



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 328 955**

51 Int. Cl.:  
**C22C 14/00** (2006.01)  
**C22F 1/18** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06707301 .5**  
96 Fecha de presentación : **27.02.2006**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1851350**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **07.11.2007**

54 Título: **Procedimiento para el moldeo por colada de una aleación de titanio.**

30 Prioridad: **25.02.2005 EP 05004173**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**19.11.2009**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**19.11.2009**

73 Titular/es: **WALDEMAR LINK GmbH & Co. KG.**  
**Barkhausenweg 10**  
**22339 Hamburg, DE**

72 Inventor/es: **Baliktay, Sevki**

74 Agente: **Lehmann Novo, María Isabel**

**ES 2 328 955 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

Procedimiento para el moldeo por colada de una aleación de titanio.

5 El invento se refiere a un procedimiento para el moldeo por colada de objetos a partir de una aleación de  $\beta$ -titanio, dicho con mayor exactitud de una aleación de titanio y molibdeno.

10 Las aleaciones de titanio, a causa de sus numerosas y ventajosas propiedades, gozan de una popularidad cada vez mayor. En particular, a causa de su buena estabilidad química, también bajo una alta temperatura, y de su pequeño peso, junto con unas propiedades mecánicas sobresalientes, se utilizan aleaciones de titanio en todos los sectores, en los cuales se plantean elevadas exigencias para el material. A causa de su sobresaliente biocompatibilidad, las aleaciones de titanio, se emplean también de manera preferida en el sector médico, en particular para implantes y prótesis.

15 Se conocen diferentes métodos para la conformación de aleaciones de titanio. Junto con un tratamiento con arranque de virutas, éstos son sobre todo procedimientos de moldeo por colada y forja. En el fondo las aleaciones de titanio son unas aleaciones para forja, por consiguiente se utilizan en la mayor parte de los casos procedimientos de forja. Puesto que se ha mostrado que las aleaciones de titanio son difíciles de moldear por colada. En la mayor parte de los casos esta vía se recorre en el caso de formas complicadas, pero esta vía conduce a restricciones al realizar la elección de apropiadas aleaciones. En particular, se mostró que al moldear por colada aleaciones de  $\beta$ -titanio se pueden conseguir solamente unos insatisfactorios resultados (documento de solicitud de patente de los EE.UU. US-A-2004/0136859).

20 A partir de la cita de Donachie y colaboradores, Titanium, a Technical Guide (Titanio, una guía técnica), 2000, páginas 39, 41, 42 se conocen diferentes secciones del tratamiento térmico de aleaciones de titanio.

25 El invento tiene como base la misión de proporcionar un procedimiento mejorado de moldeo por colada para aleaciones de  $\beta$ -titanio, que permita una producción incluso de formas complejas junto con buenas propiedades de los materiales.

30 La solución al problema planteado conforme al invento se encuentra en un procedimiento que tiene las características de la reivindicación principal. Unos perfeccionamientos ventajosos son objeto de las reivindicaciones secundarias.

35 Conforme al invento, en el caso de un procedimiento para moldear por colada objetos a partir de una aleación de  $\beta$ -titanio con un contenido de molibdeno de 15%, está previsto que la aleación sea fundida a una temperatura de por encima de 1.770°C, que la aleación fundida se moldee por colada fina en un molde de colada correspondiente al objeto que se ha de producir, se preñe isostáticamente en caliente, se someta a un recocido por disolución a una temperatura de 760-800°C y a continuación se enfríe bruscamente (se temple).

40 Por un objeto se entiende en el presente caso un producto conformado para la utilización final. Puede tratarse por ejemplo en el sector de la aeronáutica de piezas y partes para grupos propulsores, apoyos de rotores, cajas de alas u otras partes de la estructura de soporte, o en el sector de la medicina de endoprótesis, tales como prótesis de cadera, o implantes, tales como placas y clavijas, o implantes dentales. El concepto del objeto en el sentido del presente invento no abarca lingotes que están concebidos para el tratamiento ulterior por medio de procedimientos de cambio de forma (conformación), es decir lingotes en particular no producidos por colada en lingotera, para el tratamiento ulterior por forja.

45 Con el procedimiento conforme al invento se consigue una producción racional de objetos a partir de aleaciones de  $\beta$ -titanio en el procedimiento de moldeo por colada fina (de precisión). El procedimiento proporciona por consiguiente al posibilidad de combinar las ventajosas propiedades de las aleaciones de  $\beta$ -titanio, en particular sus sobresalientes propiedades mecánicas, con las ventajas de una producción de objetos en el procedimiento de moldeo por colada fina. También unos objetos con formas complejas, que no se pudieron producir, o no se pudieron producir de manera conveniente, mediante habituales procedimientos de forja, se pueden producir gracias al invento a partir de una aleación de  $\beta$ -titanio. Por consiguiente, el invento abre a las aleaciones de  $\beta$ -titanio, que son conocidas por sus excelentes propiedades mecánicas así como por su biocompatibilidad, también el campo de aplicaciones de los objetos conformados de un modo complejo.

50 La proporción del molibdeno en la aleación está situada en 15%. De esta manera se establece una suficiente estabilización de la fase  $\beta$  hasta llegar a la región de la temperatura ambiente. Por consiguiente, mediante un rápido enfriamiento después del moldeo por colada fina se puede conseguir una fase  $\beta$  metastable. La adición de otros elementos formadores de aleaciones es prescindible por regla general. En particular, no es necesario que se añada vanadio o aluminio. La renuncia a esto tiene la ventaja ya reseñada de que se puede evitar la toxicidad que procede de estos elementos formadores de aleaciones. Lo correspondiente es válido para el bismuto, que en su biocompatibilidad tampoco alcanza al titanio.

65 Se ha mostrado que con las aleaciones de  $\beta$ -titanio, que hasta ahora apenas se utilizan para el moldeo por colada fina, se pueden producir gracias al invento incluso formas más complejas que con las aleaciones de  $\alpha/\beta$ -titanio, tales como por ejemplo TiAl6V4, hasta ahora utilizadas para el moldeo por colada fina. Con el procedimiento conforme al invento se consigue una mejorada capacidad de llenado de los moldes. Así, gracias al invento, en el caso del moldeo

## ES 2 328 955 T3

por colada fina se pueden producir en particular aristas agudas con una más alta calidad. También se disminuye la tendencia a la formación de rechupes o sopladuras en el caso del moldeo por colada fina, gracias a la mejor capacidad de llenado de los moldes.

5       Convenientemente, para la fusión de la aleación de  $\beta$ -titanio se utiliza una instalación de inducción al vacío en crisoles de paredes frías. Con una tal instalación se pueden alcanzar las altas temperaturas, que son necesarias para una fusión segura de aleaciones de titanio y molibdeno destinadas al moldeo por colada fina. Así, el punto de fusión de la TiMo15 está situado en 1.770°C. Para esto es necesaria todavía una adición de aproximadamente 60°C, con el fin de conseguir un seguro moldeo por colada fina. En total, se debe de alcanzar una temperatura de 1.830°C para la  
10 TiMo15.

Preferiblemente, el prensado isostático en caliente se efectúa a una temperatura, que está situada como máximo tan alta como una temperatura de beta *transus* de la aleación de titanio y molibdeno y como mínimo 100°C por debajo de la temperatura de beta *transus*.

15       Mediante el prensado isostático en caliente se contrarrestan efectos desfavorables a causa de un enriquecimiento del molibdeno en dendritas mediando empobrecimiento de la masa fundida restante, siendo llevadas a disolución las segregaciones interdendríticas. Es favorable una temperatura situada por debajo de la temperatura de  $\beta$  *transus* y ciertamente hasta 100°C por debajo de ella. Para una aleación de titanio y molibdeno con una proporción de molibdeno de 15% se han acreditado unas temperaturas situadas en el intervalo de 710°C a 760°C, de manera preferida en aproximadamente 740°C, con una presión de argón de aproximadamente 1.100 a 1.200 bares.

Para el recocido por disolución se han acreditado unas temperaturas de por lo menos 700°C hasta 880°C (intervalo que no es conforme al invento), de manera preferida situadas en el intervalo de 800°C a 860°C (intervalo que no es conforme al invento). Para la producción de una atmósfera de gas protector se utiliza preferiblemente argón. De esta manera se consigue un mejoramiento de la ductilidad de la aleación.

Convenientemente, después del recocido por disolución se efectúa un enfriamiento brusco del objeto mediante agua. De manera preferida se utiliza agua fría. Por el concepto de "fría" se entiende en este contexto la temperatura del agua corriente sin calentar. Se ha mostrado que el enfriamiento brusco ejerce una fuerte influencia sobre las propiedades mecánicas del objeto, finalmente conseguidas. Alternativamente, se puede efectuar también un enfriamiento brusco en un gas protector, por ejemplo mediante un enfriamiento con argón. Los resultados conseguidos de esta manera, sin embargo, permanecen por detrás de los conseguidos con el agua fría.

35       Puede ser conveniente endurecer el objeto todavía como final. De esta manera, en caso necesario, se puede elevar algo el módulo de elasticidad. De manera preferida, para esto, el endurecimiento se realiza en un intervalo de temperaturas de aproximadamente 600°C a aproximadamente 700°C.

El invento es explicado seguidamente haciendo referencia al dibujo, en el que se representa un ejemplo ventajoso de realización. En éste:

la Fig. 1 muestra una tabla con propiedades mecánicas de la aleación de titanio moldeada por colada fina, conforme al invento;

45       la Fig. 2 muestra una reproducción de la microestructura en un estado moldeado por colada, inmediatamente después de la colada;

la Fig. 3 muestra una reproducción de la microestructura después del prensado isostático en caliente;

50       la Fig. 4 muestra una reproducción de la microestructura después del recocido por disolución con subsiguiente enfriamiento brusco; y

la Fig. 5 muestra una representación de las temperaturas de *liquidus* y *solidus* para una aleación de titanio y molibdeno.

55

Seguidamente se describe una vía para llevar a cabo el procedimiento conforme al invento.

60       El material de partida es una aleación de  $\beta$ -titanio con una proporción de molibdeno de 15% (TiMo15). Esta aleación puede ser adquirida de un modo usual en el comercio en forma de pequeños lingotes (en inglés ingots).

En una primera etapa se efectúa un moldeo por colada fina en uno de los objetos que se han de moldear por colada. Para la fusión y el moldeo por colada de la TiMo15 está prevista una instalación de moldeo por colada. De manera preferida se trata de una instalación de fusión y moldeo por colada con inducción al vacío en crisoles de paredes finas. Con una de tales instalaciones se pueden alcanzar las altas temperaturas, que son necesarias para una fusión segura de la TiMo15 para el moldeo por colada fina. El punto de fusión de la TiMo15 que está situado en 1.770°C a lo que se ha de sumar una adición de aproximadamente 60°C para un seguro moldeo por colada fina. En total se debe alcanzar por lo tanto una temperatura de 1.830°C. El moldeo por colada fina de la masa fundida se efectúa a continuación mediante

65

## ES 2 328 955 T3

un procedimiento de por sí conocido, por ejemplo con machos de cera y moldes de material cerámico como moldes perdidos. Tales técnicas de moldeo por colada fina son conocidas para el moldeo por colada fina de TiAl6V4.

5 Tal como se puede reconocer en la reproducción (con un aumento de 1.000 veces) en la Fig. 2, se forman dendritas y en las zonas interdendríticas se muestran considerables segregaciones. Esto es una consecuencia de la denominada segregación negativa de las aleaciones de titanio y molibdeno. Este efecto se basa en la evolución especial de las temperaturas de *liquidus* y *solidus* en el caso de aleaciones de titanio y molibdeno, tal como se representa en la Fig. 5. A causa de la evolución representada de las temperaturas de fusión de la fase líquida ( $T_L$ ) y de la fase sólida ( $T_S$ ) en la masa fundida se solidifican primeramente las zonas con una alta proporción de molibdeno, formándose las dendritas que se pueden reconocer en la reproducción. Como consecuencia de ello se empobrece la masa fundida restante, es decir disminuye su contenido de molibdeno. Las zonas interdendríticas tienen en la estructura moldeada por colada un contenido de molibdeno de por debajo de 15%, pudiendo disminuir el contenido de molibdeno hasta unos valores de aproximadamente 10%. Como consecuencia del empobrecimiento en molibdeno, falta en las zonas entre dendritas (interdendríticas) una cantidad suficiente de elementos estabilizadores de  $\beta$ . Esto tiene la consecuencia de que localmente se ajusta una temperatura elevada de transformación de  $\alpha/\beta$ , con lo cual resultan las segregaciones que se pueden reconocer en la Fig. 2.

20 Es conveniente eliminar por decapado una zona de borde, eventualmente resultante al moldear por colada, en la forma de una capa frágil y dura (la denominada caja  $\alpha$ , en inglés  $\alpha$ -case). Usualmente esta capa tiene un espesor de 0,03 mm.

25 Con el fin de contrarrestar el desfavorable efecto de la segregación negativa con las segregaciones en las zonas interdendríticas, los cuerpos moldeados por colada, que después del moldeo por colada fina han sido puestos en libertad desde los moldes de colada, son sometidos conforme al invento a un tratamiento térmico. Para esto está previsto un prensado isotáctico en caliente (HIP, acrónimo de heiss isostatisches Pressen) y ciertamente a una temperatura muy poco por debajo de la temperatura de  $\beta$  *transus*. Ella puede estar situada en el intervalo de 710°C a 760°C y preferiblemente es de aproximadamente 740°C. De esta manera, las indeseadas segregaciones en las zonas interdendríticas pasan de nuevo a disolverse. No es necesario un envejecimiento previo antes o después del prensado isostático en caliente (en alemán Hippen). No obstante, en el caso del enfriamiento después del prensado isostático en caliente se segregan de nuevo unas finas fases secundarias, y ciertamente de manera preferida en las zonas interdendríticas originales (véase la Fig. 3, con un aumento de 1.000 veces). Esto tiene como consecuencia una indeseada fragilización del material.

Por este motivo, los objetos, después del prensado isostático en caliente, tienen solamente una pequeña ductilidad.

35 Con el fin de eliminar las perturbadoras segregaciones, los cuerpos moldeados por colada se someten a un recocido en un horno de cámaras bajo una atmósfera de un gas protector (p.ej. argón). Para esto se escoge un intervalo de temperaturas de 760°C a 800°C, con una duración de varias horas, en la mayor parte de los casos dos horas. Existe en este caso una conexión recíproca entre la temperatura y la duración, a una temperatura más alta es suficiente un período de tiempo más corto y a la inversa. Después del recocido por disolución, los cuerpos moldeados por colada son enfriados bruscamente con agua fría. En la Fig. 4 (con un aumento de 1.000 veces) se representa la estructura después del recocido por disolución. Se reconocen unos granos  $\beta$  primarios y dentro de los granos unas segregaciones muy finas dispuestas entre dendritas (= interdendríticamente) (véase una acumulación a modo de nube a la izquierda por arriba en la figura). Los objetos moldeados por colada fina con el procedimiento conforme al invento tienen en su estructura cristalina unos granos  $\beta$  con un tamaño medio de más que 0,3 mm. Este tamaño es típico para la estructura cristalina conseguida con el procedimiento conforme al invento.

Las propiedades mecánicas conseguidas después del recocido por disolución se reproducen en la Tabla de la Fig. 1.

50 Se reconoce que el módulo de elasticidad disminuye con una temperatura creciente al realizar el recocido por disolución, y ciertamente a unos valores hasta de 60.000 N/mm<sup>2</sup>. Los valores de la tenacidad mejoran con una resistencia mecánica y una dureza decrecientes. Así, después de un recocido por disolución durante dos horas a 800°C se alcanza un módulo de elasticidad de 60.000 N/mm<sup>2</sup> con un alargamiento de rotura de aproximadamente 40% y con una resistencia a la rotura  $R_m$  de aproximadamente 730 N/mm<sup>2</sup>

# ES 2 328 955 T3

## REIVINDICACIONES

5 1. Procedimiento para el moldeo por colada de objetos a partir de una aleación de  $\beta$ -titanio con un contenido de molibdeno de 15%,

**caracterizado** por

una fusión de la aleación a una temperatura situada por encima de 1.770°C,

10 un moldeo por colada fina de la aleación fundida dentro de un molde de colada correspondiente al objeto que se ha de producir,

un prensado isostático en caliente,

15 un recocido por disolución a una temperatura comprendida entre 760°C y 800°C y

un subsiguiente enfriamiento brusco.

20 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1,

**caracterizado** por

25 la utilización de una instalación de inducción al vacío en crisoles de paredes frías para la fusión de la aleación de  $\beta$ -titanio.

3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2,

30 **caracterizado** por

la realización del prensado isostático en caliente a una temperatura que está situada como máximo tan alta como una temperatura de beta *transus* de la aleación de titanio y molibdeno y como mínimo a 100°C por debajo de la temperatura de beta *transus*.

4. Procedimiento de acuerdo con una de las precedentes reivindicaciones,

40 **caracterizado** por

un enfriamiento brusco con agua preferiblemente fría después del recocido por disolución.

5. Procedimiento de acuerdo con una de las precedentes reivindicaciones,

45 **caracterizado** por

un endurecimiento final del objeto.

50 6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5,

**caracterizado** por

55 llevar a cabo el endurecimiento a una temperatura de 600°C a 700°C.

60

65

Temperatura de la solución [ °C]	Resistencia a la tracción Rm [N/mm <sup>2</sup> ]	Límite de alargamiento de 0,2 % Rp [N/mm <sup>2</sup> ]	Alargamiento de rotura A5 [%]	Contracción de rotura Z [%]	Módulo de elasticidad E [kN/mm <sup>2</sup> ]	Dureza HB30
700*	920	916	2,1	10	68	285
740*	841	665	7,5	19,3	66	278
760	790	545	18,5	23,4	65,4	268
780	735,3	520	27,4	40	63,7	260
800	725	505	37,6	52	59,4	255

\* Ejemplos comparativos

Figura 1

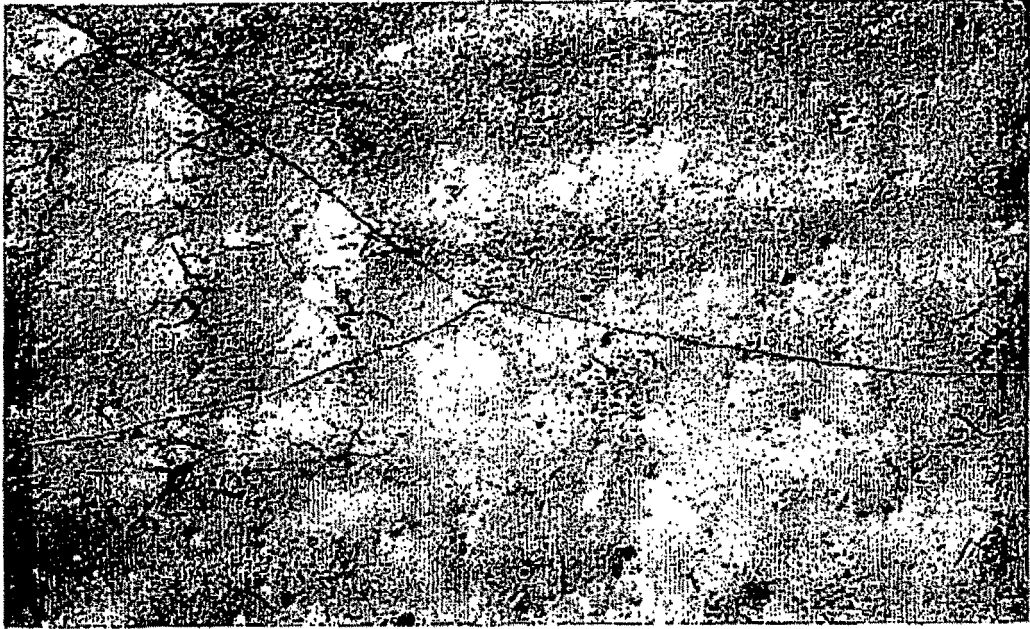


Figura 2

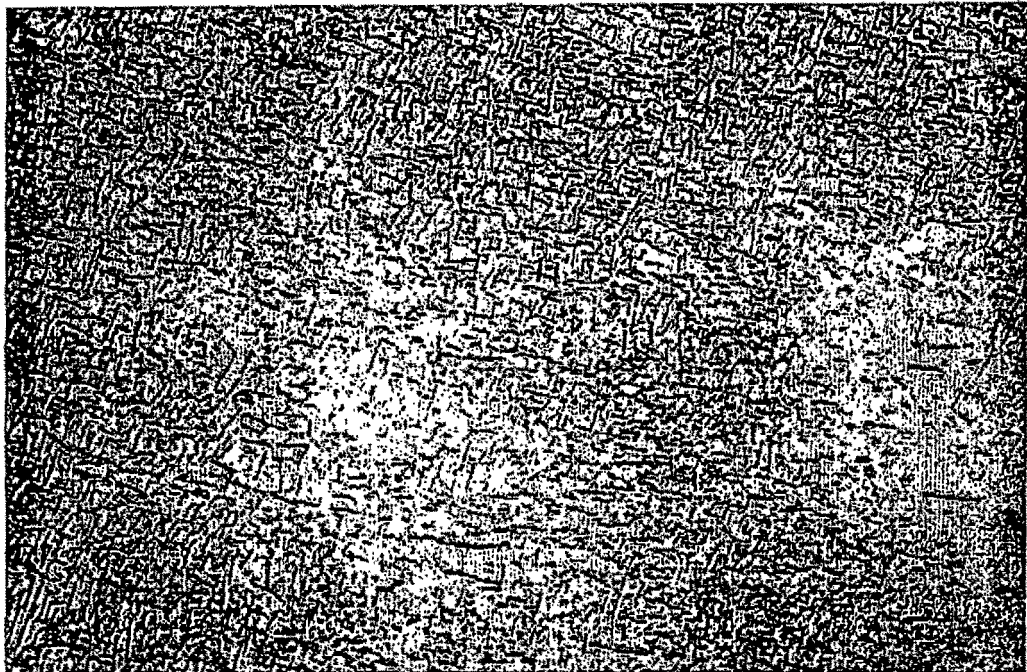


Figura 3

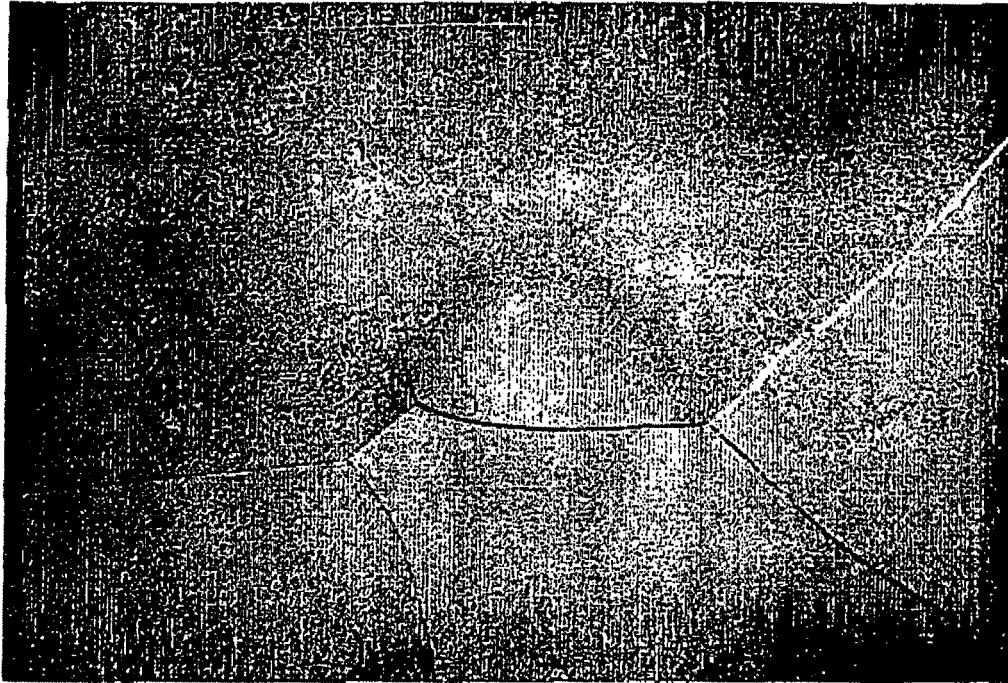


Figura 4

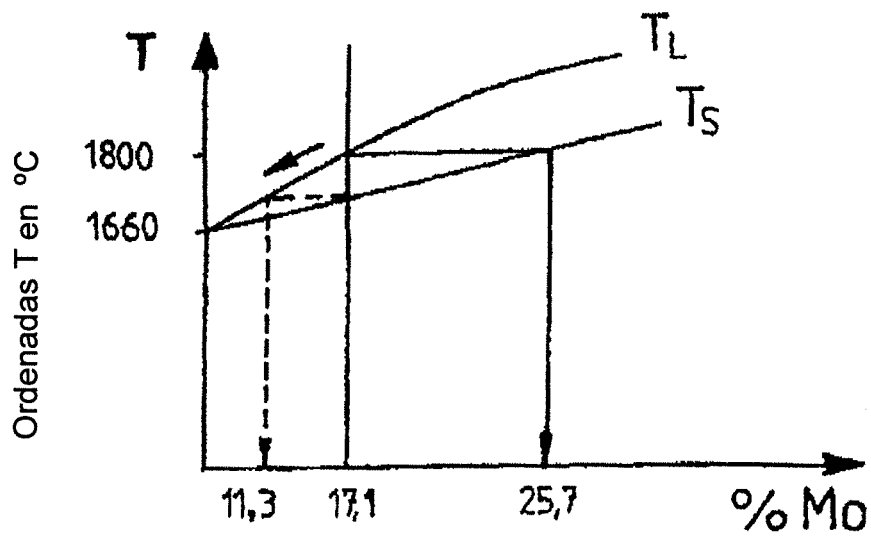


Figura 5