

Description

L'invention se rapporte à un procédé pour conférer à des pièces en métal ferreux, avec de bonnes propriétés de friction, faible coefficient de frottement, résistance à l'usure et au grippage, une excellente résistance à la corrosion, procédé où les pièces sont nitrurées, puis oxydées, soit dans un bain de sels alcalins oxydants fondus, soit par une atmosphère ionisée oxydante, en sorte que les pièces comportent une couche externe nitrurée avec une sous-couche profonde compacte et une sous-couche superficielle poreuse.

On sait, notamment par FR-A-2 171 993 et FR-A-2 271 307, que la nitruration en bains de cyanates et carbonates fondus de pièces en métal ferreux améliore les propriétés de friction de ces pièces, en réduisant le coefficient de friction, et en augmentant la résistance à l'usure et au grippage. D'autres procédés de nitruration, tels que la nitruration ionique, exécutée en atmosphère ionisée contenant de l'azote élément ou en combinaison, conduisent à des propriétés comparables.

On sait en outre qu'une oxydation dans un bain de sels oxydants fondus, provoque des modifications de la surface nitrurée, qui acquiert ainsi, sans perdre ses bonnes propriétés de friction apportées par la nitruration, une amélioration notable de la résistance à la corrosion. Le document FR-A-2 525 637 décrit ainsi un traitement d'oxydation particulièrement efficace, effectué dans un bain de sels fondus comprenant en poids, de 99,5 à 85 % en poids d'un mélange constitué de 25 à 35 % en poids de nitrates alcalins, 8 à 15 % de carbonates alcalins, et le complément à 100 % d'hydroxydes alcalins, et de 0,5 à 15 % de sels oxygénés de métaux alcalins dont le potentiel normal d'oxydo-réduction par rapport à l'électrode de référence à hydrogène est inférieur à - 1,0 volt, bain dans lequel on insuffle un gaz contenant de l'oxygène avec un débit suffisant pour que le bain soit saturé en oxygène dissous, et l'on y maintient la teneur pondérale en particules insolubles à moins de 3 %.

On sait également oxyder les pièces nitrurées en atmosphère ionisée d'un gaz contenant de l'oxygène, avec des améliorations du même ordre de résistance à la corrosion.

Toutefois les exigences de tenue à la corrosion, soit en atmosphères agressives ou en l'absence de lubrification, soit pour des pièces soumises à des contraintes de fatigue, sont toujours croissantes, et les résistances à la corrosion obtenues par les procédés évoqués ci-dessus deviennent inférieures à ce que l'on peut souhaiter. Cela apparaît particulièrement vrai pour des pièces dont la forme est défavorable à l'homogénéité des opérations, ou pour lesquelles, en raison de séries peu importantes, il est difficile d'optimiser la succession d'opérations en maîtrisant, par exemple, les courbes de vitesse de variations de température.

L'invention a donc pour but d'améliorer la résistance à la corrosion de pièces en métaux ferreux préalablement nitrurées puis oxydées, de façon bien fiable, sans réduire les propriétés de friction conférées par la nitruration, mais éventuellement les améliorer.

Pour atteindre ce but, l'invention propose un procédé pour conférer à des pièces en métal ferreux, avec de bonnes propriétés de friction, faible coefficient de frottement, résistance à l'usure et au grippage, une excellente résistance à la corrosion, procédé où les pièces sont nitrurées, puis oxydées, soit dans un bain de sels alcalins oxydants fondus, soit par une atmosphère ionisée oxydante, en sorte que les pièces comportent une couche externe nitrurée avec une sous-couche profonde compacte et une sous-couche superficielle poreuse, caractérisé en ce que l'on conduit la nitruration et l'oxydation de façon que la sous-couche profonde ait une épaisseur d'au moins 4 μm , et la sous-couche superficielle une épaisseur comprise entre 2 et 20 μm , le diamètre des pores étant d'au moins 100 nm, et qu'après la phase d'oxydation on réalise sur la couche nitrurée-oxydée un enduit d'un polymère pris parmi les polymères et copolymères de fluorocarbures, les polymères et copolymères de polyuréthane soit siliconés, soit fluorés, purs ou en mélange entre eux ou avec des polyuréthanes hydrocarbonés, les copolymères d'uréthanes et d'acryliques, les polyamides-imides, avec une épaisseur comprise entre 3 et 20 micromètres.

Comme le montreront les exemples ci-après, les pièces ainsi traitées peuvent supporter des durées d'exposition au brouillard salin de 500 à 1 500 heures sans qu'apparaissent des manifestations de corrosion. Selon l'état de la technique, des durées d'exposition de 250 heures apparaissaient satisfaisantes, à leur époque.

On connaît par le document WO-A-8 705 335 (P. FOX) un procédé pour améliorer la résistance à l'usure et à la corrosion de surfaces métalliques. Le procédé consiste essentiellement en une cémentation superficielle sur un lit fluidisé en atmosphère gazeuse. Dans une première étape une pièce est exposée à une atmosphère contenant de l'azote, de l'ammoniac et du gaz naturel, à une température comprise entre 400°C et 650°C pendant 1 à 5 heures. Puis, dans une seconde étape la pièce est exposée à une atmosphère gazeuse d'azote humidifié et contenant éventuellement de l'oxygène, à une température comprise entre 400°C et 650°C. Enfin dans une dernière étape, on parachève le traitement par l'enduction d'une composition de polymères, à base d'eau, de polysiloxanes et d'huiles phosphatantes, composition connue pour ses propriétés propres anticorrosives.

Une pièce ainsi traitée présente des sous-couches successives de natures différentes. La première étape

de cémentation a pour effet de créer une zone sous-jacente profonde de nitrures diffusés d'une épaisseur d'environ 150 à 200 μm , surmontée d'une sous-couche "blanche" de nitrures purs d'une épaisseur d'environ 25 μm . La seconde étape de cémentation a pour effet de créer au-dessus de la sous-couche de nitrures purs une sous-couche d'oxydes d'une épaisseur d'environ 13 μm .

Le traitement final permet de maintenir l'intégrité des propriétés acquises en résistance à la corrosion et à l'usure par la cémentation superficielle de la pièce en milieu gazeux.

Les pièces traitées par ce procédé ne présentent pas de traces de corrosion après une exposition de 450 heures en brouillard salin.

10 Toutefois, ce document ne fait pas état d'amélioration particulière des qualités de frottements.

Par contre, les essais rapportés ci-après feront également apparaître que les pièces traitées selon l'invention présentent, en essais de frottement et par rapport à des pièces nitrurées et oxydées suivant l'état de la technique, des coefficients de frottement améliorés, une usure réduite, et des capacités de charge au moins aussi bonnes.

15 Cette amélioration des performances de friction démontre que l'enduit produit un effet propre sous des aspects inattendus notamment pour la vitesse d'usure et la capacité de charge. Par ailleurs, l'amélioration de la résistance à la corrosion n'est pas le seul fait de la présence de l'enduit, car, comme le montreront des exemples, le même enduit, appliqué sur des surfaces de substrats réputées pour favoriser l'accrochage de revêtements, et dans certains cas pour améliorer de soi la résistance à la corrosion, n'apporte pas d'amélioration comparable de la résistance à la corrosion.

Les épaisseurs préférées d'enduit seront comprises entre 3 et 15 μm ; les épaisseurs supérieures à 15 μm n'apportent rien à la résistance à la corrosion, apportent des modifications de cotes de pièces parfois gênantes, et une certaine tendance à l'effritement et au gommage.

25 De préférence la nitruration est effectuée dans un bain de sels fondus suivant FR-A-2 171 993, constitué essentiellement de carbonates et cyanates de métaux alcalins K, Na et Li, l'anion CO_3^{--} étant présent pour 1 à 35 % en poids et l'anion CNO^- pour 35 à 65 % en poids, tandis que, dans le poids total des cations alcalins, les proportions pondérales sont de 25-42,6 % pour Na^+ , 42,6-62,5 % pour K^+ et 11,3-17,1 pour Li^+ .

De préférence encore le bain de sel de nitruration comprend en outre une espèce soufrée en quantité telle que la teneur pondérale en soufre élément soit comprise entre 0,001 et 1 %, suivant FR-A-2 271 307.

30 En disposition préférée, l'oxydation sera conduite dans un bain de sels fondus selon FR-A-2 525 637, évoqué ci-dessus, et généralement, à des températures comprises entre 350° et 450°C.

Les caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description qui va suivre, illustrée d'exemples expérimentaux.

35 Exemple 1 - Résistance à la corrosion

On a nitruré des plaques échantillons en acier XC38, de dimensions 100 mm x 100 mm dans un bain de sels fondus, carbonates et cyanates de sodium, potassium et lithium selon FR-A-2 171 993 et FR-A-2 271 307, avec 37 % en poids d'ions cyanates CNO^- et 10 ppm d'ions S^{--} environ, la température du bain étant de 570 $\pm 15^\circ\text{C}$, et la durée d'immersion des pièces étant de 90 min.

La couche de nitruration comprend, en composition pondérale, environ 87 % de nitrure de fer ϵ ($\text{Fe}_2\text{-3N}$), environ 10 % de nitrure γ' (Fe_4N), le reste étant des oxydes, sulfures et oxysulfures de fer.

Structurellement la couche nitrurée présente une épaisseur de 15 μm avec une sous-couche profonde compacte de 8 μm d'épaisseur.

45 Au sortir du bain de nitruration les pièces sont immergées pendant 20 min. dans un bain de sels selon FR-A-2 525 637, à une température de $420 \pm 15^\circ\text{C}$. Le bain était composé comme suit :

Dans un creuset à chauffage électrique de 1 litre, on fait fondre 1 020 g de potasse caustique, 510 g de nitrate de sodium et 170 g de carbonate de sodium. On y ajoute 85 g d'un mélange en parties pondérales égales de permanganate et de bichromate de potassium, dont les potentiels normaux d'oxydo-réduction sont inférieurs à - 1 volt par rapport à l'électrode à hydrogène.

50 Le creuset est muni d'un ajutage noyé relié à une source d'air sous pression à travers une vanne de réglage de débit, et un débitmètre capable de mesurer des débits entre 0,02 et 0,2 cm^3/s . À côté du creuset, on a disposé un filtre en fer fritté muni d'une jaquette chauffante, à travers lequel on fait périodiquement passer le contenu du creuset, pour arrêter les particules solides de taille supérieure à 3 μm , et ainsi maintenir le taux d'insolubles dans le creuset à une valeur convenable. Le débit d'air est de 0,42 l/h, soit 0,12 cm^3/s .

55 Après ce traitement la couche nitrurée des pièces comporte du nitrure ϵ avec 6 % de nitrure γ' , tandis que tous les composés oxysulfurés ont été transformés en oxyde de fer magnétite (Fe_3O_4), avec de l'oxygène en insertion dans les 2 à 3 premiers micromètres superficiels.

La résistance à la corrosion en brouillard salin normalisé s'établit à 50-60 heures pour les pièces nitrurées,

et 200-250 heures pour les pièces nitrurées puis oxydées, tandis que les pièces avant traitement présentent une corrosion généralisée après quelques heures seulement.

Sur les pièces ainsi nitrurées puis oxydées on effectue un revêtement de 10 μm d'épaisseur de fluoréthylène-propylène (FEP) par projection électrostatique d'une poudre de granulométrie 5 μm , suivie d'un traitement de frittage de 10 min. à 350°C.

La résistance à la corrosion en brouillard salin suivant la norme AFNOR NF x 41002 dépasse 1 500 heures, aucune piqûre ou décollement de la couche de FEP n'étant observable à 1 500 heures d'exposition.

10 Exemple 2 - Comparatif

On a opéré sur des pièces échantillons en acier de décolletage (norme AFNOR 40 MF 6) de diamètre 20 mm et hauteur 55 mm.

Ces pièces ont subi divers traitements de surface connus et réputés faciliter l'accrochage d'enduits, puis ont reçu un revêtement de FEP tel qu'à l'exemple 1, d'épaisseur $10 \pm 1,5 \mu\text{m}$ (poudrage électrostatique et frittage à 350°C).

Après revêtement on a effectué, à l'aide d'une pointe à tracer, une rayure en croix suffisamment appuyée pour traverser le revêtement de FEP ; après quoi les éprouvettes ont subi l'essai au brouillard salin selon AFNOR x 41002.

On a suivi l'essai par observations visuelles quotidiennes, pour guetter l'apparition de piqûres de corrosion et de décollements de couche.

On récapitule, dans le tableau I ci-après, les résultats d'essais, en moyenne sur trois échantillons.

Tableau I (voir page suivante)

TABLEAU I

TRAITEMENT AVANT ENDUCTION FEP	DUREE D'EXPOSITION AU BROUILLARD SALIN (heures)	OBSERVATIONS
Néant	24	corrosion généralisée décollement total de la couche
Sablage humide	24	piqûres à l'emplacement de la croix
	72	piqûres généralisées décollement de la couche
Sulfuration	24	corrosion généralisée décollement de la couche
Phosphatation Zinc	48	piqûres à l'emplacement de la croix
	168	corrosion généralisée décollement de la couche
Phosphatation Manganèse	48	corrosion généralisée décollement de la couche
Oxydation	24	nombreuses piqûres décollements localisés
Nitruration	312	premières piqûres

On notera que les oxydation et nitruration ont été effectuées sur des pièces distinctes, mais dans les bains respectifs selon l'exemple 1. L'oxydation seule n'apporte pratiquement pas d'amélioration de la résistance à la corrosion.

Des essais ont été effectués sur des pièces semblables, traitées selon l'exemple 1, et soumises à l'essai de brouillard salin après rayure en croix à la pointe à tracer. A 1 500 heures, on ne note ni piqûres, ni décollement de la couche.

Exemple 3. Propriétés de frottement

5 Ces essais ont été effectués pour confirmer que l'amélioration de résistance à la corrosion du traitement suivant l'invention n'avait pas pour contrepartie une dégradation des propriétés de frottement.

Cet exemple a porté sur des pièces en acier au carbone XC 18, traitées par nitruration oxydation et enduction FEP comme à l'exemple 1.

Essai A - Tribomètre

10

Les éprouvettes d'essai sont constituées par des couples constitués d'une bague de diamètre 35 mm en appui à sec sur une plaquette parallélépipédique de dimension 30 mm x 10 mm x 8 mm. La bague tourne à une vitesse correspondant à une vitesse de glissement de 0,55 m/s, et la charge d'appui croît linéairement en partant d'une valeur initiale de 10 daN.

15

Le résultat de l'essai est évalué par 4 valeurs : durée avant apparition des premiers incidents (grippage - broutage) ; charge maximale atteinte, coefficient de frottement moyen, usure.

Le même essai a été effectué, à titre de comparaison, sur des couples qui n'ont subi aucun traitement, des couples nitrurés, et des couples nitrurés puis oxydés. Les résultats sont indiqués dans le tableau II.

20

25

30

35

40

45

50

55

Tableau II

TRAITEMENT DES EPROUVETTES COUPLES	DUREE DE L'ESSAI (min.)	USURE CUMULEE DES DEUX PIECES (μm)	CHARGE MAXIMALE ATTEINTE (daN)	COEFFICIENT DE TRAITEMENT
néant	0	grippage immédiat		
nitruration	30	50	60	0,40
nitruration- oxydation	45	40	90	0,30
suivant l'invention	45	30	90	0,20

Il est remarquable que le traitement suivant l'invention réduise l'usure et le coefficient de frottement, sans

affecter la capacité de charge par rapport aux pièces nitrurées puis oxydées.

Essai B - Frottement plan

Un patin plan frotte sur une glissière plane en va-et-vient, avec une vitesse de 0,03 m/s. et sous une charge de 5 MPa (50 bars). La durée d'essai correspond à 500 cycles, et l'essai est effectué à sec dans l'air.

Les valeurs d'évaluation sont le coefficient de frottement et l'usure de la glissière. L'essai de comparaison a été effectué sur des pièces nitrurées et oxydées comme dans les essais précédents. Les résultats sont indiqués dans le tableau III suivant.

Tableau III

TRAITEMENT	USURE DE GLISSIERE (μm) APRES 500 CYCLES	COEFFICIENT DE FROTTEMENT MOYEN
nitruration- oxydation	7	0,48
suivant l'invention	6	0,43

Essai C - Fatigue en flexion alternée

Les essais de fatigue en flexion alternée ont été effectués sur des éprouvettes tournantes en acier 35 CD 4 trempé revenu, sollicitées latéralement. Les éprouvettes normales présentent une limite d'endurance de 630 MPa (63 hbar). Après nitruration cette limite d'endurance passe à 820 MPa (82 hbar). Les éprouvettes traitées suivant l'invention présentent la même limite d'endurance que les éprouvettes nitrurées.

Exemple 4 - Epaisseurs d'enduit appropriées

Des pièces telles qu'à l'exemple 1 sont recouvertes de couches d'enduit FEP par poudrage électrostatique et frittage dans les conditions de cet exemple 1, mais avec des épaisseurs échelonnées entre 1 et 40 μm .

A l'essai au brouillard salin, la durée d'exposition avant apparition de signes de corrosion ne diffère pas sensiblement, pour des épaisseurs jusqu'à 3 μm , de la durée d'exposition de pièces nitrurées-oxydées non enduites, soit 200-250 heures. Cette durée croît avec l'épaisseur d'enduit jusqu'à 10 μm environ, soit 350-400 h à 4 μm , 800 h à 6 μm et 1 500 h pour 10 μm .

Au-delà de 10 μm on n'enregistre plus d'accroissement significatif de la durée d'exposition avant apparition de signes de corrosion.

Toutefois la réalisation de revêtements épais peut devenir délicate en production industrielle pour éviter des irrégularités d'épaisseur, surtout si les formes des pièces sont complexes, et les fortes épaisseurs peuvent créer des difficultés de tolérances d'ajustage.

En outre, les revêtements épais, supérieurs à 20 μm , présentent des performances de frottement dégradées, avec des gommages, broutages, effritement de l'enduit. Dans la majorité des cas, il sera au moins prudent de ne pas dépasser des épaisseurs de 15 μm .

Exemple 5 - Morphologie de la couche nitrurée

Les essais de cet exemple ont eu pour objet de déterminer les paramètres morphologiques de la couche nitrurée qui doivent être respectés pour que l'accroissement de résistance à la corrosion soient obtenus.

Ces essais ont porté sur des éprouvettes en acier XC 38, qui ont subi des opérations de nitruration, oxydation et enduction de FEP selon l'exemple 1, à l'exception des conditions de nitruration que l'on a fait varier, en appliquant des règles empiriques, pour obtenir des variations d'épaisseur de la couche nitrurée, et sélectivement de l'épaisseur respective de sous-couche profonde compacte et superficielle poreuse, ainsi que du diamètre des pores de la sous-couche superficielle.

On rappelle que, quelles que soient les conditions opératoires, la couche externe nitrurée comprend une sous-couche profonde compacte, et une sous-couche superficielle poreuse ; les conditions opératoires peu-

vent donc agir pour déterminer les épaisseurs respectives des sous-couches profonde compacte, et superficielle poreuse, ainsi que le diamètre des pores de la sous-couche superficielle.

Bien entendu, les diverses conditions opératoires n'ont pas chacune une action spécifique sur un paramètre de morphologie déterminé, mais agissent sur l'ensemble de ces paramètres avec des intensités différenciées.

On peut résumer ci-après les constatations faites :

- Lorsque la sous-couche profonde compacte présente une épaisseur trop faible, typiquement inférieure à 4 μm , la résistance à la corrosion n'est pas augmentée de façon significative ; ainsi, avec une sous-couche compacte d'épaisseur 2 μm , les premiers signes de corrosion en brouillard salin apparaissent à 240 heures.
- Lorsque la sous-couche poreuse superficielle dépasse 20 μm d'épaisseur, la couche est sujette à s'effriter rapidement (après 192 heures d'exposition au brouillard salin pour une sous-couche de 25 μm d'épaisseur) ; on peut attribuer ce résultat à une enduction inhomogène, fragilisée par le frittage.
- Si la sous-couche poreuse est absente, ou comporte des pores de diamètre inférieur en pratique à 100 nm, l'enduit se décolle en exposition au brouillard salin après des temps très courts, de l'ordre de 24 à 48 heures.

De ces essais, on infère que la sous-couche compacte doit être épaisse d'au moins 4 μm , que la sous-couche poreuse doit avoir une épaisseur comprise entre 2 et 20 μm , et que le diamètre des pores de cette sous-couche doit être supérieur à 100 nm.

Exemple 6 - Réglage de la morphologie de la couche nitrurée

Cet exemple tend à dégager des règles empiriques pour le réglage des épaisseurs des sous-couches de la couche nitrurée.

On exécute la nitruration suivant les enseignements conjoints des documents de brevet FR-A-2 171 993 et FR-A-2 271 307, dans les conditions de départ de l'exemple 1, c'est-à-dire :

- teneur en ions cyanates CNO^- 37 %
- température 570°C
- durée de traitement 90 minutes

Sur un acier de type XC 38, dans les conditions de l'exemple 1, l'épaisseur totale de la couche nitrurée est typiquement de 13 à 15 μm , avec des épaisseurs de sous-couches pratiquement égales.

Dans les mêmes conditions, avec un acier XC 10, l'épaisseur de couche passe à 15-18 μm , et avec un acier Z 38 CDV 5 à 8-10 μm , les épaisseurs de sous-couches restant sensiblement égales.

On remarquera que les réglages intéressants peuvent se limiter à celui de l'épaisseur totale de couche nitrurée, dès lors que l'on peut maintenir le rapport des épaisseurs de sous-couche approximativement à l'égalité, et que le diamètre des pores n'est pas sensiblement affecté.

Les paramètres qui permettront d'ajuster l'épaisseur totale de couche nitrurée sans déséquilibrer le rapport d'épaisseur des sous-couches ou réduire à l'excès le diamètre des pores dans la sous-couche superficielle seront la teneur en espèces soufrées (ici K_2S) et la quantité d'air insufflée dans le bain.

Ces paramètres seront ajustés en fonction de la masse du bain de sel, et celle des pièces traitées journalièrement.

Bain de 500 kg de sels fondus

	acier	fonte
- nature des pièces traitées		
- quantité de pièces traitées/24 h	1 000 kg	1 000 kg
- débit d'air à insuffler dans le bain	250 l/h	250 l/h
- quantité de sulfure de potassium K_2S /jour	8-9 g	12-13 g

Bain de 1 000 kg de sels fondus

Pièces en acier

Quantité par 24 h de

pièces traitées

1 000 kg 2 000 kg 3 000 kg

K₂S à rajouter par 24 h

16 g

19 g

23 g

Exemple 7 - Nature de l'enduit polymère

Outre le copolymère fluoréthylène-fluoropropylène, d'autres polymères ont été essayés pour réaliser l'enduit ; ceux qui seront cités ci-après ont été déposés en couches de 10 µm d'épaisseur, et ont présenté des résistances à la corrosion en présence de brouillard salin normalisées d'au moins 1 000 heures, et des propriétés frottantes équivalentes à celles données dans l'exemple 3.

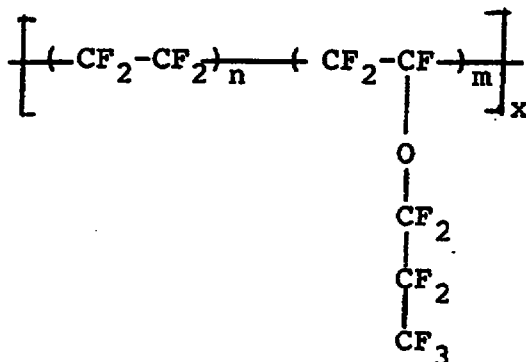
Polymères de fluorocarbures

Le polytétrafluoréthylène (CF₂-CF₂)_n

Copolymères de fluorocarbures

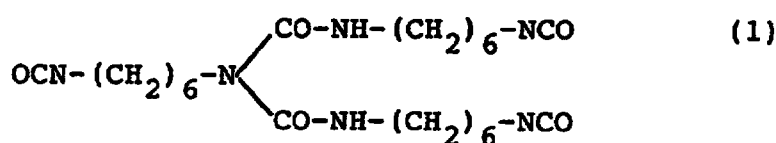
Le FEP déjà cité

Le PFA de formule



Polyuréthannes fluorés

Produits de réaction entre un isocyanate de formule

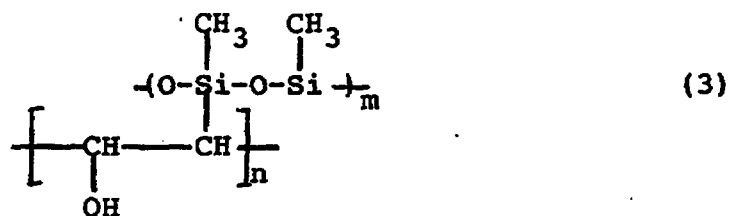


et un polyol fluoré de formule (2)



Polyuréthannes siliconés

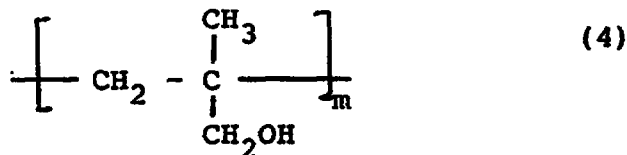
Produit de réaction de l'isocyanate de formule (1) et un polyol siliconé de formule (3)



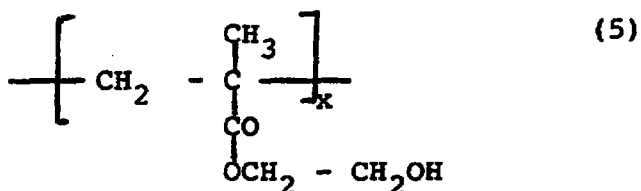
10 Copolymères de polyuréthannes

Copolymères obtenus par réaction de l'isocyanate de formule (1) avec le polyol fluoré de formule (2) et le polyol siliconé de formule (3)

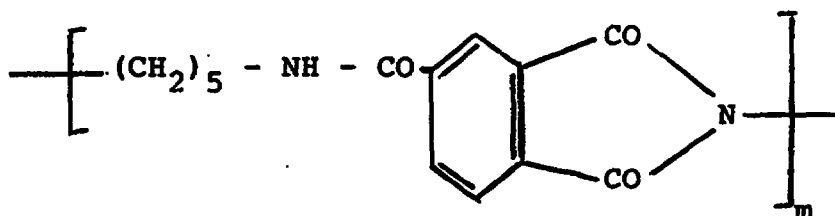
Copolymères obtenus par réaction de l'isocyanate de formule (1) avec le polyol fluoré de formule (2) et un polyol de formule (4)



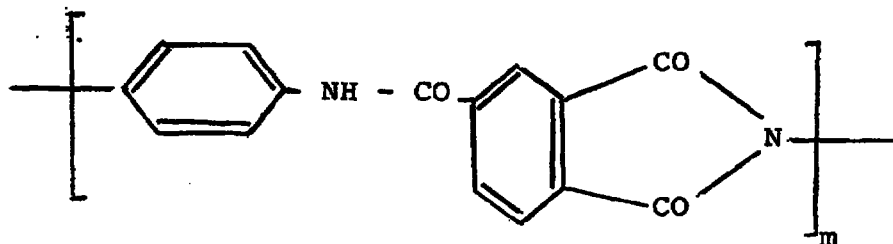
Copolymère obtenu par réaction de l'isocyanate de formule (1) avec le polyol fluoré de formule (2) et un polyol acrylique de formule



Polyamides-imides



ou



Exemple 8 - Procédés de revêtement

55 Outre l'exécution de l'enduit par poudrage électrostatique et frittage, cet enduit peut être exécuté au trempé.

On part de pièces en acier X 38 nitrurées et oxydées suivant l'exemple 1.

8-1 - Revêtement au trempé de FEP

5 On met en suspension dans un solvant constitué d'un mélange de méthyl-isobutyl-cétone (MIBK) et de N méthylpyrrolidone (NMP), une poudre de FEP de granulométrie voisine de 5 μm . Les proportions de FEP et des composants du solvant sont ajustées, expérimentalement, pour amener la viscosité de la suspension à une valeur convenable pour que, après immersion et traitement subséquent, l'épaisseur finale d'enduit de FEP soit de 8-10 μm .

10 On immerge les pièces dans la suspension, on les retire et on les égoutte ; après quoi les pièces sont étuvées à 350°C pendant 10 minutes pour fritter le FEP.

En exposition au brouillard salin, aucun signe de corrosion n'apparaît à 600 heures.

8-2 - Revêtement de polyuréthane au trempé

15 On fait réagir un polyisocyanate et un polyol, et on ajoute des solvants pour ajuster la viscosité à une valeur convenable pour l'épaisseur de revêtement voulue, et ralentir la réaction de condensation du polyuréthane.

Les pièces sont immergées dans le milieu réactionnel, puis retirées et égouttées. Elles sont ensuite étuvées à 60°C jusqu'à évaporation complète du solvant, ce qui permet à la condensation de s'achever.

20 Une couche de polyuréthane ainsi déposée avec une épaisseur de 5-6 μm confère aux pièces une résistance à la corrosion telle qu'après 500 heures d'exposition au brouillard salin, aucun signe de corrosion n'est perceptible.

Exemple 9 - Nitruration et Oxydation en atmosphère ionisée

25 On part de pièces en acier X 38 semblables à celles qui ont été utilisées dans l'exemple 1.

Les pièces sont nitrurées dans une enceinte étanche sous pression réduite, dans une atmosphère constituée de 60 % d'azote et 40 % d'hydrogène et ionisée par une décharge cathodique.

Les conditions expérimentales sont :

Température des pièces	570°C
30 Pression de gaz	10 kPa (10 mbar)
Tension de décharge cathodique	1 500 volts
Durée du traitement	2 heures

On obtient ainsi une couche nitrurée constituée essentiellement de nitrure de fer ϵ ($\text{Fe}_2\text{-3 N}$) de 10 à 12 μm d'épaisseur.

35 L'opération de nitruration terminée, l'enceinte est purgée, puis on y introduit de l'oxygène à une pression de 100 Pa (0,1 mbar).

Les pièces sont portées à une tension continue négative de 1 500 volts par rapport à l'enceinte, pendant environ 30 min. A la surface des pièces se forment des oxydes et oxynitrures de fer.

40 1. L'oxydation terminée, les pièces sont recouvertes d'un enduit de 10 μm environ de FEP comme à l'exemple 1.

La résistance à la corrosion correspond à une exposition au brouillard salin d'au moins 1 000 heures avant qu'apparaissent des signes de corrosion.

A titre de comparaison, au sortir de l'enceinte, les pièces nitrurées et oxydées présentent des signes de corrosion après 250-300 heures d'exposition au brouillard salin normalisée.

45 Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux exemples décrits mais embrasse toutes les variantes d'exécution, dans le cadre des revendications.

Revendications

50

1. Procédé pour conférer à des pièces en métal ferreux, avec de bonnes propriétés de friction, faible coefficient de frottement, résistance à l'usure et au grippage, une excellente résistance à la corrosion, procédé où les pièces sont nitrurées, puis oxydées, soit dans un bain de sels alcalins oxydants fondus, soit par une atmosphère ionisée oxydante, en sorte que les pièces comportent une couche externe nitrurée avec une sous-couche profonde compacte et une sous-couche superficielle poreuse, caractérisé en ce que l'on conduit la nitruration et l'oxydation de façon que la sous-couche profonde ait une épaisseur d'au moins 4 μm , et la sous-couche superficielle une épaisseur comprise entre 2 et 20 μm , le diamètre des pores étant d'au moins 100 nm, et qu'après la phase d'oxydation on réalise sur la couche nitrurée-oxydée un enduit d'un polymère pris parmi les polymères et copolymères de fluorocarbures, les polymères et copo-

8-1 - Revêtement au trempé de FEP

On met en suspension dans un solvant constitué d'un mélange de méthyl-isobutyl-cétone (MIBK) et de N méthylpyrrolidone (NMP), une poudre de FEP de granulométrie voisine de 5 μm . Les proportions de FEP et des composants du solvant sont ajustées, expérimentalement, pour amener la viscosité de la suspension à une valeur convenable pour que, après immersion et traitement subséquent, l'épaisseur finale d'enduit de FEP soit de 8-10 μm .

On immerge les pièces dans la suspension, on les retire et on les égoutte ; après quoi les pièces sont étuvées à 350°C pendant 10 minutes pour fritter le FEP.

En exposition au brouillard salin, aucun signe de corrosion n'apparaît à 600 heures.

8-2 - Revêtement de polyuréthane au trempé

On fait réagir un polyisocyanate et un polyol, et on ajoute des solvants pour ajuster la viscosité à une valeur convenable pour l'épaisseur de revêtement voulue, et ralentir la réaction de condensation du polyuréthane.

Les pièces sont immergées dans le milieu réactionnel, puis retirées et égouttées. Elles sont ensuite étuvées à 60°C jusqu'à évaporation complète du solvant, ce qui permet à la condensation de s'achever.

Une couche de polyuréthane ainsi déposée avec une épaisseur de 5-6 μm confère aux pièces une résistance à la corrosion telle qu'après 500 heures d'exposition au brouillard salin, aucun signe de corrosion n'est perceptible.

Exemple 9 - Nitruration et Oxydation en atmosphère ionisée

On part de pièces en acier X 38 semblables à celles qui ont été utilisées dans l'exemple 1.

Les pièces sont nitrurées dans une enceinte étanche sous pression réduite, dans une atmosphère constituée de 60 % d'azote et 40 % d'hydrogène et ionisée par une décharge cathodique.

Les conditions expérimentales sont :

Température des pièces	570°C
Pression de gaz	10 kPa (10 mbar)
Tension de décharge cathodique	1 500 volts
Durée du traitement	2 heures

On obtient ainsi une couche nitrurée constituée essentiellement de nitrure de fer ϵ ($\text{Fe}_2\text{-3 N}$) de 10 à 12 μm d'épaisseur.

L'opération de nitruration terminée, l'enceinte est purgée, puis on y introduit de l'oxygène à une pression de 100 Pa (0,1 mbar).

Les pièces sont portées à une tension continue négative de 1 500 volts par rapport à l'enceinte, pendant environ 30 min. A la surface des pièces se forment des oxydes et oxynitrides de fer.

L'oxydation terminée, les pièces sont recouvertes d'un enduit de 10 μm environ de FEP comme à l'exemple 1.

La résistance à la corrosion correspond à une exposition au brouillard salin d'au moins 1 000 heures avant qu'apparaissent des signes de corrosion.

A titre de comparaison, au sortir de l'enceinte, les pièces nitrurées et oxydées présentent des signes de corrosion après 250-300 heures d'exposition au brouillard salin normalisée.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux exemples décrits mais en embrasse toutes les variantes d'exécution, dans le cadre des revendications.

Revendications

50

- Procédé pour conférer à des pièces en métal ferreux, avec de bonnes propriétés de friction, faible coefficient de frottement, résistance à l'usure et au grippage, une excellente résistance à la corrosion, procédé où les pièces sont nitrurées, puis oxydées, soit dans un bain de sels alcalins oxydants fondus, soit par une atmosphère ionisée oxydante, en sorte que les pièces comportent une couche externe nitrurée avec une sous-couche profonde compacte et une sous-couche superficielle poreuse, caractérisé en ce que l'on conduit la nitruration et l'oxydation de façon que la sous-couche profonde ait une épaisseur d'au moins 4 μm , et la sous-couche superficielle une épaisseur comprise entre 2 et 20 μm , le diamètre des pores étant d'au moins 100 nm, et qu'après la phase d'oxydation on réalise sur la couche nitrurée-oxydée un enduit d'un polymère pris parmi les polymères et copolymères de fluorocarbures, les polymères et copo-

55



lymères de polyuréthane soit siliconés, soit fluorés, purs ou en mélange entre eux ou avec des polyuréthanes hydrocarbonés, les copolymères d'uréthanes et d'acryliques, les polyamides-imides, avec une épaisseur comprise entre 3 et 20 micromètres.

2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que l'épaisseur d'enduit est comprise entre 3 et 15 micromètres.
3. Procédé suivant l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que les pièces sont nitrurées dans un bain de sel fondu constitué essentiellement de carbonates et cyanates de métaux alcalins, Na, K et Li, l'anion CO_3^- étant présent pour 1 à 35 % en poids et l'anion CNO^- pour 35 à 65 % en poids, tandis que, par rapport à la masse d'ions de métaux alcalins, les proportions pondérales sont de 25-42,6 % pour Na^+ , 42,6-62,5 % pour K^+ et 11,3-17,1 % pour Li^+ .
4. Procédé suivant la revendication 3, caractérisé en ce que le bain de sel de nitruration contient en outre une espèce soufrée en quantité telle que la teneur pondérale du bain en soufre élément soit comprise entre 0,001 et 1 %.
5. Procédé suivant une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les pièces nitrurées sont ensuite oxydées dans un bain de sels fondus comprenant en poids de 99,5 % à 85 % en poids d'un mélange constitué de 25 à 35 % en poids de nitrates alcalins, 8 à 15 % de carbonates alcalins, et le complément à 100 % d'hydroxydes alcalins, et de 0,5 à 15 % de sels oxygénés de métaux alcalins dont le potentiel normal d'oxydo-réduction par rapport à l'électrode de référence à hydrogène est inférieur ou égal à - 1,0 volt, bain dans lequel on insuffle un gaz contenant de l'oxygène avec un débit suffisant pour que le bain soit saturé en oxygène dissous, et l'on y maintient la teneur pondérale en particules insolubles à moins de 3 %.
6. Procédé suivant la revendication 5, caractérisé en ce que la température du bain oxydant est comprise entre 350° et 450°C.
7. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que la nitruration est effectuée dans une enceinte étanche contenant une atmosphère d'azote et d'hydrogène à pression réduite, ionisée par une décharge cathodique, les pièces étant portées à une température d'au moins 550°C.
8. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que l'oxydation est conduite dans une enceinte étanche en atmosphère d'oxygène ionisé à pression réduite, les pièces étant cathodiques par rapport à l'enceinte.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Verleihen einer exzellenten Korrosionsbeständigkeit an Stücke aus Eisenmetallwerkstücke mit guten Reibungseigenschaften, einem geringen Reibungskoeffizienten, Widerstandsfähigkeit gegen Verschleiß und Blockieren, in welchem Verfahren die Stücke, sei es in einem Bad aus oxidierenden Alkalimetallsalzschnmelzen, sei es in einer ionisierten oxidierenden Atmosphäre, nitridiert und dann oxidiert werden, so daß die Stücke eine äußere nitridierte Schicht mit einer tiefliegenden kompakten Zwischenschicht und einer oberflächlichen porösen Zwischenschicht aufweisen, dadurch gekennzeichnet, daß man die Nitridierung und die Oxidation derart führt, daß die tiefe Zwischenschicht eine Dicke von wenigstens 4 µm und die oberflächliche Zwischenschicht eine Dicke zwischen 2 und 20 µm aufweist, wobei der Porendurchmesser wenigstens 100 nm beträgt, und daß man nach der Oxidationsphase auf der nitridierten-oxidierten Schicht einen Polymerüberzug gewählt aus den Polymeren und Copolymeren der Fluorkohlenwasserstoffe, den entweder Silikon-substituierten oder fluorierten, reinen oder miteinander oder mit Kohlenwasserstoff-substituierten Polyurethanen vermischten Polymeren und Copolymeren von Polyurethan, den Urethan-Acryl-Copolymeren und den Polyamiden-Imiden, mit einer Dicke zwischen 3 und 20 µm ausführt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet daß die Dicke des Überzuges zwischen 3 und 15 µm beträgt.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkstücke in einem



Salzschmelzebad, welches im wesentlichen aus Carbonaten und Cyanaten der Alkalimetalle Na, K und Li besteht, wobei das CO_3^{--} Anion in einer Menge von 1 bis 35 Gew.-% und das CNO^- Anion in einer Menge von 35 bis 65 Gew.-% vorliegt, während in bezug auf die Masse der Alkalimetallionen die Gewichtsverhältnisse 25 - 42,6 % für Na^+ , 42,6 - 62,5 % für K^+ und 11,3 - 17,1 % für Li^+ betragen.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Salzbad zur Nitridierung weiters eine schwefelhaltige Substanz in einer Menge enthält, daß der Gewichtsanteil des Bades an elementarem Schwefel zwischen 0,001 und 1 % liegt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die nitridierten Stücke anschließend in einem Salzschmelzebad oxidiert werden, welches Bad aus 99,5 Gew.-% bis 85 Gew.-% einer Mischung bestehend aus 25 bis 35 Gew.-% Alkalimetallnitraten, 8 bis 15 Gew.-% Alkalimetallcarbonaten und dem Rest auf 100 % aus Alkalimetallhydroxiden und 0,5 bis 15 % oxidierende Alkalimetallsalze, deren normales Redoxpotential in bezug auf die Wasserstoff-Bezugselektrode unter oder gleich - 1,0 Volt ist, besteht, in welches Bad man ein sauerstoffhaltiges Gas mit einem ausreichenden Durchsatz einbläst, damit das Bad an gelöstem Sauerstoff gesättigt ist und worin man den Gewichtsanteil an unlöslichen Partikeln unter 3 % hält.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur des oxidierenden Bades zwischen 350 und 450 °C gehalten wird.
7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Nitridierung in einem dichten Behälter, welcher eine durch kathodische Entladung ionisierte Atmosphäre aus Stickstoff und Wasserstoff unter reduziertem Druck aufweist, wobei die Stücke auf eine Temperatur unter 550 °C gebracht werden, durchgeführt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Oxidation in einem dichten Behälter mit einer ionisierten Sauerstoffatmosphäre unter reduziertem Druck durchgeführt wird, wobei die Stücke gegenüber dem Behälter kathodisch sind.

Claims

1. Process for conferring excellent corrosion resistance on articles made from ferrous metal, with good friction properties, a lower coefficient of friction and resistance to wear and seizing, a process in which the articles are nitrided and then oxidised either in a bath of molten oxidising alkaline salts or by means of an oxidising ionised atmosphere, so that the articles have a nitrided outer layer with a compact deep sublayer and a porous surface sublayer, characterised in that the nitriding and oxidation are effected so that the deep sublayer has a thickness of at least 4 μm and the surface sublayer has a thickness of between 2 and 20 μm , the diameter of the pores being at least 100 nm, and in that, after the oxidation stage, the nitrided/oxidised layer is coated, to a thickness of between 3 and 20 micrometres, with a polymer selected from amongst fluorocarbon polymers and copolymers, polyurethane polymers and copolymers which are either silicone-treated or fluorinated and which are used alone or mixed with each other or with hydrocarbon polyurethanes, urethane and acrylic copolymers, and polyamides-imides.
2. Process according to Claim 1, characterised in that the thickness of the coating is between 3 and 15 micrometres.
3. Process according to one of Claims 1 and 2, characterised in that the articles are nitrided in a bath of molten salt consisting essentially of carbonates and cyanates of alkali metals, Na, K and Li, the CO_3^{--} being present at 1 to 35% by weight and the CNO^- anion at 35 to 65% by weight whilst, with respect to the mass of alkaline metal ions, the proportions by weight are 25 - 42.6% in the case of Na^+ , 42.6 - 62.5% in the case of K^+ and 11.3 - 17.1% in the case of Li^+ .
4. Process according to Claim 3, characterised in that the nitriding salt bath also contains a sulphur-containing substance in such a quantity that the proportion by weight of the elemental sulphur in the bath is between 0.001 and 1%.
5. Process according to any one of Claims 1 to 4, characterised in that the nitrided articles are then oxidised



5 In a bath of molten salts comprising, by weight, from 99.5% to 85% by weight of a mixture consisting of 25 to 35% by weight alkali nitrates, 8 to 15% alkali carbonates and the remainder, to 100%, alkali hydroxides, and from 0.5 to 15% oxygen-containing salts of alkali metals whose normal oxidation-reduction potential relative to the hydrogen reference electrode is lower than or equal to -1.0 volt, a gas containing oxygen being bubbled into the bath at a flow rate sufficient for the bath to be saturated with dissolved oxygen, and the content by weight of insoluble particles therein is maintained at less than 3%.

10 6. Process according to Claim 5, characterised in that the temperature of the oxidising bath is between 350° and 450°C.

7. Process according to Claim 1, characterised in that the nitriding is carried out in a sealed chamber containing an atmosphere of nitrogen and hydrogen at reduced pressure, ionised by a cathodic discharge, the articles being raised to a temperature of at least 550°C.

15 8. Process according to Claim 1, characterised in that the oxidation is carried out in a sealed chamber in an ionised oxygen atmosphere at reduced pressure, the articles being cathodic relative to the vessel.

20

25

30

35

40

45

50

55

