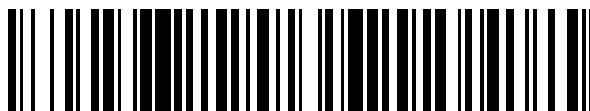


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 726 676**

51 Int. Cl.:

C22C 1/02 (2006.01)
C22C 33/02 (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01)
C22C 38/02 (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01)
C22C 38/06 (2006.01)
C22C 38/24 (2006.01)
C22C 38/26 (2006.01)
C22C 38/28 (2006.01)
C22C 38/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.12.2015** **PCT/EP2015/079457**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.06.2016** **WO16092085**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.12.2015** **E 15808596 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.02.2019** **EP 3230481**

54 Título: **Una aleación ferrítica**

30 Prioridad:

11.12.2014 EP 14197362

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

08.10.2019

73 Titular/es:

SANDVIK INTELLECTUAL PROPERTY AB
(100.0%)
811 81 Sandviken, SE

72 Inventor/es:

RAVE, FERNANDO;
SZAKALOS, PETER;
JÖNSSON, BO;
EJENSTAM, JESPER y
HELLSTRÖM SELIN, SUSANNE

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 726 676 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

Una aleación ferrítica

Campo técnico

La presente divulgación se refiere a una aleación ferrítica (aleación de FeCrAl) de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1. La presente divulgación se refiere además al uso de la aleación ferrítica en el intervalo de temperatura de 300 - 800°C de acuerdo con la reivindicación 13.

Técnica anterior

En los denominados sistemas de reactor rápido enfriado por plomo (LFR), se utiliza plomo líquido como agente de enfriamiento. El plomo líquido y el bismuto eutéctico (LBE) ofrecen la posibilidad de enfriamiento pasivo y, por lo tanto, contribuyen a hacer que la energía nuclear sea segura. Sin embargo, el plomo líquido es altamente corrosivo y pone altas exigencias en la resistencia a la corrosión de los materiales de construcción utilizados en los sistemas LFR.

Las aleaciones de FeCrAl se han propuesto recientemente como un material de elección para su uso en reactores rápidos enfriados con plomo debido a las buenas propiedades de oxidación de estas aleaciones, que es el resultado de la formación de una capa de alúmina (Al_2O_3) sobre las superficies de la aleación. Las aleaciones de FeCrAl se basan en aluminio, cromo y hierro y, debido a su resistencia a la oxidación y buena resistencia a la fluencia, estas aleaciones se utilizan comúnmente en elementos de calentamiento y cables a temperaturas de alrededor de 1.000 °C o superiores. Sin embargo, los reactores rápidos enfriados con plomo funcionan en el intervalo de temperatura de 400 a 600 °C y en este intervalo de temperatura, las aleaciones comerciales de FeCrAl que contienen normalmente alrededor del 15 al 20% en peso de Cr, sufren una separación de fases α - α' debido a una brecha de miscibilidad que está presente en el sistema de Fe-Cr. La separación de fases α - α' da como resultado la fragilidad de la aleación de FeCrAl y esto hace que las aleaciones de FeCrAl comerciales no sean adecuadas como materiales de construcción en el intervalo de temperatura utilizado en los sistemas (LFR).

Las composiciones de FeCrAl se han probado en plomo líquido o en disolución líquida de plomo-bismuto-eutéctica. En un estudio de Weisenburger et al., se muestra que las aleaciones modelo de FeCrAl contienen $\geq 12,5$ % en peso de Cr y ≥ 6 % en peso de Al pudieron formar cascarillas protectoras delgadas de alúmina en el intervalo de temperatura de 400 a 600 °C [Weisenburger, Jianu, Doyle, Bruns, Fetzer, Heinzl, DelGiacco, An, Müller, "Oxide scales formed on Fe-Cr-Al-based model alloys exposed to oxygen containing molten lead", Journal of Nuclear Materials 437 (2013) 282-292]. Otro trabajo de Lim et al., mostró que una aleación de Fe-13Cr-4Al podría formar alúmina protectora a partir de 500 °C [Lim, Hwang, Kim, "Design of alumina forming FeCrAl steels for lead or lead-bismuth cooled fast reactors", Journal of Nuclear Materials 441 (2013) 650-660].

La patente coreana KR 10-1210531 muestra una aleación de FeCrAl que está diseñada para su uso en aplicaciones de energía nuclear.

Las aleaciones de FeCrAl también pueden comprender elementos reactivos (RE), que son elementos con alta afinidad por el oxígeno y el carbono. A altas temperaturas, de aproximadamente 1.000 °C, las adiciones de los elementos reactivos tales como Y, Zr y Hf mejoran las propiedades de oxidación de las aleaciones al equilibrar la difusión hacia afuera de los iones metálicos y la difusión hacia adentro del oxígeno, lo que da lugar a un crecimiento de óxido equilibrado y, por lo tanto, a una reducción de las tensiones mecánicas y/o la porosidad en la cascarilla de óxido. Se han realizado estudios sobre la influencia de las adiciones de Zr y Ti en la resistencia a la corrosión a largo plazo (10.000 h) de las aleaciones Fe-10Cr-6Al en plomo líquido a 550 °C. [Ejenstam et al., "Oxidation studies of Fe10CrAl-RE alloys exposed to Pb at 550°C for 10,000 h", Journal of Nuclear Materials 443 (2013) 161-170]. Además, en un estudio de Ejenstam et al., ["Microstructural stability of Fe-Cr-Al alloys at 450°C", Journal of Nuclear Materials 457 (2014) 297 -297], las aleaciones de Fe-10Cr-(4-8)Al y una de Fe-21Cr-5Al se envejecieron térmicamente en el intervalo de temperatura de 450 a 550 °C durante un período de tiempo de hasta 10.000 h, y las microestructuras se evaluaron principalmente mediante tomografía con sonda atómica. Además, se desarrolló un modelo cinético de Monte Carlo (KMC) del sistema Fe-Cr-Al. No se observó separación de fases en las aleaciones de Fe-10Cr-(4-8)Al, y el modelo de KMC desarrollado dio resultados en buena concordancia con los datos experimentales.

Sin embargo, aunque la investigación descrita anteriormente ha contribuido a mejorar las propiedades de las aleaciones de FeCrAl, todavía existe la necesidad de aumentar aún más la resistencia a la corrosión de estas aleaciones.

Por lo tanto, es un aspecto de la presente divulgación proporcionar una aleación de FeCrAl que tenga una resistencia a la corrosión mejorada. En particular, es un aspecto de la presente descripción proporcionar una aleación de FeCrAl que tenga una resistencia a la corrosión muy buena a temperaturas en el intervalo de 300 a 800 °C en entornos altamente corrosivos. Además, es un aspecto de la presente descripción proporcionar una aleación de FeCrAl que sea resistente a la corrosión en aleaciones de plomo líquido a temperaturas en el intervalo de 300 a 800 °C. Un aspecto adicional de la presente divulgación es proporcionar una aleación de FeCrAl que sea adecuada como material de construcción en aplicaciones tales como calderas, hornos y plantas y procesos generadores de calor y energía. Otras aplicaciones adecuadas incluyen materiales para soldadura de revestimiento, revestimiento por pulverización o tubos

de material compuesto. En particular, es un aspecto de la presente divulgación proporcionar una aleación de FeCrAl que sea adecuada como material de construcción en un sistema de reactor rápido enfriado con plomo a un intervalo de temperatura de 300 a 800 °C.

Descripción detallada de la divulgación

5 La presente divulgación también se refiere a una aleación ferrítica, que comprende en % en peso:

C: 0,01 – 0,1;

N: 0,001 – 0,1;

O: ≤ 0,2;

B: ≤ 0,01;

10 Cr: 9 – 11,5;

Al: 2,5 - 8;

Si: ≤ 0,5;

Mn: < 0,4;

Y: ≤ 2,2;

15 Sc+Ce+La: ≤ 0,2;

Mo+W: ≤ 4,0;

Ti: ≤ 1,7;

Zr: ≤ 3,3;

Nb: ≤ 3,3;

20 V: ≤ 1,8;

Hf+Ta+Th: ≤ 6,5;

siendo el resto Fe e impurezas inevitables,

en donde, las cantidades de Ti + Zr + Nb + Hf + V + Ta + Th y C, N y O se equilibran de manera que:

1,2 ≤

25
$$\frac{\% \text{ at. Ti} + \% \text{ at. Zr} + \% \text{ at. Nb} + \% \text{ at. V} + \% \text{ at. Hf} + \% \text{ at. Ta} + \% \text{ at. Th} - x \% \text{ at. O} - \% \text{ at. N}}{\% \text{ at. C}}$$

≤ 2.0

en donde x es 0,5, a menos que el contenido de Y sea mayor que o igual al 0,01% en peso, luego x es 0,67.

La presente divulgación también se refiere a una aleación ferrítica que comprende en % en peso:

30 C: 0,01 – 0,1;

N: 0,001 – 0,1;

O: ≤ 0,2;

B: ≤ 0,01;

Cr: 9 – 11;

35 Al: 2,5 - 8;

Si: ≤ 0,5;

Mn: < 0,4;

Y:	$\leq 2,2$;
Sc+Ce+La:	$\leq 0,2$;
Mo+W:	$\leq 4,0$;
Ti:	$\leq 1,7$;
5 Zr:	$\leq 3,3$;
Nb:	$\leq 3,3$;
V:	$\leq 1,8$;
Hf+Ta+Th:	$\leq 6,5$;

siendo el resto Fe e impurezas inevitables,

10 en donde, las cantidades de Ti + Zr + Nb + Hf + V + Ta + Th y C, N y O se equilibran de manera que:

1,2 $\leq$

$$\frac{\% \text{ at. Ti} + \% \text{ at. Zr} + \% \text{ at. Nb} + \% \text{ at. V} + \% \text{ at. Hf} + \% \text{ at. Ta} + \% \text{ at. Th} - x \% \text{ at. O} - \% \text{ at. N}}{\% \text{ at. C}}$$

≤ 2.0

15 en donde x es 0,5, a menos que el contenido de Y sea mayor que o igual al 0,01% en peso, luego x es 0,67.

De ahí que, las aleaciones de la presente divulgación tengan las cantidades de Ti + Zr + Nb + Hf + V + Ta + Th y C, N y O equilibradas, de manera que:

$$\frac{\% \text{ at. Ti} + \% \text{ at. Zr} + \% \text{ at. Nb} + \% \text{ at. V} + \% \text{ at. Hf} + \% \text{ at. Ta} + \% \text{ at. Th} - x \% \text{ at. O} - \% \text{ at. N}}{\% \text{ at. C}}$$

20 son mayores que 1. La aleación de la presente divulgación comprende además cromo y elementos reactivos tales como Ti, Zr, Nb, Hf, V, Ta y Th. Los elementos reactivos pueden estar presentes individualmente en la aleación o en cualquier combinación. Como se explicará más detalladamente a continuación, estos elementos se añaden a la aleación para mejorar la formación de la capa protectora de Al_2O_3 o sus propiedades. Las aleaciones de FeCrAl contienen típicamente carbono. El carbono se puede haber añadido deliberadamente, por ejemplo, para aumentar la resistencia, o puede existir en la aleación como una impureza accidental resultante, por ejemplo, del proceso de producción. Estos elementos reactivos, tales como Ti, Zr, Nb, Hf, V, Ta y Th, también son fuertes formadores de carburo, es decir, su afinidad por el carbono es alta y, por lo tanto, el carbono presente en la aleación será atraído hacia el cromo o los elementos reactivos y formar carburos.

30 A través de experimentos, los autores de la presente invención han descubierto sorprendentemente que la resistencia a la oxidación de una aleación de FeCrAl se mejora considerablemente cuando las cantidades, en porcentaje atómico, de los elementos reactivos se equilibran con la cantidad, en porcentaje atómico, de carbono en la aleación de manera que el cociente entre los elementos reactivos y el carbono sea superior a 1.

El mecanismo detrás de la divulgación se comprende más fácilmente cuando se realiza un estudio de corrosión en una aleación en la que existe un déficit de elementos reactivos en relación con el carbono.

35 La figura 1 muestra esquemáticamente una aleación de FeCrAl en la que el cociente entre los elementos reactivos y el carbono es cercano o inferior a 1.

Durante la solidificación después de la fundición de la aleación, los elementos reactivos (RE) forman inicialmente carburos y nitruros en la mayor parte de la aleación.

40 De acuerdo con la descripción, las cantidades, en porcentaje atómico, de los elementos reactivos se equilibran con la cantidad, en porcentaje atómico, de carbono en la aleación, de modo que el cociente entre los elementos reactivos disponibles para formar carburos y el carbono disponible sea superior a 1. Esto dará como resultado que al menos una cantidad igual de átomos de los elementos reactivos disponibles y los átomos de carbono disponibles estarán presentes en la aleación como se define antes o después en la presente memoria. Dado que los elementos reactivos son los formadores de carburo más fuertes de la aleación, más fuertes que el cromo y los demás componentes de la aleación, todo el carbono libre será atraído a los elementos reactivos disponibles y formará carburos con los mismos.

45 Por lo tanto, no quedará carbono libre en la aleación para formar carburos ricos en cromo, siempre que el contenido de elementos reactivos disponibles sea suficiente.

Un efecto positivo adicional es que los carburos formados a partir de los elementos reactivos se distribuyen homogéneamente a lo largo de la mayor parte de la aleación de FeCrAl, como se define antes o después en la presente memoria y, por lo tanto, contribuyen a la resistencia mecánica de la aleación mediante endurecimiento por dispersión.

De acuerdo con una realización de la aleación FeCrAl, como se define antes o después en la presente memoria, el cociente entre los elementos reactivos disponibles y el carbono es superior a 1, es decir, hay un excedente de elementos reactivos en la aleación. Por lo tanto, el motivo es que algunos elementos reactivos se consumirán en el proceso de formación de la capa protectora de Al_2O_3 y contribuirán a una mayor adhesión entre la capa de Al_2O_3 y la superficie de la aleación. Al equilibrar la cantidad de elementos reactivos de modo que haya un excedente de los mismos después de reaccionar con carbono y nitrógeno, se evita la formación incluso de cantidades diminutas de carburos ricos en cromo.

De acuerdo con la presente divulgación, el cociente más bajo para la aleación de FeCrAl como se define antes o después en la presente memoria es de al menos o igual a 1,2. Este cociente significa que habrá al menos suficientes elementos reactivos presentes en la aleación después de la formación de la capa de Al_2O_3 para consumir todo el carbono libre.

El cociente más alto posible entre los elementos reactivos y el carbono está determinado por la estabilidad de los compuestos intermetálicos que los elementos reactivos pueden formar en la aleación. De acuerdo con la realización de la presente aleación de FeCrAl, el cociente más alto puede ser de 2,0 o inferior.

El cociente entre los elementos reactivos y el carbono puede ser de 1,2 a 2,0.

La aleación ferrítica como se define antes o después en la presente memoria se puede fabricar por métodos convencionales de fabricación de acero, denominados metalurgia de fusión, que incluyen: fusión en un horno inductivo, afino en cuchara de la masa fundida en moldes seguido de laminación en caliente. La aleación ferrítica, como se define antes o después en la presente memoria, también se puede producir mediante pulvimetalurgia, en este caso, que incluye las etapas para producir polvo metálico al atomizar, compactar el polvo y seguir por sinterización o prensado isostático en caliente.

Los constituyentes de la aleación, como se definen antes o después en la presente memoria, se describirán a continuación con detalle.

El resto en la aleación de FeCrAl, como se define antes o después en la presente memoria, es Fe e impurezas inevitables. Los ejemplos de impurezas inevitables son elementos y compuestos que no se han añadido a propósito, sino que no se pueden evitar por completo, ya que normalmente se presentan como impurezas en, por ejemplo, el material utilizado para la fabricación de la aleación de FeCrAl.

Cuando se utiliza el símbolo " $\leq$ " en el siguiente contexto: "elemento $\leq$ número", los expertos en la técnica saben que el límite inferior del intervalo es 0 % en peso, a menos que se indique específicamente otro número.

Carbono (C)

Se incluye carbono en la aleación FeCrAl, como se define antes o después en la presente memoria, para aumentar la resistencia mediante endurecimiento por precipitación. El carbono también puede estar presente como una impureza inevitable que resulta del proceso de producción. Para lograr una resistencia suficiente en la aleación, el carbono debe estar presente en una cantidad de al menos 0,01 % en peso. En niveles demasiado altos, el carbono puede ocasionar dificultades para formar el material y un efecto negativo en la resistencia a la corrosión. Por lo tanto, la cantidad máxima de carbono es del 0,1 % en peso en la aleación, como se define antes o después en la presente memoria. Por ejemplo, la cantidad máxima de carbono es del 0,02 al 0,09 % en peso, tal como del 0,02 al 0,08 % en peso, tal como del 0,02 al 0,07 % en peso, tal como del 0,02 al 0,06 % en peso, tal como del 0,02 al 0,05 % en peso, tal como del 0,01 al 0,04 % en peso.

Nitrógeno (N)

Se puede incluir nitrógeno en la aleación FeCrAl como se define antes o después en la presente memoria, para aumentar la resistencia mediante endurecimiento por precipitación. El nitrógeno también puede estar presente como una impureza inevitable que resulta del proceso de producción. En niveles demasiado altos, el nitrógeno puede ocasionar dificultades para formar el material y puede tener un efecto negativo en la resistencia a la corrosión. Por lo tanto, la cantidad máxima de nitrógeno es del 0,1 % en peso en la aleación de FeCrAl, como se define antes o después en la presente memoria. Para lograr un endurecimiento mediante precipitación suficiente en la metalurgia de fusión, el nitrógeno debe estar presente en una cantidad de al menos 0,001 % en peso, siendo los ejemplos de intervalos adecuados de nitrógeno, por ejemplo, del 0,001 al 0,08 % en peso, tal como del 0,001 al 0,05 % en peso, tal como del 0,001 al 0,04 % en peso, tal como del 0,001 al 0,03 % en peso, tal como del 0,001 al 0,02 % en peso, tal como del 0,001 al 0,01 % en peso. En la pulvimetalurgia, el contenido de nitrógeno puede ser de al menos el 0,01 % en peso. Por ejemplo, en la pulvimetalurgia, el nitrógeno está en una cantidad del 0,01 al 0,1 % en peso, tal como del 0,01 al 0,08 % en peso.

Oxígeno (O)

El oxígeno puede existir en la aleación ferrítica, como se define antes o después en la presente memoria, como una impureza resultante del proceso de producción en cantidades de hasta el 0,02 % en peso, tal como de hasta el 0,005 % en peso. En la metalurgia en masa fundida, la cantidad de oxígeno puede ser del 0,001 al 0,08 % en peso, tal como del 0,001 al 0,05 % en peso, tal como del 0,001 al 0,02 % en peso. En la metalurgia de polvos, se puede añadir el oxígeno deliberadamente para lograr un efecto de endurecimiento por precipitación. La aleación, como se define antes o después en la presente memoria, comprende hasta un 0,2 % en peso de oxígeno, tal como del 0,01 al 0,2 % en peso de oxígeno, tal como del 0,01 al 0,1 % en peso, tal como del 0,01 al 0,08 % en peso.

Cromo (Cr)

El cromo potencia la formación de la capa de Al_2O_3 en la aleación, como se define antes o después en la presente memoria, a través del llamado efecto del tercer elemento, es decir, por la formación de óxido de cromo en la etapa de oxidación transitoria. El cromo estará presente en la aleación, como se define antes o después en la presente memoria, en una cantidad de al menos el 9 % en peso. Sin embargo, puesto que la aleación como se define antes o después en la presente memoria está diseñada para usarse en el intervalo de temperatura del 300 al 800 °C, el cromo no debe superar el 13 % en peso con el fin de evitar la brecha de miscibilidad en el sistema Fe-Cr, donde una separación de fases α - α' da como resultado la fragilidad de la aleación de FeCrAl. Por ejemplo, la cantidad de cromo puede ser del 9 al 13 % en peso, tal como del 9 al 12 % en peso, tal como del 9 al 11 % en peso, tal como del 9 al 10 % en peso. De acuerdo con una realización específica, la cantidad de Cr está en el intervalo del 9 al 11 % en peso, tal como del 9 al 10 % en peso. De acuerdo con aún otra realización específica, la cantidad de Cr está en el intervalo del 9 al 11,5 % en peso.

Aluminio (Al)

El aluminio es un elemento importante en la aleación, como se define antes o después en la presente memoria, puesto que el aluminio, cuando se expone al oxígeno a alta temperatura, formará el óxido denso y delgado Al_2O_3 , que protegerá la superficie de la aleación subyacente frente a más oxidación. La cantidad de aluminio debe ser de al menos el 2,5 % en peso para garantizar que se forme la capa de Al_2O_3 y que haya suficiente aluminio para reparar la capa de Al_2O_3 cuando esté dañada. Sin embargo, el aluminio tiene un impacto negativo en la conformabilidad de la aleación y la cantidad de aluminio no debe exceder el 8 % en peso en la aleación, como se define antes o después en la presente memoria. Por ejemplo, el aluminio puede estar en una cantidad del 3 al 7 % en peso, tal como del 3 al 5 % en peso, tal como del 3,5 al 6 % en peso, tal como del 4 al 6 % en peso.

Silicio (Si)

El silicio puede estar presente como una impureza en la aleación, como se define antes o después en la presente memoria, en una cantidad de hasta el 0,5 % en peso, tal como del 0 al 0,4 % en peso.

Manganeso (Mn)

El manganeso puede estar presente como una impureza en la aleación, como se define antes o después en la presente memoria, en una cantidad de hasta el 0,4 % en peso, tal como del 0 al 0,3 % en peso.

Itrio (Y)

El itrio se puede añadir en una cantidad de hasta el 0,8 % en peso para mejorar la adherencia de la capa de Al_2O_3 , tales como en cantidades de hasta el 0,3 % en peso, tal como de hasta el 0,1 % en peso. Sin embargo, si se añade itrio a la aleación ferrítica, como se define antes o después en la presente memoria, en cantidades superiores o iguales al 0,01 % en peso, la formación de óxidos de itrio afectará el cociente y , en consecuencia, x será 0,67. Además, cuando se usa metalurgia de polvos, si se añade itrio, el contenido de itrio está presente en una cantidad de al menos 0,01 % en peso, con el fin de lograr un efecto deseado de endurecimiento de la dispersión por óxidos y/o nitruros. La cantidad máxima de itrio en aleaciones endurecidas por dispersión puede ser de hasta el 2,2 % en peso, tal como de hasta el 1,2 % en peso, tal como de hasta el 1 % en peso. Los ejemplos de intervalos adecuados son: del 0,01 al 1,2 % en peso, del 0,01 al 1 % en peso y del 0,04 al 1 % en peso.

Escandio (Sc), Cerio (Ce) y Lantano (La)

Escandio, Cerio y Lantano son elementos intercambiables y se pueden añadir individualmente o en combinación en una cantidad total de hasta el 0,2 % en peso, para mejorar las propiedades de oxidación, autoreparación de la capa de Al_2O_3 o la adhesión entre la aleación y la capa de Al_2O_3 . De acuerdo con una realización específica la aleación crítica, como se define antes o después en la presente memoria, no comprende ninguna cantidad de Sc, Ce y La añadida, es decir, cero % en peso de Sc, Ce y/o La, añadido intencionadamente. De acuerdo con otra realización específica la aleación ferrítica, como se define antes o después en la presente memoria, no comprende ninguna cantidad de Ce y/o La añadida.

Molibdeno (Mo) y Wolframio (W)

Tanto el molibdeno como el wolframio tienen efectos positivos sobre la resistencia en caliente de la aleación, como se define antes o después en la presente memoria, y se pueden añadir individualmente o en combinación en una cantidad de hasta el 4,0 % en peso, tal como del 0 al 2,0 % en peso.

5 Elementos reactivos (RE)

Por definición, los elementos reactivos son altamente reactivos con el carbono, nitrógeno y oxígeno. El titanio (Ti), el circonio (Zr), el niobio (Nb), el vanadio (V), el hafnio (Hf), el tantalio (Ta) y el torio (Th) son elementos reactivos en el sentido de que tienen una alta afinidad por el carbono, de ahí que sean fuertes formadores de carburo. Estos elementos se añaden con el fin de mejorar las propiedades de oxidación de la aleación, como se define antes o después en la presente memoria, mediante el equilibrio de la difusión de iones metálicos y oxígeno, que regirán la cinética del proceso de crecimiento de óxido. Las cantidades máximas del elemento reactivo respectivo dependerán principalmente de la tendencia del elemento a formar fases intermetálicas adversas. Por lo general, se considera que el itrio es un elemento reactivo, pero en la presente divulgación se analiza en un párrafo separado y tampoco forma parte del cociente (excepto que afectará al número x que debería tener) porque no formará carburos tan fuertes como los otros elementos reactivos anteriormente mencionados.

Por lo tanto, la cantidad máxima de titanio es del 1,7 % en peso en la aleación, como se define antes o después en la presente memoria, tal como del 0,02 al 1,7 % en peso. En la metalurgia de masa fundida, las cantidades adecuadas de titanio son del 0,02 al 1,3 % en peso, tal como del 0,02 al 0,98 % en peso, tal como del 0,02 al 0,85 % en peso, tal como del 0,04 al 0,75 % en peso. En la metalurgia de polvos, las cantidades adecuadas de titanio son del 0,02 al 1,3 % en peso, tal como del 0,04 al 0,75 % en peso, tal como del 0,05 al 0,75 % en peso.

La cantidad máxima de circonio y niobio es del 3,3 % en peso en la aleación, como se define antes o después en la presente memoria, respectivamente. Las cantidades de circonio y niobio pueden ser del 0,04 al 3,3 % en peso, respectivamente. En la metalurgia de masa fundida, el circonio puede estar en una cantidad del 0,04 al 2,4 % en peso, tal como del 0,04 al 1,9 % en peso, tal como del 0,04 al 1,6 % en peso, tal como del 0,08 al 1,4 % en peso, tal como del 0,1 al 0,9 % en peso, tal como del 0,1 al 0,6 % en peso. En la metalurgia de polvos, el circonio puede estar en una cantidad del 0,04 al 2,4 % en peso, tal como del 0,08 al 1,4 % en peso, tal como del 0,3 al 1,4 % en peso, tal como del 0,1 al 0,9 % en peso, tal como del 0,1 al 0,6. En la metalurgia de masa fundida, el niobio puede estar en una cantidad del 0,04 al 2,4 % en peso, tal como del 0,04 al 1,9 % en peso, tal como del 0,04 al 1,6 % en peso, tal como del 0,08 al 1,4 % en peso. En la metalurgia de polvos, el niobio puede estar en una cantidad del 0,04 al 2,4 % en peso, tal como del 0,08 al 1,4 % en peso, tal como del 0,08 al 1,2 % en peso.

Como ejemplo, una aleación puede incluir Ti + Zr en una cantidad del 0,04 al 3,1 % en peso. Una aleación para metalurgia de masa fundida adecuada puede incluir Ti + Zr en cantidades del 0,06 al 2,0 % en peso, tal como del 0,12 al 1,7 % en peso. Una aleación adecuada para la metalurgia de polvos puede incluir Ti + Zr en cantidades del 0,04 al 2,3 % en peso, tal como del 0,06 al 2,0 % en peso.

Otros ejemplos son:

Una aleación puede incluir Ti + Nb en cantidades del 0,04 al 3,1 % en peso. Una aleación adecuada para la metalurgia en masa fundida puede incluir Ti + Nb en cantidades del 0,06 al 2,0 % en peso, tal como del 0,12 al 1,7 % en peso. Una aleación adecuada para la metalurgia de polvos puede incluir Ti + Nb en cantidades del 0,04 al 2,3 % en peso, tal como del 0,06 al 2,0 % en peso.

Una aleación puede incluir Zr + Nb en cantidades del 0,04 al 4,6 % en peso. Una aleación adecuada para la metalurgia en masa fundida puede incluir Zr + Nb en cantidades de 0,08 a 2,8 % en peso, tal como del 0,16 al 2,5 % en peso. Una aleación adecuada para la metalurgia de polvos puede incluir Zr + Nb en cantidades del 0,04 al 3,3 % en peso, tal como del 0,08 a 2,8 % en peso.

La cantidad máxima de vanadio es del 1,8 % en peso;

El hafnio, el tantalio y el torio son elementos intercambiables y se pueden añadir a la aleación, como se define antes o después en la presente memoria, individualmente o en combinación en una cantidad total de hasta el 6,5 % en peso.

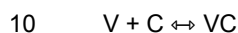
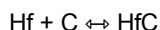
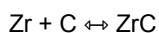
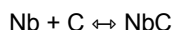
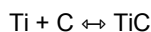
El hierro (Fe) y las impurezas inevitables constituyen el resto de la aleación, como se define antes o después en la presente memoria.

El cociente entre elementos reactivos disponibles y oxígeno, nitrógeno y carbono:

$$\frac{\% \text{ at. Ti} + \% \text{ at. Zr} + \% \text{ at. Nb} + \% \text{ at. V} + \% \text{ at. Hf} + \% \text{ at. Ta} + \% \text{ at. Th} - x \% \text{ at. O} - \% \text{ at. N}}{\% \text{ at. C}}$$

En la aleación, como se define antes o después en la presente memoria, la cantidad de cada elemento reactivo se equilibra con la cantidad de carbono con respecto al tipo de carburos que son termodinámicamente estables en las condiciones que prevalecen durante la fabricación de la aleación.

5 En las condiciones termodinámicas que prevalecen durante la producción de la aleación, los elementos reactivos forman los siguientes carburos:



En algunas circunstancias, los elementos reactivos Nb y V también pueden formar carburos inferiores:



15 Sin embargo, en las condiciones termodinámicas que prevalecen en la aleación durante el proceso de fabricación, estos carburos tienen una estabilidad baja y, por lo tanto, pueden ignorarse en el cociente.

20 Asimismo, además del contenido de carbono, la aleación de FeCrAl también puede contener nitrógeno y/u oxígeno, por lo tanto, estos dos elementos también deben considerarse en el cociente. Como se describió anteriormente, el nitrógeno y el oxígeno pueden existir en la aleación como impurezas o pueden haber sido añadidos deliberadamente para mejorar las propiedades de la aleación FeCrAl. Por ejemplo, cuando la aleación de FeCrAl se usa en aplicaciones metalúrgicas en polvo, el contenido de nitrógeno y oxígeno en la aleación de FeCrAl puede ser sustancial. Cuando el nitrógeno y el oxígeno están presentes, algunos de los elementos reactivos se consumen en forma de nitruros y óxidos. Esto dará como resultado que se deje que los elementos menos reactivos reaccionen con el carbono libre para formar carburos estables, lo que a su vez tendrá un impacto en la formación de óxido protector.

25 Los ejemplos de nitruros termodinámicamente estables de los elementos reactivos en la aleación son: TiN, ZrN, HfN, VN, TaN y ThN y los ejemplos de óxidos termodinámicamente estables de los elementos reactivos en la aleación son: TiO₂, ZrO₂, HfO₂, Y₂O₃ y ThO₂.

Por lo tanto, para compensar los elementos reactivos consumidos al formar nitruros y óxidos estables, la cantidad de nitrógeno y de oxígeno en la aleación se deduce de la cantidad de los elementos reactivos en el cociente.

30 La cantidad de oxígeno en el cociente se debe multiplicar por un factor de ponderación, "x", que se selecciona entre 0,5 o 0,67. El valor del factor de pesaje depende de qué tipo de óxido se forma, es decir, depende de qué elementos están incluidos en la aleación y también qué óxido es el más termodinámicamente estable en las condiciones que prevalecen durante la fabricación. Puesto que el óxido más comúnmente formado es un dióxido, el factor de pesaje se puede seleccionar que sea de aproximadamente 0,5. Sin embargo, si el elemento itrio está presente en la aleación (superior o igual al 0,01 % en peso), el óxido más estable formado es un tri-óxido, tal como Y₂O₃ o AlYO₃ y, por lo tanto, x es 0,67.

35 En el cociente, los elementos reactivos, carbono y, si corresponde, nitrógeno y oxígeno, se equilibran sobre la base del porcentaje de átomos del elemento respectivo porque es importante garantizar que para cada elemento reactivo se agreguen cantidades suficientes para que coincidan con el número de átomos de carbono libres en la aleación de modo que se forme el carburo deseado.

40 Durante el funcionamiento se formará la aleación ferrítica, como se define antes o después en la presente memoria, y, por lo tanto, comprenderá una capa de óxido superficial. La capa de óxido superficial comprenderá una capa externa de (Al₂Fe)O₄-óxido, una capa intermedia de óxido de Cr₂O₃ y una capa interna de Al₂O₃.

45 La aleación ferrítica, como se define antes o después en la presente memoria, también puede comprender dispersoides de ZrC y/o NbC y/o Nb₂C y/o HfC y/o VC y/o ThC y/o TaC. Los dispersoides pueden estar en forma de agrupación que comprende un núcleo de dispersoide de TiC y están rodeados por dispersoides de ZrC y/o NbC y/o Nb₂C y/o HfC y/o VC y/o ThC y/o TaC.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1: es un dibujo esquemático que muestra el fin de equilibrar RE y carbono.

Las figuras 2a y 2b: son micrografías que muestran un carburo rico en cromo formado en una aleación comparativa.

Las figuras 3a y 3b: son micrografías que muestran el comportamiento de oxidación en aleaciones comparativas.

Las figuras 4a y 4b: es una micrografía que muestra el comportamiento de oxidación en una aleación de acuerdo con una primera alternativa de la divulgación.

5 Las figuras 5a y 5b: es una micrografía que muestra el comportamiento de oxidación de una aleación de acuerdo con una segunda alternativa de la divulgación.

Descripción detallada de los ejemplos

La divulgación se describirá mediante el siguiente ejemplo no limitado:

10 El ejemplo pretende investigar las aleaciones de Fe-10Cr-4Al, y específicamente investigar la influencia de diferentes elementos reactivos (RE) en la resistencia a la corrosión a largo plazo (8.760 h) al plomo líquido a 550 °C. Además, se realizó un ensayo a corto plazo (1.000 h) a 450 °C con fines de comparación.

15 La influencia de las adiciones de los elementos reactivos (RE): Se seleccionaron Zr, Nb e Y para el ejemplo. Se produjeron nueve aleaciones experimentales, con contenido de RE variable, en un horno de inducción al vacío. Las muestras se laminaron en caliente en tiras de 8 x 1 mm y se homogeneizaron a 1.050 °C durante 5 minutos después de cada etapa. Las composiciones químicas analizadas para todas las aleaciones estudiadas se presentan en la tabla 1.

Tabla 1: composición química de las aleaciones estudiadas (% en peso)

RE													
Aleación	Fe	Cr	Al		Si	Mn	C		Ti	Zr	Nb	Y	RE/C
20	(% at.)												
	Zr-0,1	Bal.	10,12	3,98	0,12	0,11	0,04		0,08	0,11	-	-	0,89
	Zr-0,2	Bal.	10,15	3,95	0,13	0,11	0,03		0,09	0,21	-	-	1,67
	Zr-0,4	Bal.	10,20	4,06	0,12	0,12	0,03		0,07	0,39	-	-	2,30
	Nb-0,4	Bal.	10,20	4,10		0,15	0,07	0,03		0,11	-		0,46
													-
													2,94
25	Nb-0,8	Bal.	10,17		4,12	0,12	0,12	0,03		0,08	-		0,9
													-
													4,95
	Nb-0,8C	Bal.	10,12		4,16	0,12	0,12	0,1		0,06	-		0,85
													-
													1,32
	Y-0,02*	Bal.	10,26	4,24		0,07	0,12	0,03	0,07	-	-		0,02
													0,70
	Y-0,1*	Bal.	10,21	4,14		0,12	0,13	0,03	0,07	-	-		0,09
													0,87
	Y-0,2*	Bal.	10,12		4,05	0,12	0,11	0,03	0,08	-	-		0,19
													1,45

30 * Aunque el cociente de acuerdo con la definición en la presente memoria no incluye Y, Y se incluyó en el cociente para las tres últimas aleaciones, con fines de comparación. Sin embargo, como se observa y también se analiza en la presente descripción, el itrio actúa de manera diferente en comparación con RE.

35 El contenido de RE y carbono se varió en las nueve muestras, de modo que algunas muestras tuvieron un déficit de RE en comparación con la cantidad de carbono (las muestras Zr-0,1, Y-0,02, Y-0,1), en algunas muestras las cantidades de RE y carbono estaban en equilibrio (las muestras Zr-0,2, Nb-0,8C, Y-0,2) y en algunas muestras, RE estaba en exceso en comparación con el carbono (las muestras Zr-0,4, Nb-0,4, Nb-0,8).

40 Se prepararon probetas unidas de 30 x 8 x 1 mm de cada aleación para el estudio de oxidación. Las superficies se pulieron hasta obtener un acabado de granalla n° 800 utilizando papeles abrasivos de SiC, después de lo cual las probetas se sonicaron en etanol y luego se colocaron en crisoles de alúmina rellenos con perdigones (base metálica) de 2 mm al 99,9% de plomo. El ensayo de oxidación se llevó a cabo en un horno de tubos, en el que los crisoles se colocaron dentro de tubos de cuarzo sellados. El contenido de oxígeno disuelto en el plomo líquido se controló por medio de una mezcla de gas fluido Ar-H₂-H₂O. Se utilizaron relaciones de H₂/H₂O de 1,3 y 0,2 para lograr una concentración de oxígeno disuelto de 10⁻⁷ % en peso en el plomo líquido a 550 °C y 450 °C, respectivamente. Después de finalizar los ensayos de oxidación, 1.000 h a 450 °C y 8.760 h a 550 °C, las muestras se enfriaron al aire y se limpiaron de plomo residual en una disolución (1:1) de ácido acético y peróxido de hidrógeno. Las muestras de microscopía electrónica de transmisión (TEM) se prepararon a través de la extracción estándar utilizando un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo 3D FEI quanta (FEG-SEM). Se realizó la evaluación TEM

utilizando un JEOL JEM-2100F FEG TEM. El análisis elemental de espectroscopia de energía dispersa (EDS) se realizó utilizando un detector de deriva de silicio (SDD) X-Max^N de 80 mm² de Oxford Instruments. Las muestras SEM se prepararon moldeando la muestra oxidada en una resina conductora, seguido de un pulido fino hasta una etapa final de diamante de 0,25 µm. Para la caracterización general se usaron un instrumento Zeiss Leo 1530 FEG-SEM y un instrumento Oxford X-Max SDD EDS de 50 mm². El modelado termodinámico se llevó a cabo utilizando ThermoCalc ejecutando las bases de datos TCFE7 y SSOL4.

Resultados de las investigaciones

Los resultados del ensayo de oxidación de 8,760 h a 550 °C mostraron claras diferencias en las propiedades de oxidación con respecto a varias adiciones de RE.

Las tres aleaciones (Zr-0,1, Y-0,02 e Y-0,1) que tenían un déficit de RE en comparación con el carbono formaron cantidades significativas de carburos ricos en Cr. La figura 2a muestra un carburo rico en Cr (1) cerca de una cascarilla de óxido rica en Al (2) formada en la superficie (3) de la muestra. En la figura 2a, el carburo rico en Cr se puede detectar como una forma blanca dentro de la zona rodeada por un círculo. La figura 2b es un mapa TEM Cr EDS de la zona de carburo rica en cromo (1) rodeada por un círculo en la figura 2a. En este caso, la forma de la zona rica en cromo es claramente visible.

Los ejemplos mostraron que casi todos los carburos ricos en Cr se formaron en contacto con el óxido rico en Al en las superficies de la muestra. Esto se puede explicar porque el aluminio suprime la formación de carburo, es decir, estabiliza el grafito. Por lo tanto, parece probable que la nucleación del carburo rico en Cr se potencia en el límite de la fase de óxido de metal agotado en Al. Por lo tanto, el óxido con protector de Al no se había formado correctamente.

Además, las tres aleaciones, Zr-0,1, Y-0,02 e Y-0,1, todas mostraron malas propiedades de oxidación en los ensayos de oxidación. Los malos resultados fueron consistentes tanto a 550 °C como a 450 °C, lo que demuestra que es importante seleccionar el cociente correcto, como se describe antes y después en la presente memoria.

La Figura 3a muestra una imagen SEM de una sección transversal de una muestra tomada de la aleación Zr-0,1 después de la oxidación a una temperatura de 550 °C. Es claramente visible en la imagen un óxido mixto de forma irregular, que se ha convertido en la mayor parte de la aleación. La alta cantidad de carburos de superficie ricos en cromo en la interfase de óxido de metal de la muestra Zr-0,1, aparentemente da lugar a un tipo de picadura de oxidación acelerada, mostrando óxidos metálicos mixtos en crecimiento hacia el interior que miden hasta aproximadamente 5 µm.

A temperaturas más bajas, donde se necesita un bajo contenido de Cr para evitar la separación de fases, la presencia de carburos de superficie ricos en cromo dio lugar a la formación de cascarillas de óxido no protectoras. Esto se confirmó mediante el ensayo de oxidación más corto (1.000 h) a 450 °C. Las mismas tres aleaciones que contenían carburos cerca de la superficie (Zr-0,1, Y-0,02, Y-0,1) y que tenían un déficit de RE en comparación con el carbono se cubrieron completamente con una estructura de óxido de tres capas, que consistía en una cascarilla de Fe₃O₄ de crecimiento interno y un óxido mixto de FeCrAl de crecimiento interno, bajo la cual se observó una zona de oxidación interna. La figura 3b muestra una micrografía SEM de la muestra Y-0,02 que tiene la estructura de capas de óxido descrita anteriormente. La profundidad total de los ataques de corrosión en la muestra Y-0,02 se midió a 3-4 µm.

Aleaciones equilibradas

Por lo tanto, al equilibrar el contenido de C y RE, se mejoró el rendimiento de corrosión de la aleación de FeCrAl. Tres aleaciones en el estudio, Zr-0,2, Y-0,2 y Nb-0,8C, que contenían RE casi en equilibrio con respecto al contenido de C, mostraron un comportamiento de oxidación significativamente diferente a 550 °C.

Zr-0,2

La aleación Zr-0,2 no mostró signos de ataques de oxidación. Se llevó a cabo una evaluación de TEM para estudiar la superficie de la muestra de Zr-0,2 y esta mostró la presencia de un óxido delgado de aproximadamente 100 nm de espesor que se había formado durante la exposición de 8.760 h en plomo líquido, véase la figura 4b. El óxido se dividió en tres capas, una capa de Al₂O₃ de crecimiento hacia el interior y un óxido mixto de FeAl de crecimiento hacia el exterior, delimitadas por una capa delgada de óxido rico en Cr. La figura 4b es un barrido de línea TEM EDS que muestra la composición química de la capa en la figura 3a, en función de la distancia desde la superficie de la capa.

A 450 °C, la aleación Zr-0,2 mostró propiedades de oxidación favorables, es decir, se formó una capa protectora de óxido, véase la figura 4a. El óxido delgado que se formó en sus superficies se investigó por medio de TEM y se midió a aproximadamente 40 nm. De manera similar a los resultados de TEM a 550 °C, el óxido formado a 450 °C se dividió en tres zonas, una capa interna enriquecida únicamente en Al, una parte externa rica en Fe y una capa intermedia rica en Cr (figura 4b). La figura 5b es un barrido de línea TEM EDS que muestra la composición química de la capa en la figura 5a, en función de la distancia desde la superficie de la capa.

Nb-0,8C

La aleación Nb-0,8C no mostró ataques de oxidación a 550 °C.

Y-0,2

- 5 Se encontraron picaduras de oxidación localizadas en la aleación Y-0,2 después del tratamiento a 550 °C a pesar del ligero exceso de Y en relación con C. Esto se puede explicar por la estabilidad relativamente débil de los carburos de itrio en comparación con los de Zr y Nb. Mediante la caracterización de la microestructura se descubrieron precipitados ricos en Y, que se enriquecieron en C, O, S y en particular en Fe.

Aleaciones de gran relación en exceso

- 10 Las muestras que tienen un gran exceso de RE en comparación con C, (es decir, las muestras Zr-0,4, Nb-0,4, Nb-0,8) mostraron propiedades de oxidación deficientes tanto a 550 °C como a 450 °C. La aleación Zr-0,4 mostró un ataque de oxidación de tipo picaduras a 550 °C y se descubrieron fases ricas en Fe y Zr que medían hasta 2 µm en toda la matriz. Además, las picaduras de óxido en la misma aleación se enriquecieron en Zr.

- 15 Las aleaciones Zr-0,4 y la Y-0,2 se comportaron de manera similar a 450 °C. El impacto del exceso de Y y Zr no dio como resultado una disminución marcada de las propiedades de oxidación a 450 °C, como fue el caso a 550 °C. Sin embargo, la cinética de reacción más lenta a 450 °C en comparación con 550 °C y un tiempo de exposición más corto puede haber enmascarado el resultado.

- 20 Después del tratamiento a 550 °C, la aleación Nb-0,8 se cubrió casi completamente con picaduras de oxidación, que midieron hasta 5 µm. Estos precipitados se encontraron preferiblemente en el exterior de los límites de grano de la aleación, similar al comportamiento de las fases de Laves, pero también se encontraron dentro de los granos de la aleación Nb-0,8.

Conclusiones

- 25 Se ha demostrado que la mejor resistencia a la oxidación se logra cuando las adiciones de RE están en equilibrio con el contenido de carbono de la aleación, es decir, el RE está en un ligero exceso. Un déficit de RE con respecto al carbono dará lugar a la formación de carburos ricos en cromo cerca de la superficie de la aleación, lo que a su vez dará lugar a malas propiedades de oxidación y reducirá la resistencia a la corrosión por picadura. Además, el exceso de dopaje de RE dará lugar a la formación de fases intermetálicas o de Laves, lo que también disminuirá la resistencia a la oxidación de la aleación.

REIVINDICACIONES

1. Una aleación ferrítica, que comprende en % en peso:

	C:	0,01 – 0,1;
	N:	0,001 – 0,1;
5	O:	≤ 0,2;
	B:	≤ 0,01;
	Cr:	9 – 11,5;
	Al:	2,5 - 8;
	Si:	≤ 0,5;
10	Mn:	< 0,4;
	Y:	≤ 2,2;
	Sc+Ce+La:	≤ 0,2;
	Mo+W:	≤ 4,0;
	Ti:	≤ 1,7;
15	Zr:	≤ 3,3;
	Nb:	≤ 3,3;
	V:	≤ 1,8;
	Hf+Ta+Th:	≤ 6,5;

siendo el resto Fe e impurezas inevitables,

20 en donde, las cantidades de Ti + Zr + Nb + Hf + V + Ta + Th y C, N y O se equilibran de manera que:

$$1,2 \leq$$

$$\frac{\% \text{ at. Ti} + \% \text{ at. Zr} + \% \text{ at. Nb} + \% \text{ at. V} + \% \text{ at. Hf} + \% \text{ at. Ta} + \% \text{ at. Th} - x \% \text{ at. O} - \% \text{ at. N}}{\% \text{ at. C}}$$

$$\leq 2.0$$

25 en donde x es 0,5, a menos que el contenido de Y sea mayor que o igual al 0,01% en peso, luego x es 0,67

2. La aleación ferrítica de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la aleación ferrítica no comprende % en peso añadido de Sc + Ce + La, ni % en peso añadido de Ce + La.

3. La aleación ferrítica de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde la aleación ferrítica comprende Cr en el intervalo del 9 al 11 % en peso.

30 4. La aleación ferrítica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el C está en el intervalo del 0,02 al 0,08 % en peso.

5. La aleación ferrítica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde el N está en el intervalo del 0,001 al 0,08 % en peso.

35 6. La aleación ferrítica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde el O está en el intervalo del 0,001 al 0,08 % en peso.

7. La aleación ferrítica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde el O está en el intervalo del 0,01 al 0,1% en peso.

8. La aleación ferrítica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en donde el Al está en el intervalo del 3 al 7 % en peso.

9. La aleación ferrítica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde el Y está en el intervalo del 0,01 al 1,2 % en peso.
10. La aleación ferrítica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en donde el Ti está en el intervalo del 0,02 al 1,3 % en peso.
- 5 11. La aleación ferrítica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en donde el Zr está en el intervalo del 0,04 al 2,4 % en peso.
12. La aleación ferrítica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en donde el Nb está en el intervalo del 0,04 al 2,4 % en peso.
- 10 13. El uso de la aleación ferrítica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el intervalo de temperatura de 300 a 800 °C.

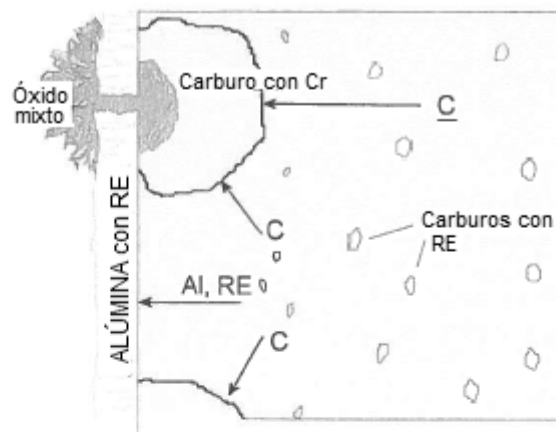


Figura 1

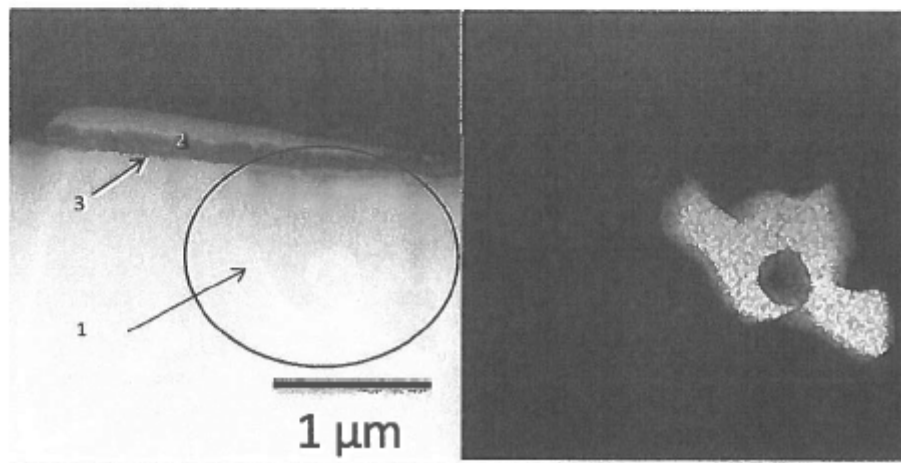


Figura 2a

Figura 2b

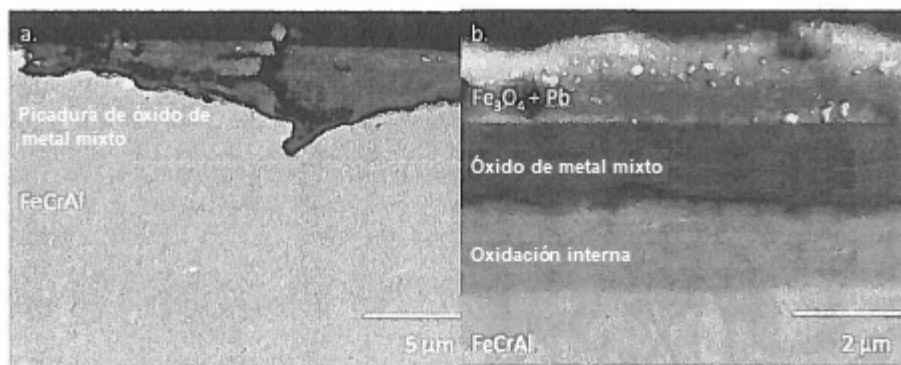


Figura 3a

Figura 3b

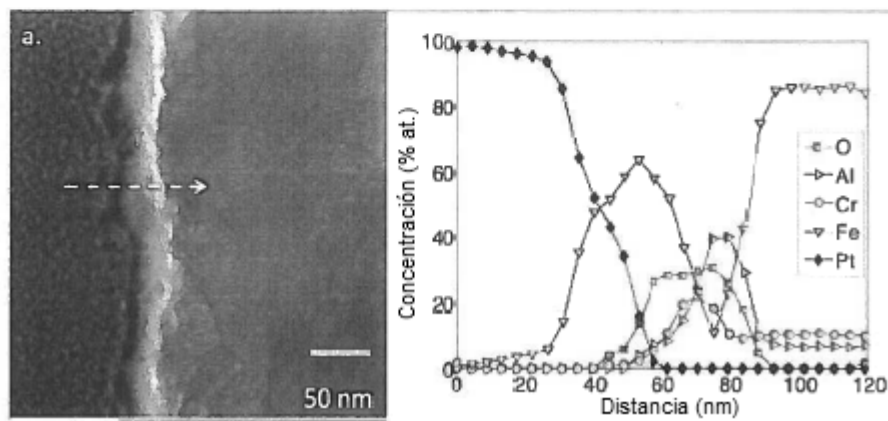


Figura 4a

Figura 4b

