est le champ magnétique efficace,
ρ	la résistivité (Ω - m),
μ_r	la perméabilité magnétique relative, ($H.m^{-1}$)
f	la fréquence (Hz),
d	l'épaisseur de la tôle, (m)
d_o	la profondeur de pénétration,
F	le facteur de transmission, fonction de : $\frac{d}{d_o}$
a	constante.

Le procédé est basé, d'une part, sur la différence importante d'épaisseur du substrat, généralement de 0,3 à 2,5 mm, et du revêtement -quelques

dizaines de microns- , d'autre part, sur les caractéristiques électromagnétiques de l'acier et du zinc, et en particulier sur la grande différence de perméabilité magnétique relative et de résistivité de ces deux éléments (μ_r est de 1 pour le zinc, et de 3.10^3 à 1.10^4 pour l' acier).

Selon l'invention, ces propriétés sont mises à profit pour réchauffer, au défilé, la bande d'acier revêtue d'un dépôt de zinc, grâce à un ou plusieurs inducteurs successifs placés autour de la bande et développant dans son axe un champ variable.

La Figure 3 représente une installation pour la mise en oeuvre de ce procédé. Sur cette Figure 3, on voit que la bande 12 passe, comme connu, dans un four de traitement 10, comportant des moyens de refroidissement 14, puis dans un bain de revêtement 16 (bain de galvanisation), où elle est pourvue du revêtement d'épaisseur désirée, l'excès de métal liquide étant éliminé par un moyen d'essorage mécanique ou pneumatique 18. La bande enduite passe ensuite dans une enceinte 20, où elle est soumise, selon l'invention, à l'échauffement nécessaire à la diffusion, qui est localisé au substrat. Cette enceinte comporte un ou plusieurs inducteurs 24, ces derniers et leurs masses magnétiques 22 étant disposés de façon à renforcer le champ électromagnétique induit et à obtenir des isothermes les plus plates possibles. Ces inducteurs 24 sont alimentés par un ou plusieurs générateurs 34, alimentés par le secteur S par l'intermédiaire d'un transformateur 36 et d'un redresseur 38. Les générateurs fonctionnent à moyenne ou haute fréquence , afin de maintenir un rendement acceptable pour des bandes ayant une épaisseur inférieure à 0,5 mm. De préférence, et malgré les pertes de rendement relativement faibles qui peuvent en résulter, les faces des spires regardant la bande sont maintenues à une température de l'ordre de quelques dizaines de degrés, pour contrôler la température de peau du revêtement, grâce aux échanges par rayonnement qui sont favorisés par le choix de matériaux à forte émissivité servant à réaliser les enroulements du ou des inducteurs. L'installation est complétée par un moyen de refroidissement 28, par exemple par air, de la bande sortant de l'enceinte 20.

Selon l'invention, on tient compte des variations d'épaisseur de la bande et du revêtement, soit en faisant varier la fréquence ou la puissance délivrée par le générateur, soit en faisant varier le temps de séjour de la bande dans l'enceinte de réchauffement 20, en augmentant ou en réduisant sa vitesse

de défilement.

La forte perméabilité magnétique de l'acier du substrat, perméabilité qui s'accroît pendant le traitement de diffusion, ainsi que la résistivité de l'acier, qui est de 2 à 5 fois celle du zinc, permettent de concentrer le maximum de la puissance de chauffage dans l'acier, du fait que le produit $\rho\mu_r$ est d'autant plus favorable à l'acier que sa température s'élève, alors que, simultanément, celle du zinc est stabilisée par les pertes thermiques dues au rayonnement et à l'absorption par les inducteurs 24 qui entourent la bande.

Cette concentration de flux dans l'acier, tout en maintenant le zinc du revêtement à l'état liquide, par apport énergétique à partir du substrat, favorise la diffusion des atomes de fer. En privilégiant l'effet de peau dans le substrat et en recherchant les flux thermiques maximaux admissibles, les temps de traitement de diffusion peuvent être réduits, ce qui, entre autres avantages, permet de ne pas modifier de façon sensible les caractéristiques mécaniques de la tôle, tout en obtenant l'alliage fer/zinc recherché (inférieur à 15 %).

Un autre avantage décisif du procédé de l'invention découle de l'absence quasi totale d'inertie thermique du traitement par induction électromagnétique. En effet, l'absence d'enceinte thermique à température élevée, l'absence de fumées chaudes, permettent, par réduction instantanée de la puissance délivrée aux bornes du générateur, ou dès sortie du ou des inducteurs, de ramener, par refroidissement convectif et radiatif, le substrat à une température (inférieure à 420°C) telle que les phénomènes de diffusion sont bloqués par une cinétique qui tend presque immédiatement vers 0, le seul paramètre restant étant l'inertie propre de la bande revêtue.

Le recuit de diffusion entraîne une variation des caractéristiques optiques et magnétiques de la superficie, en fonction de la concentration d'alliage fer/zinc dans et sur le revêtement. En effet, la couche superficielle qui, initialement, ne contient que du zinc et des traces d'oxydes de Zn, Al, comporte, après traitement, des atomes de fer qui ont diffusé depuis la couche gamma et le substrat.

Grâce à l'inertie thermique négligeable de cet ensemble bande/inducteur, ces variations peuvent être utilement mises à profit pour contrôler, en temps réel, les recuits de diffusion afin de maintenir constante la qualité du revêtement après diffusion. A cet effet, le dispositif selon l'invention pré-

voit des capteurs opto-électroniques 30', ou des capteurs basés sur le principe de l'absorption d'une onde électromagnétique, qui sont placés en aval des inducteurs. Ils sont préalablement étalonnés à partir de tôles revêtues alliées servant de référence. Les variations d'émissivité, de réflexion ou d'absorption, en fonction des longueurs d'ondes choisies, permettent de vérifier la conformité de l'état de surface avec l'étalon choisi.

Le signal généré par l'écart entre la valeur mesurée en continu par le capteur et la valeur de référence est utilisé pour piloter la puissance délivrée par le ou les inducteurs. Ce pilotage peut venir en complément ou en correction de la gestion de l'installation à l'aide d'un calculateur 32, qui assure le réglage de l'installation à partir d'un modèle mathématique de diffusion qui prend en compte les caractéristiques dimensionnelles et physico-chimiques de la bande.

Le procédé et le dispositif objet de cette invention, qui assurent l'apport des flux énergétiques directement dans la tôle, permettent non seulement de contrôler instantanément la cinétique de la diffusion avec un équipement dont l'inertie est négligeable, mais encore ils évitent l'évaporation et l'oxydation partielle de la couche de zinc, en supprimant l'écart de température qui existe entre l'atmosphère de traitement et la tôle revêtue. Un tel procédé est particulièrement bien adapté aux recuits de diffusion qui sont à réaliser sous atmosphère contrôlée, par exemple après enduction et essorage à l'azote.

Il demeure bien entendu que cette invention n'est pas limitée aux exemples de mise en oeuvre et de réalisation décrits ici, mais qu'elle en englobe toutes les variantes.

REVENDICATIONS

1 - Procédé de recuit de diffusion pour l'obtention de tôles à revêtement allié, notamment de tôles d'acier revêtues de zinc, selon lequel les tôles revêtues sont soumises à un traitement thermique provoquant une diffusion progressive du fer depuis le substrat vers la couche du revêtement, caractérisé en ce que l'échauffement nécessaire à la diffusion est localisé audit substrat, et en ce que l'on contrôle la cinétique de la diffusion par une variation instantanée du régime thermique du substrat.

2 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la variation instantanée du régime thermique du substrat est obtenue par induction électromagnétique, le flux thermique, dans le substrat, étant induit en le soumettant à un champ magnétique variable, qui donne naissance à des courants de Foucault qui, par effet Joule, se transforment en chaleur.

3 - Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que le revêtement de la bande est maintenu à l'état liquide par apport énergétique à partir du substrat de ladite bande.

4 - Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la température du revêtement de la bande est maintenue à une valeur sensiblement faible, de l'ordre de quelques dizaines de degrés, pour contrôler la température de peau dudit revêtement par les échanges thermiques par rayonnement.

5 - Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on effectue un contrôle en temps réel du recuit de diffusion.

6 - Dispositif pour la mise en oeuvre d'un procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte : une enceinte de réchauffement (20), au travers de laquelle la bande (12), sortant du bain de revêtement (16), circule en continu, cette enceinte comportant un ou plusieurs inducteurs successifs (24) placés autour de la bande de manière à développer dans son axe un champ variable ; un ou plusieurs générateurs (34) alimentant les inducteurs, et des moyens agissant en réponse aux variations d'épaisseur de la bande et de son revêtement pour faire varier la fréquence ou la puissance délivrée par le générateur, ou pour modifier le temps de séjour de la bande dans l'enceinte (20), par augmentation ou réduction de la vitesse de défilement de la bande.

7 - Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens de contrôle en temps réel du recuit de diffusion, et, par conséquent, de l'état de surface de la bande revêtue.

8 - Dispositif selon la revendication 7,caractérisé en ce que lesdits moyens de contrôle sont constitués par des capteurs opto-électroniques (30') détectant les variations d'émissivité, de réflexion et d'absorption d'une onde électromagnétique, ces capteurs engendrant un signal représentant l'écart entre la valeur mesurée en continu et une valeur de consigne, ledit signal servant à piloter la puissance délivrée aux inducteurs (24).

9 - Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que les moyens de contrôle sont complétés par un calculateur (32), assurant la gestion du dispositif en effectuant son réglage à partir d'un modèle mathématique de diffusion, qui prend en compte les caractéristiques dimensionnelles et physico-chimiques de la bande.

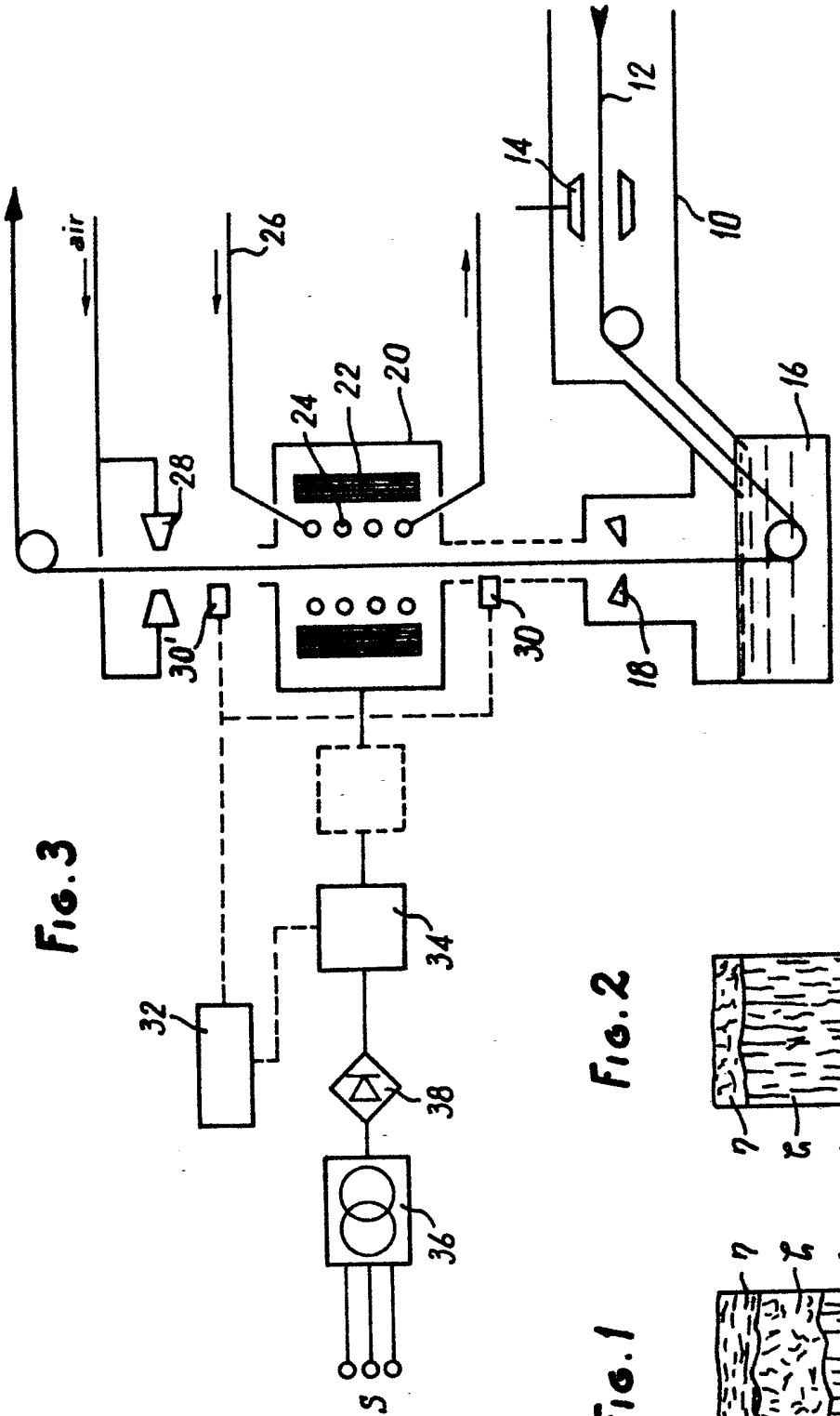


FIG. 3

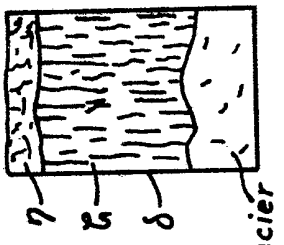


FIG. 2

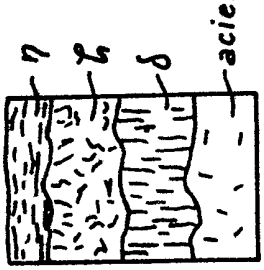


FIG. 1