



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
**09.12.2009 Bulletin 2009/50**

(51) Int Cl.:  
**C23C 24/04** (2006.01) **C23C 22/05** (2006.01)  
**C23G 1/14** (2006.01) **B22F 7/00** (2006.01)  
**B24C 1/00** (2006.01) **B01J 8/08** (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **09290361.6**

(22) Date de dépôt: **15.05.2009**

(84) Etats contractants désignés:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK TR**

(30) Priorité: **04.06.2008 FR 0803093**

(71) Demandeur: **Messier-Bugatti**  
**78140 Velizy Villacoublay (FR)**

(72) Inventeurs:  
• **Garin, Aude**  
**67120 Molsheim (FR)**  
• **Viola, Alain**  
**67800 Hoenheim (FR)**

(74) Mandataire: **Jaunez, Xavier et al**  
**Cabinet Boettcher,**  
**22, rue du Général Foy**  
**75008 Paris (FR)**

(54) **Procédé de traitement de surface d'une pièce mécanique en acier à haute résistance, et système d'étanchéité obtenu par la mise en oeuvre dudit procédé**

(57) L'invention concerne un procédé de traitement de surface d'une pièce mécanique en acier à haute résistance, visant à conférer à ladite pièce des propriétés en frottement et en lubrification nécessaires à son utilisation.

Conformément à l'invention, le procédé comporte les étapes successives suivantes:

- on soumet la pièce (P) à une étape de finition primaire organisée pour abaisser sa rugosité en surface (Ra) à un premier seuil prédéterminé (S1) ;
- on soumet ensuite la pièce (P) à un nettoyage de surface au moyen d'une solution de dégraissage ;
- on soumet la pièce (P) ainsi nettoyée à une étape de tribofinition organisée pour d'une part abaisser encore sa rugosité en surface (Ra) à un deuxième seuil prédéterminé (S2) qui est inférieur au premier seuil prédéterminé (S1), et d'autre part augmenter sa mouillabilité aux fluides hydrauliques ; et
- on soumet la pièce (P) à une projection, à haute vitesse et à température ambiante, de poudre de bisulfure de tungstène ( $WS_2$ ) se présentant sous la forme de platelets (p) qui se brisent ainsi en créant en surface de ladite pièce un dépôt dense et autolubrifiant.

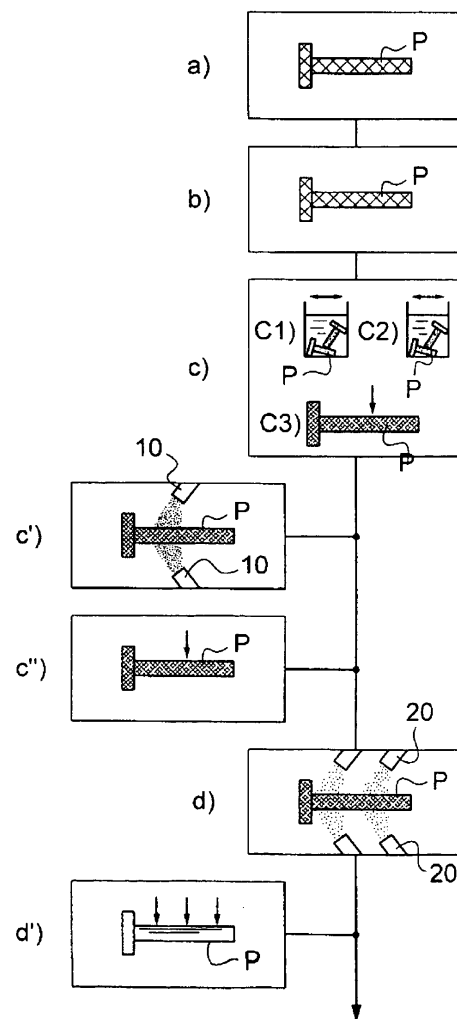


Fig. 1

## Description

**[0001]** La présente invention concerne un procédé de traitement de surface de pièces mécaniques en acier à haute résistance, visant à conférer auxdites pièces des propriétés en frottement et en lubrification nécessaires à leur utilisation, ainsi qu'un système d'étanchéité obtenu par la mise en oeuvre dudit procédé.

## ARRIERE-PLAN DE L'INVENTION

**[0002]** Il est connu de prévoir un traitement de surface pour procurer à des pièces métalliques des propriétés en frottement et en lubrification qui sont nécessaires à leur utilisation, le traitement étant habituellement un chromage électrolytique. Le chromage électrolytique permet d'obtenir un revêtement de chrome dur, qui est encore très largement utilisé dans différents domaines comme le domaine aéronautique, du fait de ses excellentes propriétés en frottement, en résistance à l'usure, et en tant que protection contre la corrosion. Le chromage électrolytique est en général complété par une rectification garantissant une épaisseur de revêtement homogène et un état de surface correspondant à une rugosité en surface (Ra) qui est inférieure à  $0,2 \mu\text{m}$ . Ce succès s'explique par le fait que les caractéristiques obtenues après ces étapes de traitement sont d'une part une excellente résistance en frottement du fait d'une bonne résistance à l'usure couplée à un état de surface parfait, et d'autre part une excellente lubrification en présence de fluides grâce au micro-faïencage, inhérent au chrome dur, jouant le rôle de zone de rétention.

**[0003]** Cependant, le chromage dur est réalisé dans une cellule électrolytique en présence d'acide chromique à base de chrome hexavalent ( $\text{Cr}^{6+}$ ) qui est nuisible pour l'environnement et pour l'homme. Il s'agit en effet d'un produit qui est classifié CMR (Cancérigène, Mutagène, et nuisible pour la Reproduction). De plus, comme de nombreux procédés électrolytiques, ce produit est fragilisant pour les aciers du fait de la diffusion de l'hydrogène, et nécessite des précautions opératoires afin d'éviter les brûlures de l'acier de base après rectification, brûlures qui induiraient une altération irréversible de la pièce métallique traitée.

## OBJET DE L'INVENTION

**[0004]** L'invention a pour objet de concevoir un procédé de traitement de surface capable de remplacer le chromage électrolytique, et permettant d'obtenir à la fois un niveau de résistance en frottement élevé et aussi une très bonne mouillabilité face aux fluides hydrauliques, tout en conservant un niveau de rugosité en surface (Ra) qui est inférieur ou égal à  $0,2 \mu\text{m}$ .

**[0005]** L'invention a aussi pour objet de concevoir un procédé de traitement permettant d'éviter les inconvénients précités des procédés électrolytiques, tout en étant facile à adapter aux types de pièces mécaniques

concernés.

**[0006]** L'invention a également pour objet de concevoir un système d'étanchéité hydraulique incluant une pièce coulissante traitée en surface par le procédé précité.

## DEFINITION GENERALE DE L'INVENTION

**[0007]** Le problème technique précité est résolu conformément à l'invention grâce à un procédé de traitement de surface d'une pièce mécanique en acier à haute résistance, visant à conférer à ladite pièce des propriétés en frottement et en lubrification nécessaires à son utilisation, lequel procédé comporte les étapes successives suivantes :

a) on soumet la pièce à une étape de finition primaire organisée pour abaisser sa rugosité en surface (Ra) à une valeur inférieure ou égale à un premier seuil prédéterminé;

b) on soumet ensuite la pièce à un nettoyage de surface au moyen d'une solution de dégraissage ;

c) on soumet la pièce ainsi nettoyée à une étape de tribofinition organisée pour d'une part abaisser encore sa rugosité en surface (Ra) à une valeur inférieure ou égale à un deuxième seuil prédéterminé qui est inférieur au premier seuil prédéterminé, et d'autre part augmenter sa mouillabilité aux fluides hydrauliques ; et

d) on soumet la pièce à une projection, à haute vitesse et à température ambiante, de poudre de bisulfure de tungstène ( $\text{WS}_2$ ) se présentant sous la forme de platelets qui se brisent ainsi en créant en surface de ladite pièce un dépôt dense et autolubrifiant.

**[0008]** Il convient de noter que le procédé de traitement précité, qui met en oeuvre une étape de projection de poudre de bisulfure de tungstène, se démarque radicalement des procédés antérieurs mettant également en oeuvre une projection de poudre de bisulfure de tungstène et spécialement développés pour le revêtement d'outils coupants plus durs que la pièce à couper. On pourra à ce titre se référer aux documents WO-A-2004/031433 et WO-A-2004/092429. On notera en particulier que ces documents mettent en oeuvre un procédé de traitement ne prévoyant aucune étape préalable de dégraissage, et dont l'étape de projection de poudre de bisulfure de tungstène utilise une poudre constituée de particules sphériques, qui viennent s'incruster dans des creux homologues préalablement réalisés par une opération de sablage mise en oeuvre avec des particules de même dimension que les particules de poudre.

**[0009]** Au contraire, dans le cadre de l'invention, on utilise une poudre de bisulfure de tungstène se présentant sous la forme de platelets qui, lorsqu'ils sont projetés à haute vitesse contre la surface (qui est préparée en conséquence tout en étant exempte de cuvettes sphéri-

ques) de la pièce à traiter, se brisent en microparticules de poudre, afin de créer en surface un dépôt dense et autolubrifiant. Ainsi, la projection de platelets de très faible épaisseur réalise une véritable explosion des platelets en microparticules densifiant le revêtement réalisé, de sorte qu'un tel processus n'a rien à voir avec les processus antérieurs d'incrustation de particules de poudre de forme sphérique qui sont reçues dans des creux préalablement réalisés à cet effet.

**[0010]** Avantageusement, l'étape c) de tribofinition comporte une première étape c1) d'ébavurage par mise en agitation continue des pièces à traiter avec une première solution aqueuse oxydante contenant des agents abrasifs jusqu'à obtention de la rugosité en surface (Ra) souhaitée, suivie d'une deuxième étape c2) de polissage par mise en agitation continue desdites pièces avec une deuxième solution aqueuse non oxydante contenant des agents abrasifs. En particulier, l'étape c) de tribofinition comporte une troisième étape c3) de nettoyage de surface, puis de contrôle de la rugosité en surface (Ra).

**[0011]** Dans un mode d'exécution avantageux, il sera prévu que le premier seuil prédéterminé de rugosité est sensiblement égal à 0,2  $\mu\text{m}$ , et que le deuxième seuil prédéterminé de rugosité est sensiblement égal à 0,1  $\mu\text{m}$ .

**[0012]** Avantageusement encore, la poudre projetée lors de l'étape d) est presque exclusivement constituée de  $\text{WS}_2$  pur, et se présentant sous la forme de platelets de forme sensiblement hexagonale, dont la dimension principale est comprise entre 0,8  $\mu\text{m}$  et 1,5  $\mu\text{m}$ , et dont l'épaisseur est de l'ordre de 0,1  $\mu\text{m}$ .

**[0013]** Il pourra s'avérer en outre intéressant de prévoir que le procédé comporte, après l'étape c) de tribofinition, une étape complémentaire c') de micro-sablage, organisée pour activer la surface de la pièce en vue d'augmenter l'adhérence du revêtement déposé ensuite lors de l'étape d) de projection de poudre de  $\text{WS}_2$ .

**[0014]** Avantageusement alors, l'étape c') de micro-sablage est suivie d'une étape c'') de nettoyage de surface, puis de contrôle de la rugosité en surface (Ra).

**[0015]** De préférence encore, l'étape c') de micro-sablage est organisée de telle façon que la rugosité en surface (Ra), qui est accrue du fait du micro-sablage, reste inférieure au premier seuil prédéterminé de rugosité.

**[0016]** Avantageusement alors, l'étape c') de micro-sablage est mise en oeuvre avec des particules qui ne sont pas des oxydes, et dont la taille est comprise entre 5  $\mu\text{m}$  et 15  $\mu\text{m}$ .

**[0017]** De préférence enfin, le procédé comporte, après l'étape d) de projection de poudre de  $\text{WS}_2$ , une étape d') de nettoyage de surface, puis de contrôle à la fois de la rugosité en surface (Ra), de la mouillabilité, et du coefficient de frottement.

**[0018]** L'invention concerne également un système d'étanchéité hydraulique, comportant une tige couissant dans un ensemble d'étanchéité, système dans lequel l'ensemble d'étanchéité est constitué par un palier de guidage formé d'un premier matériau, et par un joint

d'étanchéité formé par un deuxième matériau de dureté inférieure à celle du premier matériau, et dans lequel la tige couissante a une surface extérieure qui a été traitée en mettant en oeuvre un procédé présentant l'une au moins des caractéristiques précitées, de sorte que ladite tige présente des propriétés requises en lubrification vis-à-vis du palier de guidage et en frottement vis-à-vis du joint d'étanchéité.

**[0019]** En particulier, le premier matériau constitutif du palier de guidage est un polymère thermoplastique, et le deuxième matériau constitutif du joint d'étanchéité est un caoutchouc.

**[0020]** D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lumière de la description qui va suivre et des dessins annexés, concernant un mode de réalisation particulier.

## BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

**[0021]** Il sera fait référence aux figures des dessins annexés, où :

- la figure 1 illustre schématiquement les différentes étapes d'un procédé de traitement conforme à l'invention, avec ici des étapes intermédiaires optionnelles de micro-sablage et une étape finale optionnelle de nettoyage ;
- la figure 2 est un cliché réalisé par microscopie électronique illustrant un petit volume de la poudre de bisulfure de tungstène qui est utilisée pour la projection, à haute vitesse et à température ambiante, prévue dans le procédé de l'invention, laquelle poudre est constituée de platelets ;
- la figure 3 illustre schématiquement un platelet individuel de forme hexagonale constituant la poudre de bisulfure de tungstène concernée ;
- la figure 4 illustre l'amélioration des performances en matière de mouillabilité grâce à un diagramme comparatif donnant diverses courbes de variations de l'angle de contact liquide/solide en fonction du temps ; et
- la figure 5 est une vue en coupe axiale illustrant un système d'étanchéité hydraulique conforme à l'invention, obtenu en mettant en oeuvre le procédé de traitement précité.

## DESCRIPTION DETAILLEE DU MODE DE REALISATION PREFEREE

**[0022]** On va maintenant décrire plus en détail les étapes successives du procédé de traitement de surface d'une pièce mécanique en acier à haute résistance conforme à l'invention, ledit procédé visant à conférer à ladite pièce des propriétés en frottement et en lubrification nécessaires à son utilisation.

**[0023]** La pièce mécanique concernée, notée P, sera par exemple une tige de friction en acier inoxydable du type de celles qui sont utilisées pour équiper des pistons

de freins de véhicules. Bien entendu, l'invention n'est aucunement limitée à un type particulier de pièce mécanique.

**[0024]** Sur la figure 1, on distingue une première étape du procédé de traitement selon l'invention, schématisée en a). La pièce métallique de départ est une pièce mécanique en acier, de préférence en un acier inoxydable, qui est à haute résistance, c'est-à-dire dont la dureté est au moins égale à 30 HRC. Cette pièce aura en général déjà subi un traitement thermique adapté lui permettant d'atteindre une dureté typiquement de l'ordre 34 à 39 HRC, ou aura été traitée par un traitement thermochimique de type cémentation à basse température ou nitruration à basse température lui permettant de conserver ses propriétés d'inoxidabilité.

**[0025]** Lors de l'étape a), on soumet la pièce P à une étape de finition primaire qui est organisée pour abaisser sa rugosité en surface Ra à une valeur inférieure ou égale à un premier seuil prédéterminé S1, qui est par exemple 0,2  $\mu\text{m}$ . La pièce P est donc terminée d'usinage et de traitement (de type thermochimique ou passivation), et se présente sous sa forme et ses dimensions finales. Ce traitement de finition primaire, de type classique, peut comporter des étapes de tournage, rectification, etc..., qui doivent donc permettre d'atteindre une rugosité Ra par exemple inférieure à 0,2  $\mu\text{m}$  une fois la pièce terminée et prête au traitement suivant. Il est rappelé que le paramètre Ra utilisé ici pour caractériser la rugosité en surface, est un paramètre représentatif des irrégularités géométriques d'une surface, qui correspond à l'écart moyen arithmétique par rapport à la ligne moyenne de rugosité.

**[0026]** Lors de l'étape suivante b), on soumet la pièce P à un nettoyage de surface au moyen d'une solution de dégraissage. Cette opération est importante, car elle permet de débarrasser entièrement la surface de la pièce P de toutes les traces de salissures possibles (graisses, huiles, copeaux, poussières, résidus plastiques, feutres, produits de protection temporaire). La solution de dégraissage utilisée sera de préférence de type alcaline à une température comprise entre 35°C et 60°C. La durée de l'étape de dégraissage sera par exemple typiquement de 5 minutes. Bien entendu, dans le cas où le niveau de salissure serait très important, et dans le but de diminuer le temps de traitement de dégraissage, il sera possible de réaliser un pré-dégraissage des pièces métalliques.

**[0027]** Lors de l'étape suivante, notée c), on soumet la pièce P ainsi nettoyée à une étape de tribofinition organisée pour d'une part abaisser encore sa rugosité en surface Ra à une valeur inférieure ou égale à un deuxième seuil prédéterminé S2 qui est inférieur au premier seuil prédéterminé S1, et d'autre part augmenter sa mouillabilité aux fluides hydrauliques. Les fluides hydrauliques concernés sont en particulier des fluides à base d'hydrocarbures ou d'ester-phosphates, ou des fluides huileux.

**[0028]** Une telle opération de tribofinition est indispensable pour préparer et optimiser l'état de surface de la

pièce métallique avant le traitement de projection de poudre de bisulfure de tungstène.

**[0029]** Comme cela est schématisé sur la figure 1, l'étape c) de tribofinition comporte avantageusement une première étape c1) d'ébavurage, une deuxième étape c2) de polissage, et une troisième étape c3) de nettoyage de surface, suivi d'un contrôle de la rugosité en surface.

**[0030]** L'étape c1) d'ébavurage consiste en une mise en agitation continue, en général dans un bol vibrant, des pièces P à traiter avec une première solution aqueuse oxydante contenant des agents abrasifs jusqu'à obtention de la rugosité en surface Ra souhaitée. Au cours de cette étape, il se crée un film d'oxyde en surface des pièces, de dureté inférieure à celle du métal de base. Ce film est retiré au fur et mesure par l'action mécanique des agents abrasifs qui sont de dureté supérieure à celle du film, mais inférieure à celle du métal de base, lesquels agents abrasifs viennent s'entrechoquer en surface des pièces, et ainsi diminuer la rugosité de ladite surface. A titre indicatif, cette première étape c1) d'ébavurage sera mise en oeuvre pendant une durée au moins égale à 60 minutes.

**[0031]** La deuxième étape c2) de polissage consiste de préférence en une mise en agitation continue des pièces avec une deuxième solution aqueuse non oxydante contenant des agents abrasifs. Cette deuxième étape de polissage permet de retirer en totalité le film d'oxyde créé lors de la première étape c1), par l'action mécanique des agents abrasifs. A titre indicatif, la durée de traitement pour cette deuxième étape c2) de polissage sera au minimum de 120 minutes.

**[0032]** A l'issue de ces deux étapes c1) et c2), la rugosité en surface Ra est abaissée à une valeur inférieure ou égale à un deuxième seuil prédéterminé S2, qui est inférieur au premier seuil prédéterminé S1, et qui sera par exemple de l'ordre de 0,1  $\mu\text{m}$ . On prévoira alors avantageusement une étape c3) de nettoyage de surface, puis de contrôle de la rugosité en surface Ra, lequel contrôle est très fiable grâce au nettoyage préalablement effectué. Le nettoyage concerné en l'espèce vise à garantir la représentativité du résultat de la mesure de contrôle de la rugosité en surface. La surface de la pièce présente alors moins de souillures qu'à l'issue de l'étape a) de finition primaire, de sorte que l'on pourra utiliser un solvant peu agressif de type acétone.

**[0033]** A l'issue de cette étape c) de tribofinition, on peut, soit directement soumettre la pièce P à l'étape suivante essentielle notée d), qui est une étape de projection, à haute vitesse et à température ambiante, de poudre de bisulfure de tungstène se présentant sous forme de platelets, soit en variante, mettre d'abord en oeuvre, préalablement à l'étape d), une étape complémentaire de micro-sablage, éventuellement suivie d'un nettoyage de surface et d'un contrôle de la rugosité en surface. Ces étapes complémentaires ont été illustrées ici sous la forme d'une étape c') qui est une étape de micro-sablage, organisée pour activer la surface de la pièce P en vue d'augmenter l'adhérence du revêtement déposé ultérieu-

rement lors de l'étape d) de projection de poudre de  $WS_2$ , cette étape complémentaire c') étant suivie d'une étape c'') de nettoyage de surface, puis de contrôle de la rugosité en surface Ra. Sur la figure 1, on a représenté schématiquement des buses 10 symbolisant le micro-sablage, avec une projection de particules sur la pièce P, ces particules, qui ne sont pas des oxydes, ayant d'une façon générale une taille comprise entre  $5\text{ }\mu\text{m}$  et  $15\text{ }\mu\text{m}$ , et de préférence de l'ordre de  $10\text{ }\mu\text{m}$ . La projection de particules lors de l'étape c') est effectuée à vitesse élevée, obtenue par une pression de l'ordre de 5 à 10 bars, et avec une inclinaison des jets de projection sensiblement comprise entre  $45^\circ$  et  $135^\circ$ .

**[0034]** Bien entendu, une telle étape de micro-sablage a pour effet d'accroître légèrement la rugosité en surface Ra. On organisera néanmoins l'étape c') de micro-sablage de telle façon que la rugosité en surface Ra reste encore inférieure au premier seuil prédéterminé de rugosité S1, par exemple  $0,2\text{ }\mu\text{m}$ .

**[0035]** Sur la figure 1, on a symbolisé pour l'étape c'') le contrôle de la rugosité en surface Ra par une simple flèche dirigée sur la pièce P. Comme pour l'étape c3) précédemment décrite, un nettoyage de surface, par exemple au moyen d'un solvant peu agressif de type acétone, est effectué avant le contrôle de la rugosité en surface, ce qui garantit une meilleure représentativité du résultat de la mesure de contrôle.

**[0036]** Le choix de mettre en oeuvre ou non l'étape de micro-sablage dépendra des propriétés en frottement que l'on souhaite obtenir sur les pièces métalliques, en plus des propriétés de mouillabilité précitée. A ce titre, en cas de micro-sablage, il conviendra de mettre en oeuvre assez rapidement l'étape d) de projection de poudre de  $WS_2$ , par exemple dans un délai n'excédant pas 120 minutes.

**[0037]** A l'issue de l'étape c) de tribofinition, et éventuellement des étapes c') de micro-sablage et c'') de nettoyage et de contrôle, la pièce P est maintenant préparée de façon optimale pour subir le traitement de projection de poudre de bisulfure de tungstène. La rugosité liée aux opérations de finition a été en effet très fortement diminuée par l'opération de tribofinition, et l'éventuel micro-sablage a en outre activé la surface pour augmenter l'adhérence du revêtement qui va être formé.

**[0038]** Lors de l'étape d), on soumet donc la pièce P à une projection, à haute vitesse et à température ambiante, de poudre de bisulfure de tungstène ( $WS_2$ ).

**[0039]** Conformément à une caractéristique essentielle de l'invention, la poudre de  $WS_2$  utilisée dans le cadre du procédé de l'invention se présente sous la forme de platelets p, comme illustré aux figures 2 et 3, ce qui procure un effet technique radicalement différent de celui qui était obtenu avec les techniques antérieures mettant également en oeuvre une projection de poudre de  $WS_2$ , et consistant à projeter des particules sphériques de poudre qui sont incrustées dans une pièce de coupe préalablement préparée pour présenter des creux de réception associés. D'ailleurs, l'enseignement consistant à

prévoir des creux de réception pour les particules sphériques implique de facto une limitation pour l'abaissement de rugosité en surface que l'on peut obtenir, dans la mesure où une valeur trop basse de la rugosité supprimerait les creux de réception, et empêcherait l'incrustation des particules sphériques de poudre de  $WS_2$ . En l'espèce, il en va tout autrement du fait de l'utilisation d'une poudre constituée de platelets, c'est-à-dire de plaquettes très minces qui se désintègrent en microparticules au contact de la surface de la pièce à traiter.

**[0040]** De préférence, on utilisera des platelets p de forme sensiblement hexagonale, comme illustré sur la figure 3, dont la dimension principale notée D est comprise  $0,8\text{ }\mu\text{m}$  et  $1,5\text{ }\mu\text{m}$ , et dont l'épaisseur notée E est de l'ordre de  $0,1\text{ }\mu\text{m}$ . Ces platelets p, lorsqu'ils sont projetés par des buses associées, notées 20 sur la figure 1, se brisent en microparticules au contact de la surface, créant ainsi en surface de ladite pièce un dépôt dense et autolubrifiant.

**[0041]** A titre indicatif, pour les conditions opératoires de la projection de poudre de  $WS_2$  sous la forme de platelets, à froid et à haute vitesse, on pourra utiliser une pression de l'ordre de 5 à 10 bars, avec un angle d'inclinaison des jets de projection allant de  $45^\circ$  à  $135^\circ$  par rapport au plan de la surface à traiter, la distance entre les sorties de buse de projection et la pièce P allant typiquement de 20 à 100 mm. Ces conditions opératoires permettent de projeter à haute vitesse des platelets de poudre de  $WS_2$ , afin que ceux-ci se brisent en microparticules en s'écrasant sur la surface de la pièce à traiter.

**[0042]** Les essais menés par la demanderesse ont permis de constater que l'on peut alors aisément obtenir un revêtement d'épaisseur comprise entre  $0,4\text{ }\mu\text{m}$  et  $0,6\text{ }\mu\text{m}$ , avec une évolution de l'angle de contact (liquide/solide) en surface du revêtement de  $WS_2$  qui est parfaitement reproductible (ce qui n'était pas le cas avec les techniques antérieures rappelées plus haut). Les pièces traitées ont alors une couleur grise bleutée, qui est tout à fait caractéristique d'un dépôt d'épaisseur uniforme. Un contrôle visuel de la couleur de la pièce permet ainsi de garantir que le traitement s'est correctement déroulé, et que les caractéristiques souhaitées sont bien atteintes.

**[0043]** Par ailleurs, comme cela a été illustré sur la figure 1, on pourra également prévoir que le procédé comporte, après l'étape d) de projection de poudre de  $WS_2$ , une étape d') de nettoyage de surface, puis de contrôle. Comme pour les étapes précédentes c3) et c''), le nettoyage de surface pourra être effectué au moyen d'un solvant peu agressif de type acétone, ce qui garantit une meilleure représentativité des résultats des mesures de contrôle.

**[0044]** Une telle étape finale est très intéressante avant l'utilisation des pièces traitées, et elle permet en particulier de réaliser un triple contrôle, illustré ici par trois flèches sur la figure, concernant à la fois la rugosité en surface, la mouillabilité aux fluides hydrauliques, en particulier des fluides à base d'hydrocarbures ou d'ester-phosphates, ou des fluides huileux, et le coefficient de

frottement (statique et/ou dynamique).

[0045] On est ainsi assuré d'obtenir une pièce traitée présentant une rugosité en surface avec une valeur  $R_a$  inférieure à  $0,2 \mu\text{m}$ , avec un coefficient de frottement dynamique ( $WS_2$  contre  $WS_2$  et plan sur plan) inférieur à 0,03, et un coefficient de frottement statique ( $WS_2$  contre  $WS_2$  et plan sur plan) inférieur à 0,07.

[0046] La mouillabilité obtenue est en outre extrêmement discriminante, dans la mesure où elle est très bonne pour les fluides hydrauliques, en particulier les fluides à base d'hydrocarbures ou d'ester-phosphates, ou les fluides huileux, tout en étant très mauvaise au regard des fluides aqueux.

[0047] La figure 4 permet d'apprécier l'amélioration des performances en termes de mouillabilité pour le revêtement de  $WS_2$  réalisé conformément à l'invention.

[0048] Les courbes C1, C2 et C3 représentées sur le diagramme de la figure 4 correspondent aux variations de l'angle de contact liquide/solide (en degrés) en fonction du temps (en secondes). La courbe C1 correspond à un procédé de traitement de type traditionnel, tandis que les courbes C2 et C3 correspondent à un traitement conforme à l'invention, respectivement sans et avec nettoyage final.

[0049] On est ainsi parvenu à réaliser un revêtement à très faible coefficient de frottement, qui est autolubrifiant grâce au film continu créé en surface de la pièce, et ce sur une très large plage de températures, ce revêtement étant de plus est lipophile et hydrophobe. Ceci représente donc un progrès considérable par rapport aux techniques antérieures mentionnées plus haut correspondant à des processus électrolytiques.

[0050] On va maintenant décrire, en référence à la figure 5, un système d'étanchéité hydraulique conforme à l'invention, obtenu en mettant en oeuvre le procédé de traitement de surface qui vient d'être décrit.

[0051] Sur la figure 5, on distingue ainsi un système d'étanchéité hydraulique noté 100, comportant une tige 101 d'axe X en acier inoxydable à haute résistance, qui coulisse dans un ensemble d'étanchéité 102. L'ensemble d'étanchéité 102 est reçu dans un logement 106 ménagé dans un élément de support 105, en étant disposé entre deux épaulements 107, 108.

[0052] L'ensemble d'étanchéité 102 est constitué par un palier de guidage 103 formé d'un premier matériau et par un joint d'étanchéité 104 formé d'un deuxième matériau de dureté inférieure à celle du premier matériau. A titre d'exemple, le premier matériau constitutif du palier de guidage 103 est un polymère thermoplastique, et le deuxième matériau constitutif du joint d'étanchéité 104 est un caoutchouc. Lorsque la tige 101 se déplace de la droite vers la gauche sur la figure, le palier de guidage 103, qui peut glisser sur la tige 101, coopère avec le joint d'étanchéité 104 en le comprimant pour renforcer l'étanchéité.

[0053] La surface extérieure 110 de la tige 101 a été traitée en mettant en oeuvre un procédé tel que précédemment décrit, de sorte que ladite tige présente des

propriétés requises à la fois en lubrification vis-à-vis du palier de guidage 103, c'est-à-dire au niveau de l'interface entre la surface extérieure 110 de la tige 101 et la surface intérieure 103.1 du palier de guidage 103, et en frottement vis-à-vis du joint d'étanchéité 104, c'est-à-dire au niveau de l'interface entre la surface extérieure 110 de la tige 101 et la surface intérieure 104.1 du joint d'étanchéité 104, afin d'en éviter l'abrasion.

[0054] La double fonction du revêtement de  $WS_2$  garnissant la tige coulissante 101 permet une coopération optimale avec chacun des deux composants 103, 104 constituant l'ensemble d'étanchéité 102.

[0055] Un tel système d'étanchéité hydraulique est tout particulièrement intéressant pour équiper des pistons de freins de véhicules.

[0056] Il pourra s'agir en particulier d'une tige de friction destinée à être agencée dans un piston d'une couronne hydraulique d'un frein d'aéronef. Le rôle d'une telle tige de friction est de guider le piston au cours de l'application de l'effort de freinage sur le ou les disques de frein, la tige étant équipée d'un ensemble d'étanchéité consistant en un palier de guidage en polytétrafluoroéthylène et d'un joint d'étanchéité en élastomère de type éthylène propylène. Un tel système tige/joint est alors capable de répondre à des exigences multiples, en particulier présenter un excellent comportement en frottement permettant de limiter les usures des joints et l'endommagement des tiges, et présenter une étanchéité optimale du piston face au fluide hydraulique.

[0057] L'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation qui viennent d'être décrits, mais englobe au contraire toute variante reprenant, avec des moyens équivalents, les caractéristiques essentielles énoncées plus haut.

## Revendications

1. Procédé de traitement de surface d'une pièce mécanique en acier à haute résistance, visant à conférer à ladite pièce des propriétés en frottement et en lubrification nécessaires à son utilisation, **caractérisé en ce qu'il** comporte les étapes successives suivantes :

a) on soumet la pièce (P) à une étape de finition primaire organisée pour abaisser sa rugosité en surface ( $R_a$ ) à une valeur inférieure ou égale à un premier seuil prédéterminé ( $S_1$ ) ;

b) on soumet ensuite la pièce (P) à un nettoyage de surface au moyen d'une solution de dégraissage ;

c) on soumet la pièce (P) ainsi nettoyée à une étape de tribofinition organisée pour d'une part abaisser encore sa rugosité en surface ( $R_a$ ) à une valeur inférieure ou égale à un deuxième seuil prédéterminé ( $S_2$ ) qui est inférieur au premier seuil prédéterminé ( $S_1$ ), et d'autre part aug-

- menter sa mouillabilité aux fluides hydrauliques ; et  
d) on soumet la pièce (P) à une projection, à haute vitesse et à température ambiante, de poudre de bisulfure de tungstène ( $WS_2$ ) se présentant sous la forme de platelets (p) qui se brisent ainsi en créant en surface de ladite pièce un dépôt dense et autolubrifiant.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'étape c) de tribofinition comporte une première étape c1) d'ébavurage par mise en agitation continue des pièces (P) à traiter avec une première solution aqueuse oxydante contenant des agents abrasifs jusqu'à obtention de la rugosité en surface ( $R_a$ ) souhaitée, suivie d'une deuxième étape c2) de polissage par mise en agitation continue desdites pièces avec une deuxième solution aqueuse non oxydante contenant des agents abrasifs.
  3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** l'étape c) de tribofinition comporte une troisième étape c3) de nettoyage de surface, puis de contrôle de la rugosité en surface ( $R_a$ ).
  4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** le premier seuil prédéterminé ( $S_1$ ) de rugosité est sensiblement égal à  $0,2 \mu m$ , et le deuxième seuil prédéterminé ( $S_2$ ) de rugosité est sensiblement égal à  $0,1 \mu m$ .
  5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** la poudre projetée lors de l'étape d) est presque exclusivement constituée de  $WS_2$  pur, et se présente sous la forme de platelets (p) de forme sensiblement hexagonale, dont la dimension principale (D) est comprise entre  $0,8 \mu m$  et  $1,5 \mu m$ , et dont l'épaisseur (E) est de l'ordre de  $0,1 \mu m$ .
  6. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'il** comporte, après l'étape c) de tribofinition, une étape complémentaire c') de micro-sablage, organisée pour activer la surface de la pièce (P) en vue d'augmenter l'adhérence du revêtement déposé ensuite lors de l'étape d) de projection de poudre de  $WS_2$ .
  7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** l'étape c') de micro-sablage est suivie d'une étape c'') de nettoyage de surface, puis de contrôle de la rugosité en surface ( $R_a$ ).
  8. Procédé selon la revendication 6 ou la revendication 7, **caractérisé en ce que** l'étape c') de micro-sablage est organisée de telle façon que la rugosité en surface ( $R_a$ ), qui est accrue du fait du micro-sablage, reste inférieure au premier seuil prédéterminé de rugosité ( $S_1$ ).
  9. Procédé selon l'une des revendications 6 à 8, **caractérisé en ce que** l'étape c') de micro-sablage est mise en oeuvre avec des particules qui ne sont pas des oxydes, et dont la taille est comprise entre  $5 \mu m$  et  $15 \mu m$ .
  10. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'il** comporte, après l'étape d) de projection de poudre de  $WS_2$ , une étape d') de nettoyage de surface, puis de contrôle à la fois de la rugosité en surface ( $R_a$ ), de la mouillabilité, et du coefficient de frottement.
  11. Système d'étanchéité hydraulique, comportant une tige (101) coulissant dans un ensemble d'étanchéité (102), **caractérisé en ce que** l'ensemble d'étanchéité (102) est constitué par un palier de guidage (103) formé d'un premier matériau et par un joint d'étanchéité (104) formé d'un deuxième matériau de dureté inférieure à celle du premier matériau, et **en ce que** la tige coulissante (101) a une surface extérieure (110) qui a été traitée en mettant en oeuvre un procédé selon l'une des revendications 1 à 10, de sorte que ladite tige présente des propriétés requises en lubrification vis-à-vis du palier de guidage (103) et en frottement vis-à-vis du joint d'étanchéité (104).
  12. Système selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** le premier matériau constitutif du palier de guidage (103) est un polymère thermoplastique, et le deuxième matériau constitutif du joint d'étanchéité (104) est un caoutchouc.

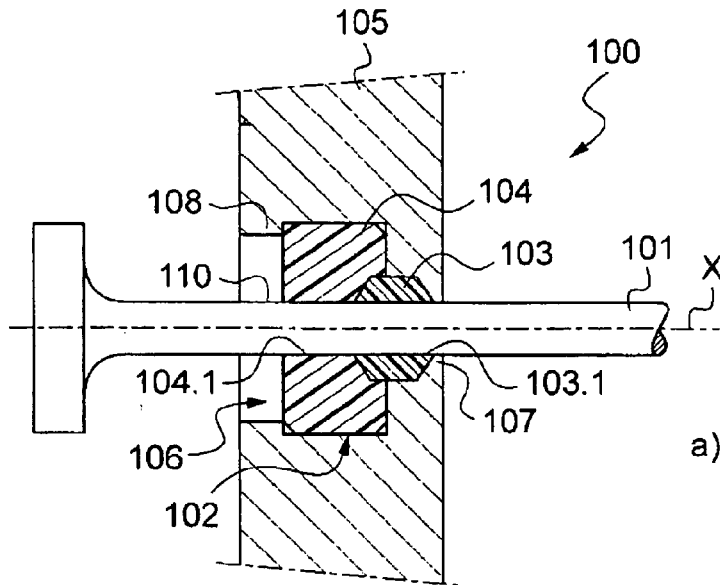


Fig. 5

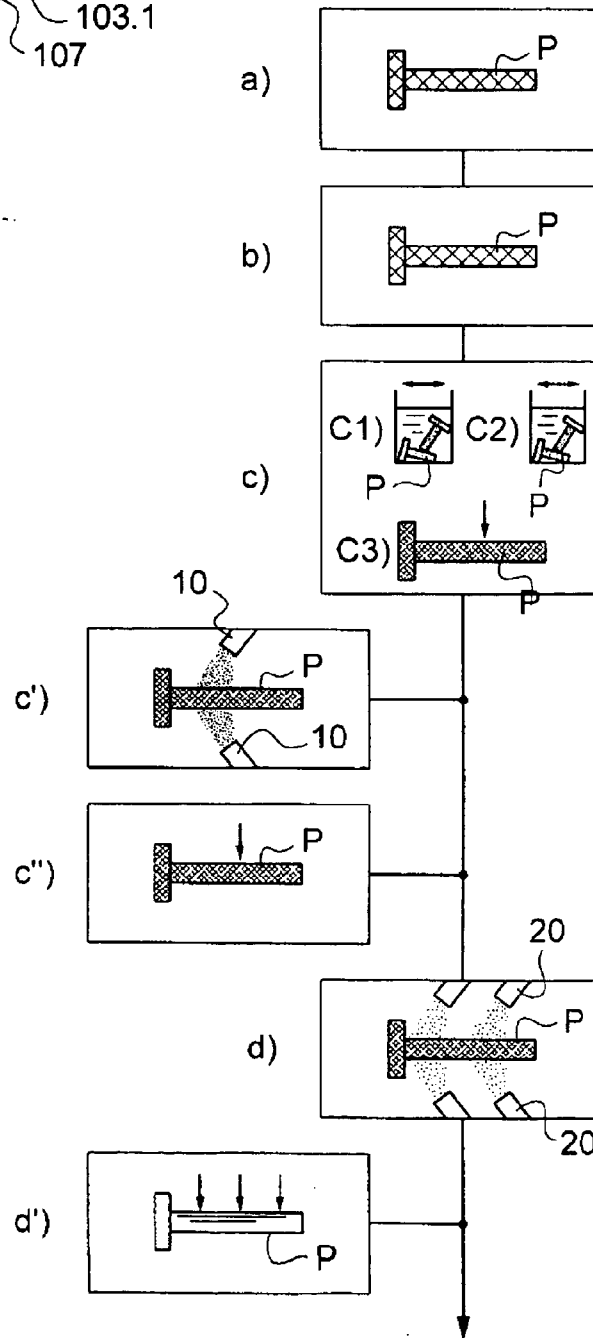


Fig. 1



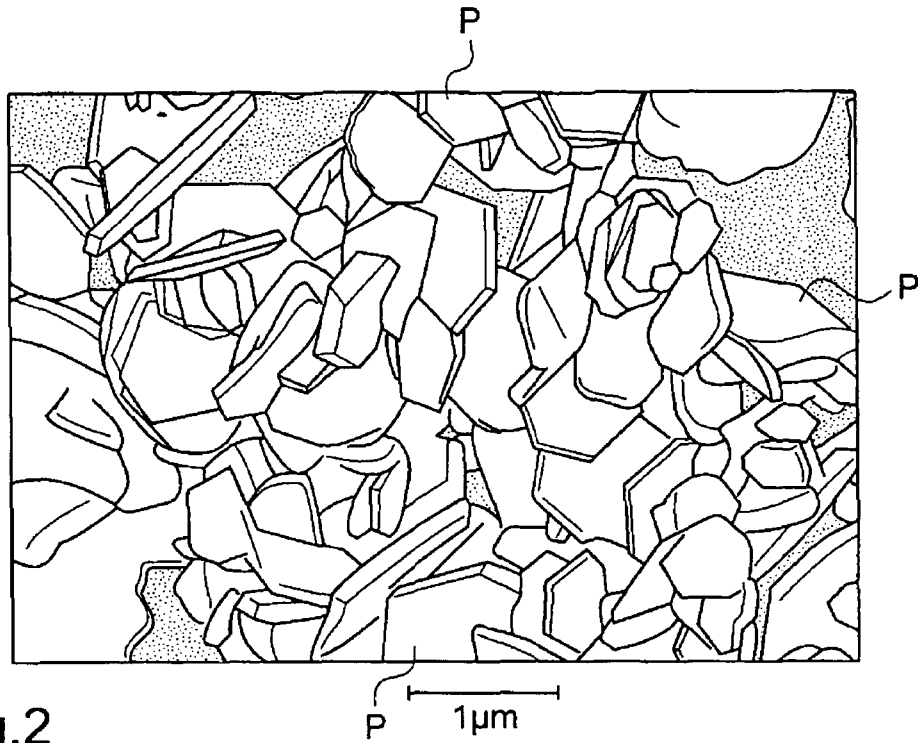


Fig.2

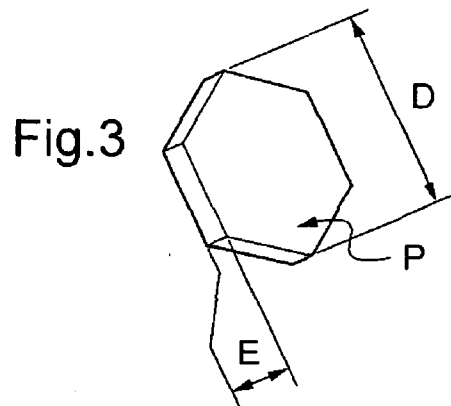


Fig.3

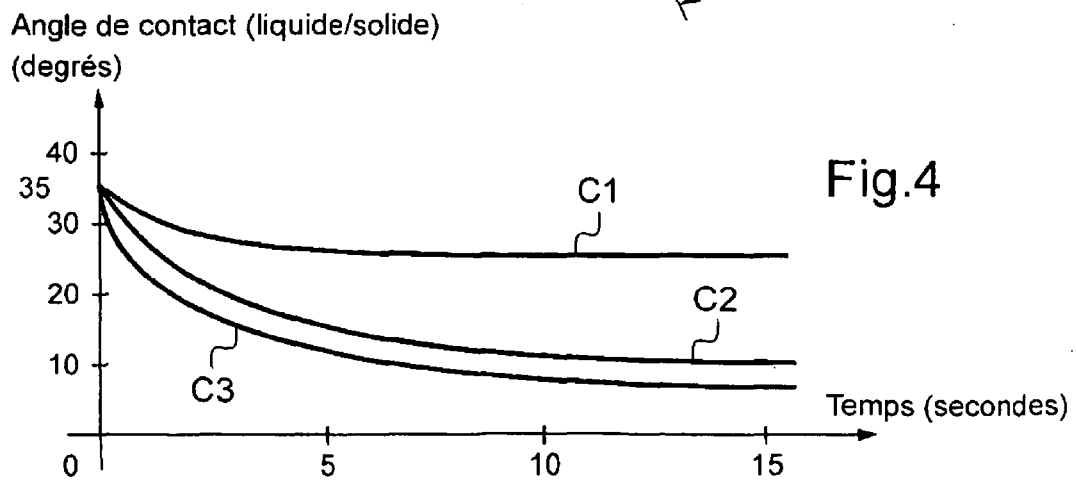


Fig.4



## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 09 29 0361

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A,D	WO 2004/031433 A (MATERIAL TECHNOLOGIES INC [US]; LE CLAIRE CRAIG T [US]) 15 avril 2004 (2004-04-15) * page 5, alinéa 29 - page 7, alinéa 34; figures 1-3 * * page 8, alinéa 37 *	1	INV. C23C24/04 C23C22/05 C23G1/14 B22F7/00 B24C1/00 B01J8/08
A,D	WO 2004/092429 A (MATERIAL TECHNOLOGIES INC [US]; LE CLAIRE CRAIG T [US]) 28 octobre 2004 (2004-10-28) * page 5, alinéa 25 - page 11, alinéa 40 *	1	
A	WO 2006/019983 A (KINETITEC CORP [US]; BUEHLER JANE E [US]) 23 février 2006 (2006-02-23) * page 8, ligne 31 - page 11, ligne 9 * * page 14, ligne 12 - page 17, ligne 15 *	1	
A	WO 2008/010901 A (KINETITEC CORP [US]; BUEHLER JANE [US]; BOWLES KAY [US]; BOWLES WADE [US]) 24 janvier 2008 (2008-01-24) * page 11, ligne 18 - page 13, ligne 29 * * page 16, ligne 25 - page 19, ligne 7 *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			C23C
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
Munich		27 juillet 2009	Joffreau, P
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			

EPO FORM 1503 03.82 (P/MC02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 09 29 0361

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

27-07-2009

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2004031433 A	15-04-2004	AU 2003277057 A1	23-04-2004
		US 2005244574 A1	03-11-2005
		US 2004067385 A1	08-04-2004
-----	-----	-----	-----
WO 2004092429 A	28-10-2004	US 2004187979 A1	30-09-2004
-----	-----	-----	-----
WO 2006019983 A	23-02-2006	EP 1778421 A2	02-05-2007
-----	-----	-----	-----
WO 2008010901 A	24-01-2008	AUCUN	
-----	-----	-----	-----

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

**RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION**

*Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.*

**Documents brevets cités dans la description**

- WO 2004031433 A [0008]
- WO 2004092429 A [0008]