

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 580 955**

51 Int. Cl.:

C22C 19/05 (2006.01)

F01D 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.06.2012** **E 12174283 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.04.2016** **EP 2612936**

54 Título: **Superaleación monocristalina libre de renio para álabes de turbinas y aplicaciones de palas**

30 Prioridad:

17.11.2011 US 201113298879

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

30.08.2016

73 Titular/es:

CANNON-MUSKEGON CORPORATION (100.0%)
2875 Lincoln Street
Muskegon, Michigan 49441, US

72 Inventor/es:

HARRIS, KENNETH y
WAHL, JACQUELINE B.

74 Agente/Representante:

MILTENYI, Peter

ES 2 580 955 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

Superaleación monocristalina libre de renio para álabes de turbinas y aplicaciones de palas.

5 CAMPO

Se describen superaleaciones monocristalinas a base de níquel que presentan una excelente resistencia a la fluencia a altas temperaturas, a la vez que son sustancialmente libres de renio, sin afectar perjudicialmente a otras características relevantes.

10

ANTECEDENTES

Debido a la creciente demanda mundial de productos que habitualmente han requerido cantidades considerables de elementos metálicos relativamente escasos, tanto la demanda como los precios de los elementos de metales raros han aumentado considerablemente. Como resultado, los fabricantes están buscando nuevas tecnologías que reduzcan o eliminen la necesidad de estos elementos metálicos.

15

El renio es un ejemplo de un metal realmente raro que es importante para diversas industrias. Se recupera en muy pequeñas cantidades como subproducto de cobre y molibdeno y producción de cobre. Además de su alto coste, el uso de renio presenta un riesgo en la cadena de suministro de consecuencia tanto económica como estratégica.

20

El renio se ha empleado ampliamente en la producción de superaleaciones a base de níquel utilizadas para fundir componentes de turbinas de gas monocristalinos para reactores y equipos de generación de energía. Más específicamente, el renio se utiliza como aditivo de aleación en superaleaciones monocristalinas avanzadas para álabes de turbinas, palas y segmentos de sellado, debido a su potente efecto en la ralentización de la difusión y en la ralentización de la deformación de fluencia, particularmente a temperaturas elevadas (por ejemplo, de más de 1000 grados C) durante períodos prolongados de tiempo. La resistencia a la fluencia a alta temperatura está directamente relacionada con la vida útil de los componentes de turbinas de gas y el rendimiento del motor tal como la potencia, el gasto de combustible y emisiones de dióxido de carbono.

25

30

Las superaleaciones a base de níquel típicas utilizadas para piezas de fundición monocristalinas individuales contienen entre aproximadamente un 3% de renio y aproximadamente un 7% de renio en peso. Aunque el renio se ha utilizado sólo como aditivo relativamente menor, se ha considerado crítico para superaleaciones a base de níquel monocristalinas para inhibir la difusión y mejorar la resistencia a la fluencia a alta temperatura, añade un coste considerable al total de estas aleaciones.

35

A partir de la discusión anterior, es evidente que sería extremadamente deseable desarrollar superaleaciones a base de níquel monocristalinas que presenten una excelente resistencia a la fluencia a alta temperatura, a la vez que se reduzca o se elimine la necesidad de adiciones de renio y que, a su vez, se mantengan otras propiedades deseables tales como una buena colabilidad y estabilidad de fase.

40

El documento EP-A-2305848 da a conocer superaleaciones libres de renio a base de níquel que comprenden niveles y razones preferentes de elementos para así poder adquirir buena resistencia a altas temperaturas tanto de la fase de matriz como en las precipitaciones primarias gama, así como buena resistencia a las condiciones ambientales.

45

DESCRIPCIÓN

Las superaleaciones base níquel libres de renio monocristalinas que se describen aquí se basan, entre otras cosas, en el equilibrio de los elementos metálicos refractarios (tantalio, tungsteno y molibdeno) en una cantidad total de aproximadamente entre un 17% y un 20% con el fin de lograr buenas propiedades mecánicas de rotura por fluencia junto con una estabilidad de fase de aleación aceptable, en particular, garantizando la ausencia de fases topológicamente compactas (TCP) perjudiciales excesivas que son ricas en tungsteno, molibdeno y cromo, a la vez que eliminan sustancialmente el renio de la aleación.

50

55

La presente invención proporciona:

- (1) Una superaleación a base de níquel para una pieza de fundición monocristalina que comprende:
 - entre un 5,60% y un 5,85% de aluminio en peso;
 - entre un 9,4% y un 9,9% de cobalto en peso;
 - entre un 5,0% y un 6,0% de cromo en peso;
 - entre un 0,08% y un 0,35% de hafnio en peso;
 - entre un 0,50% y un 0,70% de molibdeno en peso;

60

- entre un 8,0% y un 9,0% de tántalo en peso;
entre un 0,60% y un 0,90% de titanio en peso;
entre un 8,5% y un 9,8% de tungsteno en peso; y
comprendiendo el resto níquel y cantidades menores de elementos opcionales, siendo la cantidad total de elementos
5 opcionales sustancialmente menor de un 1% en peso,
en el que los elementos opcionales se controlan a máximos de 100 ppm de carbono, un 0,04% de silicio, un 0,01%
de manganeso, 3 ppm de azufre, 30 ppm de fósforo, 30 ppm de boro, un 0,1% de niobio, 150 ppm de zirconio, un
0,15% de renio, un 0,01% de cobre, un 0,15% de hierro, un 0,1% de vanadio, un 0,1% de rutenio, un 0,15% de
10 platino, un 0,15% de paladio, 200 ppm de magnesio, 5 ppm de nitrógeno, 5 ppm de oxígeno, 2 ppm de plata, 0,2
ppm de bismuto, 10 ppm de galio, 25 ppm de calcio, 1 ppm de plomo, 0,5 ppm selenio, 0,2 ppm de telurio, 0,2 ppm
de talio, 10 ppm de estaño, 2 ppm de antimonio, 2 ppm de arsénico, 5 ppm de cinc, 2 ppm de mercurio, 2 ppm de
cadmio, 2 ppm de germanio, 2 ppm de oro, 2 ppm de indio, 20 ppm de sodio, 10 ppm de potasio, 10 ppm de bario, 2
ppm de uranio, lantano e itrio en una cantidad total entre 5 y 80 ppm, y 2 ppm de torio.
- 15 (2) Una superaleación a base de níquel para una pieza de fundición monocristalina de acuerdo con el ítem (1),
conteniendo dicha superaleación a base de níquel una cantidad máxima de azufre de 0,5 ppm, y comprendiendo
además una cantidad de lantano e itrio que está dirigida para conseguir un contenido de lantano e itrio que es entre
5 ppm y 80 ppm en una pieza de fundición monocristalina.
- 20 (3) Una superaleación a base de níquel para una pieza de fundición monocristalina de acuerdo con el ítem (1), que
tiene una densidad de aproximadamente 0,8 gms/cc (kg/dm^3).
- (4) Un componente monocristalino fundido a partir de una aleación de acuerdo con cualquiera de los ítems (1) a (3).
- 25 (5) Un componente monocristalino de acuerdo con el ítem (4) que es un componente de una turbina de gas.
- (6) Un componente monocristalino de acuerdo con el ítem (4) que es un álabe, una pala, o un segmento de sellado
para una turbina de gas.
- 30 De acuerdo con ciertas realizaciones en las que se desea una mejor resistencia a la oxidación y/o vida del
recubrimiento y recubrimiento de barrera térmica (TBC), al azufre está presente en una cantidad máxima de 0,5
ppm, y se añade lantano e itrio para dirigir una cantidad de lantano e itrio total de entre 5 ppm y 80 ppm en
componentes monocristalinos fundidos a partir de la aleación.
- 35 Además de conseguir una excelente resistencia a la fluencia a alta temperatura en una composición
sustancialmente libre de renio, ciertas realizaciones de las aleaciones a base de níquel monocristalinas descritas
presentan una densidad deseablemente no excesiva que es de aproximadamente 8,8 gms/cc menos, tal como 8,79
gms/cc (kg/dm^3).
- 40 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**
- Las figuras 1A, 1B y 1C son micrografías ópticas que muestran la microestructura con tratamiento térmico total de
piezas de fundición de una realización descrita (LA-11753, CMSX-7, barra de prueba # C912, con tratamiento
térmico total, envejecimiento primario 2050°F /4 horas).
- 45 Las figuras 2A, 2B y 2C son micrografías de barrido electrónicas de la microestructura de piezas de fundición con
tratamiento térmico total a partir de las realizaciones que se describen aquí (LA-11753, CMSX-7, barra de prueba #
C912, con tratamiento térmico total, envejecimiento primario 2050°F /4 horas).
- 50 Las figuras 3, 4 y 5 son gráficas de rotura por esfuerzo Larson-Miller que muestran la sorprendentemente buena
resistencia a la fluencia y/o propiedades de la vida a la rotura por esfuerzos de barras de prueba monocristalinas y
piezas de fundición de álabes de turbinas realizados a partir de las aleaciones descritas.
- Las figuras 6A, 6B y 6C son micrografías ópticas que muestran la estabilidad de la fase posterior a la prueba de las
55 aleaciones descritas, las cuales presentan una excelente estabilidad de fase y sin fases TCP (LA-11772, CMSX-7,
barra de prueba # D912, 2050°F /15 ksi /141,6 horas, área de calibre).
- Las figuras 7A, 7B y 7C son micrografías de barrido electrónicas que muestran la estabilidad de la fase posterior a la
60 prueba de las aleaciones descritas, las cuales presentan una excelente estabilidad de fase y sin fases TCP (LA-
11772, CMSX-7, barra de prueba # D912, 2050°F/ 15 ksi /141,6 horas, área de calibre).

ES 2 580 955 T3

Las figuras 8A, 8B y 8C son micrografías ópticas que muestran la estabilidad de la fase posterior a la prueba de las aleaciones descritas, las cuales presentan una excelente estabilidad de fase y sin fases TCP (LA-11807, CMSX-7, mini piezas planas # 53701Y-F 2000°F/ 12 ksi/ 880,0 horas, área de calibre).

5 Las figuras 9A, 9B y 9C son micrografías de barrido electrónicas que muestran la estabilidad de la fase posterior a la prueba de las aleaciones descritas, las cuales presentan una excelente estabilidad de fase y sin fases TCP (LA-11807, CMSX-7, mini piezas planas # 53701Y-F 2000°F/ 12 ksi/ 880,0 horas, área de calibre).

10 Las figuras 10A, 10B y 10C son micrografías ópticas que muestran la estabilidad de la fase posterior a la prueba de las aleaciones descritas, las cuales presentan una excelente estabilidad de fase y sin fases TCP (LA-11772, CMSX-7, barra de prueba # B913, 1800°F/ 36 ksi /151,1 horas, área de calibre).

15 Las figuras 11A, 11B y 11C son micrografías de barrido electrónicas que muestran la estabilidad de fase posterior a la prueba de las aleaciones descritas, las cuales presentan una excelente estabilidad de fase y sin fases TCP (LA-11772, CMSX-7, barra de prueba # B913, 1800°F/ 36 ksi /151,1 horas, área de calibre).

20 Las figuras 12A, 12B y 12C son micrografías ópticas que muestran la estabilidad de la fase posterior a la prueba de las aleaciones descritas, las cuales presentan una excelente estabilidad de fase y sin fases TCP (LA-11772, CMSX-7, barra de prueba # A912, 1562°F/94,4 ksi / 100,9 horas, área de calibre).

Las figuras 13A, 13B y 13C son micrografías de barrido electrónicas que muestran la estabilidad de fase posterior a la prueba de las aleaciones descritas, las cuales presentan una excelente estabilidad de fase y sin fases TCP (LA-11772, CMSX-7, barra de prueba # A912, 1562°F / 94,4 ksi /100,9 horas, área de calibre).

25 Las figuras 14A, 14B y 14C son micrografías ópticas que muestran las microestructuras con tratamiento térmico total de barras de prueba monocristalinas CMSX-7 MOD B.

30 Las figuras 15A, 15B y 15C son micrografías de barrido electrónicas que muestran las microestructuras con tratamiento térmico total de barras de prueba monocristalinas CMSX-7 MOD B.

35 Las figuras 16 es un dibujo en sección transversal de una pieza de fundición de un álabe de una turbina macizo monocristalino a partir de una aleación, tal como se describe aquí que tiene la facilidad para maquinarse especímenes tanto mini barras como mini piezas planas para pruebas de rotura por esfuerzo mecanizadas a partir de un álabe (MFB).

Las figuras 17 y 18 muestran las propiedades de tracción de las aleaciones frente a la temperatura de la prueba.

40 Las figuras 19A, 19B y 19C son micrografías ópticas que muestran microestructuras después de la prueba de rotura por esfuerzo alta temperatura a largo plazo de una aleación tal como se describe aquí (LA-11891, CMSX-7 MOD. B, barra de prueba # M923 de 2000°F / 12 ksi / 1176,5 horas).

45 Las figuras 20A, 20B y 20C son micrografías de barrido electrónicas que muestran microestructuras después de la prueba de rotura por esfuerzo alta temperatura a largo plazo de una aleación tal como se describe aquí (LA-11891, CMSX-7 MOD. B, barra de prueba # M923 de 2000°F / 12 ksi / 1176,5 horas).

DESCRIPCIÓN DETALLADA

50 Las aleaciones que se describen aquí se denominarán aleaciones "CMSX@-7". Ésta es la designación que se utilizará comercialmente, siendo la expresión "CMSX" una marca registrada de la Corporación de Cannon-Muskegon utilizada en conexión con la venta de una familia o serie de superaleaciones a base de níquel monocristalinas (SX).

55 Las aleaciones que se describen aquí se describen, alternativamente, como que son libres de renio, o sustancialmente libres de renio. Tal como se utiliza aquí, estos términos significan que las aleaciones no contienen renio añadido y/o que la cantidad de renio presente en la aleación es de un máximo de un 0,15% en peso.

Salvo que se indique lo contrario, todos los porcentajes son en peso, y todas las cantidades en partes por millón (ppm) se refieren a partes por millón en peso en base al peso total de la composición de la aleación.

60 Las superaleaciones y piezas de fundición monocristalinas se han desarrollado para presentar una serie de propiedades destacadas, incluyendo una resistencia a la fluencia a alta temperatura, larga vida a fatiga, resistencia a la oxidación y a la corrosión, endurecimiento por solución sólida, con unas propiedades de fundición deseadas y bajas tasas de rechazo, y estabilidad de fase, entre otros. Si bien es posible optimizar elementos de aleación de un único aditivo para una propiedad particular, los efectos sobre otras propiedades a menudo son extremadamente

impredecibles. En general, las relaciones entre las diversas propiedades y diversos componentes elementales son extremadamente complejas e impredecibles de manera que es sorprendente cuando puede realizarse un cambio sustancial a la composición sin afectar perjudicialmente por lo menos a determinadas propiedades esenciales.

5 Con las realizaciones que se describen aquí, se mantuvieron unos elementos metálicos refractarios (tántalo, tungsteno y molibdeno) en una cantidad total entre aproximadamente un 17% y aproximadamente un 20% en peso, mientras se equilibraban las cantidades de los elementos refractarios para lograr unas buenas propiedades mecánicas de rotura por fluencia junto con una estabilidad de fase de aleación aceptable (libre de una fase topológicamente compacta (TCP) perjudicial excesiva - normalmente de tungsteno, molibdeno y cromo rica en este tipo de aleación). El cromo y el cobalto también se ajustaron para garantizar la estabilidad de fase requerida. La alta cantidad de tántalo (aproximadamente un 8%) se seleccionó para proporcionar una excelente colabilidad monocristalina, tal como la ausencia de defectos de formación de "pecas". La cantidad de titanio (aproximadamente un 0,8%) y tantalio (aproximadamente un 0,8%) se ajustó para proporcionar un bajo desajuste negativo γ/γ' para una resistencia a la fluencia a alta temperatura y una densidad a temperatura ambiente aceptable (por ejemplo, aproximadamente 8,8 gms/cc, tal como 8,79 gms/cc). El aluminio, titanio y tantalio se ajustaron para alcanzar la fracción de volumen γ' (V_f) adecuada, mientras que la combinación de aluminio, molibdeno, tántalo y titanio se seleccionó para proporcionar buenas propiedades de resistencia a la oxidación a alta temperatura. La cantidad de adición de hafnio se seleccionó para obtener una vida del recubrimiento a altas temperaturas.

20 La composición química típica para las aleaciones que se describen y se reivindican aquí se enumera en la Tabla 1. Sin embargo, hay ciertas variaciones menores. En primer lugar, con el fin de lograr una mejor resistencia a la oxidación y/o una mayor vida del revestimiento de barrera térmica, es deseable añadir lantano y/o itrio en cantidades tales que el total de lantano e itrio vaya dirigido a presentar entre aproximadamente 5 y 80 ppm en las piezas de fundición monocristalinas realizadas a partir de las aleaciones.

25 La invención se describirá respecto a determinadas realizaciones ilustrativas no limitativas que facilitarán una mejor comprensión.

30 Un baño térmico inicial 100% virgen de 400 lb de una aleación CMSX®-7 se fundió en enero de 2011 en el horno CM V-5 Consarc VIM utilizando química objetivo a CM KH 01/03/11 (CM CRMP # 81-1700 Edición 1). La composición química del baño térmico (5V0424) se muestra en la Tabla 2.

35 Se fundieron dos moldes (#s 912 y 913) de barras de prueba SX NNS DL-10 a unos parámetros de fundición CMSX-4® por Rolls-Royce Corporation (SCFO). El rendimiento de una barra de prueba DL-10 de 23 totalmente aceptables de un total de 24 piezas de fundición fue excelente. Un molde (# 53701) de álabes de turbina HP2 macizos también se fundió en SX por SCFO utilizando parámetros de colada CMSX-4® con unos rendimientos de fundición típicos de este componente de producción.

40 Estas barras de prueba DL-10 y álabes de turbina se disolvieron/homogeneizaron + trataron térmicamente y envejecieron doblemente en CM de la siguiente manera - en base a estudios solubilización/homogeneización en barras de prueba CMSX®-7.

Solución + homogeneización

45

- 2 hrs / 2340°F (1282°C) + 2 hrs / 2360°F (1293°C)
- + 4 hrs / 2380°F (1304°C) + 4 hrs / 2390°F (1310°C)
- + 12 hrs / 2400°F (1316°C) AC - con un aumento gradual en 1°F/min. entre etapas

50

- Doble envejecimiento
- 4 hrs / 2050°F (1121°C) AC + 20 hrs/1600°F (871°C) AC

55 La obtención de una microestructura aceptable es evidente en las figuras 1-2 - solubilización γ' completa, algunos restos eutécticos γ/γ' , sin fusión incipiente y γ' cúbico, alineado de aproximadamente 0,5 μm promedio, lo que indica un desajuste γ/γ' apropiado y una química interfacial γ/γ' , tras el envejecimiento a alta temperatura de 4 h/2050°F (1121°C).

60 Los especímenes de rotura por fluencia y fatiga fueron triturados a bajo esfuerzo y fueron examinados por Joliet Metalurgical Labs, con los resultados que se muestran hasta la fecha en la Tabla 3 y la Tabla 4. Las gráficas de rotura por fatiga Larson-Miller (figuras 3, 4 y 5) muestran que CMSX®-7 tiene unas propiedades superiores y sorprendentemente buenas de resistencia a la fluencia/vida a la rotura por esfuerzo, incluyendo los resultados de mini barras mecanizadas por álabes (MFB) de 0,070" de diámetro, en comparación con una aleación CMSX-2/3® (cero Re) hasta aproximadamente 1900°F (1038°C), con propiedades similares a 2050°F (1121°C). Todas estas propiedades son sorprendentemente similares a las aleaciones Rene' N-5 (3% Re) y René' N-515 (1,5% Re) (datos

GE publicados) [JOM 62 No 1, págs. 55-57 Ene 2010]. La prueba de rotura por fatiga MFB se llevó a cabo en unos álabes de turbina macizos monocristalinos 10 (figura 16) fundidos a partir de aleaciones como las que se describen aquí, que tienen facilidad para mecanizar especímenes de mini barras 15 y mini piezas planas 20.

- 5 La estabilidad de fase es sorprendentemente buena absolutamente sin fases TCP aparentes en las barras de rotura por esfuerzo/fluencia posterior a la prueba hasta la fecha (figuras 6-13 inclusive).

10 Actualmente está programada una prueba de oxidación cíclica dinámica y de corrosión en caliente (sulfuración) en plataforma de quemador en una importante compañía de motores de turbinas. Los resultados de mini piezas planas MFB de calibre de 0,020" de grosor a 12 ksi/2000°F (Tabla 4, figura 5) indican una buena resistencia a la oxidación a alta temperatura al descubierto para esta aleación.

Propiedades de tracción de CMSX-7

- 15 La aleación muestra una resistencia a la tracción UTS muy elevada (hasta 200 ksi (1379 MPa) a 1400°F (760°C)) y un límite de elasticidad de un 0,2% (hasta 191 ksi (1318 MPa) a la misma temperatura y una buena ductilidad (Tabla 5, figuras 17 y 18). La UTS excepcionalmente elevada y el LE de un 0,2% a 1400°F (760°C) indica un endurecimiento por deformación a esta temperatura, posiblemente debido a otra precipitación secundaria o terciaria y' en los canales y a esta temperatura que obstaculiza la dislocación del movimiento - la ductilidad en este nivel de resistencia máximo se encuentra en el intervalo entre un 13% de alargamiento (4D) y un 17% de reducción en área (RA).

Tabla 1

25 ESPECIFICACIONES DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA (% en peso) DE LA ALEACIÓN CMSX®-7

• Aplicaciones de aviación

| | | | | |
|----|---------|-------------|-----|--------------|
| 30 | C | 100 ppm | Ti | 0,60 - 0,90 |
| | Si | 0,04 % Máx. | W | 8,5 - 9,8 |
| | Mn | 0,01 % Máx. | Zr | 150 ppm Máx. |
| | S | 3 ppm Máx. | Re | 0,15% Máx. |
| | Al | 5,60 - 5,85 | Cu | 0,01% Máx. |
| | B | 30 ppm Máx. | Fe | 0,15% Máx. |
| 35 | Cb (Nb) | 0,10% Máx. | V | 0,10% Máx. |
| | Co | 9,4 - 9,9 | Ru | 0,10% Máx. |
| | Cr | 5,0 - 6,0 | Pt | 0,15% Máx. |
| | Hf | 0,08 - 0,35 | Pd | 0,15% Máx. |
| | Mo | 0,50 - 0,70 | Mg | 200 ppm Máx. |
| 40 | Ni | Resto | [N] | 5 ppm Máx. |
| | Ta | 8,0 - 9,0 | [O] | 5 ppm Máx. |

• Mejor resistencia a la oxidación/vida del recubrimiento y barrera térmica (TBC)

- 45 S 0,5 ppm máx.
La + Y 5 - 80 ppm (en las piezas de fundición SX),

CONTROLES DE OLIGOELEMENTOS - TODAS LAS APLICACIONES

| | | | | |
|----|----|--------------|----|-------------|
| 50 | Ag | 2 ppm Máx. | Hg | 2 ppm Máx. |
| | Bi | 0,2 ppm Máx. | Cd | 2 ppm Máx. |
| | Ga | 10 ppm Máx. | Ge | 2 ppm Máx. |
| | Ca | 25 ppm Máx. | Au | 2 ppm Máx. |
| | Pb | 1 ppm Máx. | In | 2 ppm Máx. |
| 55 | Se | 0,5 ppm Máx. | Na | 20 ppm Máx. |
| | Te | 0,2 ppm Máx. | K | 10 ppm Máx. |
| | Tl | 0,2 ppm Máx. | Ba | 10 ppm Máx. |
| | Sn | 10 ppm Máx. | P | 30 ppm Máx. |
| | Sb | 2 ppm Máx. | U | 2 ppm Máx. |
| 60 | As | 2 ppm Máx. | Th | 2 ppm Máx. |
| | Zn | 5 ppm Máx. | | |

Densidad: 8,79 gms/cc

ES 2 580 955 T3

Tabla 2

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE UN BAÑO TÉRMICO #5V0424 CMSX®-7 - 100% VIRGEN (peso ppm / %)

| | | | | |
|----|---------|----------|-----|-----------|
| 5 | C | 17 ppm | Re | < 0,05 |
| | Si | < 0,02 | Cu | < 0,001 |
| | Mn | < 0,001 | Fe | 0,012 |
| | S | 1 ppm | V | < 0,005 |
| | Al | 5,80 | Ru | < 0,01 |
| | B | < 20 ppm | Pt | < 0,001 |
| 10 | Cb (Nb) | < 0,05 | Pd | < 0,001 |
| | Co | 9,7 | Mg | < 100 ppm |
| | Cr | 5,8 | [N] | 3 ppm |
| | Hf | 0,29 | [O] | 2 ppm |
| | Mo | 0,60 | Y | < 0,001 |
| 15 | Ni | Resto | La | < 0,001 |
| | Ta | 8,6 | Ce | < 0,002 |
| | Ti | 0,82 | | |
| | W | 9,0 | | |
| | Zr | < 25 ppm | | |
| 20 | | | Ag | < 0,4 ppm |
| | | | Bi | < 0,2 ppm |
| | | | Ga | < 10 ppm |
| | | | Ca | < 25 ppm |
| 25 | | | Pb | < 0,5 ppm |
| | | | Se | < 0,5 ppm |
| | | | Te | < 0,2 ppm |
| | | | Tl | < 0,2 ppm |
| | | | Sn | < 2 ppm |
| 30 | | | Sb | < 1 ppm |
| | | | As | < 1 ppm |
| | | | Zn | < 1 ppm |
| | | | Hg | < 2 ppm |
| | | | Cd | < 0,2 ppm |
| 35 | | | Ge | < 1 ppm |
| | | | Au | < 0,5 ppm |
| | | | In | < 0,2 ppm |
| | | | Na | < 10 ppm |
| | | | K | < 5 ppm |
| 40 | | | Ba | < 10 ppm |
| | | | P | < 6 ppm |
| | | | U | < 0,5 ppm |
| | | | Th | < 1 ppm |

ES 2 580 955 T3

Tabla 3

BAÑO TÉRMICO 5V0424 CMSX-7

5 Moldes 912/913 (DL-10s) - RR SCFO [Indy] - LA11753 (Joliet 8935/CM-354)
 K912/L912 - LA 11773 (Joliet 8979/CM-356)
 Con tratamiento térmico total - Solución + doble envejecimiento - 2050°F envejecimiento primario

Rotura - fluencia

| Estado de prueba | ID | Vida de rotura, hrs | % alargam. | % RA | Tiempo a 1% fluencia | Tiempo a 2% fluencia |
|-------------------------------------|------|---------------------|------------|------|----------------------|----------------------|
| 1562°F/94,4 ksi [850°C/651 MPa] | A912 | 100,9 | 22,4 | 28,8 | 5,9 | 19,8 |
| | A913 | 100,8 | 18,4 | 27,3 | 7,0 | 22,3 |
| 1800°F/36,0 ksi [982°C/248 MPa] | B912 | 147,2 | 41,8 | 14,7 | 58,4 | 71,1 |
| | B913 | 151,1 | 44,6 | 49,6 | 58,4 | 70,4 |
| 1922°F/27,6 ksi [1050°C/190 MPa] | C912 | 53,9 | 43,6 | 46,9 | 19,3 | 24,4 |
| | C913 | 46,0 | 37,1 | 49,7 | 15,8 | 20,6 |
| 1950°F/18,0 ksi [1066°C/124 MPa] | L912 | 224,9 | 37,0 | 62,3 | 92,4 | 112,3 |
| 2000°F/12,0 ksi [1093°C/83 MPa] | K912 | 860,3 | 22,1 | 54,5 | 538,1 | 607,2 |

10

Rotura - Esfuerzo

| Estado de prueba | ID | Vida de rotura, hrs | % alargam. | % RA |
|-------------------------------------|------|---------------------|------------|------|
| 2050°F/15,0 ksi [1121°C/103 MPa] | D912 | 141,6 | 32,4 | 52,6 |
| | E912 | 130,2 | 31,4 | 55,0 |

Fuente de mecanizado y prueba: Joliet Metallurgical Laboratory

15

Tabla 4

Baño térmico 5v0424 CMSX®-7

20 Molde 53701 - Álabes de turbina macizos HP2 RR SCFO [Indy] - LA11773 (Joliet 8980/CM-357)
 Con tratamiento térmico total - Solución + doble envejecimiento - 2050°F envejecimiento primario

MFB (LLE)

Rotura - Esfuerzo

Mini barras [calibre 0,070" de diámetro, mostrado en la figura 6]

25

| Estado de prueba | ID | Vida de rotura, hrs | % alargam. | % RA |
|----------------------------------|----------|---------------------|------------|------|
| 1562°F/72,5 ksi [850°C/500 MPa] | 53701U-B | 783,4 | 33,3 | 28,9 |
| 1600°F/65,0 ksi [871°C/448 MPa] | 53701V-B | 437,9 | 32,8 | 33,7 |
| 1800°F/40,0 ksi [982°C/276 MPa] | 53701S-B | 84,1 | 39,5 | 47,8 |
| 1850°F/38,0 ksi [1010°C/262 MPa] | 53701T-B | 43,2 | 38,5 | 37,8 |
| 1900°F/25,0 ksi [1038°C/172 MPa] | 53701Y-B | 105,8 | 36,1 | 28,5 |
| 1904°F/21,0 ksi [1040°C/145 MPa] | 53701Z-B | 238,4 | 59,3 | 44,5 |

MFB(LTE)

Mini piezas planas [calibre 0,020" de diámetro, mostrado en la figura 6]

ES 2 580 955 T3

| Estado de prueba | ID | Vida de rotura, hrs | % alargam. |
|----------------------------------|----------|---------------------|------------|
| 1800°F/30,0 ksi [982°C/207 MPa] | 53701S-F | 387,3 | 42,7 |
| | 53701T-F | 344,4 | 35,0 |
| 1904°F/21,0 ksi [1040°C/145 MPa] | 53701U-F | 219,8 | 38,1 |
| | 53701V-F | 189,5 | 33,3 |
| 2000°F/12,0 ksi [1093°C/83 MPa] | 53701Y-F | 880,0 | 32,4 |
| | 53701Z-F | 578,8 | 13,9 |

Fuente de mecanizado y prueba: Joliet Metallurgical Laboratory

5 Tabla 5

Baño térmico 5V0424 CMSX-7

Moldes 063/064 - RR SCFO [Indy] - LA 11753 (Joliet 8935/CM-354)

Con tratamiento térmico total - Solución + doble envejecimiento - 2050°F envejecimiento primario

10

RESULTADOS DE PRUEBA DE TRACCIÓN

| <u>Temperatura de prueba</u> | <u>ID</u> | <u>0,2 % PS (ksi)</u> | <u>UTS (ksi)</u> | <u>% alargam. (4D)</u> | <u>% RA</u> |
|------------------------------|-----------|---------------------------|----------------------|------------------------|-------------|
| 70°F (21°C) | A063 | 135,1 | 154,6 | 11,4 | 13,1 |
| | A064 | 129,1 | 168,1 | 11,3 | 15,3 |
| 800°F (430°C) | B063 | 154,2 | 163,8 | 9,1 | 9,5 |
| | B064 | 151,6 | 162,2 | 9,0 | 9,8 |
| 1000°F (538°C) | K063 | 149,7 | 163,3 | 8,0 | 10,0 |
| | K064 | 148,6 | 163,2 | 8,0 | 13,9 |
| 1100°F (593°C) | L063 | 149,6 | 172,0 | 7,7 | 10,7 |
| | L064 | 151,9 | 177,1 | 6,5 | 9,3 |
| 1200°F (649°C) | M063 | 153,8 | 175,5 | 7,8 | 19,2 |
| | M064 | 149,0 | 172,0 | 5,4 | 20,4 |
| 1400°F (760°C) | N063 | 190,4 | 198,9 | 14,9 | 16,8 |
| | N064 | 191,7 | 199,7 | 12,0 | 17,9 |
| 1600°F (871°C) | P063 | 131,3 | 148,4 | 31,9 | 33,2 |
| | P064 | 133,9 | 145,3 | 29,8 | 36,1 |
| 1700°F (927°C) | R063 | 112,8 | 136,9 | 27,5 | 27,7 |
| | R064 | 115,0 | 126,4 | 27,0 | 31,7 |
| 1800°F (982°C) | Y063 | 112,4 | 123,3 | 19,5 | 23,0 |
| | W064 | 106,9 | 120,3 | 23,6 | 23,8 |
| 1900°F (871°C) | Z063 | 88,3 | 94,6 | 32,5 | 52,2 |
| | X064 | 78,9 | 90,2 | 36,6 | 51,4 |

[100 ksi = 690 Mpa]

15

Fuente de mecanizado y prueba: Joliet Metallurgical Laboratory

ES 2 580 955 T3

Tabla 6

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE BAÑO TÉRMICO #5V0424 CMSX®-7 Mod B - 100% VIRGEN (peso ppm / %)

| | | | | |
|----|---------|----------|-----|-----------|
| 5 | C | 9 ppm | Re | < 0,05 |
| | Si | < 0,02 | Cu | < 0,001 |
| | Mn | < 0,001 | Fe | 0,015 |
| | S | 1 ppm | V | < 0,005 |
| | Al | 5,780 | Ru | < 0,01 |
| 10 | B | < 25 ppm | Pt | < 0,001 |
| | Cb (Nb) | < 0,05 | Pd | < 0,001 |
| | Co | 9,7 | Mg | < 100 ppm |
| | Cr | 5,6 | [N] | 1 ppm |
| | Hf | 0,30 | [O] | 1 ppm |
| 15 | Mo | 0,59 | Y | < 0,001 |
| | Ni | Resto | La | < 0,001 |
| | Ta | 8,4 | Ce | < 0,002 |
| | Ti | 0,70 | | |
| | W | 9,3 | | |
| 20 | Zr | < 25 ppm | | |
| | | | Ag | < 0,4 ppm |
| | | | Bi | < 0,2 ppm |
| | | | Ga | < 10 ppm |
| 25 | | | Ca | < 25 ppm |
| | | | Pb | < 0,5 ppm |
| | | | Se | < 0,5 ppm |
| | | | Te | < 0,2 ppm |
| | | | Tl | < 0,2 ppm |
| 30 | | | Sn | < 2 ppm |
| | | | Sb | < 1 ppm |
| | | | As | < 1 ppm |
| | | | Zn | < 1 ppm |
| | | | Hg | < 2 ppm |
| 35 | | | Cd | < 0,2 ppm |
| | | | Ge | < 1 ppm |
| | | | Au | < 0,5 ppm |
| | | | In | < 0,2 ppm |
| | | | Na | < 10 ppm |
| 40 | | | K | < 5 ppm |
| | | | P | < 8 ppm |
| | | | U | < 0,5 ppm |
| | | | Th | < 1 ppm |

ES 2 580 955 T3

Tabla 7

Baño térmico 5v0424 CMSX®-7 MOD B
 Moldes 923/924 - (DL-10s) RR SCFO [Indy] - LA11834 (Joliet 9156/CM-368) [DL-10s]
 5 Con tratamiento térmico total - Solución + doble envejecimiento

Rotura - Fluencia

| Estado de prueba | ID | Vida de rotura, hrs | % alargam. | % RA | 1% fluencia | 2% fluencia |
|-------------------------------------|------|---------------------|------------|------|-------------|-------------|
| 1562°F/72,5 ksi [850°C/500 MPa] | A923 | 972,7 | 19,6 | 25,2 | 298,9 | 463,7 |
| | H923 | 861,8 | 20,6 | 27,6 | 275,7 | 411,2 |
| 1600°F/65,0 ksi [871°C/448 MPa] | B923 | 667,4 | 21,8 | 26,5 | 224,6 | 323,0 |
| | R924 | 670,4 | 19,8 | 31,3 | 262,8 | 363,8 |
| 1800°F/36,0 ksi [982°C/248 MPa] | C923 | 139,2 | 37,9 | 45,6 | 56,2 | 68,0 |
| | N924 | 151,5 | 31,6 | 38,0 | 64,6 | 77,2 |
| 1800°F/40,0 ksi [982°C/276 MPa] | D923 | 97,4 | 34,8 | 41,5 | 39,4 | 48,0 |
| | M24 | 106,3 | 28,8 | 33,7 | 45,3 | 55,2 |
| 1850°F/38,0 ksi [1010°C/262 MPa] | E923 | 51,7 | 34,3 | 35,2 | 21,1 | 25,6 |
| | L924 | 54,1 | 36,5 | 36,6 | 21,2 | 26,0 |
| 1900°F/25,0 ksi [1038°C/172 MPa] | J923 | 103,0 | 25,1 | 43,5 | 39,5 | 49,3 |
| | H924 | 111,2 | 27,6 | 40,2 | 38,6 | 51,1 |
| 1904°F/21,0 ksi [1040°C/145 MPa] | K923 | 240,2 | 31,0 | 47,1 | 90,6 | 112,9 |
| | E924 | 245,7 | 43,4 | 46,7 | 86,5 | 109,1 |
| 1950°F/18,0 ksi [1066°C/124 MPa] | L923 | 260,5 | 27,4 | 37,5 | 86,0 | 112,4 |
| | D924 | 219,1 | 38,4 | 41,7 | 79,8 | 101,5 |

10 Rotura - Esfuerzo

| Estado de prueba | ID | Vida de rotura, hrs | % alargam. | % RA |
|-------------------------------------|------|---------------------|------------|------|
| 2000°F/12,0 ksi [1093°C/83 MPa] | M923 | 1176,5 | 34,4 | 42,4 |
| | B924 | 960,4 | 37,4 | 42,9 |
| 2050°F/15,0 ksi [1121°C/103 MPa] | N923 | 143,7 | 20,7 | 36,5 |
| | A924 | 135,8 | 26,3 | 38,2 |

Fuente de mecanizado y prueba: Joliet Metallurgical Laboratory

15 Se fundió otro baño fundido (5V0459) de una CMSX®-7 designada Mod B 100% virgen (470 lbs) en mayo de 2011 en el horno CM V-5 Consarc VIM utilizando química objetivo a CM KH 04/13/11 (CM CRMP # 81-1703 Edición 1). La composición química del baño fundido 5V0459 se muestra en la Tabla 6.

20 Se fundieron dos moldes (#s 923 y 924) de unas barras de prueba SX NNS DL-10 a unos parámetros de colada de CMSX-4® por Rolls-Royce Corporation (SCFO). El rendimiento de una barra de prueba DL-10 de 22 totalmente aceptables de un total de 24 piezas de fundición fue excelente.

25 Estas barras de prueba DL-10 se disolvieron/homogeneizaron + trataron térmicamente y envejecieron doblemente en Muskegon-Corporación de la siguiente manera - en base a estudios solubilización/homogeneización en barras de prueba CMSX®-7 Mod B.

Solución y homogeneización

- 5
- 2 hrs / 2360°F (1293°C) + 2 hrs / 2370°F (1299°C)
+ 2 hrs / 2380°F (1304°C) + 12 hrs / 2390°F (1310°C) AC - aumento gradual en 1°F/min
 - Tratamiento térmico con doble envejecimiento
4 hrs / 2050°F (1121°C) AC
+ 20 hrs/1600°F (871°C) AC
- 10 La obtención de una microestructura aceptable es evidente en las figuras 14 y 15, una solubilización γ' casi completa, restos eutécticos γ/γ' , *sin fusión incipiente y γ' cúbico, alineado de aproximadamente 0,45 μm promedio, lo que indica un desajuste γ/γ' apropiado y una química interfacial γ/γ' , tras el envejecimiento a alta temperatura de 4 h/ 2050°F (1121°C).
- 15 Las propiedades de rotura por fluencia de CMSX®-7 Mod B son muy similares a las de CMSX®-7, sin ventaja aparente (Tabla 7).
- 20 Se muestran microestructuras posteriores a la prueba de una prueba de rotura por esfuerzo a alta temperatura de plazo más largo [2000°F/12 ksi (1093°C / 83 MPa) /1176,5 horas] (figuras 19A-19C) que presentan una buena estabilidad de fase, con una fase TCP insignificante ("agujas") aparente, combinado con una buena longevidad a la rotura y ductilidad de rotura (34% de alargamiento (4D)) y 42% RA (figuras 19A-20C).

REIVINDICACIONES

1. Superaleación a base de níquel para pieza de fundición monocristalina, que comprende:

- 5 entre un 5,60% y un 5,85% de aluminio en peso;
entre un 9,4% y un 9,9% de cobalto en peso;
entre un 5,0% y un 6,0% de cromo en peso;
entre un 0,08% y un 0,35% de hafnio en peso;
- 10 entre un 0,50% y un 0,70% de molibdeno en peso;
entre un 8,0% y un 9,0% de tántalo en peso;
entre un 0,60% y un 0,90% de titanio en peso;
entre un 8,5% y un 9,8% de tungsteno en peso; y

15 comprendiendo el resto níquel y cantidades menores de elementos opcionales, siendo la cantidad total de elementos opcionales sustancialmente menor de un 1% en peso,

20 en el que los elementos opcionales se controlan a máximos de 100 ppm de carbono, un 0,04% de silicio, un 0,01% de manganeso, 3 ppm de azufre, 30 ppm de fósforo, 30 ppm de boro, un 0,1% de niobio, 150 ppm de zirconio, un 0,15% de renio, un 0,01% de cobre, un 0,15% de hierro, un 0,1% de vanadio, un 0,1% de rutenio, un 0,15% de platino, un 0,15% de paladio, 200 ppm de magnesio, 5 ppm de nitrógeno, 5 ppm de oxígeno, 2 ppm de plata, 0,2 ppm de bismuto, 10 ppm de galio, 25 ppm de calcio, 1 ppm de plomo, 0,5 ppm selenio, 0,2 ppm de telurio, 0,2 ppm de talio, 10 ppm de estaño, 2 ppm de antimonio, 2 ppm de arsénico, 5 ppm de cinc, 2 ppm de mercurio, 2 ppm de cadmio, 2 ppm de germanio, 2 ppm de oro, 2 ppm de indio, 20 ppm de sodio, 10 ppm de potasio, 10 ppm de bario, 2 ppm de uranio, lantano e itrio en una cantidad total entre 5 y 80 ppm, y 2 ppm de torio.

25 2. Superaleación a base de níquel para pieza de fundición monocristalina de acuerdo con la reivindicación 1, conteniendo dicha superaleación a base de níquel una cantidad máxima de azufre de 0,5 ppm, y comprendiendo además una cantidad de lantano e itrio que está dirigida para conseguir un contenido de lantano e itrio que es entre 5 ppm y 80 ppm en una pieza de fundición monocristalina.

30 3. Superaleación a base de níquel para pieza de fundición monocristalina de acuerdo con la reivindicación 1, que tiene una densidad de aproximadamente 8,8 gms/cc (kg/dm^3).

35 4. Componente monocristalino fundido a partir de una aleación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3.

5. Componente monocristalino de acuerdo con la reivindicación 4, que es un componente de una turbina de gas.

40 6. Componente monocristalino de acuerdo con la reivindicación 4, que es un álabe, una pala, o un segmento de sellado para una turbina de gas.

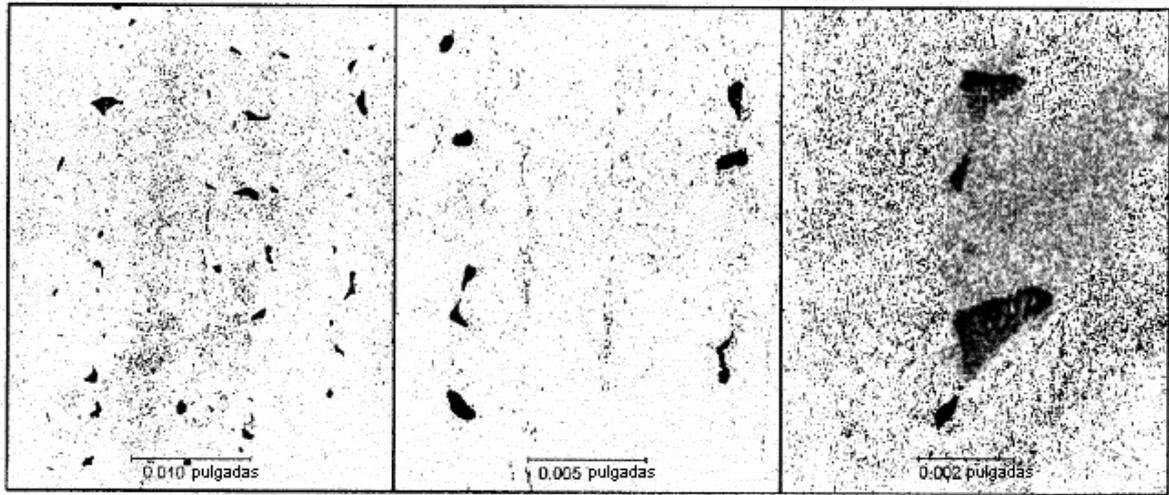


FIG. 1A

FIG. 1B

FIG. 1C

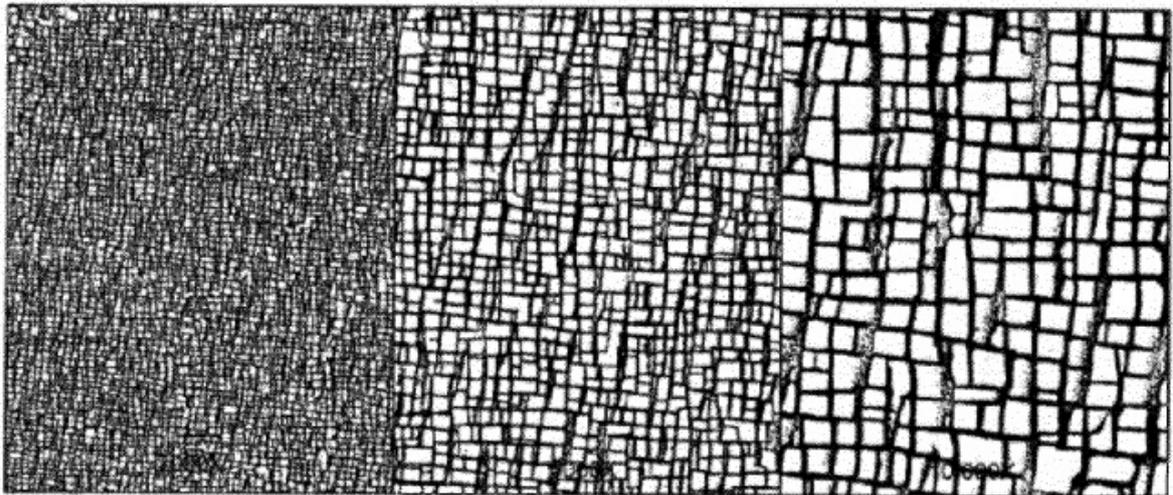


FIG. 2A

FIG. 2B

FIG. 2C

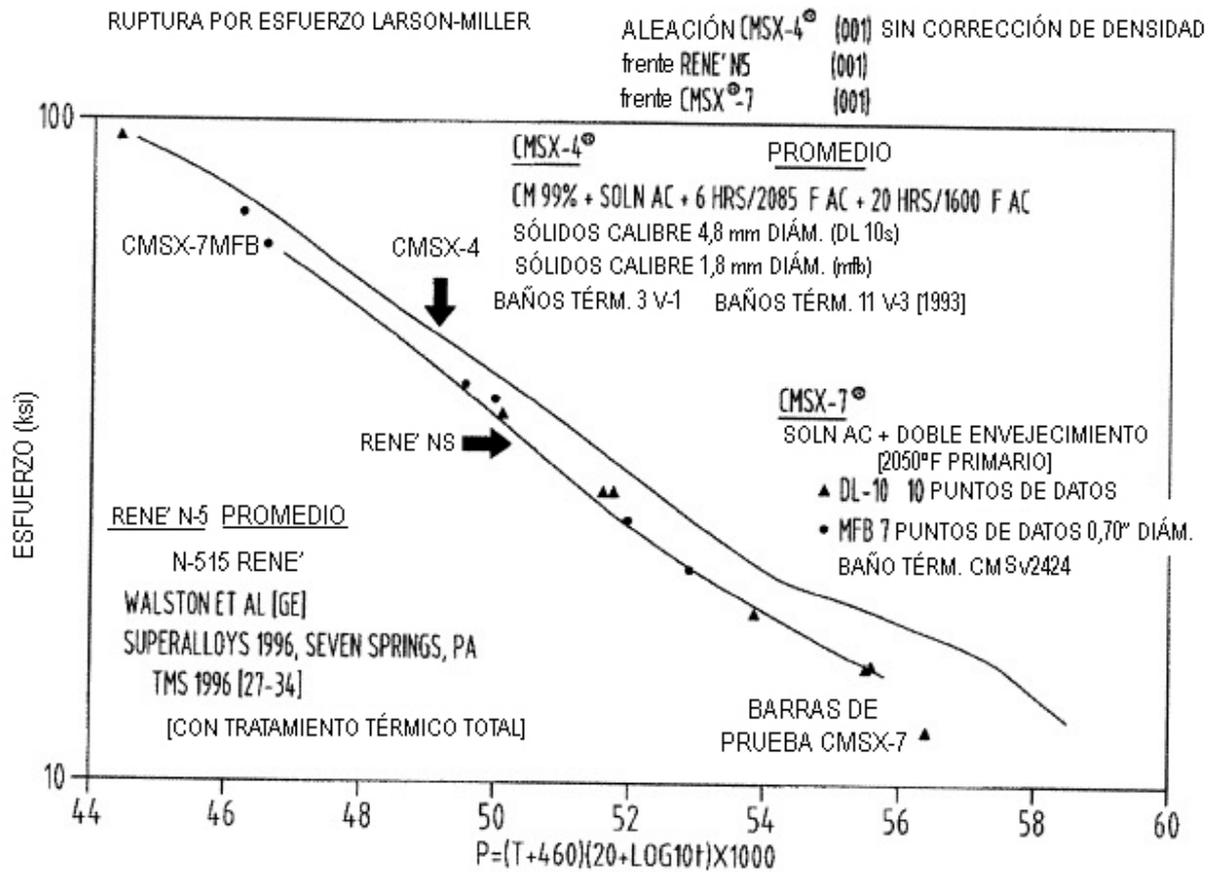


FIG. 3

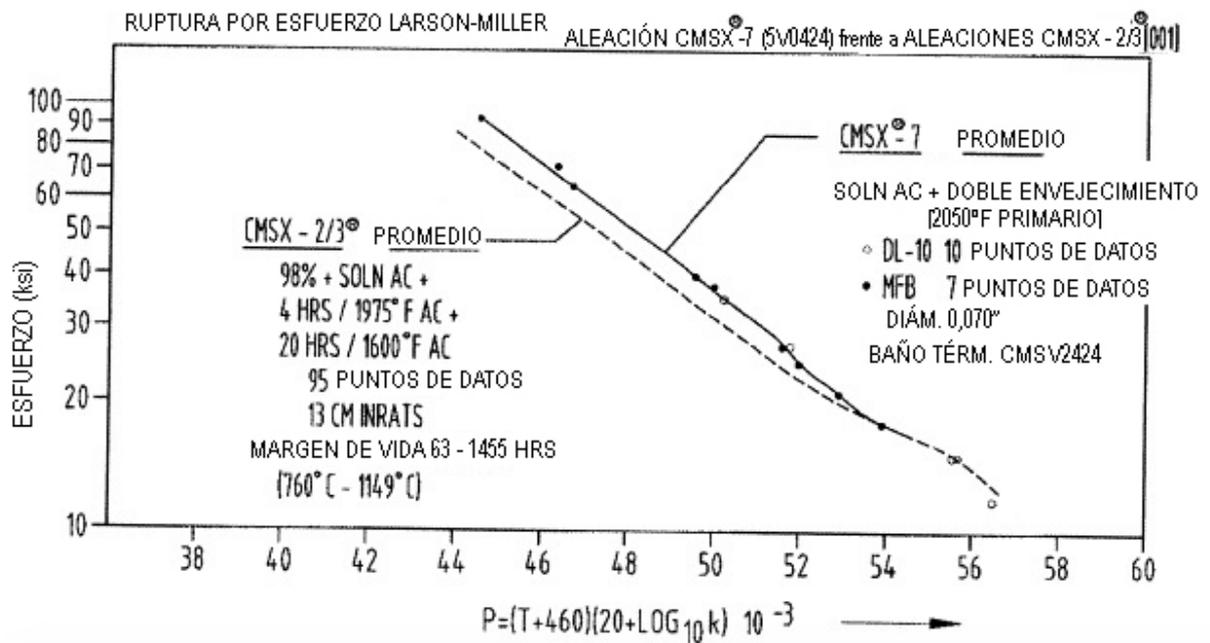


FIG. 4

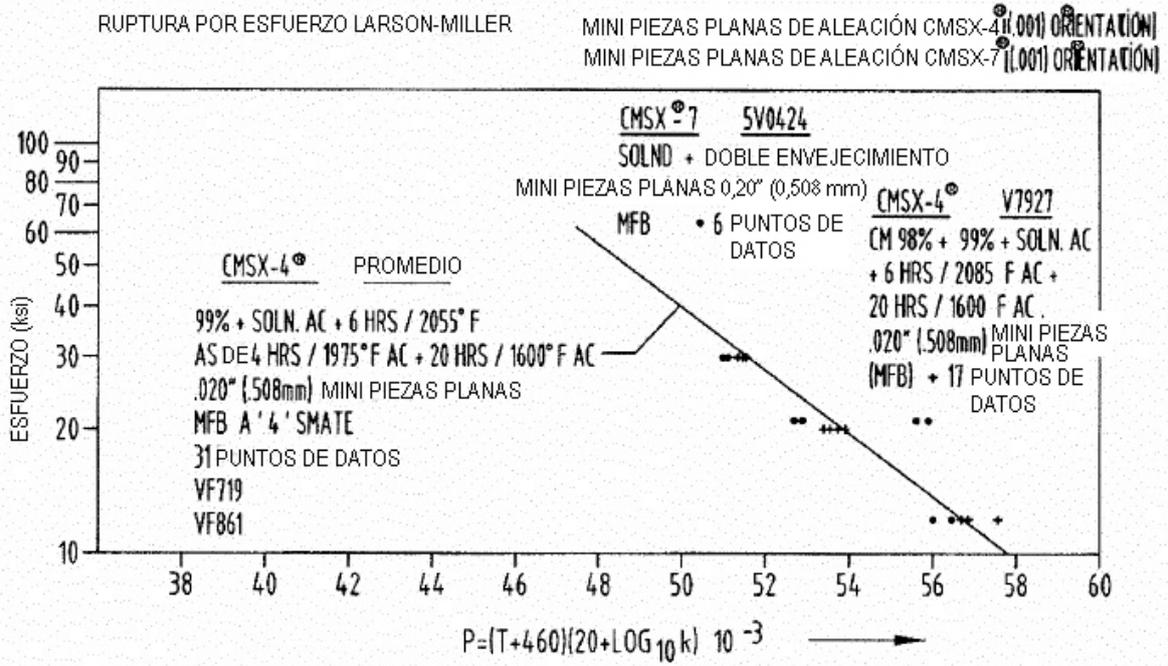


FIG. 5

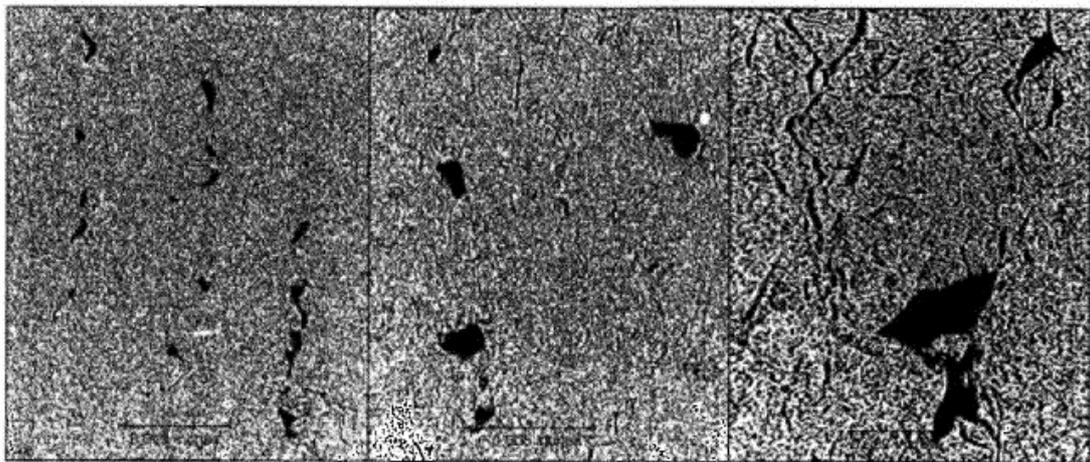


FIG. 6A

FIG. 6B

FIG. 6C

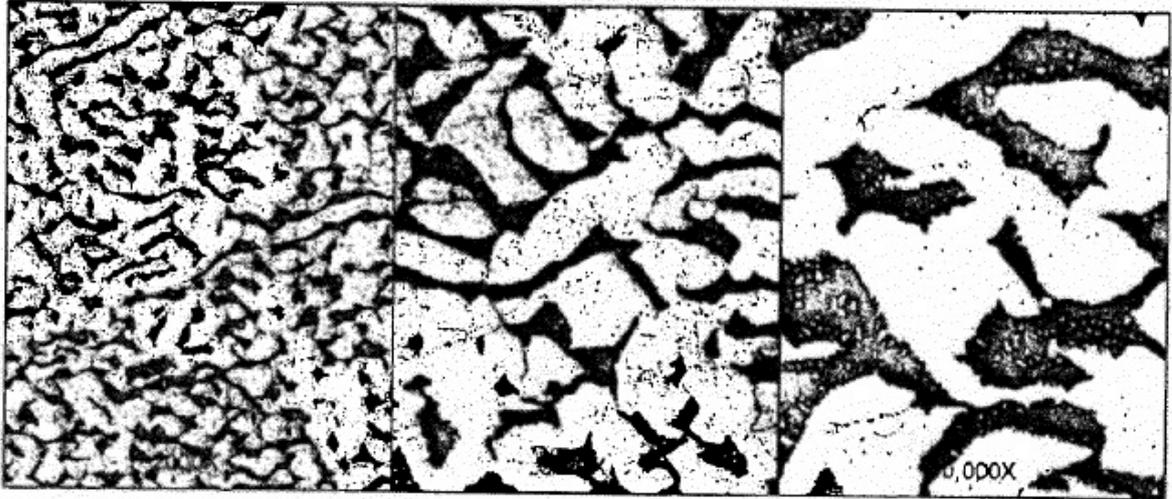


FIG. 7A

FIG. 7B

FIG. 7C

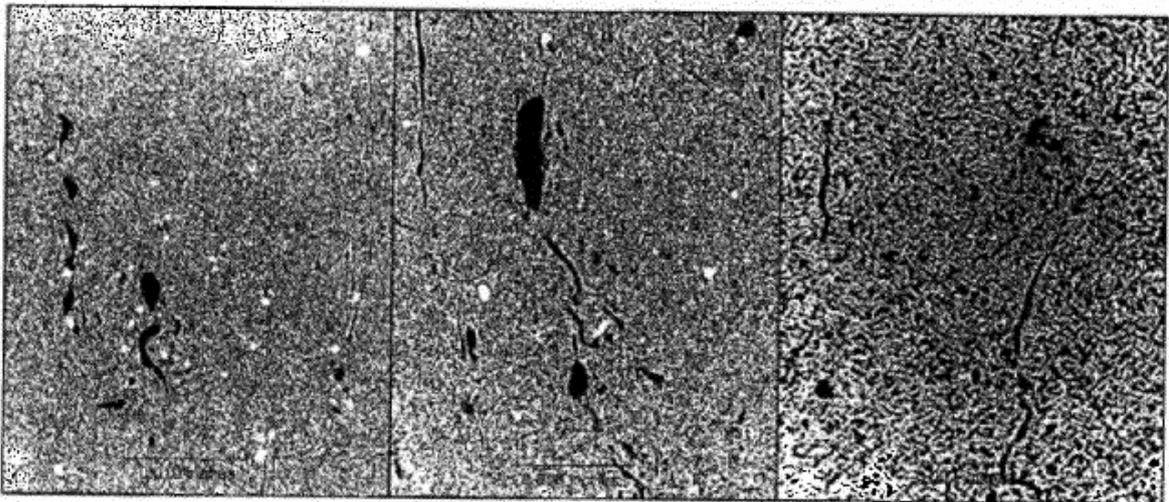


FIG. 8A

FIG. 8B

FIG. 8C

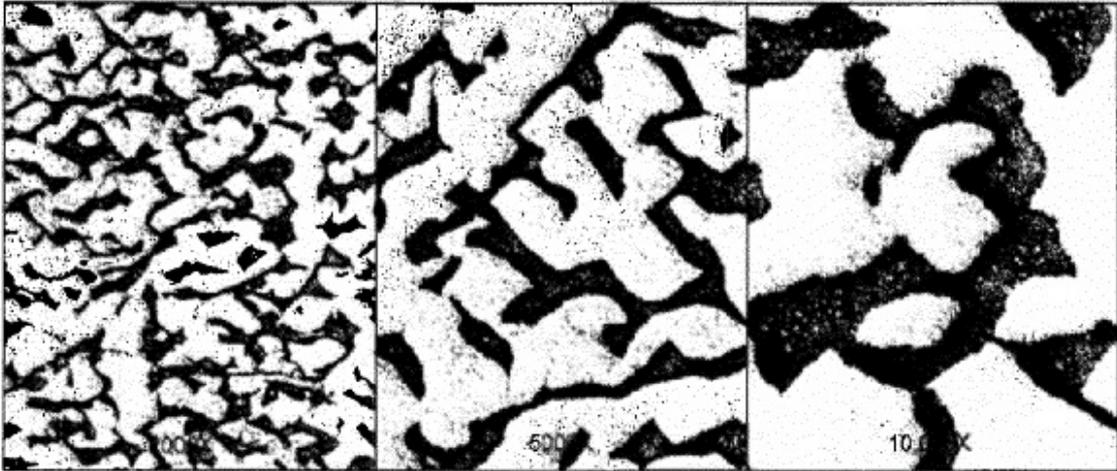


FIG. 9A

FIG. 9B

FIG. 9C

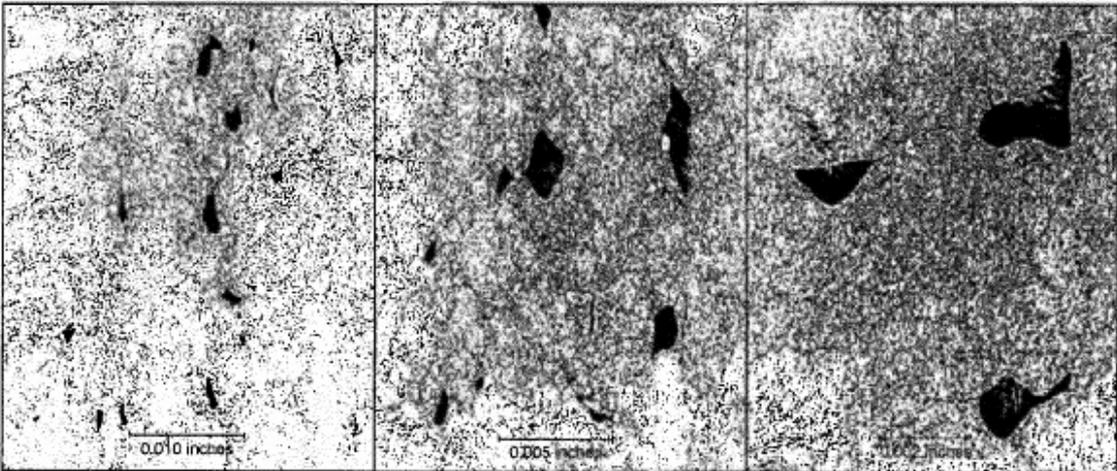


FIG. 10A

FIG. 10B

FIG. 10C

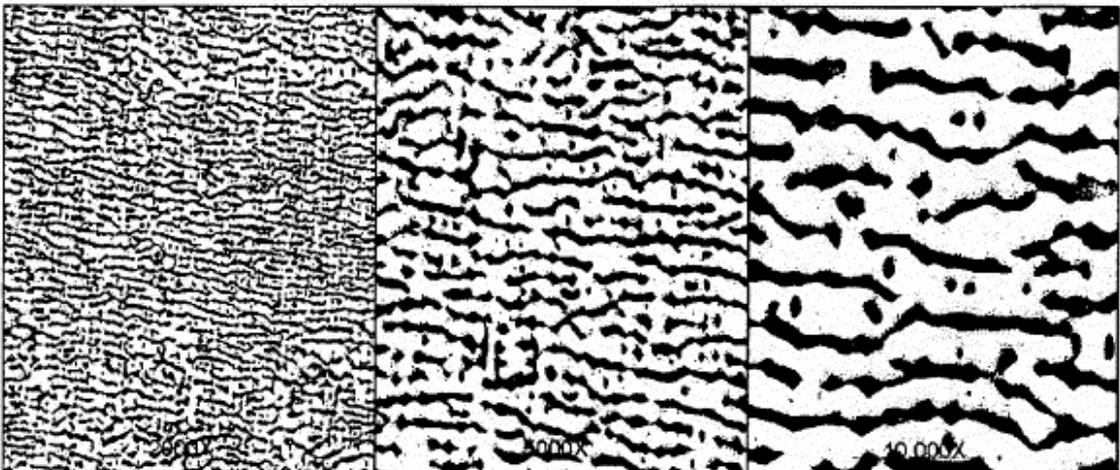


FIG. 11A

FIG. 11B

FIG. 11C

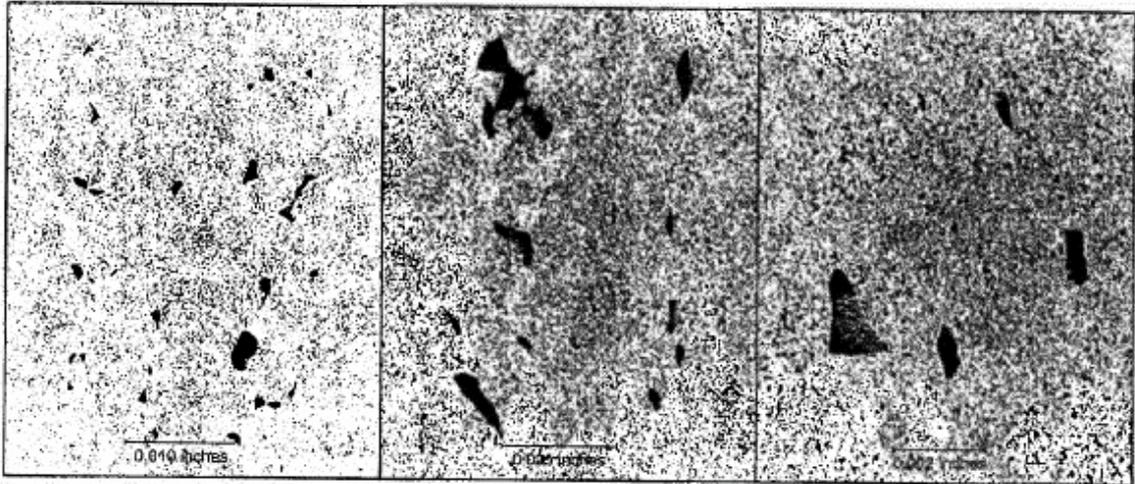


FIG. 12A

FIG. 12B

FIG. 12C

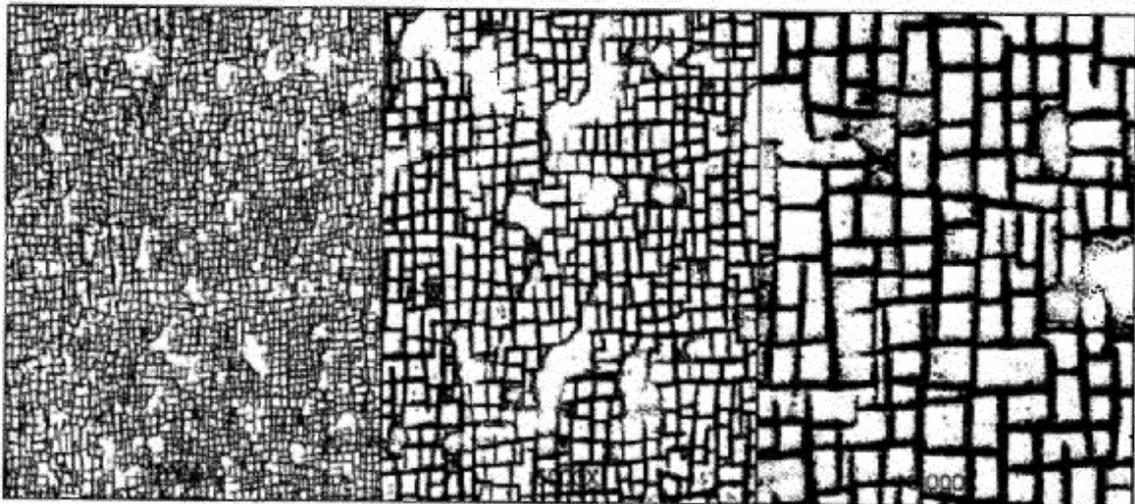


FIG. 13A

FIG. 13B

FIG. 13C



FIG. 14A

FIG. 14B

FIG. 14C

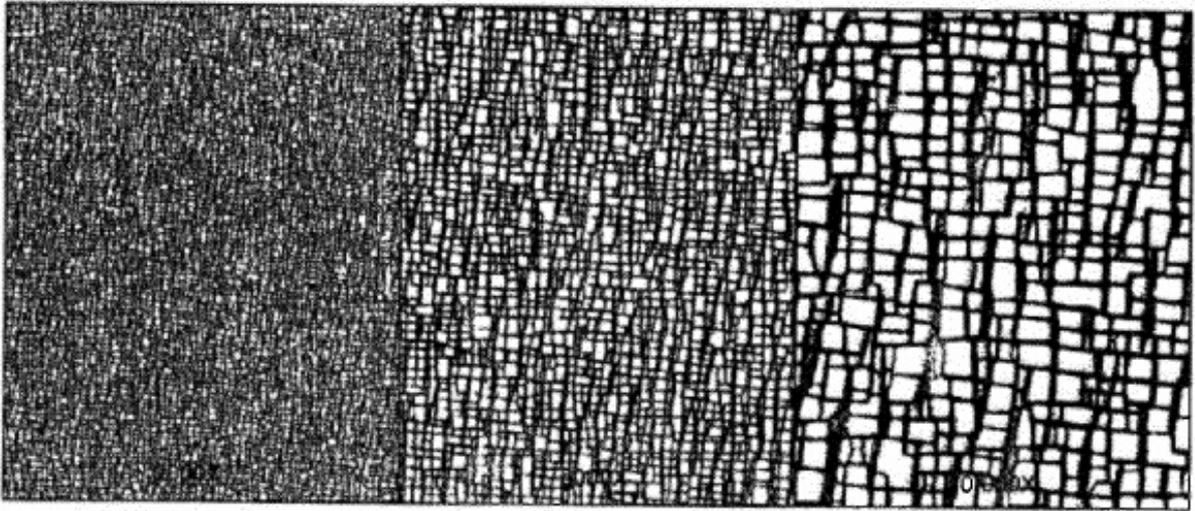


FIG. 15A

FIG. 15B

FIG. 15C

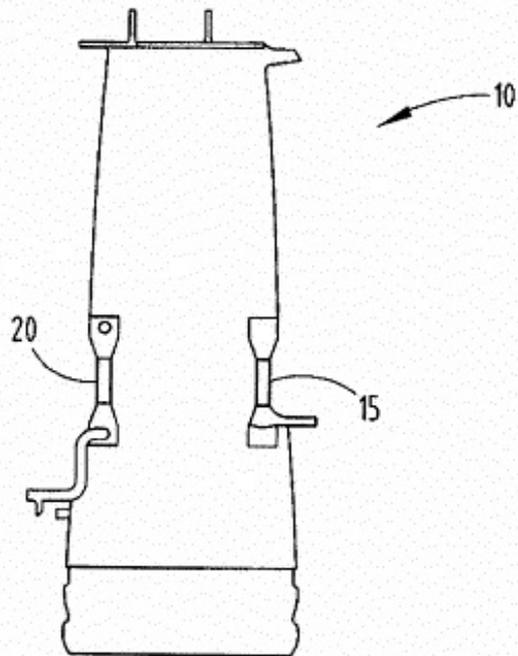


FIG. 16

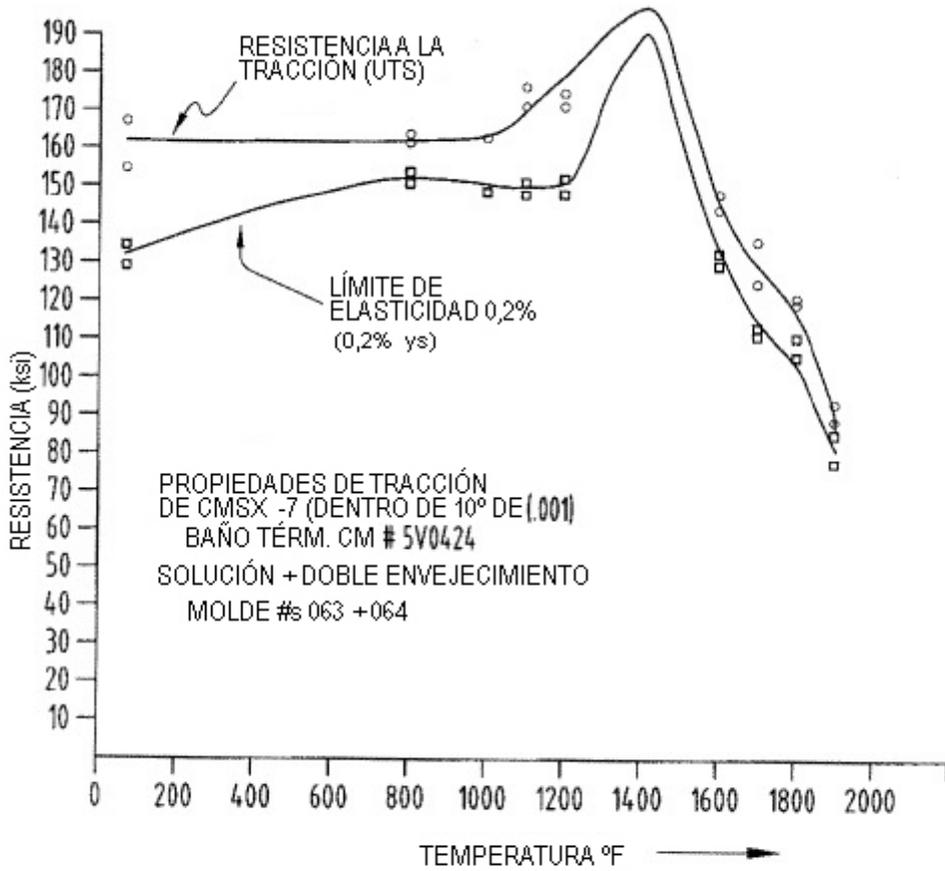


FIG. 17

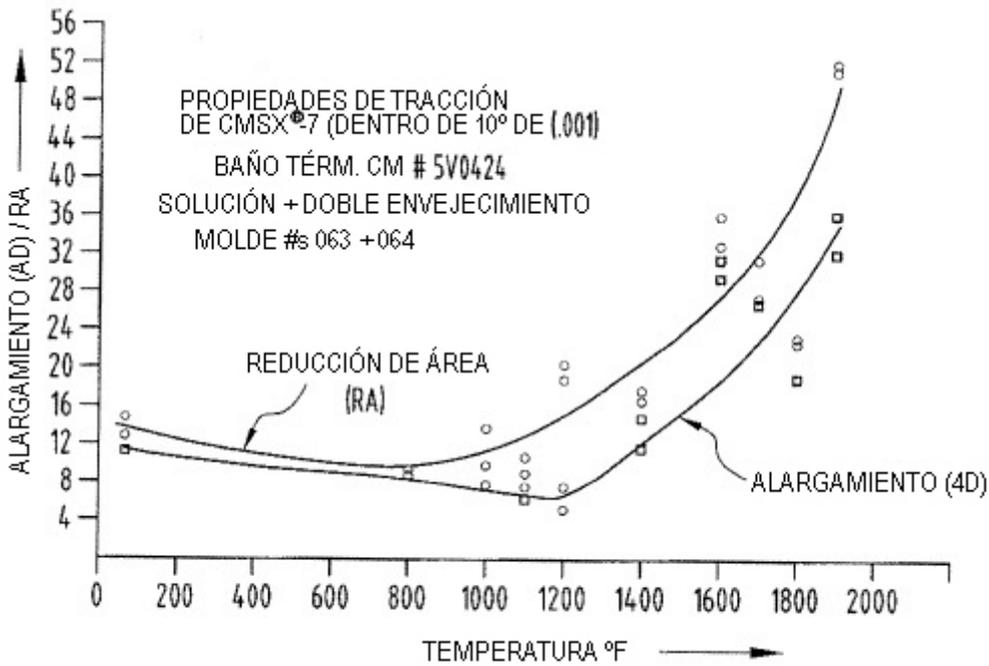


FIG. 18

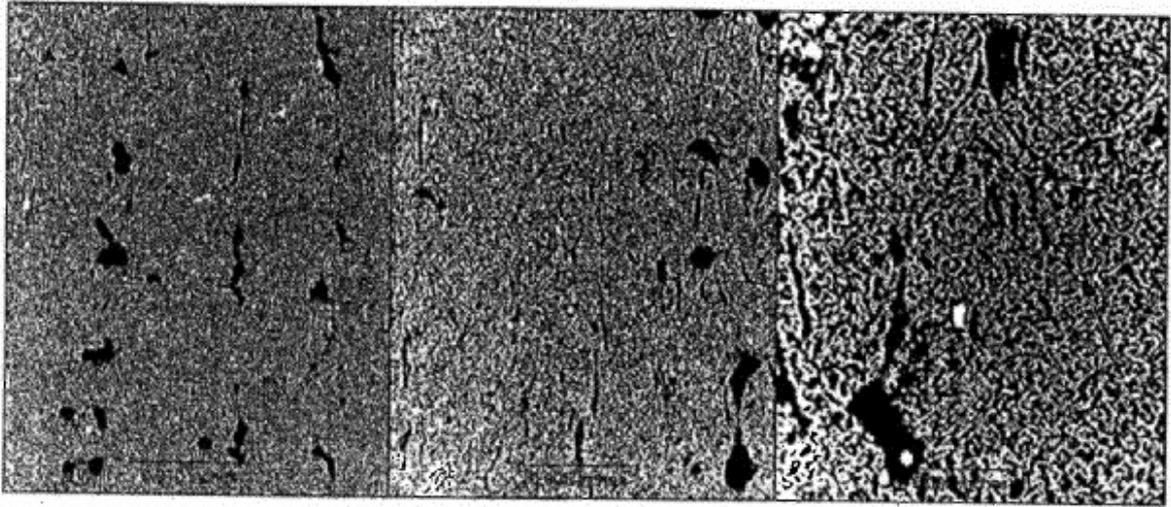


FIG. 19A

FIG. 19B

FIG. 19C

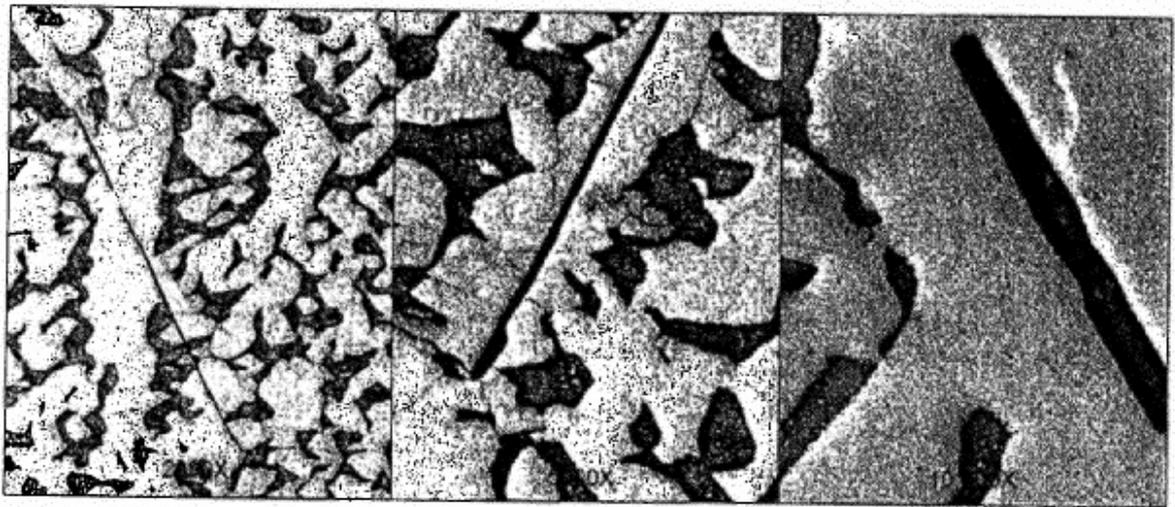


FIG. 20A

FIG. 20B

FIG. 20C