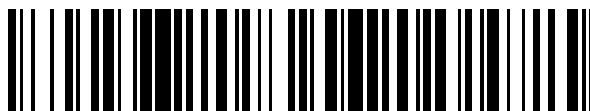


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 566 492**

51 Int. Cl.:

C22C 38/22 (2006.01)

C22C 38/24 (2006.01)

F16C 33/62 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.02.2007** **E 07450033 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.02.2016** **EP 1837415**

54 Título: **Aleación para cojinetes de rodamiento**

30 Prioridad:

20.03.2006 AT 4562006

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

13.04.2016

73 Titular/es:

BÖHLER EDELSTAHL GMBH & CO KG (100.0%)
Mariazellerstrasse 25
8605 Kapfenberg, AT

72 Inventor/es:

RABITSCH, ROLAND;
EBNER, REINHOLD;
PEISSL, SVEN y
EGLSÄER, SABINE

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 566 492 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Aleación para cojinetes de rodamiento

La invención se refiere a una aleación para cojinetes de rodamiento de aeronaves.

Además, la invención tiene por objeto un cojinete o una parte de cojinete.

- 5 Los cojinetes de rodamiento de vehículos están expuestos durante su funcionamiento a múltiples cargas y solicitudes, a las que deben resistir durante el máximo tiempo posible. A éstas pertenecen, entre otros, las cargas mecánicas dinámicas debido a la rodadura de partes de cojinete o el deslizamiento de unas con respecto a otras así como el ataque corrosivo debido a lubricantes agresivos. En el caso de aeronaves, por si fuera poco, las temperaturas de trabajo de los cojinetes de rodamiento pueden encontrarse en el rango de varios cientos de grados centígrados. Por ejemplo, en el caso de cojinetes de rodamiento de turbinas de aviones, incluso en la fase de funcionamiento por inercia en la que aunque la carga es reducida, ya no se da un enfriamiento, pueden medirse temperaturas alrededor de los 250°C.

- 10 Por tanto, en los cojinetes de rodamiento de aeronaves se plantean de manera muy especial requisitos elevados, que deben cumplir en cuanto a la capacidad de carga y el periodo de servicio, para poder ser apropiados para su uso. Se requieren una gran solidez y tenacidad, un desgaste reducido y una fatiga del contacto de rodadura reducida durante su utilización así como una alta resistencia a la corrosión, también en el caso de temperaturas elevadas. Además, una superficie de los cojinetes de rodamiento debe presentar una reactividad satisfactoria con respecto al aditivo fosfato de tricresilo que está presente en el aceite para turbinas de aviación Mobil Jet II, utilizado predominantemente, de modo que puede formarse una capa de reacción protectora para minimizar el desgaste. La reactividad de la superficie de cojinete con el aditivo lubricante depende enormemente de la naturaleza química de la superficie de cojinete. Visto en conjunto, de esto resulta un perfil de requisitos complejo para los cojinetes de rodamiento para aeronaves. Pretende cumplirse el mismo mediante la utilización de una aleación adecuada.

- 15 Según la norma DIN 17230, los materiales de cojinete de rodamiento más habituales se dividen en cinco grupos, concretamente en primer lugar aceros para cojinetes de rodamiento que pueden templarse completamente (por ejemplo 100Cr6 o SAE 52100), en segundo lugar aceros de cementación (por ejemplo 17MnCr5 o SAE 8620), en tercer lugar aceros de bonificación (por ejemplo 43CrMo4 o SAE 4340), en cuarto lugar aceros resistentes a la corrosión (por ejemplo AISI 440C, X30CrMoN15 o X45Cr13) y en quinto lugar aceros resistentes al calor y aleaciones duras (por ejemplo M50 o AISI T1). Para cojinetes de aeronaves, de entre los grupos de materiales disponibles se han impuesto los aceros resistentes al calor, utilizándose principalmente la aleación M50, un acero de corte rápido poco aleado, y variantes de esta aleación. El papel destacado desde hace décadas de la aleación M50 como material de cojinete de rodamiento para aeronaves resulta de sus propiedades mecánicas y buenas propiedades de fatiga. Por el contrario, la resistencia a la corrosión es totalmente insatisfactoria, lo que sin embargo se tolera hasta la fecha por falta de aleaciones alternativas.

- 20 Dado que sigue existiendo el deseo de cojinetes de rodamiento con un mejor rendimiento y más fiables, se intenta encontrar aleaciones mejoradas con respecto a la aleación M50. En el documento US 4.150.978 se dan a conocer aleaciones individuales en el rango de composición (en % en peso) del 0,8 al 1,6% de carbono, como máximo el 0,5% de silicio, como máximo el 0,5% de manganeso, como máximo el 0,1% de azufre, como máximo el 0,015% de fósforo, del 12 al 20% de cromo, del 2 al 5% de molibdeno, hasta el 3% de wolframio, del 0,5 al 3,0% de vanadio, hasta el 0,5% de titanio, como máximo el 0,03% de aluminio, como máximo el 0,5% de níquel, como máximo el 0,5% de cobalto, como máximo el 0,5% de cobre, como máximo el 0,05% de boro, como máximo el 0,05% de nitrógeno, el resto hierro e impurezas. Estas aleaciones presentan un comportamiento mejorado en el ensayo de contacto de rodadura con respecto a M50 y en principio también pueden utilizarse en medios corrosivos, pero no han podido imponerse en la práctica.

- 25 Hoy en día, otro enfoque consiste en utilizar aleaciones resistentes a la corrosión con capa marginal templada con como máximo el 0,1% en peso de carbono y contenidos en cromo de al menos el 13% en peso. Sin embargo, para conseguir durezas superficiales suficientes y con ello una resistencia al desgaste suficiente, estos materiales deben someterse a procedimientos de temple de la capa marginal, como por ejemplo carburación y nitruración, perjudicando sin embargo considerablemente las propiedades de corrosión mediante los procesos de carburación o nitruración.

- 30 Aunque las aleaciones conocidas para cojinetes de rodamiento de aeronaves pueden cumplir en cada caso varias propiedades en cuanto al perfil de requisitos descrito al principio, disminuyen su rendimiento enormemente en cada caso en al menos una propiedad, por ejemplo la resistencia a la corrosión. Una disminución de rendimiento de este tipo en una propiedad es en la mayoría de los casos suficiente para reducir enormemente el tiempo de servicio y por consiguiente limitar el campo de aplicación de un cojinete de rodamiento. Para el valor y la duración de servicio de un cojinete de rodamiento es en última instancia indiferente si éste debe cambiarse debido a fenómenos de fatiga o de corrosión. Dicho de otro modo: las mejores propiedades mecánicas no pueden aprovecharse cuando la corrosión lleva a un fallo prematuro del cojinete. A la inversa, una resistencia a la corrosión máxima no sirve de nada si tras tiempos de uso cortos se producen roturas por fatiga y/o un desgaste prematuro.

El documento DE 19707033 da a conocer un cojinete de rodamiento, caracterizado por un anillo de rodadura interno, un anillo de rodadura externo y elementos de rodamiento (cuerpos de rodamiento), estando fabricado al menos un representante del grupo de anillo de rodadura interno, anillo de rodadura externo y elementos de rodamiento (cuerpos de rodamiento) de un acero de aleación, que está compuesto esencialmente por menos del 0,5% en peso de C, del 8,0 al 20,0% en peso de Cr, del 0,1 al 1,5% en peso de Mn, del 0,1 al 2,0% en peso de Si y el resto de Fe y elementos de impureza aleatorios, cumpliendo la relación entre los contenidos en C y Cr la condición:

$$0,04 \text{ Cr (\% en peso)} - 0,39 \leq \text{C (\% en peso)} \leq -0,05 \text{ Cr (\% en peso)} + 1,41,$$

presentando éste al menos un representante una capa superficial, que se ha generado mediante nitruración o carbonitruración a una temperatura por debajo de Ac1, calentamiento posterior hasta una temperatura de 900 a 1200°C, templado, un tratamiento a baja temperatura (por debajo de los 0°C) y revenido.

Partiendo de esto, un objetivo de la invención es proporcionar una aleación a partir de la que puedan fabricarse cojinetes de rodamiento, que además de buenas propiedades mecánicas, un desgaste reducido y una escasa fatiga del contacto de rodadura presente también una gran resistencia a la corrosión.

Otro objetivo de la invención es indicar cojinetes o partes de cojinetes, en particular cojinetes de rodamiento o partes de cojinete de rodamiento, que además de buenas propiedades mecánicas, un desgaste reducido y una escasa fatiga del contacto de rodadura presenten también una gran resistencia a la corrosión.

El primer objetivo de la invención se alcanza mediante una aleación según la reivindicación 1. Variantes ventajosas de una aleación según la invención son objeto de las reivindicaciones 2 a 9.

Las ventajas de una aleación según la invención radican en particular en su perfil de propiedades, debido al cual la aleación es adecuada de manera excelente para cojinetes de rodamiento de aeronaves. Este perfil de propiedades comprende en particular una alta solidez, un desgaste reducido y una fatiga del contacto de rodadura reducida en caso de su uso como material de cojinete de rodamiento y una resistencia a la corrosión extraordinariamente alta. Para conseguir este perfil de propiedades, el contenido en los elementos de aleación individuales puede adaptarse de manera dirigida, siendo los contenidos según la invención una expresión tanto de los efectos de los elementos de aleación individuales como de las interacciones entre los mismos. Estos efectos se describen más adelante.

En una aleación según la invención están presentes, además de hierro e impurezas debidas a la producción, elementos con el siguiente contenido (en tanto por ciento en peso):

El carbono (C) está previsto con un contenido del 0,45 al 1,0%, para conferir a una aleación según la invención una dureza alta. En caso de un contenido por encima del 1,0% existe el peligro de que se formen especialmente los carburos metálicos ricos en cromo del tipo M_7C_3 , con lo que este metal, que es responsable de la resistencia a la corrosión, se retira de la matriz y en consecuencia disminuye la resistencia a la corrosión. Estos carburos M_7C_3 son además gruesos, lo que tiene un efecto negativo sobre el comportamiento de desgaste en los cojinetes. Un contenido por debajo del 0,45% conduce a una dureza menor y existe la posibilidad de que durante la fabricación se forme la ferrita δ no deseada. Un contenido en carbono óptimo se encuentra en el intervalo de desde el 0,55 hasta el 0,75%. En este intervalo de contenido puede conseguirse una morfología de carburo favorable, concretamente una formación predominante de carburos MC o carburos mixtos MC. Los carburos MC contribuyen a una gran dureza, pero no perjudican la resistencia a la corrosión, dado que sólo se retira de la matriz poco del cromo necesario para la formación de capa pasiva.

En una aleación según la invención puede estar presente manganeso (Mn) hasta como máximo el 2,0%. Para mantener una formación de austenita residual reducida, el contenido en manganeso se limita preferiblemente hasta como máximo el 0,3%.

El silicio (Si) es necesario para la desoxidación y puede estar previsto en un contenido de hasta como máximo el 1,0%. Dado que el silicio puede tener un efecto de fragilización fuerte y favorece una formación de ferrita δ , es ventajoso mantener el contenido en silicio en el intervalo de desde el 0,05 hasta el 0,2%.

Tal como el silicio, el aluminio (Al) favorece una formación de ferrita δ . Por tanto, el contenido en aluminio debería ascender como máximo al 0,1%.

El cromo (Cr) está previsto en un contenido de desde el 8,5 hasta el 11,5%. Un contenido en cromo por encima del 11,5% conduce a una formación potenciada de carburos M_7C_3 gruesos, que como ya se ha mencionado tienen un efecto desventajoso sobre la resistencia a la corrosión. En el caso de un contenido en cromo por debajo del 8,5% no puede conseguirse la resistencia a la corrosión requerida. Preferiblemente, el contenido en cromo adaptado al contenido en carbono se encuentra en el intervalo de desde el 9,5 hasta el 10,5%. En este intervalo los porcentajes de carburos M_7C_3 son reducidos y se consigue una resistencia a la corrosión extremadamente alta con buenas propiedades mecánicas.

El molibdeno (Mo) se encuentra en un porcentaje de desde el 1,0 hasta el 4,5% y contribuye positivamente en este intervalo de contenido a una resistencia a la corrosión elevada. Sorprendentemente, un contenido mayor del 4,5%

con el presente contenido en carbono no conduce a un aumento adicional de la resistencia a la corrosión. Más bien, en el caso de un mayor contenido en molibdeno y el carbono dado, la resistencia a la corrosión tiende a disminuir. Esto puede explicarse debido a una formación potenciada de carburos M_7C_3 y/o M_6C , que conduce a un empobrecimiento en molibdeno de la matriz y con ello a una corrosividad aumentada.

- 5 El vanadio (V) se encuentra en el intervalo de contenido de desde el 1,0 hasta el 2,5% y promueve en este intervalo de manera eficaz la formación de carburos MC deseados. En el caso de un contenido mayor del 2,5% puede producirse durante la fabricación la deposición de carburos gruesos a partir de la masa fundida. En el caso de un contenido menor del 1,0% disminuye la eficacia con respecto a la formación de carburos MC.

- 10 El wolframio (W) puede estar previsto en un contenido de hasta el 2,0%. Un contenido mayor del 2,0% es desventajoso, dado que de manera similar al caso del contenido en molibdeno de más del 4,5% pueden formarse especialmente carburos M_6C y adicionalmente aumenta la tendencia a la formación de M_7C_3 en combinación con el presente contenido en cromo. Preferiblemente el contenido en wolframio se limita al 0,5%.

- 15 El niobio (Nb) y/o el tántalo (Ta) pueden estar presentes en una aleación según la invención con en cada caso como máximo el 0,5% y pueden favorecer en este contenido reducido la formación de carburos MC. Un contenido mayor del 0,5% puede conducir a que se depositen carburos gruesos directamente a partir de la masa fundida. Estos carburos gruesos no se desean, dado que las propiedades de rodadura o de deslizamiento de los cojinetes se ven influidas de manera desventajosa.

- 20 El cobalto (Co) puede estar presente en un porcentaje de como máximo el 0,5%. Este elemento tiene en el caso de temperaturas de revenido elevadas un efecto negativo sobre la resistencia a la corrosión, dado que aumenta la fuerza de impulsión para la formación de carburos M_7C_3 . Además, con un contenido en cobre creciente empeora drásticamente la tenacidad de muestras revenidas por encima del máximo de temple secundario. Por tanto, resulta ventajoso limitar este elemento a nivel de contenido a menos de en cada caso el 0,2%.

- 25 El níquel (Ni) reduce al igual que el Co la resistencia a la corrosión debido a la fuerza de impulsión aumentada para la formación de carburo M_7C_3 , pero un contenido en Ni creciente da como resultado propiedades de ductilidad mejoradas. Según el perfil de requisitos debe perseguirse un contenido de desde el 0 hasta el 3%.

El nitrógeno (N) favorece la formación de austenita residual y debería encontrarse por tanto en un contenido de como máximo el 0,01%.

- 30 El objetivo adicional de la invención se consigue mediante un cojinete o una parte de cojinete según la reivindicación 12. Dado que el cojinete o la parte de cojinete cumple un perfil de requisitos complejo con respecto a la solidez, un comportamiento de desgaste favorable y una escasa fatiga del contacto de rodadura, y adicionalmente presenta una resistencia a la corrosión extremadamente grande, se da un tiempo de servicio prolongado. Sobre todo en este sentido y en su alta capacidad de carga también en caso de contacto con medios corrosivos o en los mismos pueden observarse las ventajas de un cojinete o una parte de cojinete según la invención.

Ventajas y efectos adicionales de la invención resultan del contexto de la descripción y los ejemplos de realización.

- 35 A continuación se explicará aún más detalladamente la invención mediante resultados de examen y en comparación con el estado de la técnica.

Muestran

- figura 1: una disposición de ensayo para la realización de exámenes de bola sobre disco (*ball-on-disc*, BOD);
- 40 figura 2: un diagrama de la profundidad de la huella de desgaste en el caso de exámenes BOD para las aleaciones A a M;
- figura 3: un diagrama de la vida útil alcanzada de muestras de las aleaciones D y M en el caso de exámenes de paso de cuerpos rodantes;
- 45 figura 4: el potencial de corrosión por picadura, el potencial de reposo y el potencial de repasivación para las aleaciones A a E;
- figura 5: micrografías de las aleaciones D y G;
- figura 6: el potencial de corrosión por picadura, el potencial de reposo y el potencial de repasivación para las aleaciones H, I y J en comparación con la aleación D;
- 50 figura 7: el potencial de corrosión por picadura, el potencial de reposo y el potencial de repasivación para las aleaciones K y L en comparación con la aleación D;
- figura 8: curvas de densidad de corriente-potencial de la aleación D para diferentes temperaturas de

revenido;

figura 9: un diagrama de la evolución del temple y de la evolución del potencial de corrosión por picadura de la aleación D para diferentes temperaturas de revenido;

5 figura 10: imágenes de microscopía electrónica de transmisión (TEM) y de distribución de cromo de la aleación D tras un revenido triple durante dos horas a 400°C y 560°C.

En la tabla 1 pueden observarse las composiciones químicas de las aleaciones examinadas. Las aleaciones se fundieron o se refundieron a vacío. Las piezas de trabajo así fabricadas se sometieron a continuación a un tratamiento térmico compuesto por austenización, enfriamiento brusco y revenido triple durante dos horas. El porcentaje de austenita residual ascendió en todos los casos a menos del 6 por ciento en volumen.

10 Tabla 1: Composiciones químicas de las aleaciones A a M examinadas

Aleación	Composición química [en % en peso]								
	C	Cr	V	Mo	Ni	Co	Si	Mn	Fe
A	0,66	3,92	1,55	2,96	0,04		0,15	0,23	resto
B	0,69	5,92	1,63	3,00	0,04		0,19	0,26	resto
C	0,67	7,79	1,76	2,87	0,03		0,16	0,25	resto
D	0,60	10,10	1,99	2,90	0,04		0,19	0,21	resto
E	0,62	12,01	2,10	2,76	0,04		0,20	0,24	resto
F	0,57	9,84	2,00	1,44	0,02		0,15	0,22	resto
G	0,69	9,61	1,90	4,24	0,05		0,15	0,25	resto
H	0,62	9,84	1,59	2,80	0,04	4,93	0,18	0,24	resto
I	0,61	9,97	1,61	2,80	0,05	10,00	0,18	0,27	resto
J	0,71	10,03	1,56	2,87	0,05	14,91	0,19	0,26	resto
K	0,64	9,94	1,73	2,87	1,49		0,16	0,21	resto
L	0,67	9,85	1,63	2,78	2,98	4,92	0,18	0,26	resto
M	0,79	4,10	1,04	4,20	0,05		0,20	0,26	resto

I. Valores característicos de solidez

De las aleaciones A a L así como de la aleación de referencia M, que corresponde al material de cojinete de rodamiento M50, se determinaron en el estado tratado térmicamente los valores característicos de solidez y los valores característicos de alargamiento. El tratamiento térmico consistió en todos los casos en una austenización a una temperatura de entre 1100°C y 1200°C, seguido por un enfriamiento brusco y un revenido triple a temperaturas de entre 510°C y 585°C; las durezas ascendieron a 59 ± 1 HRC. Se mostró que con estas durezas se consiguieron para todas las aleaciones valores de resistencia a la tracción $R_{p0,2}$ o R_m de en cada caso más de 1700 MPa o 2000 MPa. La aleación D, por ejemplo, presentaba un valor $R_{p0,2}$ de 2000 MPa y un valor R_m de 2334 MPa y se encuentra por tanto en el intervalo de los valores de la aleación de referencia M.

20 En cuanto a los valores característicos de alargamiento, en particular del alargamiento de rotura, las aleaciones A a D, H, I, K y L son claramente superiores a la aleación M. Así, por ejemplo las aleaciones A a D, presentan un alargamiento de rotura aumentado en un 50% (por ejemplo la aleación D del 4,44% con respecto al 2,55% de la aleación M). Las aleaciones E y F tienen dentro de la inseguridad de la medición un alargamiento de rotura aproximadamente en el intervalo de la aleación M. La aleación J presenta un alargamiento de rotura de únicamente el 0,07%.

A partir de las solidez y valores de alargamiento determinados se obtiene que las aleaciones examinadas con excepción de la aleación J cumplen los requisitos mínimos de solidez y alargamiento para materiales para cojinetes de rodamiento.

II. Pruebas de bola sobre disco

30 Las aleaciones A a M se examinaron por medio del método de prueba de bola sobre disco, tal como se representa en la figura 1, con respecto a su comportamiento de desgaste y se midió la profundidad de la huella de desgaste. Para conseguir comportamientos de lubricación comparables en el ensayo BOD como en el cojinete de mecanismo de propulsión, se ajustó un mismo valor λ de 0,8 (número característico para las condiciones de contacto en la ranura de lubricación). Los parámetros de examen eran:

35 radio de la huella: 5 mm

velocidad de deslizamiento: 10 cm/s

fuerza aplicada: 15 N

longitud de la huella de desgaste: 1000 m

diámetro de la bola: 6 mm

material de la bola: aleación M

temperatura 150°C

medio del entorno: aceite (Mobil Jet II)

- 5 Los resultados de estos exámenes se representan en la figura 2. Como puede observarse, para las aleaciones D a G así como I, K y L la profundidad de la huella de desgaste era menor que para la aleación M. De esto se deduce que estas aleaciones son adecuadas de manera excelente como materiales de cojinete con respecto al comportamiento de desgaste.

III. Propiedades de paso de cuerpos rodantes (*roll contact fatigue test*)

- 10 Se realizaron ensayos de paso de cuerpos rodantes con un aparato de prueba de tres bolas frente a un árbol intencionadamente con presión superficial excesiva. En estas condiciones de prueba reinaba una presión máxima de 6400 GPa en la zona de contacto.

- 15 Los resultados o las distribuciones de Weibull mostraron que las aleaciones A a L con excepción de la aleación J producen en el ensayo de paso de cuerpos rodantes una vida útil igual o mayor que la aleación M. En particular para la aleación D se muestra, en cuanto a las propiedades de paso de cuerpos rodantes, que esta aleación presenta propiedades sustancialmente mejores con respecto a la aleación M (véase la figura 3): Para la aleación D se obtiene como resultado en el caso del paso de cuerpos rodantes una probabilidad de fallo del 10% con un cambio de carga de $5,50 \cdot 10^6$. En el caso de la aleación M se alcanza la misma probabilidad de fallo ya con cambios de carga de $1,57 \cdot 10^6$.

IV. Resistencia a la corrosión

- 20 Como resumen de los resultados de examen expuestos en los puntos I. a III. puede establecerse que las aleaciones D, E, F, G, I, K y L según los requisitos se encuentran con respecto a la solidez, el alargamiento, el comportamiento de desgaste y las propiedades de paso de cuerpos rodantes en el intervalo de la aleación M o el material convencional M50 y por tanto cumplen en este sentido los requisitos de los materiales de cojinete de rodamiento.

- 25 En series adicionales se examinó en qué medida son resistentes a la corrosión las aleaciones examinadas, de modo que también puedan usarse en medios corrosivos, lo cual no es el caso para el acero rápido que experimenta rápidamente corrosión M50 o la aleación M. Estos exámenes tuvieron lugar mediante el registro de curvas de densidad de corriente-potencial en una disolución acuosa de cloruro de sodio con un contenido de 50 ppm en iones cloruro. A partir de estos registros se realizó una lectura del potencial de corrosión por picadura para las aleaciones
- 30 individuales.

- A partir de la figura 4 puede observarse que para las aleaciones A a E, es decir con un contenido en cromo creciente, aumenta el potencial de corrosión por picadura o la resistencia a la corrosión de la aleación A hasta la aleación D y después disminuye de nuevo en el caso de la aleación E. Las aleaciones A, B y C no presentan, debido a un contenido en cromo demasiado reducido, la resistencia a la corrosión deseada, pero sí la aleación D. La
- 35 aleación E presenta un mayor contenido en cromo que la aleación D, por lo que hay un valor PREN mayor. El valor PREN (calculado según: $\text{PREN} = \% \text{ de Cr} + 3,3\% \text{ de Mo} \cdot (16 - 30\% \text{ de N})$) representa la resistencia a la corrosión y el experto esperaría una mayor resistencia a la corrosión con un mayor valor PREN. Pero en realidad resulta que con un contenido en cromo creciente, en particular por encima del 11,5% en peso, se depositan carburos M_7C_3 . Aunque tales carburos aportan dureza, presentan de manera correspondiente a su estequiometría un alto porcentaje
- 40 de cromo. La consecuencia es que la formación de tales carburos conduce a la extracción de cromo de la matriz, lo que reduce la resistencia a la corrosión.

- Con respecto a los efectos de diferentes contenidos en molibdeno, en las aleaciones según la invención se estableció la mayor resistencia a la corrosión en la aleación D, en la que se encuentran principalmente carburos MC. En la aleación F hay un menor contenido en molibdeno, lo que conduce a una menor resistencia a la corrosión. Por
- 45 el contrario, en la aleación G el contenido en molibdeno es mayor, pero también son mayores los porcentajes de carburos M_7C_3 y adicionalmente también aparecen carburos M_6C , como puede observarse a partir de la figura 5. Por tanto, la aleación G es, pese a su mayor contenido en molibdeno, menos resistente a la corrosión que la aleación D.

- La influencia del cobalto y del níquel puede observarse a partir de las figuras 6 (Co) y 7 (Ni). Para ambos elementos es aplicable que con un contenido creciente, disminuye la resistencia a la corrosión. De manera correspondiente, las
- 50 aleaciones I, J, K y L no pueden producir la resistencia a la corrosión requerida. El motivo para ello radica presumiblemente en la fuerza de impulsión aumentada para la formación de carburos M_7C_3 , que está provocada por el cobalto y/o el níquel.

Como resumen de los ensayos de corrosión puede establecerse que las aleaciones D, F, G y H cumplen los requisitos en cuanto a las propiedades de corrosión.

Considerando en general las propiedades mecánicas, las propiedades de desgaste y de paso de cuerpos rodantes así como la resistencia a la corrosión, se obtiene por consiguiente como resultado que las aleaciones D, F y G presentan el perfil de propiedades planteado, mientras que el resto de las aleaciones examinadas no alcanzan el valor mínimo al menos con respecto a una propiedad.

- 5 Una aleación D fabricada a gran escala se examinó finalmente de manera adicional en cuanto a las variaciones de las propiedades con diferente temperatura de revenido. A este respecto, se mostró sorprendentemente que la resistencia a la corrosión depende de la temperatura de revenido. Como muestran las curvas de densidad de corriente-potencial en la figura 8, para la aleación D a temperaturas de revenido de hasta 450°C hay un alto potencial de corrosión por picadura. Por el contrario, en el caso de una mayor temperatura de revenido de 560°C hay un menor potencial de corrosión por picadura de aproximadamente + 20 mV.

- 10 En la figura 9 se representan evoluciones del potencia de corrosión por picadura y de la dureza con la variación de la temperatura de revenido. Puede observarse que el potencial de corrosión por picadura a temperaturas de revenido de hasta 450°C se encuentra por encima de + 160 mV_{sce} y después disminuye intensamente hasta aproximadamente de 40 a 60 mV_{sce}. Por otro lado, también puede observarse que ya a temperaturas de menos de 450°C puede conseguirse una dureza deseada para la práctica de 59 HRC. De este modo, con temperaturas de revenido de hasta 450°C pueden conseguirse resultados óptimos tanto con respecto a las propiedades mecánicas y el comportamiento de desgaste como con respecto a una gran resistencia a la corrosión.

- 15 En la figura 10 se muestran finalmente imágenes de TEM e imágenes de mapeo de Cr para una aleación D, que se sometió a revenido a 400°C o 560°C. Las imágenes de mapeo de Cr muestran que en la aleación sometida a revenido a 560°C en las zonas marginales de los carburos hay zonas claras, lo que permite deducir un contenido en cromo alto por zonas. Por el contrario, la matriz circundante aparece con un color más oscuro debido a un menor contenido en cromo. Esto muestra que a mayores temperaturas de revenido la matriz en la zona superficial de los carburos secundarios se empobrece en cromo, lo que conduce a una disminución de la resistencia a la corrosión.

- 20 Exámenes del porcentaje de carburo en aleaciones D producidas a gran escala y tratadas térmicamente muestran que el porcentaje de carburos MC se encontraba entre el 0,7 por ciento en volumen en el caso de una temperatura de austenización de 1140°C y el 1,8 por ciento en volumen en el caso de una temperatura de austenización de 1080°C. El porcentaje de carburos M₇C₃ ascendía al 0,2 por ciento en volumen (temperatura de austenización de 1140°C) o no pudieron detectarse carburos M₇C₃ (temperatura de austenización de 1080°C). De este modo, en todos los casos más del 75% de los carburos presentes se encuentran como carburos MC.

30

REIVINDICACIONES

1. Aleación para cojinetes de rodamiento de aeronaves compuesta por (en tanto por ciento en peso)
del 0,45 al 1,0% de carbono
como máximo el 2,0% de manganeso
5 como máximo el 1,0% de silicio
del 8,5 al 11,5% de cromo
del 1,0 al 4,5% de molibdeno
del 1,0 al 2,5% de vanadio
como máximo el 2,0% de wolframio
10 como máximo el 0,5% de niobio
como máximo el 0,5% de tántalo
como máximo el 3,0% de níquel
como máximo el 0,5% de cobalto
como máximo el 0,1% de aluminio
15 como máximo el 0,01% de nitrógeno
el resto hierro e impurezas debidas a la producción,
en la que un porcentaje de carburo asciende del 0,5 al 7 por ciento en volumen y un porcentaje de carburos metálicos del tipo M_7C_3 asciende a menos del 3 por ciento en volumen.
- 20 2. Aleación según la reivindicación 1, que contiene del 0,55 al 0,85%, preferiblemente hasta el 0,75% de carbono.
3. Aleación según la reivindicación 1 ó 2, que contiene del 9,5 al 10,5% de cromo.
4. Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 3, que contiene del 2,5 al 3,5%, en particular del 2,65 al 3,25%, de molibdeno.
- 25 5. Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 4, que contiene del 1,65 al 2,25%, en particular del 1,8 al 2,5%, de vanadio.
6. Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 5, que contiene como máximo el 0,5% de wolframio.
7. Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 6, que contiene como máximo el 0,3% de manganeso.
8. Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 7, que contiene del 0,05 al 0,2% de silicio.
9. Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 8, que contiene como máximo el 0,5% de níquel.
- 30 10. Cojinete o parte de cojinete, en particular cojinete de rodamiento o parte de cojinete de rodamiento, a partir de una aleación según una de las reivindicaciones 1 a 9.
11. Uso de una aleación según una de las reivindicaciones 1 a 9 como elemento constructivo o componente en una aeronave.

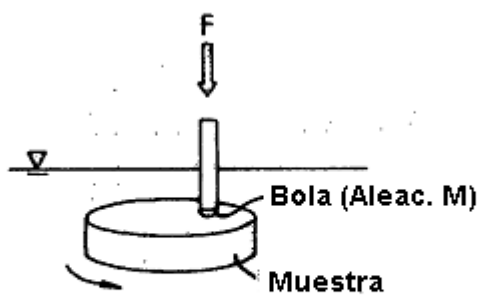


FIG.1

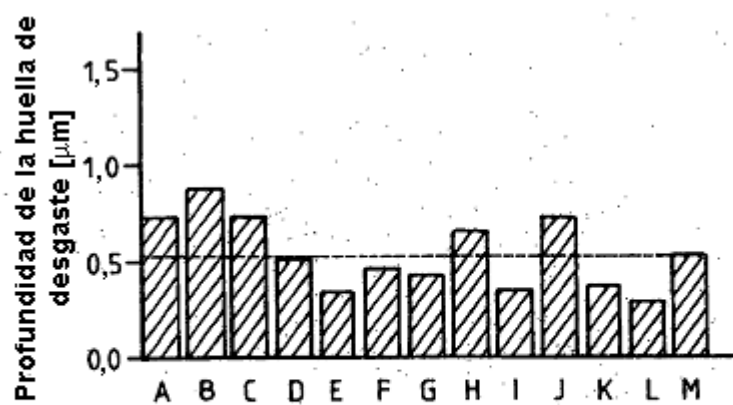
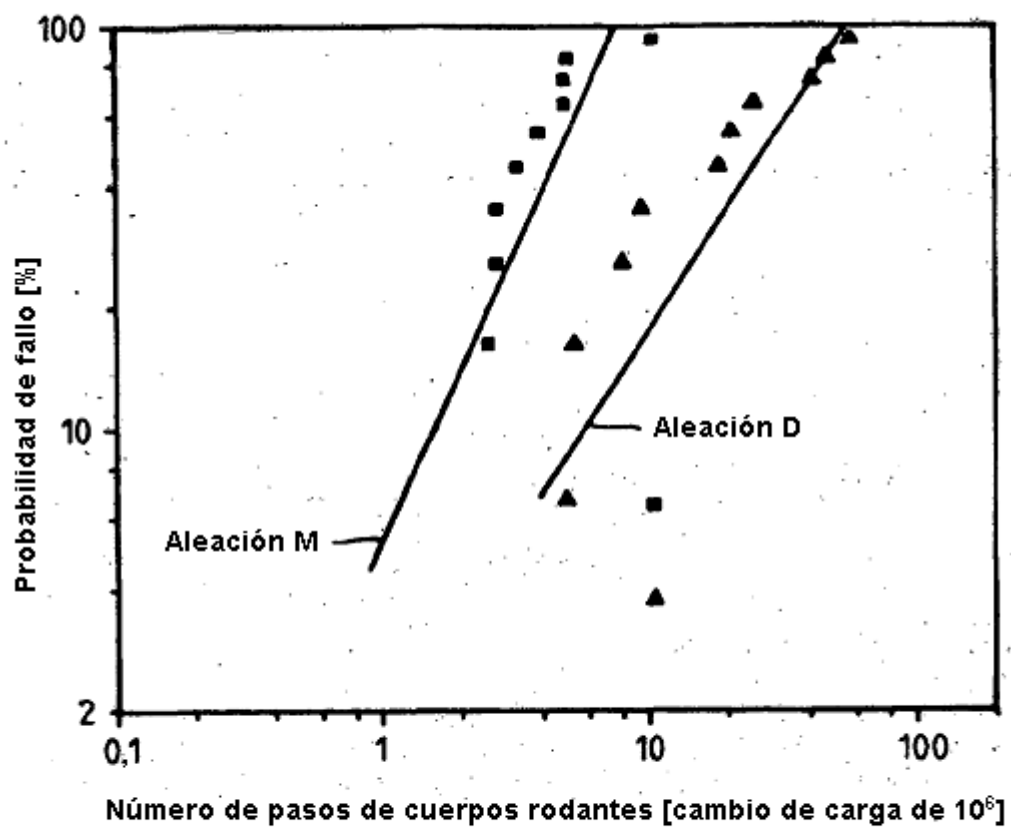
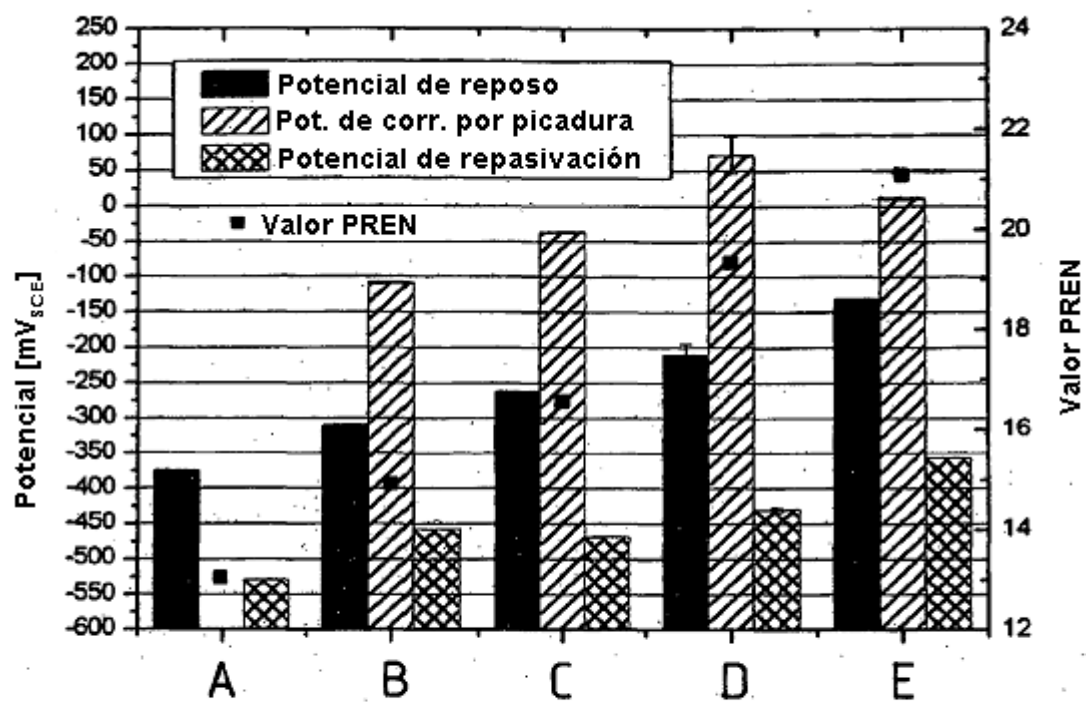
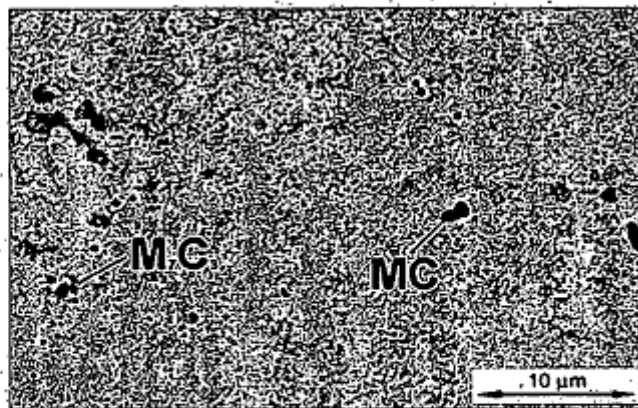


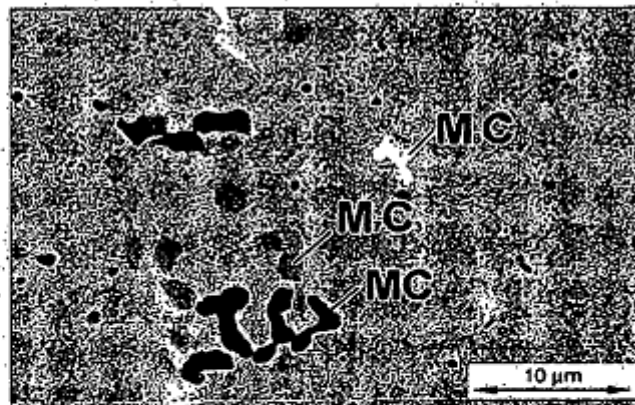
FIG.2

**FIG.3**

FIG.4

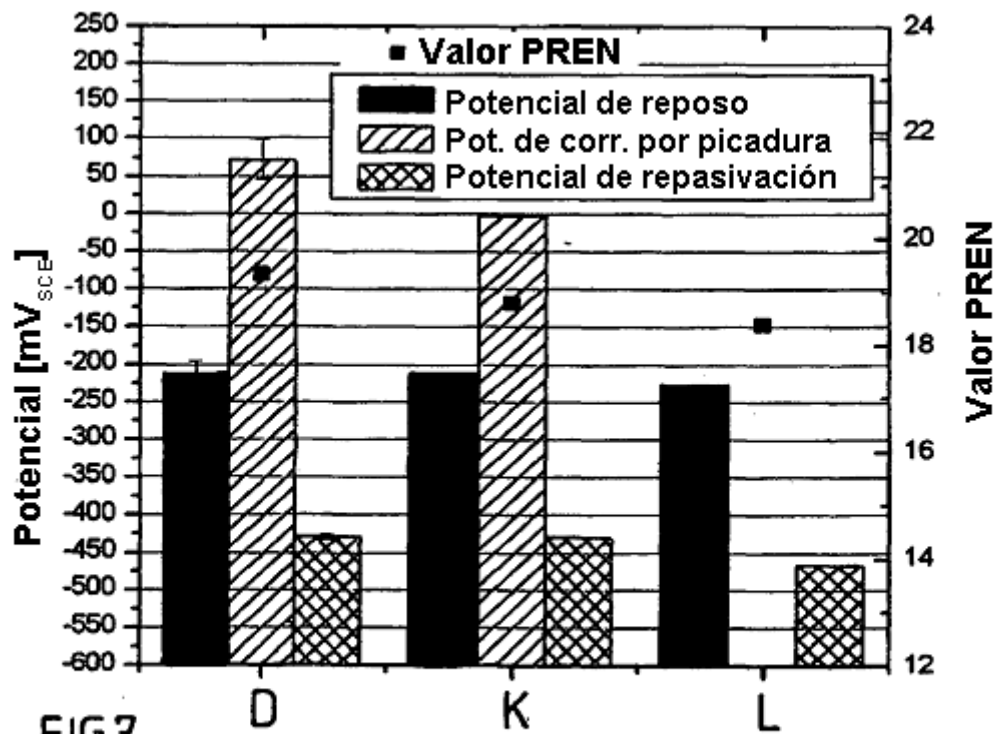
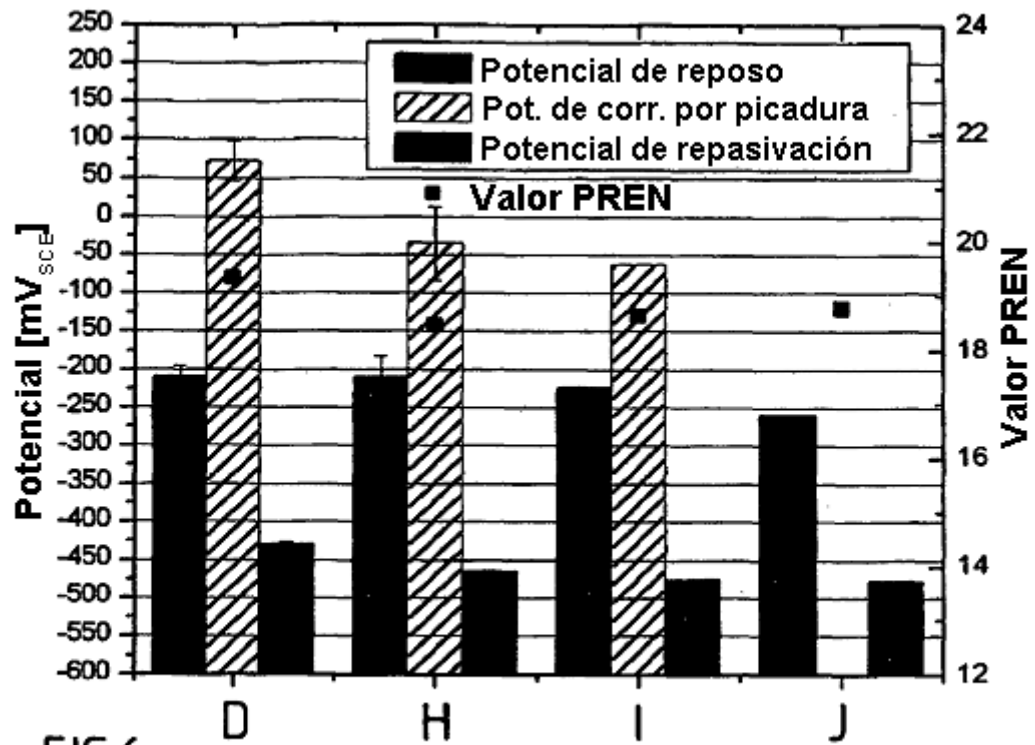


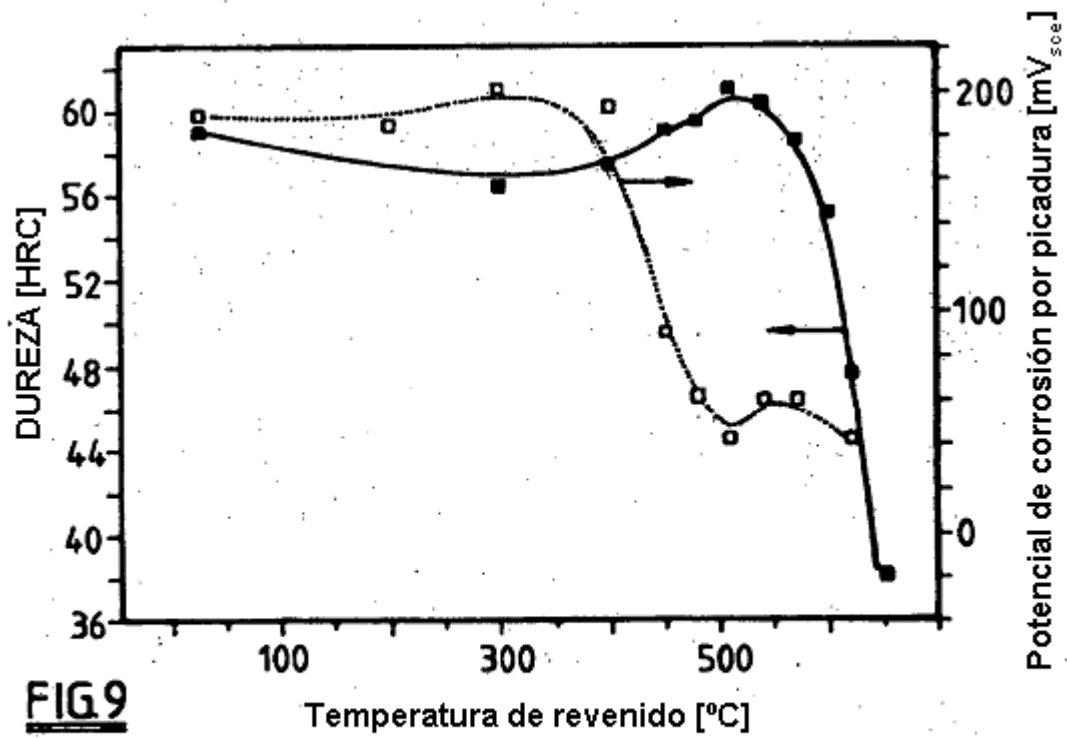
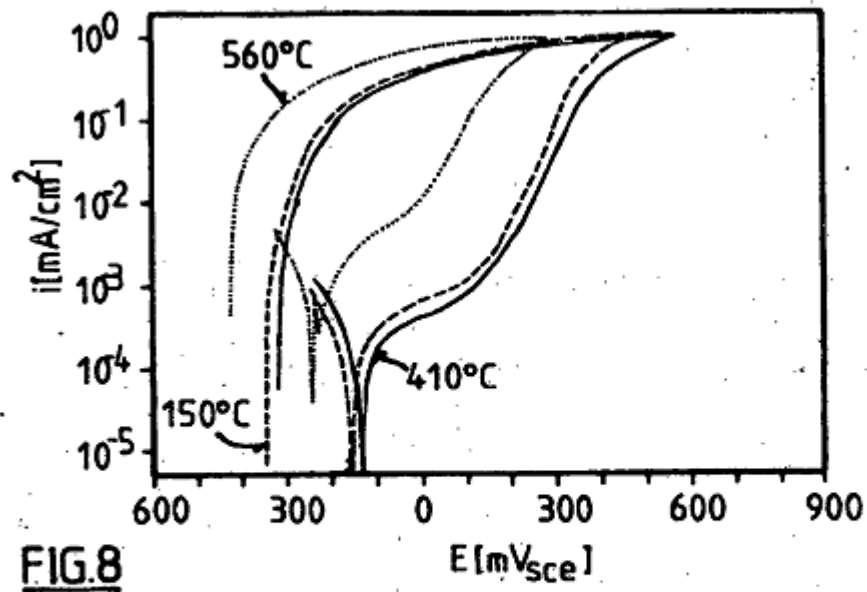
Aleación D



Aleación G

FIG.5





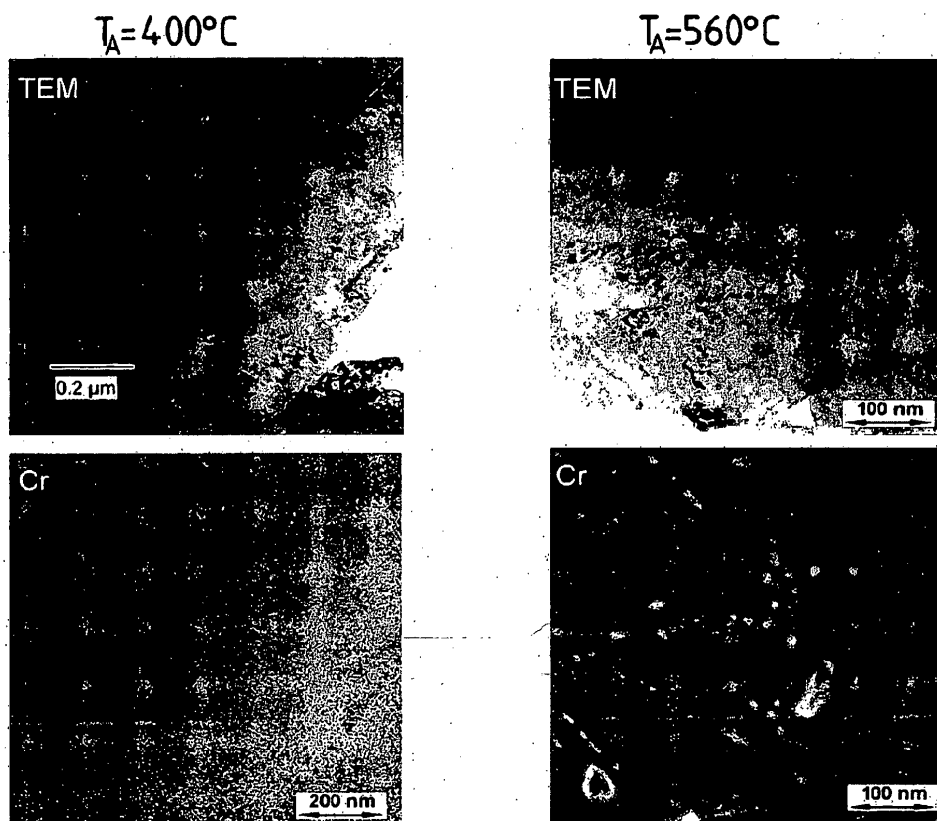


FIG. 10