



12

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

21 Numéro de dépôt: 85420115.9

51 Int. Cl.⁴: **C 22 C 38/30, B 23 K 35/30**

22 Date de dépôt: 24.06.85

30 Priorité: 28.06.84 CA 457755

71 Demandeur: **HYDRO-QUEBEC, 75, Boulevard
Dorchester Ouest, Montréal Québec H2Z 1E4 (CA)**

43 Date de publication de la demande: 12.02.86
Bulletin 86/7

72 Inventeur: **Simoneau, Raynald, 2130, De Salaberry,
St-Bruno (Québec) (CA)**

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

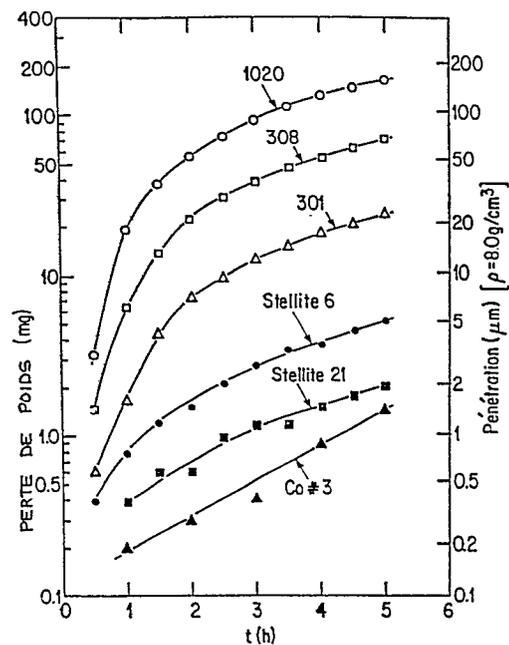
74 Mandataire: **Maureau, Philippe et al, Cabinet Germain &
Maureau Le Britannia - Tour C 20, bld Eugène Déruelle,
F-69003 Lyon (FR)**

54 **Acier inoxydable austénitique au cobalt ultra résistant a la cavitation érosive.**

57 Un acier inoxydable austénitique au cobalt ultrarésistant à la cavitation érosive, du type comprenant:

de 8 à 30% en poids de Co,
de 13 à 30% en poids de Cr,
de 0,03 à 0,3% en poids de C,
jusqu'à 0,3% en poids de N,
jusqu'à 3,0% en poids de Si,
jusqu'à 1,0% en poids de Ni,
jusqu'à 2% en poids de Mo, et
jusqu'à 9,0% en poids de Mn,

le pourcentage restant étant essentiellement constitué de Fe. Cet acier inoxydable qui est utilisable pour la fabrication ou la réparation de pièces de machines hydrauliques est caractérisé en ce que sa teneur en éléments connus comme ferritisants (Cr, Mo, Si), en éléments connus comme austénitisants (C, N, Co, Ni, Mn) et, parmi ces éléments ferritisants et austénitisants, en éléments connus pour augmenter ou abaisser l'énergie de faute d'empilement, est adéquatement choisie et ajustée de façon à ce qu'au moins 60% en poids de l'acier soit, à température ambiante, dans une phase cubique à face centrée métastable ayant une énergie de faute d'empilement suffisamment faible pour qu'elle puisse se transformer, sous l'effet de la cavitation, en une phase hexagonale compacte ϵ et/ou en de la martensite α montrant un mûlage fin de déformation.



EP 0 171 336 A1

ACIER INOXYDABLE AUSTENITIQUE AU COBALT ULTRA-RESISTANT
A LA CAVITATION EROSIVE

La présente invention a pour objet un acier inoxydable austénitique au cobalt ayant une très grande résistance à la cavitation érosive de forte intensité le rendant tout particulièrement utile pour la fabrication ou la réparation de pièces de machines hydrauliques. L'invention a également pour objet les pièces de machines hydrauliques ainsi faites ou recouvertes dudit acier inoxydable au cobalt.

Le phénomène de cavitation que subissent notamment les machines hydrauliques telles que les turbines, pompes, hélices, vannes, ou échangeurs, est un inconvénient bien connu des spécialistes. Par phénomène de cavitation, on entend le phénomène par lequel une cavité ou une bulle de vapeur se forme dans un liquide lorsque la pression locale descend au-dessous de la pression de vapeur. Lorsque la pression remonte au-dessus de celle de la vapeur, la bulle gaz ou de vapeur implose soudainement. Cette implosion s'accompagne de phénomènes physiques puissants notamment d'un microjet qui suit la bulle et dont la vitesse peut atteindre les valeurs de plusieurs centaines de mètres par seconde.

Lorsqu'un tel microjet rencontre une paroi, son énergie cinétique est transformée en une onde de choc localisée capable de déformer la surface métallique la plus dure et ainsi produire une érosion mécanique importante. L'intensité des contraintes locales produite par ces impulsions peut s'étendre sur une très grande gamme dépendant des conditions de nature du liquide, de la température et de la présence de gaz étranger, du taux de variation de pression et de la vitesse du liquide. Ces chocs répétés érodent la surface métallique par propagation de fissures par fatigue (déformation élastique) ou par déformation plastique conduisant à un arrachement de particules de faibles dimensions.

L'observation des dommages sur plusieurs groupes

et pièces de machines hydrauliques de même que le résultat d'essais accélérés de cavitation érosive ultrasonique effectués par divers spécialistes, inclus le présent inventeur, ont montré que les pièces des machines hydrauliques, et plus particulièrement les pièces des turbines hydrauliques sont généralement sujettes à une gamme assez large d'intensités de cavitation, laquelle gamme peut être divisée en deux catégories impliquant des solutions différentes. L'une de ces catégories couvre les phénomènes de cavitation érosive de faible intensité. L'autre de ces catégories couvre les phénomènes de cavitation de forte intensité.

Les phénomènes de cavitation de faible intensité que subissent les machines hydrauliques et plus particulièrement les turbines hydrauliques, se produisent généralement sur de larges surfaces et affectent principalement les aciers au carbone, laissant les aciers inoxydables pratiquement inattaqués. Ce type de cavitation produit une érosion lente des aciers au carbone, laquelle érosion est accélérée par des phénomènes de corrosion et/ou de coupage galvanique qui se produisent avec les alliages nobles, tels que des aciers inoxydables.

Pour remédier à cette partie du problème, la meilleure solution consiste à utiliser des pièces entièrement faites en acier inoxydable. Une autre solution consiste à souder une ou plusieurs couches d'acier inoxydable sur toutes les surfaces des pièces en acier au carbone sujettes à des phénomènes de cavitation de faible intensité pour ainsi éviter l'effet synergétique d'érosion de cavitation et de corrosion galvanique.

De leur côté, les phénomènes de cavitation de forte intensité se produisent plutôt sur les pièces de machines hydrauliques ou les groupes opérant sous des pressions ou vitesses d'eau supérieures, uniquement sur des petites surfaces localisées, telles que, par exemple, la partie arrière des aubes des turbines. Ce type de cavitation produit une érosion rapide même sur des matériaux

de forte résistance tels que des aciers inoxydables austénitiques, avec des vitesses de perforation de l'ordre de 0,1 à 10 mm par an.

Pour contourner cette partie du problème, des matériaux ayant une forte résistance à la cavitation sont nécessaires. Des aciers durs tels que des alliages à base de cobalt de type STELLITE-1 et STELLITE-6 (marques de commerce), des bronzes d'aluminium ou des matériaux polymères à haute résistance tel que le NYLON 66 (marque de commerce), ont été essayés avec succès et sont utilisés pour certaines applications particulières. Il s'avère toutefois que ces applications particulières sont relativement limitées en pratique, essentiellement parce que la plupart des matériaux connus de forte résistance sont difficiles à usiner et à utiliser, en plus d'être relativement chers.

Il a été reconnu récemment que certains alliages peuvent montrer une très grande résistance à la cavitation sans pour autant être très durs. K.C. Anthony et al dans leur article "The effect of composition and microstructure on cavitation erosion resistance", 5th Int. Conf. of Erosion by Solid and Liquid Impact, article 67, Cambridge Angleterre, septembre 1979, ont, en particulier, démontré que, dans le cas des alliages à base de cobalt connus sous la marque STELLITE, la résistance à la cavitation érosive n'est pas modifiée si l'on abaisse la concentration de carbone de l'alliage de 1,3 à 0,3 % avec, comme résultat, une diminution de la dureté de 40 à 25 RC. Ce résultat surprenant a conduit à essayer des alliages mous à base de cobalt à faible teneur en carbone, tel que le Stellite 21, pour réparer des dommages causés par la cavitation dans des turbines hydrauliques. Ces essais ont montré que les alliages mous à base de cobalt sont beaucoup plus efficaces que les aciers inoxydables austénitiques 308 ou 301 lorsqu'ils sont soudés à la surface des pièces pour réparer les dommages causés par cavitation érosive de forte intensité. Plus particulièrement encore, les alliages testés se sont avérés être beaucoup plus faciles à meuler ce qui est très

important pour de telles séparations et, bien que de prix plus élevé, plus économiques à l'usage du fait qu'ils résistent plus de dix fois plus longtemps que les aciers inoxydables et ainsi réduisent substantiellement le nombre de réparations.

Le fait que les alliages mous notamment à base de cobalt puissent avoir une forte résistance de cavitation n'a pas encore été expliqué de façon satisfaisante. A l'origine, la tenue supérieure à l'érosion des alliages au cobalt du type STELLITE-6 a été attribuée à l'existence d'une transformation martensitique induite par déformation, laquelle transformation absorberait un pourcentage important de l'énergie incidente de cavitation. Toutefois, des essais ultérieurs ont démontré que la contribution de cette transformation martensitique à la résistance à l'érosion des alliages est, si elle existe, mineure (voir, par exemple, D.A. Woodford, "Cavitation-Erosion-induced Phase Transformation in Alloys", Met. Trans. Vol. 3, page 1137, mai 1972 ; et S. Vaidya et al, "The role of Twinning in the Cavitation Erosion of Cobalt Single Crystals", Met. Trans. A., Vol. 11 A, page 1139, juillet 1980). En fait, ces essais ont plutôt démontré que toute amélioration dans la tenue d'un alliage à l'érosion est associée à une diminution de l'énergie de faute d'empilement (E.F.E.) des cristaux de l'alliage. Il a donc été suggéré que le mode de glissement plan que l'on trouve dans les matériaux à faible E.F.E. retarde le développement des contraintes localisées nécessaires à l'amorce de fissures, avec, de là, une amélioration de la résistance de l'alliage à la fatigue.

S. Vaidya et al ont également suggéré dans leur article ci-dessus mentionné que la présence d'un mâclage fin est responsable de l'excellente résistance à l'érosion du cobalt sous forme hexagonale compacte (H.C. en abrégé, ou encore phase ζ), ladite forme H.C. étant une forme stable à basse température du cobalt provenant d'une transformation allotropique se produisant à 420°C pour le cobalt pur à l'origine sous une forme cubique à face centrée (for-

me C.F.C. en abrégé, ou encore phase γ).

La présente invention est directement liée à la découverte du fait que des aciers inoxydables au cobalt à faible dureté contenant aussi peu que 8 % en poids de cobalt possèdent une résistance à la cavitation érosive aussi bonne que celle, excellente, que possèdent les alliages contenant jusqu'à 65 % de cobalt, à condition qu'au moins 60 % en poids desdits aciers inoxydables à faible teneur en cobalt soit, à température ambiante, dans une phase cubique à face centrée métastable γ ayant une énergie de faute d'empilement suffisamment faible pour qu'elle puisse se transformer sous l'effet de la cavitation en une phase hexagonale compacte ϵ et/ou en de la martensite α montrant un mâclage fin de déformation.

Plus particulièrement, l'invention est liée à la découverte du fait que les alliages mous Fe-Cr-Co-C qui possèdent un mâclage fin induit par la cavitation, lequel mâclage est spécifique aux cristaux à faible énergie de faute d'empilement (E.F.E.), possèdent également une résistance efficace à la cavitation au moyen des divers mécanismes suivants :

- écrouissage et accommodation de contraintes élevées, retardant l'initiation de fissures de fatigues ;
- extension du mâclage plan à toute la surface de l'alliage conservant ce dernier lisse durant toute une période d'incubation, et ;
- absorption continue de l'énergie de cavitation incidente par la production d'une grande densité de dislocation et de particules érodées fines conduisant ainsi à de faibles taux d'érosion.

Sur la base de cette découverte, la présente invention a pour premier objet un acier inoxydable austénitique au cobalt possédant une forte résistance à la cavitation érosive, du type comprenant :

- de 8 à 30 % en poids de Co,
- de 13 à 30 % en poids de Cr,
- de 0,03 à 0,3 % en poids de C,

jusqu'à 0,3 % en poids de N,
jusqu'à 1,0 % en poids de Si,
jusqu'à 1,0 % en poids de Ni,
jusqu'à 2 % en poids de Mo, et,
jusqu'à 9 % en poids de Mn,

5

le pourcentage restant étant essentiellement constitué de Fe, ledit acier étant caractérisé en ce que sa teneur en éléments connus comme ferritisants (Cr, Mo, Si), en éléments connus comme austénitisants (C, N, Co, Ni, Mn) et, parmi ces éléments ferritisants et austénitisants, en éléments connus pour augmenter ou abaisser l'énergie de faute d'empilement, est adéquatement choisie et ajustée de façon à ce qu'au moins 60 % en poids de l'acier soit, à la température ambiante, dans une phase cubique à face centrée métastable γ ayant une énergie de faute d'empilement suffisamment faible pour qu'elle puisse se transformer sous l'effet de la cavitation en une phase hexagonale compacte ϵ ou en de la martensite α montrant un mélange fin de déformation.

10

15

20

Comme on peut le constater à la lecture de la composition ci-dessus, l'acier inoxydable au Co selon l'invention a une faible teneur en carbone (inférieure à 0,3 %). Le fait que cet acier ait également une excellente résistance à la cavitation malgré cette faible teneur en carbone est compatible avec le résultat ci-dessus mentionné des observations faites par K.C. Anthony et Al, à savoir l'observation du fait que la forte résistance à la cavitation des alliages de type STELLITE-6 est conservée même si la teneur en carbone de ces alliages est diminuée de 1,3 à 0,25 %.

25

30

Tel que précédemment indiqué, au moins 60 % en poids de l'acier inoxydable au cobalt selon l'invention doit être, à température ambiante, dans une phase cubique à face centrée qui soit à la fois métastable et ait la plus faible énergie possible de faute d'empilement. La métastabilité de la phase austénitique cubique à face centrée γ est un élément essentiel de l'invention, puis-

35

qu'il est absolument nécessaire que l'acier soit capable, sous l'effet de la cavitation, d'être transformé en phase hexagonale compacte ϵ et/ou en martensite α . Pour obtenir la métastabilité nécessaire de la phase γ , la teneur de l'acier en éléments respectivement connus ferritisants (Cr, Mo, Si) et austénitisants (C, N, Co, Ni, Mn) doit être adéquatement choisie et ajustée de façon à tout juste stabiliser l'austénite (c'est-à-dire la phase γ) notamment dans le cas d'un refroidissement rapide de l'acier, pour promouvoir une transformation induite par cavitation de cette phase γ en phase ϵ et/ou martensite.

Tel qu'indiqué également ci-dessus, l'acier inoxydable selon l'invention doit montrer un mâclage fin induit par la cavitation, lequel mâclage est spécifique aux cristaux à faible énergie de faute d'empilement. Pour obtenir cette faible énergie de faute d'empilement, il est nécessaire de tenir compte de la capacité de chaque élément à abaisser ou augmenter l'énergie de faute d'empilement, et d'ajuster la teneur respective des divers éléments choisis pour constituer l'acier de façon à ce que l'énergie de faute d'empilement de l'ensemble des éléments combinés soit suffisamment faible pour qu'on ait un mâclage fin de déformation lorsque l'acier est sujet à la cavitation. Parmi les éléments connus pour augmenter l'énergie de faute d'empilement, on peut citer Ni et C. Parmi ceux connus pour abaisser l'E.F.E., on peut citer Co, Si, Mn et N. Bien sûr, ces derniers éléments devront être choisis en priorité pour obtenir le résultat voulu, à savoir une faible E.F.E. Parmi des éléments connus pour abaisser l'E.F.E., le Cobalt est sans doute un des plus intéressants dans la mesure où il a l'avantage, en plus d'abaisser l'E.F.E., de conserver la métastabilité de la phase austénitique de l'acier sur une grande gamme de concentration.

L'exigence pour l'acier selon l'invention de montrer un mâclage fin induit par la cavitation est compatible avec le résultat des observations faites par S. Vaidya et al (voir ci-dessus) qui ont attribué la forte résis-

tance de la cavitation des alliages à forte teneur en cobalt à la faible énergie de faute d'empilement de ces alliages et à leur mâclage plan de déformation. Il est à noter cependant qu'il est tout à fait surprenant au vu de l'état de la technique que l'acier inoxydable selon l'invention qui contient moins de 30 % en poids de cobalt et jusqu'à 70 % en poids de fer puisse ainsi posséder une énergie de faute d'empilement aussi faible que celle des alliages à forte teneur en cobalt, et un mâclage à fin de déformation sensiblement identique (voir notamment l'article de D.A. Woodford et al, "A deformation Induced Phase Transformation Involving a Four-Layer Stacking Sequence in Co-Fe Alloy", Met. Trans., vol. 2, page 3223, 1971 où il est indiqué que dans les alliages Fe-Co, seulement 15 % en poids de fer est suffisant pour faire complètement disparaître la transformation induite par cavitation de la phase χ en phase ξ). Une explication possible à ce phénomène particulier est que, dans l'acier inoxydable selon l'invention, le chrome a une très forte interaction avec le cobalt et le fer pour promouvoir la formation de cristaux à faible énergie de faute d'empilement.

La couche de surface des alliages Fe-Cr-Co-C selon l'invention montre, après exposition à la cavitation, un réseau très fin de mâclage dans la phase hexagonale compacte (phase ξ) ou la martensite α . La présence de ce mâclage fin et continu obtenu sous exposition à la cavitation explique la forte résistance à la cavitation de l'alliage, qui, de par son mâclage, possède un moyen efficace d'absorber l'énergie des chocs de cavitation par déformation de sa structure cristalline. Ce mâclage fin est également un excellent moyen d'accomoder les contraintes élevées et ainsi retarder la création et la propagation de fissures de fatigue. L'écrouissage localisé associé à ce mâclage fin assure une extension du mâclage à toute la surface exposée au début de l'exposition à la cavitation (période d'incubation). Ceci explique pourquoi la surface exposée demeure aussi plate et lisse durant la période d'incubation, si on

la compare à la surface de fort relief que l'on obtient avec des matériaux plus déformables. Des surfaces plus lisses sont, en effet, moins sujettes à attaque par les microjets tangentiels localisés qui se produisent lors de chaque implosion due à la cavitation. Ainsi, pendant la période d'incubation, le seul relief de surface que subissent les aciers inoxydables au cobalt selon l'invention est le mâclage fin de déformation ci-dessus mentionné. Ce mâclage fin conduit à de très faibles taux d'érosion compte-tenu du fait que les particules érodées à la jonction des mailles sont très fines. La quantité importante de surfaces nouvellement créées pour une quantité donnée de métal perdue par érosion est un autre moyen efficace d'absorber l'énergie de cavitation incidente.

Selon un mode préféré de réalisation, l'acier inoxydable austénitique au cobalt selon l'invention comprend avantageusement :

de 10 à 30 % en poids de Co
de 13 à 28 % en poids de Cr
de 0,25 à 0,3 % en poids de C, et
jusqu'à 2 % en poids de Mo,
le pourcentage restant étant essentiellement constitué de Fe.

Bien entendu, la teneur en chacun des éléments ci-dessus mentionnés est adéquatement choisie et ajustée tel qu'expliqué ci-dessus.

Un acier inoxydable tout particulièrement intéressant couvert par ce mode préféré de réalisation est celui comprenant 10 % en poids de Co, 18 % en poids de Cr, et 0,3 % en poids de C, le pourcentage restant étant essentiellement constitué de Fe. Il s'avère en effet que cet acier particulier est non seulement très efficace, mais un des moins chers. On peut en particulier noter que la composition de cet acier est sensiblement équivalente à la composition des aciers inoxydables de la série standard 300, la seule différence résidant dans l'absence de nickel (connu pour augmenter l'énergie de faute d'empilement

E.F.E.) remplacé par une quantité accrue de Co (connu pour abaisser l'E.F.E).

Selon un autre mode préféré de réalisation, l'acier inoxydable austénitique au cobalt selon l'invention comprend avantageusement :

5 de 8 à 30 % en poids de Co
de 13 à 30 % en poids de Cr
de 0,03 à 0,3 % en poids de C
de 3 à 9 % en poids de Mn
10 jusqu'à 0,3 % en poids de N
jusqu'à 3,0 % en poids de Si
jusqu'à 1,0 % en poids de Ni, et
jusqu'à 2 % en poids de Mo,
le pourcentage restant étant essentiellement cons-
15 de Fe.

Tel que précédemment indiqué, l'acier inoxydable au Co selon l'invention est mou. Cet acier est moins cher que les alliages conventionnels à forte teneur en Co tels que le STELLITE 6 ou le STELLITE 21, tout en ayant sensiblement la même résistance à la cavitation. Il en résulte que l'acier inoxydable selon l'invention offre une alternative économique aux alliages de type STELLITE 21 utilisés
20 actuellement pour protéger les machines hydrauliques contre les effets de cavitation érosive. Des fils ou électrodes
25 de soudure faits à partir de l'acier selon l'invention peuvent être utilisés pour réparer des dommages dus à la cavitation. Des pièces de machines hydrauliques ou des groupes entiers peuvent également être coulés ou complètement recouverts de cet acier qui est moins cher que le
30 Stellite et est capable d'être laminé à chaud et à froid pour le développement de la fabrication d'éléments de machines hydrauliques à forte résistance à la cavitation.

A la lumière de ce qui précède, l'invention a pour autre objet toute pièce en acier inoxydable pour la
35 fabrication ou la réparation de machines hydrauliques, lorsque ladite pièce est faite ou recouverte d'un acier inoxydable au Co à forte résistance à la cavitation selon

l'invention.

Les pièces en acier inoxydable selon l'invention ont une résistance à la cavitation au moins égale aux pièces faites d'alliages plus durs du type STELLITE-1 ou -6. Les aciers inoxydables selon l'invention étant mous, ils sont beaucoup plus faciles à meuler. En fait, les pièces selon l'invention ont tous les avantages des pièces faites à partir d'alliages mous à forte teneur en Co, du type STELLITE-21, mais à moindre coût.

D'autres avantages et caractéristiques de la présente invention ressortiront mieux à la lecture de la description qui va suivre d'essais effectués par l'inventeur, en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 est une courbe comparative des pertes en poids dues à la cavitation en fonction du temps pour divers types d'aciers et d'alliages au Co ;

- la figure 2 est un diagramme donnant le taux d'érosion moyen de divers alliages au Co, inclus ceux selon l'invention, à partir d'essais de cavitation ultrasonique ;

- les figures 3 à 14 montrent des spectres de diffraction aux rayons X montrant la transformation de phase induite par cavitation érosive que subissent divers alliages au Co ;

- la figure 15 est un diagramme de comparaison montrant le taux d'érosion par cavitation, la transformation de phase induite et l'écrouissage de divers alliages au Co, et

- la figure 16 donne deux courbes comparatives de la micro-dureté de surface en fonction du temps de cavitation et de la micro-dureté en fonction de la profondeur d'échantillons d'aciers et d'alliages au Co sujets à l'érosion.

PROCEDURES EXPERIMENTALES

Les résultats expérimentaux ainsi que les données ci-après rapportées ont été obtenus comme suit :

a) Résistance à la cavitation érosive de forte intensité :

La résistance des aciers et alliages testés à la

cavitation érosive a été mesurée par essai de cavitation ultrasonique selon la norme ASTM-G32. Les pertes en poids d'échantillons cylindriques de 16 mm vibrant à 20 kHz sous une double amplitude de 50 μ m dans de l'eau distillée à 5 22°C furent mesurées chaque demi-heure pendant six heures au moyen d'une balance électrique précise au dixième de milligramme. Les matériaux testés sont listés dans le tableau I suivant, où l'on trouve également leur composition nominale, leur procédé de fabrication, leur dureté 10 et leur structure cristallographique originale.

TABLEAU 1

Composition et performance des aciers ou alliages testés

IDENTIFICATION	COMPOSITION (% en poids)						PHASES %	Dureté (Rockwell)	Taux d'érosion par cavi- tation (mm/an)	
	Co	Cr	Fe	C	Autres					
1020 acier (1)	-	-	99	,2	Ni	Mo	-	75α - 25 perlite	89 RB	280
308 acier (2)	-	18	72	,04	9	-	-	99γ - 1α	89 RB	115
301 acier (2)	-	17	75	,1	7	-	-	77γ - 23α	94 RB	41
STELLITE 21 (2)	60	25	11	,25	-	4	-	99γ - 1ε	30 RC	3,2
STELLITE 21 (3)	39	23	35	,2	-	3	-	99γ - 1ε	24 RC	9,3
Co # 1 (4)	30	25	40	,25	-	2	-	100γ	94 RB	1,8
Co # 2 (4)	30	13	55	,25	-	2	-	100γ	25 RC	7,2
Co # 3 (4)	20	28	51	,3	-	1	-	97γ - 3ε	23 RC	2,2
Co # 4 (4)	20	18	61	,3	-	1	-	88γ - 12ε	22 RC	4,5
Co # 5 (4)	10	28	62	,3	-	,5	-	16γ - 84α	21 RC	98
Co # 6 (4)	10	18	72	,3	-	-	-	93γ - 6α	28 RC	3,6
Co # 7 (4)	20	23	50	,15	6	-	-	100γ	85 RB	10,2
Co # 8 (4)	15	28	56	,3				99γ	27 RC	4,0
Co # 9 (4)	15	18	66	,3				95γ	24 RC	3,7
Co #10 (4)	20	13	66	,3				60γ - 40α	32 RC	6,7
Co #11 (4)	8	18	74	,3				2γ - 98α	37 RC	63
Co #12 (4)	5	18	77	,3				100α	30 RC	99
Co #13 (4)	15	13	72	,3				100α	42 RC	42
Co #14 (4)	10	13	77	,3				100α	44 RC	37
Co #15 (4)	5	13	82	,3				100α	43 RC	38
Co #16 (4)	12	19	70	,2	Si	Mn	N	50γ - 50α	38 RC	15
Co #17 (4)	12	19	69	,2	1	-	-	85γ - 15α	28 RC	12
Co #18 (4)	12	19	68	,2	1	1	-	92γ - 8α	24 RC	14
Co #19 (4)	12	19	68	,2	1	1	,2	99γ - 1α	20 RC	6,6
Co #20 (4)	12	19	68	,1	1	1	,2	98γ - 2α	20 RC	(poreux)
Co #21 (4)	12	19	66	,2	-	3	,05	99γ - 1α	21 RC	4,8
Co #22 (4)	12	19	60	,2	-	9	,05	100γ	95 RB	8,1
Co #23 (4)	8	13	57	,1	3	9	,05	100γ	26 RC	2,4
Co #24 (4)	12	13	66	,2	-	9	,05	100γ	21 RC	4,2
Co #25 (4)	12	19	66	,2	3	-	,1	100γ	21 RC	14,2

(1) : laminé à chaud

(2) : deux couches protectrices soudées

(3) : une couche protectrice soudée

(4) : aciers expérimentaux fondus dans un four à arc de laboratoire sur une plaque de cuivre refroidi.

Les alliages au Co expérimentaux Co # 1 à Co # 25 énumérés dans le tableau précédent furent préparés en faisant fondre sur une plaque de cuivre refroidie à l'eau dans un petit four à arc de laboratoire, un mélange approprié de plusieurs des constituants suivants : acier au carbone, acier inoxydable 304, STELLITE-21, ferrochrome, cobalt électrolytique, ferromanganèse et ferrosilicium. Il est à noter que les compositions de ces alliages expérimentaux, à l'exception des alliages Co # 7, 12 et 15 qui furent testés pour fin de référence, tombent tous dans la fourchette de composition de l'acier inoxydable au cobalt selon l'invention.

b) Autres mesures

Des observations métallographiques, des mesures de microdureté et des spectres de diffraction aux rayons X ont été effectués après diverses périodes d'exposition à la cavitation.

Les observations métallographiques ont été effectuées par la prise de micrographies optiques et à balayage électronique sur les surfaces érodées des échantillons après diverses périodes d'exposition à la cavitation. Les surfaces des échantillons en question étaient à l'origine polies électrochimiquement et nettoyées à l'acide.

Les mesures de microdureté ont été effectuées par application d'un diamant pyramidal sur la surface érodée des échantillons après diverses périodes d'exposition à la cavitation, jusqu'à ce que cette surface soit trop bosselée pour permettre des mesures.

Pour obtenir les spectres de diffraction aux rayons X, la longueur d'onde la plus longue CuK_{α} a été choisie de façon à ce que la diffraction ne se fasse que sur une mince couche de surface (de l'ordre de $10\mu m$). Le temps d'exposition à la cavitation fut choisi vers la fin de la période d'incubation de façon à ce que l'érosion de surface ait tout juste commencé.

ESSAIS DE CAVITATION EROSIVE

Le tableau 1 ainsi que les figures 1 et 2 fournissent

les résultats des essais de cavitation érosive effectués par l'Inventeur. Ces résultats démontrent clairement que l'acier inoxydable 308 a une résistance à la cavitation deux fois supérieure à celle de l'acier au carbone 1020 et que tous les alliages expérimentaux Co-Cr-Fe à l'exception des alliages Co # 5, 7 et 11 à 15 ont une bien meilleure résistance à la cavitation (de l'ordre de 10 à 50 fois supérieure) que l'acier inoxydable 308 bien qu'ils n'aient une dureté que très légèrement supérieure.

10 DIFFRACTION AUX RAYONS X

Le résultat des essais de diffraction aux rayons X effectués par l'Inventeur est illustré sur les figures 3 à 15 et résumé sur le tableau 2 ci-après.

TABLEAU 2

Transformation de phase induite par érosion de cavitation

		α (ferrite ou martensite) (CC)	γ (austenite) (CFC)	ϵ (HC)
		I(110) / I_T (%) , d(110)	I(220) + I(III) I_T (%) , d(200)	I(011) + I(002) I_T (%) , d(011)
1020	0	100 , 2.026	0 , -	0 , -
	1h	100 , 2.029	0 , -	0 , -
308	0	1 , 2.026	99 , 1.796	0 , -
	2h	17 , 2.030	83 , 1.796	0 , -
301	0	23 , 2.026	77 , 1.794	0 , -
	2h	100 , 2.023	0 , -	0 , -
Co #3	0	0 ,	97 , 1.796	3 , 1.941
	20 Co-28 Cr, 4h	30 , 2.030	7 , 1.799	63 , 1.939
Co #4	0	0 ,	88 , 1.800	12 , 1.937
	20 Co-18 Cr, 4h	83 , 2.036	14 , 1.807	3 , 1.941
Co #5	0	84 , 2.033	16 , 1.797	0 , -
	10 Co-28 Cr, 2h	95 , 2.020	5 , 1.797	< 1 , -
Co #6	0	6 , 2.034	93 , 1.799	1 , -
	10 Co-18 Cr, 4h	97 , 2.039	2 , -	1 , -
Stellite 21,	0	0 ,	99 , 1.796	1 , 1.941
	60 Co-28 Cr, 4h	0 ,	24 , 1.799	76 , 1.939

↑ temps d'exposition à la cavitation.

Le tableau ci-avant montre que l'échantillon d'acier au carbone 1020 est le seul matériau qui n'a montré aucune transformation de phase induite par déformation après exposition à la cavitation. Tel que prévu, une faible portion
5 seulement de la surface érodée de l'échantillon en acier inoxydable austénitique 308 a été transformée en martensite. Il est intéressant de noter que sur cet acier, l'exposition à la cavitation a modifié la texture de la surface en érodant les grains de surface orientés (200), les grains
10 orientés (111) montrant une résistance supérieure.

L'acier inoxydable 301 qui était partiellement martensitique lorsque soudé, a eu sa surface complètement transformée en martensite sous l'effet de la cavitation. L'alliage Co # 5 (10 % de cobalt) qui était essentiellement
15 ferritique lorsque fondu avec un petit pourcentage d'austénite, a été presque complètement transformé en martensite sous l'exposition à la cavitation. L'alliage Co # 3 (20 % de cobalt) qui était austénitique lorsque fondu, a été transformé superficiellement en phase hexagonale
20 compacte ϵ , avec un petit pourcentage de martensite, alors que la surface de l'échantillon en STELLITE 21 a été transformée de façon moins importante en phase ϵ seulement. De façon tout à fait surprenante, l'alliage Co # 6 (10 % cobalt, 18 % chrome) a montré une excellente résistance à
25 la cavitation avec une transformation induite en martensite δ plutôt qu'en phase ϵ . A l'opposé, les alliages Co # 11 à 15 qui étaient martensitiques à l'état tel que coulé (voir tableau 1), n'ont pas montré la meilleure résistance à la cavitation.

30 Au vu des résultats ci-dessus, on peut constater que le degré de transformation induite par la cavitation suit l'ordre croissant suivant : 1020 (environ 0 %), Co # 5 (environ 10 %), 308 (environ 15 %), 301 (environ 75 %) STELLITE 21 (environ 75 %), Co # 3 (environ 90 %), Co # 6
35 (environ 90 %).

Tel qu'illustré sur la figure 15, le durcissement induit par cavitation suit sensiblement le même ordre

MICRODURETE

Les résultats des mesures de microdureté effectuées par l'inventeur sont présentés sur la figure 16.

La figure 16a montre qu'il y a une importante augmentation de la dureté de la surface des alliages les plus résistants au cours de la période d'incubation. Aucun durcissement de déformation n'a été mesuré sur la ferrite molle de l'échantillon en acier au carbone. L'alliage expérimental Co # 3 qui, lorsque fondu, est plus mou que le STELLITE 21, a montré le plus fort durcissement, avec une dureté finale supérieure à celle du STELLITE 21. Cette dureté a augmenté très rapidement au début de la période d'incubation.

La mesure de microdureté en profondeur telle que rapportée sur la figure 16 démontre que le durcissement par déformation dû à la cavitation est limité à une couche de surface très mince (inférieure à 50 μm), ce qui rend ce genre de mesure très difficile.

20 MICROGRAPHIES

Diverses micrographies ont été prises de la surface de certains échantillons après exposition à la cavitation. Sur la surface de l'échantillon en acier carbone 1020, des traces de chocs d'implosion de cavitation conduisant à une surface bossueuse plus rugueuse, ont été observées par éclairage de Nomarski. La densité des trous et des bosses a augmenté rapidement avec la durée d'exposition à la cavitation pour atteindre plus que 2000/ mm^2 en seulement 30 secondes. La ferrite s'est avérée beaucoup plus déformée que la perlite, les particules de ferrite étant cassées et arrachées des noyaux de perlite plus durs en seulement 30 minutes.

A peu près la même rugosité a été observée sur l'échantillon en acier inoxydable austénitique 308, si ce n'est que la cassure et l'arrachement des particules se produisent plus tard et de façon plus homogène sur cet échantillon de phase unique. Très peu de lignes marten-

sitites elles-mêmes très pâles ont pu être observées sur la surface déformée. Sur l'échantillon en acier inoxydable 301, les aiguilles de martensite brute présentes dans l'échantillon tel que soudé se trouvèrent amincies et
5 multipliées par les chocs de cavitation. La rugosité fut moins prononcée et de beaucoup plus petites fissures furent observées après 30 minutes. Sur deux des alliages au cobalt essayés, à savoir le STELLITE 21 (65 % de cobalt) et l'alliage Co # 3 (environ 25 % de cobalt) des résultats
10 tout à fait différents furent observés. Les trous causés par les chocs se sont avérés plus petits, et n'ont pas conduit à une rugosité prononcée de la surface. De nombreuses lignes de mâclage, qui ont déjà été identifiées comme telles dans la littérature dans le cas du cobalt pur, sont appa-
15 rues très rapidement, après seulement quelques secondes d'exposition à la cavitation. Au fur et à mesure que le temps de cavitation augmentait, la densité des lignes de mâclage et le mâclage de déformation ont augmenté, pour conduire à un réseau très dense de mâcles jointives très
20 fines après une ou deux heures. A ce moment, l'érosion a commencé, avec arrachement de petites particules carrées produites par fissuration de l'interface à la jointure des grains ou des mâcles. Dans l'alliage expérimental Co # 3, la surface de mâclage était séparée par de petites régions
25 interdenditriques faites en martensite, qui semblaient être très fines et posséder une résistance à la cavitation aussi bonne que les zones de mâclage parallèle les plus fines. Comme dans le cas du cobalt pur, l'orientation des grains qui favorisent le mâclage parallèle le plus fin
30 dans le plan hexagonal compact dense (0001) a montré la plus forte résistance à la cavitation. Ce même mâclage fin a également été observé dans la martensite pure de l'alliage transformé Co # 6.

L'observation de micrographies prises sur des coupes
35 faites dans les échantillons a également montré une zone de fissuration et de déformations plus grande (environ 30 μm) pour l'acier au carbone 1020. Cette zone était beau-

coup plus petite dans le cas des aciers inoxydables (quelques microns). Pour les échantillons en alliages au cobalt, la couche de surface sujette à cavitation a semblé très mince (inférieure à $1 \mu\text{m}$). Aucun mâclage induit par cavitation n'a pu être observé sur ces coupes. Il est intéressant de noter comment les zones observées juste en dessous de la surface ont semblé non affectées par les chocs de cavitation, comme si le mâclage de surface était un moyen extrêmement efficace d'absorber les chocs de cavitation pour protéger l'échantillon. De façon générale, plus la résistance à la cavitation d'un échantillon s'est avérée grande, plus sa surface s'est avérée demeurer lisse sous exposition à la cavitation.

Les essais, mesures et observations ci-dessus rapportés montrent clairement que tous les alliages expérimentaux selon l'invention, à l'exception de l'alliage Co # 5, 7 et 11 à 15, ont une résistance à la cavitation sensiblement identique à celle excellente des alliages à forte teneur en cobalt, tel que le STELLITE 21.

Les données ci-dessus, notamment le résultat des essais de diffraction aux rayons X, montrent également que l'excellente résistance à la cavitation des alliages au cobalt selon l'invention peut être attribuée au réseau fin de mâclage par déformation accompagnant la transformation en phase hexagonale compacte ξ ou en martensite α , ce mâclage induit par cavitation étant spécifique aux cristaux à faible énergie de faute d'empilement.

Le fait qu'aucun mâclage fin et qu'une faible résistance à la cavitation ont été observés sur les alliages expérimentaux Co # 5 et 11 à 15 qui étaient principalement soit ferritiques, soit martensitiques avant d'être sujets à exposition à la cavitation, semble indiquer que la transformation induite par cavitation de la phase C.F.C. γ en une phase H.C. ξ et/ou en de la martensite α montrant un mâclage fin de déformation, est essentiel pour obtenir une forte résistance à la cavitation. Cette exigence à son

tour implique que l'acier inoxydable selon l'invention soit dans une phase austénitique métastable à température ambiante.

Si la stabilité de la phase austénitique de l'acier
5 est trop bonne, la transformation de phase sous exposition à la cavitation sera faible. Ainsi, par exemple, l'alliage Co # 3 (20 % de cobalt) présente une transformation de phase induite par cavitation ainsi qu'un écrouissage plus prononcé que le STELLITE 21 (65 % de cobalt) qui est connu
10 comme étant très stable. Cet alliage Co # 3 s'avère également posséder une résistance sur la cavitation supérieure, même si cet alliage a une dureté initiale inférieure (23 RC par rapport à 30 RC pour le STELLITE 21). A ce sujet, on peut noter que la composition que doivent avoir les aciers
15 inoxydables pour offrir la meilleure résistance possible à la cavitation peut inclure divers durcisseurs tels que du molybdène, pour maintenir le même degré de transformation de phase.

Il est donc clair que, tout comme dans le cas de
20 l'acier inoxydable 301, la teneur de l'acier inoxydable au cobalt selon l'invention en éléments connus comme ferritisants (Cr, Mo, Si) et austénitisants (C, N, Co, Ni, Mn) doit être adéquatement choisie et ajustée de façon à à peine stabiliser l'austénite particulièrement dans le cas d'un
25 refroidissement rapide, pour ainsi promouvoir une transformation induite par la cavitation de la phase α en phase ξ ou en martensite, la forte résistance à la cavitation des aciers selon l'invention résultant principalement de leur composition où les éléments connus pour augmenter
30 l'énergie de faute d'empilement, à savoir le carbone et le nickel, sont remplacés autant que possible par des éléments connus pour abaisser cette énergie de faute d'empilement tels que Co, Si, Mn et N et ainsi conduire à un mâclage de déformation plus fin.

35 Les aciers inoxydables au cobalt selon l'invention peuvent avantageusement être utilisés pour la fabrication et

la réparation de pièces ou de groupes de machines hydrauliques, tels que des turbines, des pompes, des robinets, etc. Ils peuvent être utilisés soit comme recouvrements soudés sur de l'acier au carbone, soit comme matériaux de base, coulés ou sous forme de tôle, pour la fabrication de machines toutes faites en acier inoxydable. Ces aciers peuvent en outre être laminés à chaud ou à froid et être développés en fils ou électrodes de soudage pour remplacer le STELLITE 21 beaucoup plus cher utilisé pour réparer les dommages de cavitation des turbines hydrauliques.

On doit noter qu'aucun traitement thermique ou mécanique spécial n'est requis, dans l'état tel que coulé ou soudé, pour obtenir la meilleure résistance à la cavitation de ces aciers inoxydables austénitiques au cobalt. S'ils doivent être déformés à froid, pour des besoins de mise en forme de fil ou de tôle par exemple, on doit alors leur faire subir un traitement thermique de recuit à haute température, comme pour les aciers inoxydables austénitiques standards. Leur meilleure formabilité que les alliages à base de cobalt est un autre avantage économique surtout pour la fabrication en fil de soudage.

- REVENDECATIONS -

1- Acier inoxydable austénitique au cobalt ultra-résistant à la cavitation érosive, du type comprenant :

5 de 8 à 30 % en poids de Co
de 13 à 30 % en poids de Cr
de 0,03 à 0,3 % en poids de C
jusqu'à 0,3 % en poids de N
jusqu'à 3,0 % en poids de Si
jusqu'à 1,0 % en poids de Ni
10 jusqu'à 2 % en poids de Mo, et
jusqu'à 9,0 % en poids de Mn,
le pourcentage restant étant essentiellement
constitué de Fe,
caractérisé en ce que la teneur de l'acier en éléments
15 connus comme ferritisants (Cr, Mo, Si), en éléments connus
comme austénitisants (C, N, Co, Ni, Mn) et, parmi ces éléments
ferritisants et austénitisants, en éléments connus
pour augmenter ou abaisser l'énergie de faute d'empilement,
est adéquatement choisie et ajustée de façon à ce qu'au
20 moins 60 % en poids de l'acier soit, à température ambiante,
dans une phase cubique à face centrée métastable ayant une
énergie de faute d'empilement suffisamment faible pour
qu'elle puisse se transformer sous l'effet de la cavitation,
en une phase hexagonale compacte et/ou en de la martensite,
25 & montrant un mâclage fin de déformation.

2- Acier inoxydable austénitique au cobalt ultra-résistant à la cavitation érosive, du type comprenant :

30 de 10 à 30 % en poids de Co
de 13 à 28 % en poids de Cr
de 0,25 à 0,3 % en poids de C, et
jusqu'à 2 % en poids de Mo
le pourcentage restant étant essentiellement
constitué de Fe,
caractérisé en ce que la teneur de l'acier en éléments
35 connus comme ferritisants (Cr et Mo), en éléments connus
comme austénitisants (C et CO) et, parmi ces éléments
ferritisants et austénitisants, en éléments connus pour

augmenter ou abaisser l'énergie de faute d'empilement, est adéquatement choisie et ajustée de façon à ce qu'au moins 60 % en poids de l'acier soit, à température ambiante, dans une phase cubique à face centrée métastable ayant une énergie de faute d'empilement suffisamment faible pour qu'elle puisse se transformer sous l'effet de la cavitation en une phase hexagonale compacte ξ et/ou en de la martensite α montrant un mâclage fin de déformation.

10 3- Acier inoxydable au cobalt selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend :

environ 10 % en poids de Co

environ 18 % en poids de Cr, et

environ 0,3 % en poids de C,

15 le pourcentage restant étant essentiellement constitué de Fe.

4- Acier inoxydable au cobalt selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend :

environ 15 % en poids de Co

20 environ 28 % en poids de Cr, et,

environ 0,3 % en poids de C

le pourcentage restant étant essentiellement constitué de Fe.

25 5- Acier inoxydable au cobalt selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend :

environ 15 % en poids de Co

environ 18 % en poids de Cr, et,

environ 0,3 % en poids de C

30 le pourcentage restant étant essentiellement constitué de Fe.

6- Acier inoxydable au cobalt selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend :

environ 20 % en poids de Co,

environ 13 % en poids de Cr, et

35 environ 0,3 % en poids de C

le pourcentage restant étant essentiellement constitué de Fe.

- 7- Acier inoxydable au cobalt selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend :
- 5 environ 20 % en poids de Co
environ 28 % en poids de Cr
environ 0,3 % en poids de C, et,
environ 1 % en poids de Mo
le pourcentage restant étant essentiellement constitué de Fe.
- 8- Acier inoxydable au cobalt selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend :
- 10 environ 20 % en poids de Co
environ 18 % en poids de Cr
environ 0,3 % en poids de C, et
environ 1 % en poids de Mo
15 le pourcentage restant étant essentiellement constitué de Fe.
- 9- Acier inoxydable au cobalt selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend :
- 20 environ 30 % en poids de Co
environ 25 % en poids de Cr
environ 0,25 % en poids de C, et
environ 2 % en poids de Mo,
le pourcentage restant étant essentiellement constitué de Fe.
- 25 10- Acier inoxydable au cobalt selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend :
- 30 environ 30 % en poids de Co
environ 20 % en poids de Cr
environ 0,25 % en poids de C, et
environ 2 % en poids de Mo,
le pourcentage restant étant essentiellement constitué de Fe.
- 35 11- Acier inoxydable austénitique au cobalt ultra résistant à la cavitation érosive, du type comprenant :
- de 8 à 30 % en poids de Co
de 13 à 30 % en poids de Cr

de 0,03 % à 0,3 % en poids de C
de 3 à 9 % en poids de Mn
jusqu'à 0,3 % en poids de N
jusqu'à 3,0 % en poids de Si
5 jusqu'à 1,0 % en poids de Ni, et
jusqu'à 2 % en poids de Mo
le pourcentage restant étant essentiellement
constitué de Fe,
caractérisé en ce que la teneur de l'acier en éléments
10 connus comme ferritisants (Cr, Mo, Si), en éléments connus
comme austénitisants (C, N, Co, Ni, Mn), et, parmi ces
éléments ferritisants et austénitisants, en éléments con-
nus pour augmenter ou abaisser l'énergie de faute d'empile-
ment, est adéquatement choisie et ajustée de façon à ce
15 qu'au moins 60 % en poids de l'acier soit, à température
ambiante, dans une phase cubique à face centrée métasta-
ble ayant une énergie de faute d'empilement suffisamment
faible pour qu'elle puisse se transformer sous l'effet
de la cavitation, en une phase hexagonale compacte ζ et/ou
20 en de la martensite α montrant un mâclage fin de déforma-
tion.

12- Acier inoxydable au cobalt selon la reven-
dication 11, caractérisé en ce qu'il comprend :

25 environ 12 % en poids de Co
environ 19 % en poids de Cr
environ 0,2 % en poids de C
environ 3 % en poids de Mn, et
environ 0,05 % en poids de N
le pourcentage restant étant essentiellement
30 constitué de Fe.

13- Acier inoxydable au cobalt selon la revendi-
cation 11, caractérisé en ce qu'il comprend :

35 environ 8 % en poids de Co
environ 13 % en poids de Cr
environ 0,1 % en poids de C
environ 9 % en poids de Mn
environ 0,05 % en poids de N, et

environ 3 % en poids de Si,
le pourcentage restant étant essentiellement
constitué de Fe.

14- Acier inoxydable au cobalt selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'il comprend :

environ 12 % en poids de Co
environ 13 % en poids de Cr
environ 0,2 % en poids de C
environ 9 % en poids de Mn, et
environ 0,05 % en poids de N,
le pourcentage restant étant essentiellement
constitué de Fe.

15- Acier inoxydable au cobalt selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'il comprend :

environ 12 % en poids de Co
environ 19 % en poids de Cr
environ 0,2 % en poids de C
environ 9 % en poids de Mn, et
environ 0,05 % en poids de N,
le pourcentage restant étant essentiellement
constitué de Fe.

16- Acier inoxydable au cobalt selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend :

environ 12 % en poids de Co
environ 19 % en poids de Cr
environ 0,2 % en poids de C
environ 1,0 % en poids de Si
environ 1,0 % en poids de Mn, et
environ 0,2 % en poids de N,
le pourcentage restant étant essentiellement
constitué de Fe.

17- Pièce d'acier inoxydable au cobalt pour la fabrication ou la réparation de machines hydrauliques, caractérisée en ce qu'elle est faite ou recouverte d'un acier inoxydable austénique au cobalt ultra résistant à la cavitation érosive, tel que défini dans la revendica_

tion 1.

5 18- Pièce d'acier inoxydable au cobalt pour la fabrication ou la réparation de machines hydrauliques, caractérisée en ce qu'elle est faite ou recouverte d'un acier inoxydable austénitique au cobalt ultra résistant à la cavitation érosive, tel que défini dans la revendication 2.

10 19- Pièce d'acier inoxydable au cobalt pour la fabrication ou la réparation de machines hydrauliques, caractérisée en ce qu'elle est faite ou recouverte d'un acier inoxydable austénitique au cobalt ultra résistant à la cavitation érosive, tel que défini dans la revendication 11.

15 20- Fil de soudage pour la fabrication ou la réparation de machines hydrauliques, caractérisé en ce qu'il est fait en acier inoxydable austénitique au cobalt ultra résistant à la cavitation érosive, tel que défini dans la revendication 1.

20 21- Fil de soudage pour la fabrication ou la réparation de machines hydrauliques, caractérisé en ce qu'il est fait en acier inoxydable austénitique au cobalt ultra résistant à la cavitation érosive, tel que défini dans la revendication 2.

25 22- Fil de soudage pour la fabrication ou la réparation de machines hydrauliques, caractérisé en ce qu'il est fait en acier inoxydable austénitique au cobalt ultra résistant à la cavitation érosive, tel que défini dans la revendication 11.

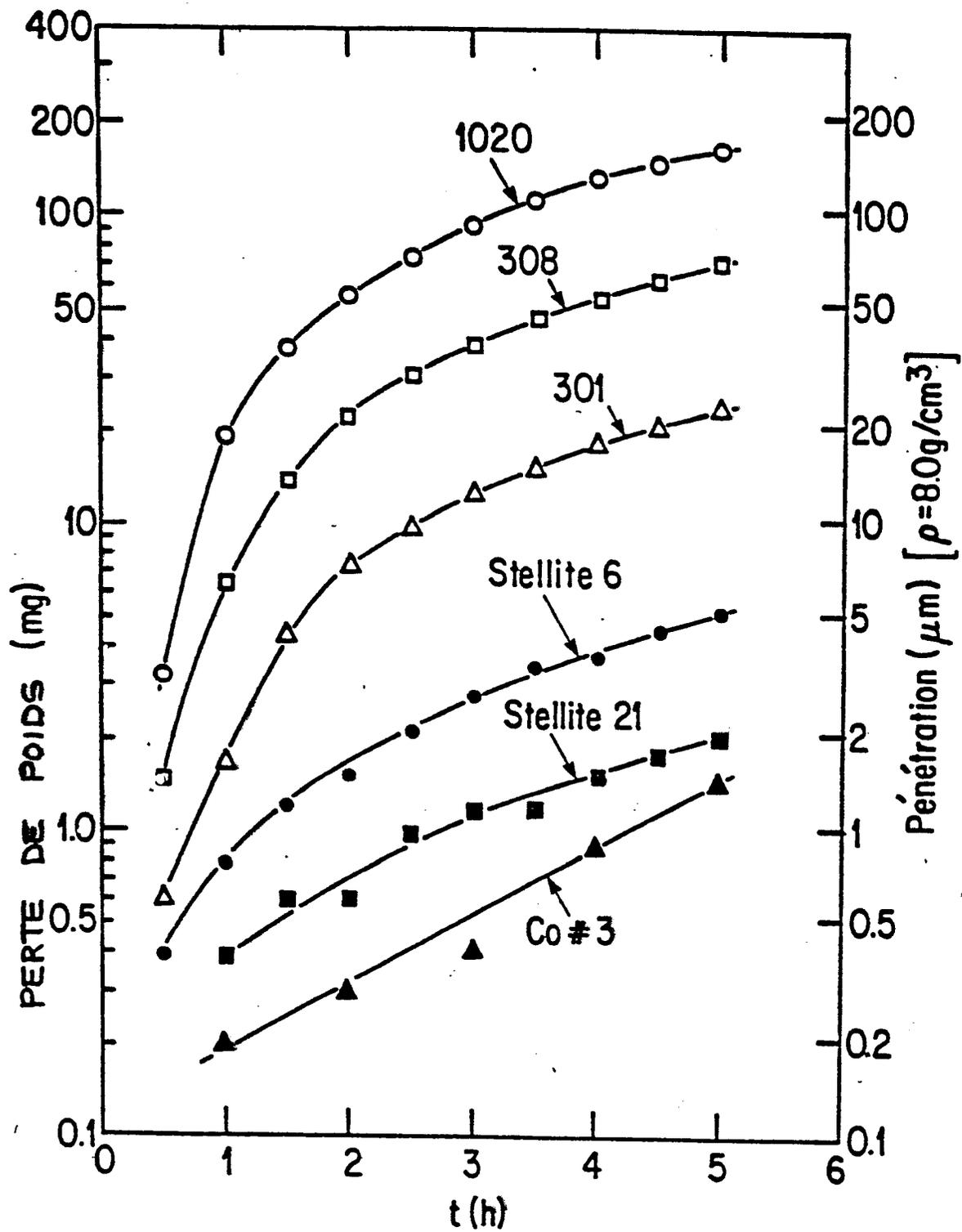


FIG.1

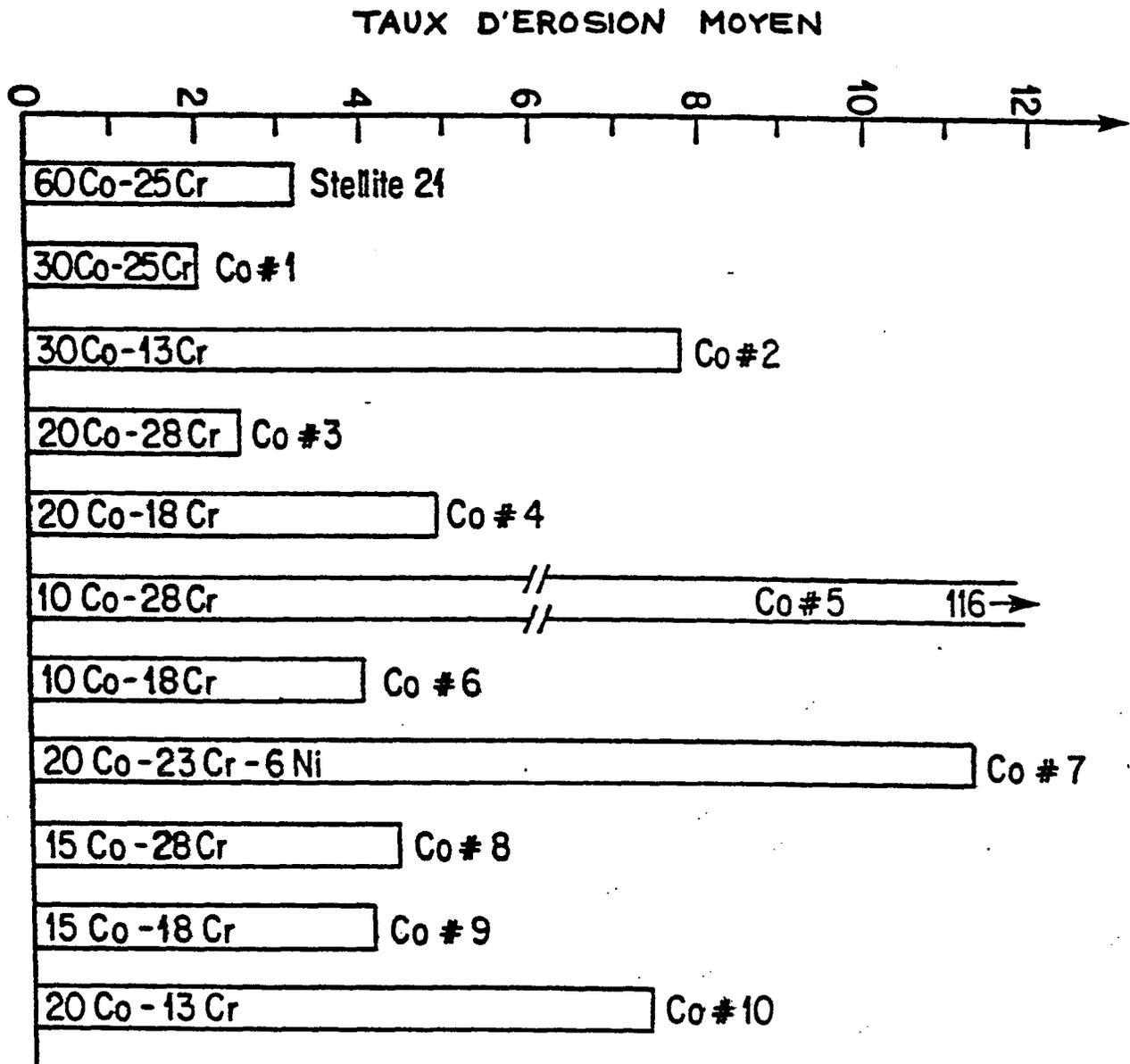


FIG.2

FIG.5

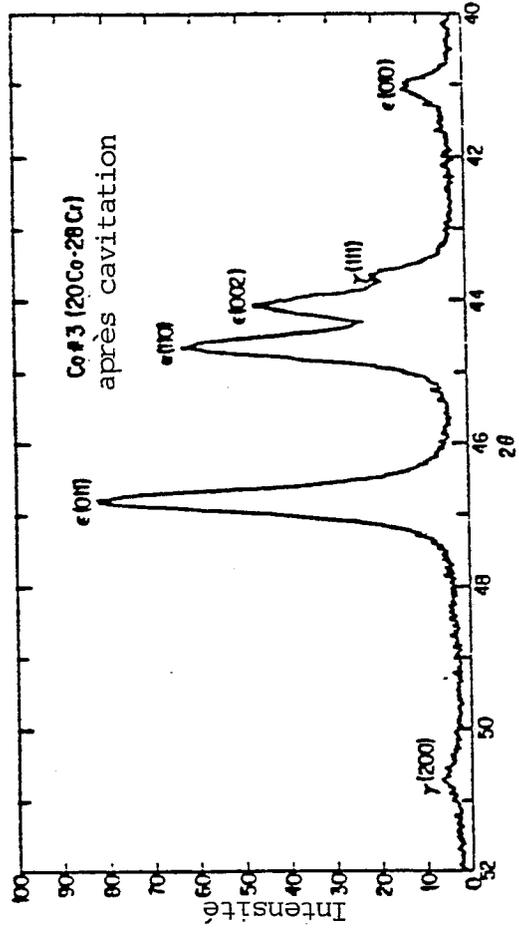
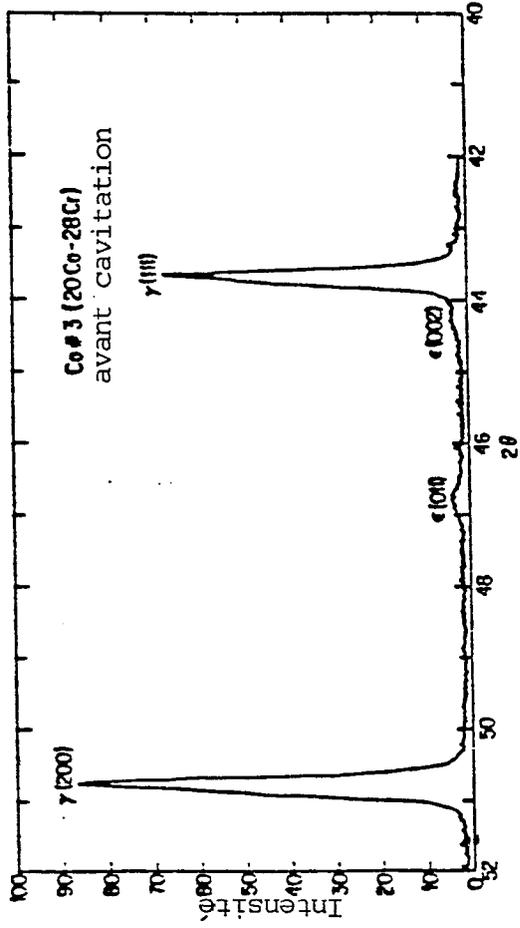


FIG.6

FIG.3

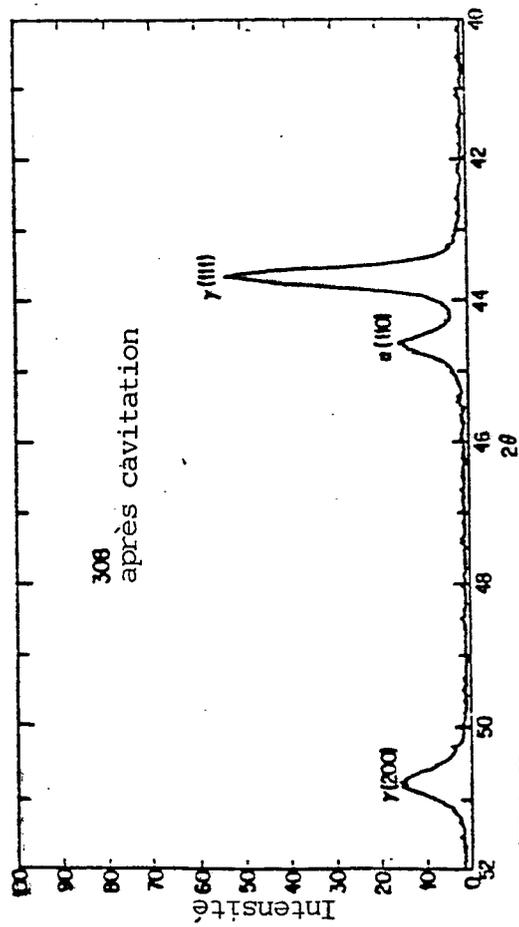
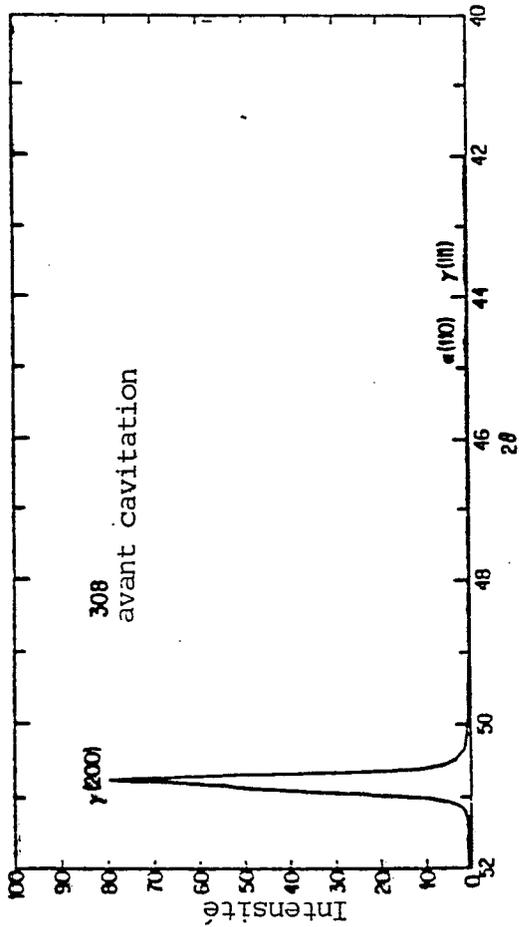


FIG.4

0171336

FIG.9

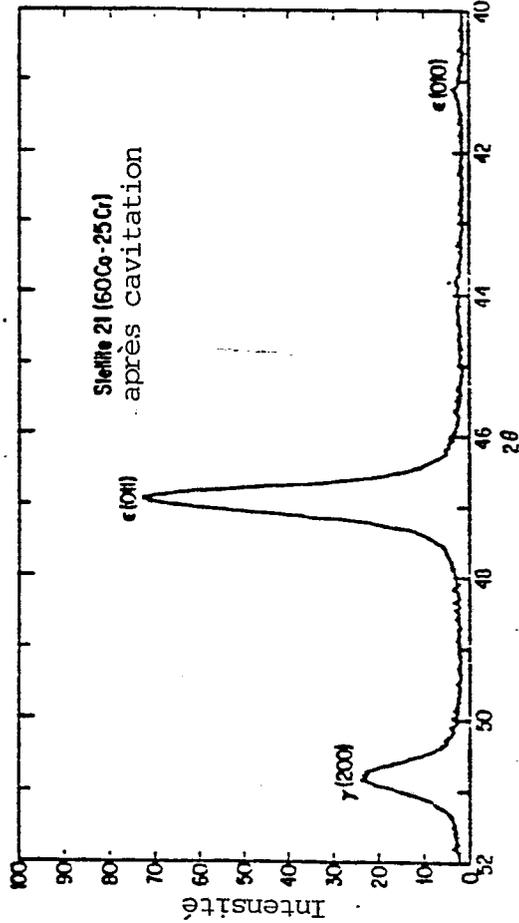
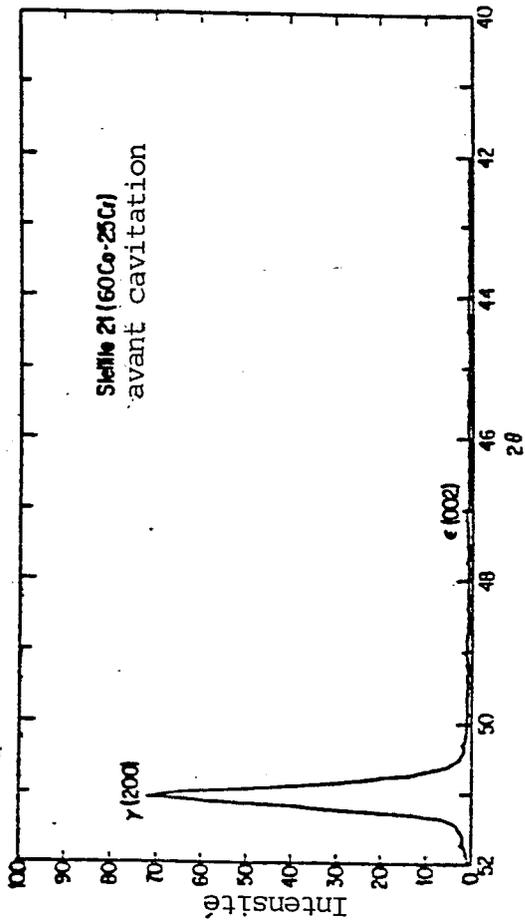


FIG.10

FIG.7

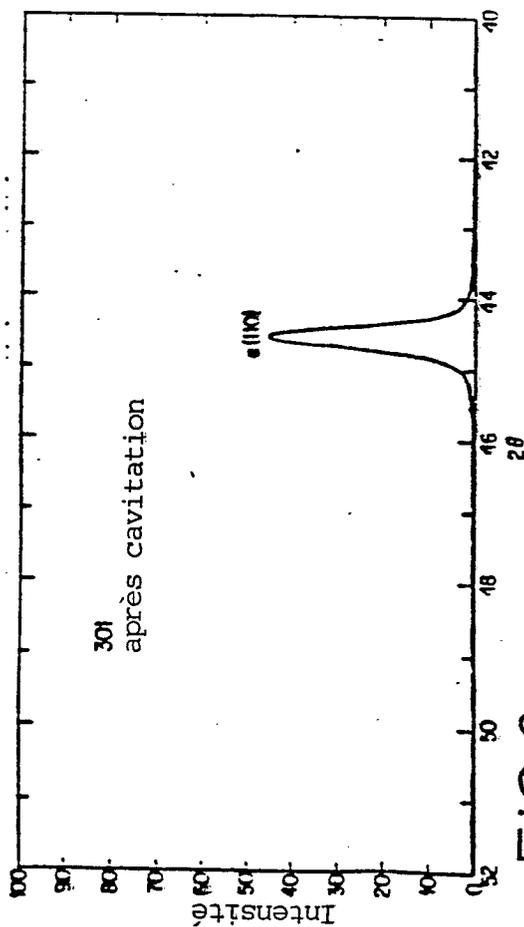
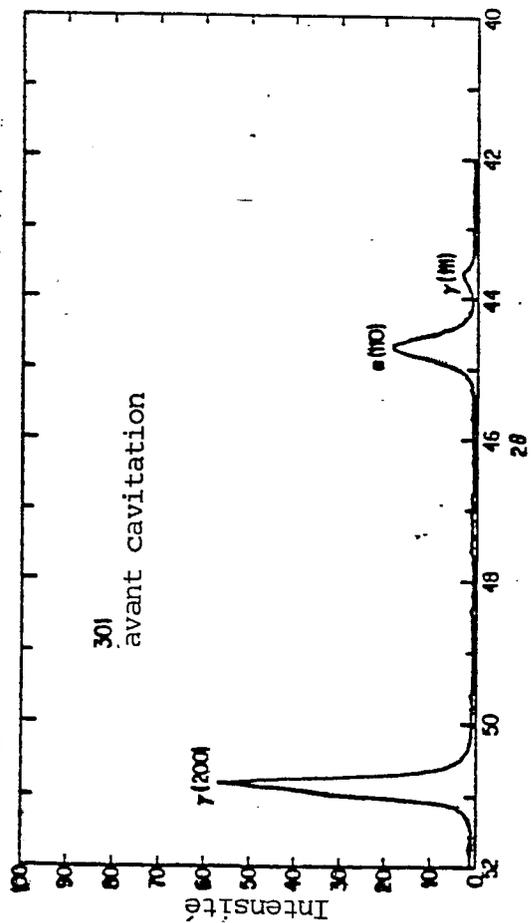


FIG.8

0171336

FIG.13

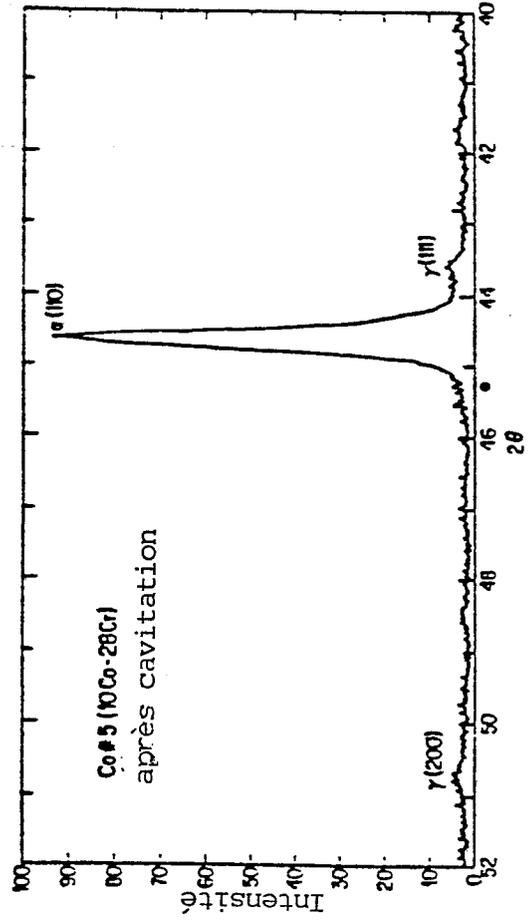
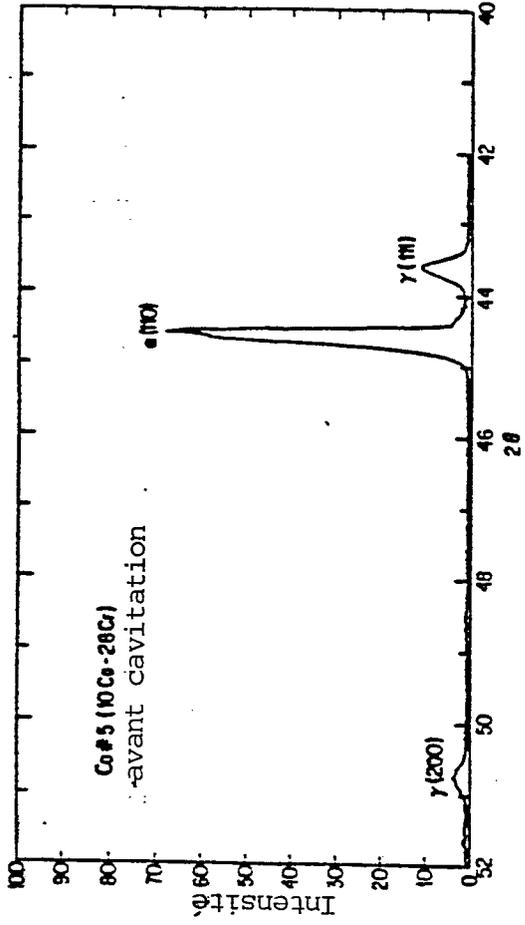


FIG.14

FIG.11

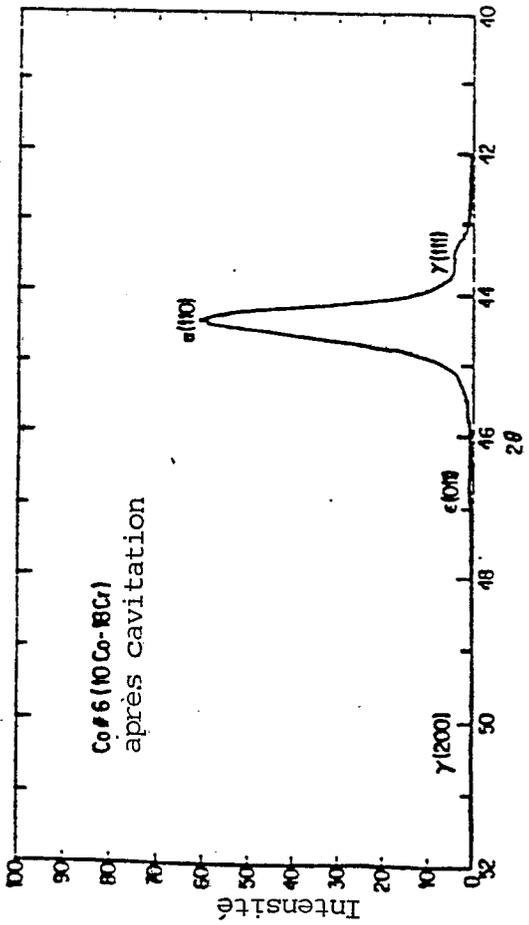
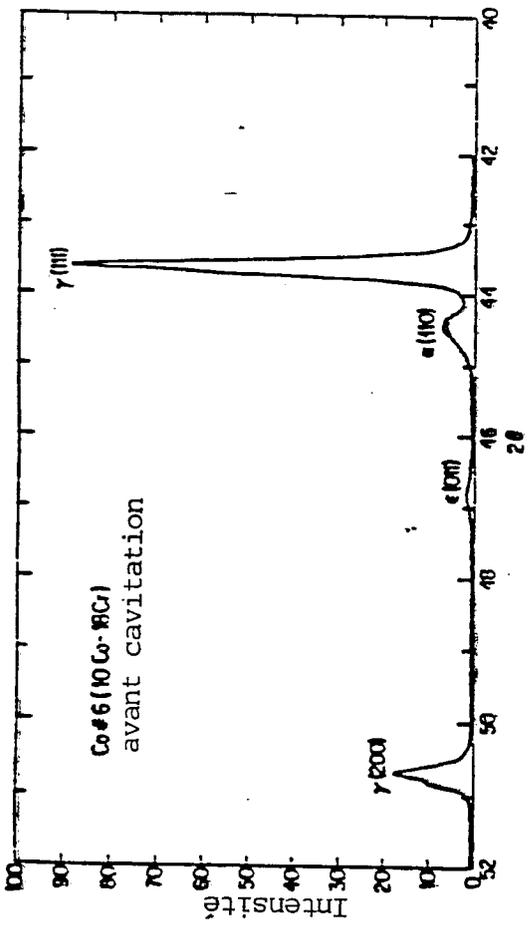


FIG.12

0171336

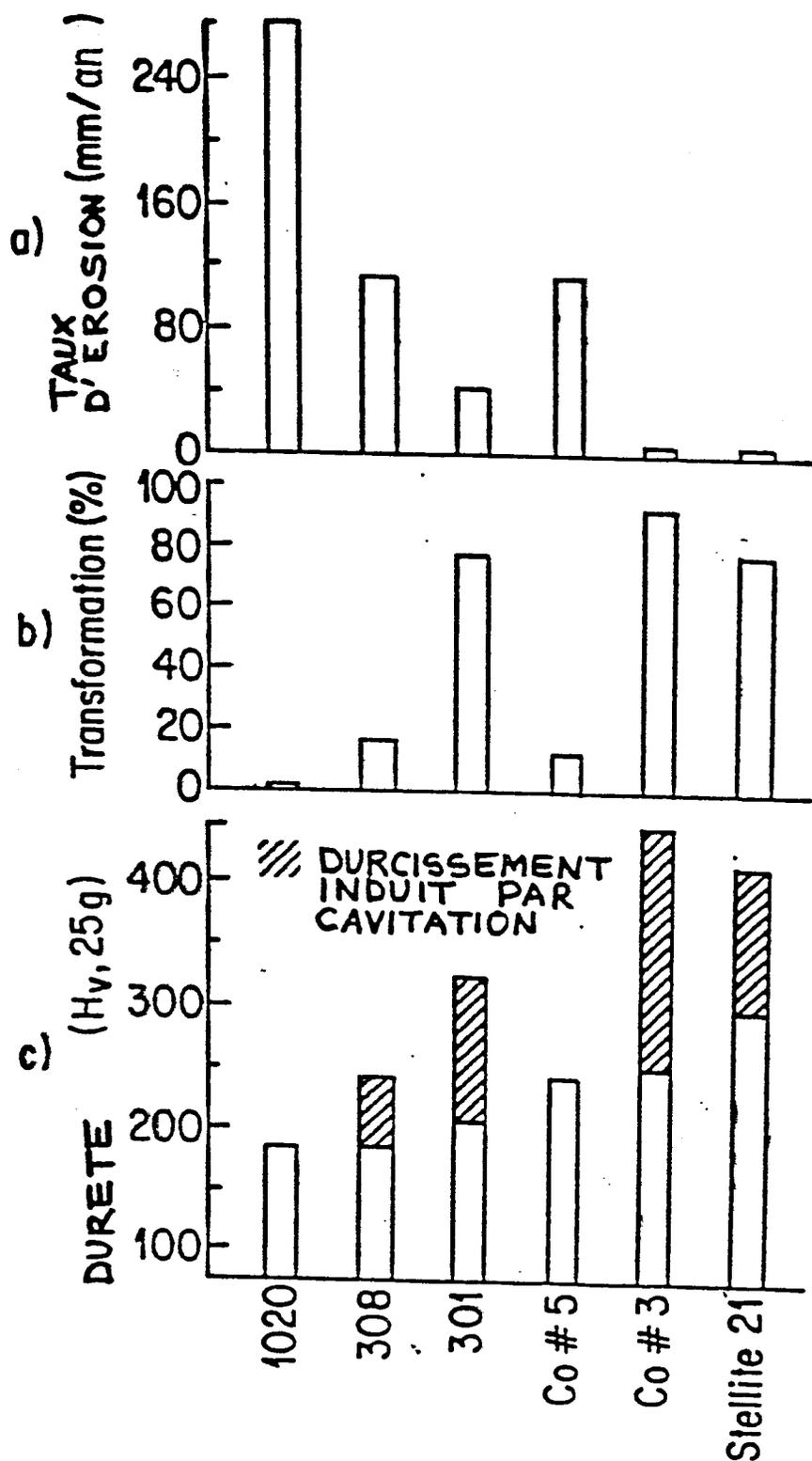


FIG.15

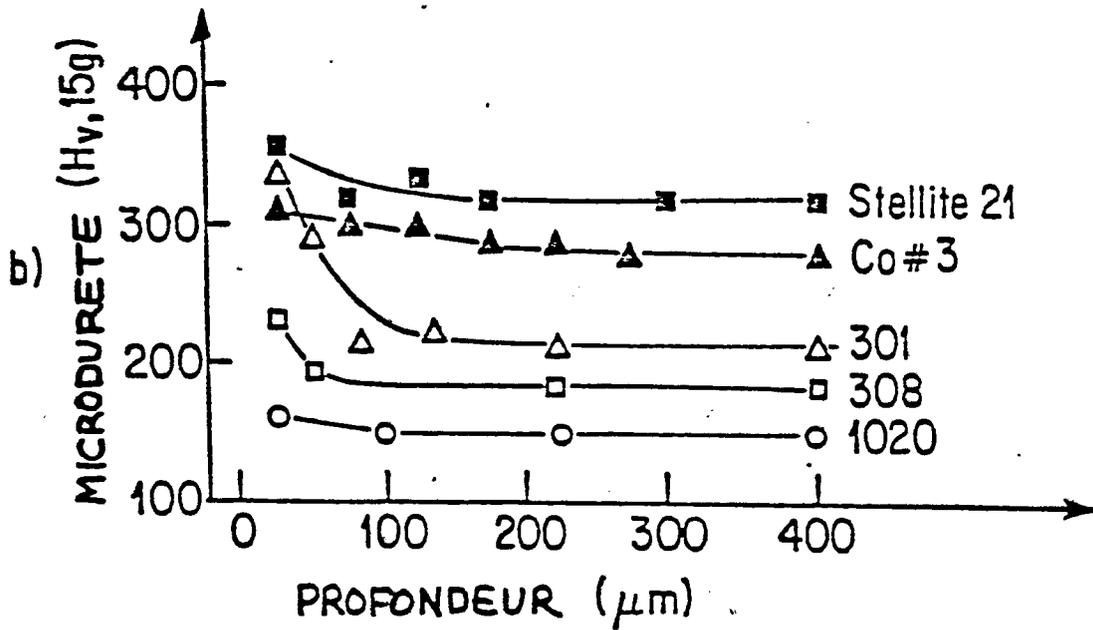
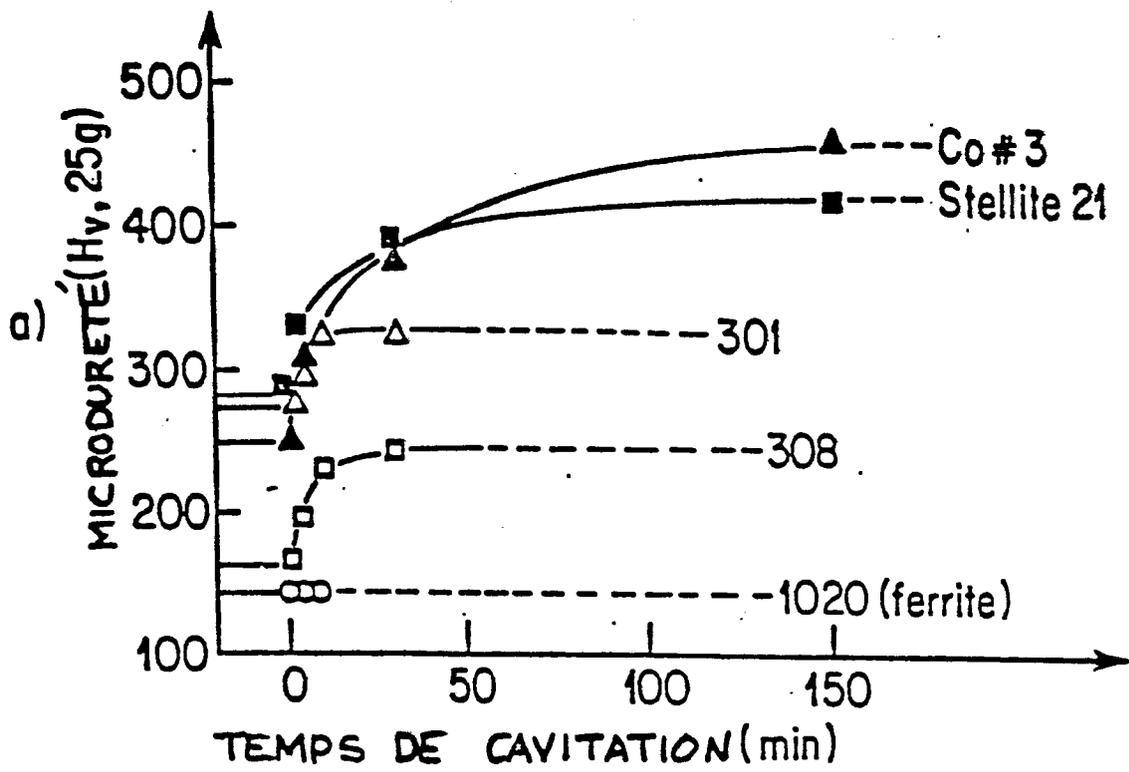


FIG.16



DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 4)
A	US-A-2 990 275 (BINDER et al.) * Revendication 1; colonne 3, lignes 1-27 *	1-3	C 22 C 38/30 B 23 K 35/30
A	GB-A-1 126 852 (CARPENTER STEEL CO.) * Revendications 1-5 *	1	
A	DE-B-1 231 018 (CRUCIBLE STEEL INT.) * Revendications 1-3 *	1-3	
A	DE-C- 659 831 (DEUTSCHE EDELSTAHLWERKE) * Revendications 1-3 *	1-3	
A	DE-C- 607 384 (ELECTRO METALLURGICAL CO.) * Revendication 1 *	1	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 4)
A	GB-A-1 179 046 (MITSUBISHI JUKOGYO K.K.) * Revendication 1 *	1	C 22 C 38
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 15-10-1985	Examineur LIPPENS M.H.
<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</p> <p>& : membre de la même famille, document correspondant</p>			