

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 624 598**

51 Int. Cl.:

C22F 1/05 (2006.01)

C22F 1/043 (2006.01)

C22C 21/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.06.2008 PCT/EP2008/057811**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.12.2008 WO09000749**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.06.2008 E 08761236 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.02.2017 EP 2171115**

54 Título: **Procedimiento de tratamiento térmico de culatas de aleación a base de aluminio, y culatas que tienen unas propiedades de resistencia a la fatiga mejoradas**

30 Prioridad:

22.06.2007 FR 0755973

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

17.07.2017

73 Titular/es:

**MONTUPET S.A. (100.0%)
202 QUAI DE CLICHY
92110 CLICHY, FR**

72 Inventor/es:

**MEYER, PHILIPPE;
MASSINON, DENIS y
MORICHON, JULIEN**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 624 598 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 de tratamiento térmico de culatas de aleación a base de aluminio, y culatas que tienen unas propiedades de resistencia a la fatiga mejoradas.

El campo de la invención es el de los tratamientos térmicos de las piezas de fundición realizadas en una aleación a base de aluminio.

La invención se refiere más precisamente a un procedimiento de tratamiento térmico de culatas moldeadas en aleaciones de aluminio, y a las culatas que resultan de dicho procedimiento.

Las culatas moldeadas en aleaciones de aluminio se utilizan en su vasta mayoría en los motores para automóvil.

El aumento en las potencias específicas de estos motores, y la búsqueda de mejores prestaciones en emisiones contaminantes que conducen a incrementar la sollicitación del material de la culata, el experto en la materia utiliza convencionalmente unas aleaciones de moldeo de endurecimiento estructural.

Las aleaciones de aluminio de moldeo comprenden diferentes familias de composición, la mayoría de las cuales son aptas para el endurecimiento estructural por tratamiento térmico. En particular, se puede citar de la familia Aluminio/Silicio/Magnesio y de la familia Aluminio/Silicio/Cobre/Magnesio.

En particular, para la fabricación en gran serie de componentes para automóvil, por ejemplo unas culatas sometidas a cargas muy fuertes en servicio, un experto en la materia utiliza en particular:

- las aleaciones de tipo A319 según la denominación de la Aluminium Association, que comprende de 5,0% a 9,0% de silicio, de 2,0% a 3,5% de cobre, de 0,2 a 0,6% de magnesio,
- las aleaciones de tipo A356 o A357 según la denominación de la Aluminium Association, que comprende de 6,5% a 7,5% de silicio, de 0,2 a 0,7% de magnesio,
- incluso unas aleaciones intermedias o aleaciones parecidas a estas dos familias.

En particular, unas aleaciones de tipo A356 que comprenden además 0,56% de cobre, se utilizan frecuentemente para las culatas de motor diésel muy sollicitadas.

Con el fin de maximizar las propiedades mecánicas de estas aleaciones, es de uso normal, por lo menos para los casos de las sollicitaciones más severas, realizar un tratamiento térmico completo que asocia en este orden:

- una puesta en solución a alta temperatura, típicamente entre 490°C y 550°C;
- un temple al agua entre la temperatura de puesta en solución y la temperatura del agua de temple (típicamente entre 20°C y 95°C; también se puede utilizar agua hirviendo);
- un enfriamiento en el ambiente del taller antes de un tratamiento de revenido de endurecimiento a unas temperaturas del orden de 120°C a 250°C.

Los tratamientos anteriores se llevan a cabo típicamente en tiempos del orden de 5 a 6 horas de estancia a temperatura en el horno, siendo el incremento en la temperatura de la carga usualmente del orden de 1 a 2 horas para culatas.

Sin embargo, estas prácticas para unas piezas de geometría tan compleja como la de las culatas conducen en el temple a generar tensiones residuales significantes que pueden alcanzar localmente el nivel de límite elástico en frío del material.

El aumento de la temperatura del agua de temple es un medio bien conocido por el experto en la materia para reducir estas tensiones residuales.

Sin embargo, el uso del agua hirviendo no permite suprimir completamente estas tensiones residuales. Además, el temple con agua hirviendo conduce a reducciones significativas de las características mecánicas.

El experto en la materia remedia parcialmente la persistencia de las tensiones residuales después del temple al practicar revenidos de endurecimiento a temperaturas elevadas, típicamente más allá de 200°C, llevando de esta manera a la aleación a un estado de súper-revenido (paso por encima del pico de resistencia máxima). Estos tipos de tratamientos se denominan comúnmente T7.

También se ha propuesto reducir el tiempo necesario para realizar el conjunto del tratamiento térmico (puesta en

solución, temple y revenido). El documento GB 2 361 710, propone de esta manera limitar la duración de la puesta en solución a un máximo de tres horas, y preferentemente a un máximo de dos horas. El tratamiento recomendado por este documento, para un tiempo de tratamiento inferior, da como resultado unas características mecánicas similares a las del tratamiento T7.

Se observará que este documento GB 2 361 710 especifica que las propiedades de fatiga solamente están poco influenciadas por el tipo de tratamiento térmico e indica que por ello, las propiedades de fatiga de las piezas sometidas al tratamiento T7 o al tratamiento según este documento GB 2 361 710 con una puesta en solución más corta, no deben ser significativamente diferentes.

El documento US nº 6.752.885 prevé asimismo un tratamiento térmico más corto que el tratamiento T7, comprendiendo este tratamiento una puesta en solución de duración comprendida entre una hora y treinta minutos y dos horas, y un revenido a una temperatura de 250°C.

El documento US 2004/265163 describe un tratamiento térmico que comprende una etapa de puesta en solución, un temple y un revenido, recomendando la elección de un súper-revenido para partes de la pieza para las que se exige una buena estabilidad dimensional.

El documento US 2007/051336 describe un tratamiento térmico que comprende una etapa de puesta en solución, una etapa de temple al agua y una etapa de súper-revenido de la pieza.

El solicitante también ha puesto a punto y utiliza comercialmente desde hace varios años, un tratamiento de tipo T5 que consiste en encadenar:

- una solidificación rápida en el interior del molde, generalmente metálico, por lo menos para la parte que moldea la cara fuego de la culata,
- un enfriamiento rápido con aire forzado después de expulsar la pieza fuera del molde, estando la pieza entonces todavía provista de sus núcleos interiores de arena y de sus mazarotas, hasta la temperatura ambiente,
- siendo el conjunto seguido por un revenido de endurecimiento.

Este tratamiento tiene la ventaja de suprimir las tensiones residuales, pero no permite extraer todo el beneficio del potencial de endurecimiento de la aleación.

La presente invención prevé paliar estos inconvenientes y permitir reducir las tensiones residuales de la aleación, utilizando al mismo tiempo mejor el potencial de endurecimiento de la aleación con vistas a maximizar las prestaciones funcionales de la culata, en particular la resistencia a la fatiga en caliente-frío que es la prueba más severa para el desarrollo de culatas solicitadas.

Con este fin y según un primer aspecto, propone un procedimiento de tratamiento térmico de una pieza de fundición de tipo culata realizada en aleación de aluminio, de silicio y de magnesio, caracterizado por que comprende las siguientes etapas:

- puesta en solución de la pieza durante un tiempo comprendido entre tres y diez horas;
- temple de la pieza con aire o en un lecho fluidizado;
- revenido de la pieza al pico de resistencia o cerca del pico de resistencia para alcanzar un nivel de resistencia de la pieza por lo menos igual al 85% del nivel de resistencia máximo a la temperatura de revenido considerada.

Ciertos aspectos preferidos, pero no limitativos, de este procedimiento son los siguientes:

- la puesta en solución se realiza durante un tiempo comprendido entre cinco horas y diez horas;
- la puesta en solución se realiza a una temperatura comprendida entre 490°C y 550°C;
- la puesta en solución se efectúa en un horno convencional;
- la puesta en solución se efectúa en un lecho fluidizado;
- la puesta en solución comprende:
 - o una puesta en solución en lecho fluidizado durante un tiempo inferior o igual a 30 minutos, aplicada a la

salida de moldeo de manera que se desarene la pieza,

- o una puesta en solución complementaria en horno convencional.

- 5 - la puesta en solución se aplica a la pieza después de un desarenado completo adecuado para retirar a la pieza sus núcleos internos, y después de la eliminación de las mazarotas y de los sistemas de colada;
- la puesta en solución se aplica a la pieza a la salida de moldeo;
- 10 - el enfriamiento de la pieza durante el temple se realiza según una curva de enfriamiento situada bajo la curva de enfriamiento SUP de la figura 1, y preferentemente bajo la curva de enfriamiento INF de la figura 1;
- el temple se efectúa en un lecho fluidizado a una temperatura de menos de 40°C;
- 15 - el temple es un temple al aire a temperatura ambiente de las piezas dispuestas en una capa única atravesada por el flujo de aire;
- los caudales de aire son superiores a 1000 m³/h/pieza y preferentemente superiores a o iguales a 1700 m³/h/pieza;
- 20 - el revenido se realiza al pico de resistencia máximo para la temperatura de revenido considerada;
- el revenido se efectúa en horno convencional;
- 25 - el revenido se realiza en lecho fluidizado;
- la aleación es del tipo AA 319 y el revenido se realiza a 230°C durante 1 h 30 en lecho fluidizado, o a 210°C durante 4 horas en horno convencional;
- 30 - la aleación es del tipo AA 356 y el revenido se realiza a 180°C durante 5 horas en horno convencional;
- la pieza es una culata.

35 Según un segundo aspecto, la invención propone una culata realizada en aleación a base de aluminio, de silicio, de magnesio, caracterizada por que tiene una resistencia a la fatiga evaluada por la prueba de resistencia a la fatiga en "caliente-frío" y expresada en número de ciclos antes de la rotura de fatiga a +/- 200 ciclos, superior a 4800 ciclos, preferentemente cerca de 9500 ciclos.

40 Otros aspectos, objetivos y ventajas de la presente invención aparecerán mejor con la lectura de la descripción detallada siguiente de formas de realización preferidas de la misma, dada a título de ejemplo no limitativo, y hecha haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 45 - la figura 1 ilustra unas curvas de enfriamiento bajo las cuales se debe realizar el temple según la invención, así como unas curvas de enfriamiento aplicadas a culatas en el temple según unos ejemplos de realización de la invención;
- la figura 2 es relativa a la caracterización de una culata a la tracción y a la dureza;
- 50 - la figura 3 representa el principio de medición de las deformaciones debidas a la relajación de una culata;
- la figura 4 es un diagrama temperatura-tiempo que ilustra esquemáticamente el tratamiento térmico del procedimiento según el primer aspecto de la invención.

55 La invención aplica a las aleaciones de aluminio de moldeo con endurecimiento estructural cualquiera que sea su composición química, y a las piezas realizadas a partir de estos materiales.

La invención se refiere en particular a las piezas de fundición realizadas en aleación a base de aluminio, de silicio, y de magnesio.

60 La invención encuentra aplicación más particularmente en el tratamiento térmico de componentes para automóvil moldeados en dichas aleaciones a base de aluminio, y sometidos a fuertes solicitaciones en servicio.

65 La invención resulta particularmente ventajosa para las culatas de motores para automóvil que, como se ha observado anteriormente, son unas piezas de fundición fuertemente solicitadas. Se tomará el ejemplo de unas culatas de este tipo en la continuación de la descripción.

El procedimiento según la invención comprende las etapas que consisten en someter a la culata:

- a un tratamiento de puesta en solución a las temperaturas habituales de puesta en solución, pero durante un tiempo más largo,
- a un temple al aire o en lecho fluidizado, que no genera ninguna tensión residual,
- a un revenido "duro" al pico de dureza de la aleación.

Puesta en solución

La puesta en solución se puede efectuar en un horno con lecho fluidizado, o en un horno convencional, o incluso una sucesión de los dos.

La puesta en solución se realiza a la temperatura usual de puesta en solución de la aleación.

La puesta en solución se realiza durante un tiempo comprendido entre 3 horas y 10 horas. Según una variante ventajosa de la invención, la puesta en solución se realiza durante un tiempo comprendido entre 5 horas y 10 horas, incluyendo para los tratamientos en lecho fluidizado.

Se comprenderá que cuando la puesta en solución comprende en sucesión, una puesta en solución en lecho fluidizado (por ejemplo, un temple en lecho fluidizado corto, de una duración inferior o igual a 30 minutos), y una puesta en solución complementaria en horno convencional, la duración de la puesta en solución complementaria se adapta entonces para alcanzar una duración total comprendida entre 3 horas y 10 horas de acuerdo con la invención.

Se observará que la invención va en contra de las tendencias de la técnica, ilustradas en particular por los documentos GB 2 361 710 y US nº 6.652.885 que recomiendan una reducción de la duración del tratamiento térmico completo, en particular a través de la reducción de la duración de la puesta en solución.

El solicitante ha podido constatar que contrariamente a lo que indican las propiedades mecánicas estáticas (dureza, tracción en probetas, por ejemplo), resulta interesante incrementar la duración de puesta en solución por lo que se refiere a las propiedades funcionales de las culatas (y esto incluso cuando esta puesta en solución se efectúe en lecho fluidizado).

Según una variante de realización de la invención, la puesta en solución se aplica a la culata después de un desarenado completo que la libera de todos sus núcleos internos, en particular mediante unos medios mecánicos (martilleo y vibración típicamente), y después de la eliminación de las mazarotas y de los sistemas de colada, lo cual permite maximizar la velocidad de enfriamiento en el temple.

Como variante, la puesta en solución se puede realizar en las piezas a la salida de moldeo; permitiendo en particular la realización de la puesta en solución en un lecho fluidizado un desarenado eficaz de la culata. Sin embargo, la culata comprende además sus mazarotas, o incluso su sistema de colada en el momento del temple, lo cual no es óptimo como se acaba de observar.

Temple

Después de la puesta en solución, la culata se somete a un temple que no se efectúa en agua, sino al aire o en lecho fluidizado.

Se han ilustrado en la figura 1 unas curvas temperatura-tiempo que representan la evolución en el curso del temple de la culata en el rango más crítico de temperatura, es decir entre 500°C y la temperatura ambiente.

En el marco de la invención, la velocidad de enfriamiento del temple se adapta para que el enfriamiento, tal como es medido por uno(s) termopar(es) posicionado(s) en la culata, se sitúa bajo la curva SUP representada en la figura 1, y preferentemente bajo la curva INF, representada en la figura 1.

Dicha velocidad de enfriamiento de acuerdo con la invención implica en particular que la temperatura de la culata en sus zonas más críticas desde el punto de vista funcional, es decir la cara fuego, pasa de 495°C a 200° C en menos de 7 min 30 s (curva SUP), y preferentemente en menos de 4 min 30 s (curva INF.).

Esta velocidad de enfriamiento se puede obtener al templando la culata en un lecho fluidizado constituido por una mezcla bifásica de partículas, por ejemplo una mezcla de arena silíceas y de aire, que permite unas velocidades de temple elevadas.

La temperatura del lecho fluidizado es inferior a 40°C, por ejemplo, con un valor de 30°C.

Gracias a las propiedades físicas únicas de este medio de temple, en particular su buena conductividad térmica, el nivel de las tensiones residuales después de la operación de temple es prácticamente insignificante.

- 5 Dichos tratamientos de temple en lecho fluidizado se encuentran disponibles actualmente en el mercado, al igual que lo están para la puesta en solución.

Una alternativa posible al tratamiento de temple en lecho fluidizado descrito anteriormente consiste en realizar un temple al aire.

- 10 Un experto en la materia utiliza raramente un temple al aire para el tratamiento térmico de culatas para automóvil aunque se traduzca por una casi ausencia de tensiones residuales. En efecto, la aplicación de esta técnica frecuentemente da como resultado una reducción excesiva de las características del material.

- 15 Sin embargo, el solicitante ha desarrollado un procedimiento que permite, en las condiciones descritas por la invención, unas velocidades de temple casi equivalentes a las registradas para el lecho fluidizado, y tal que la curva de enfriamiento de la culata en el temple al aire también se sitúa bajo la curva SUP, preferentemente bajo la curva INF representadas en la figura 1.

- 20 De esta manera, según los estudios originales realizados por el solicitante, y de manera muy sorprendente, también se puede alcanzar una velocidad de enfriamiento elevada por un temple al aire, cuando se realiza un temple al aire a temperatura ambiente de piezas dispuestas vertical u horizontalmente en una capa única. Las piezas de esta capa única están separadas una de la otra por una distancia del orden de 30 mm (con unos separadores entre las piezas no incluidos en esta distancia) y atravesadas por un flujo de aire de enfriamiento. Los caudales de aire a considerar para el flujo de aire de enfriamiento son preferentemente superiores a 1000 m³/h y por culata y preferentemente superiores a o iguales a 1700 m³/h y por culata. El aire está a temperatura ambiente. A título de ejemplos, la velocidad del aire es del orden de 23 m/s para un caudal de 1000 m³/h y por culata, y del orden de 45 m/s para una caudal de 1700 m³/h y por culata.

- 30 Revenido

- En ambos casos (el temple en lecho fluidizado, temple al aire), las tensiones residuales están minimizadas con respecto a un temple al agua (y esto cualquiera que sea la temperatura del agua de temple). Esta minimización de las tensiones residuales permite evitar el súper-revenido a alta temperatura (de tipo T7) que el experto en la materia aplica generalmente a las culatas después de temple al agua para relajar las tensiones residuales, pero que se traduce por una reducción de las características mecánicas con respecto al máximo de dureza.

- 35 Con ello, en el marco de la invención, es posible aplicar a la culata, un revenido "duro" cercano al pico de resistencia, lo cual permite maximizar las características mecánicas del material, en particular el límite elástico y la carga de rotura.

- 40 La determinación del pico de resistencia se puede realizar de manera experimental y convencional, por ejemplo eligiendo en primer lugar la temperatura de revenido a considerar, y después sometiendo unas piezas previamente puestas en solución y templadas a unos tiempos de revenido variables a esta temperatura de revenido. Estas piezas se caracterizan a continuación, por ejemplo, tomando probetas de tracción en las zonas críticas de la culata, por ejemplo la cara fuego. El pico de resistencia se define caracterizando las diferentes probetas a la tracción, y después trazando la curva "resistencia mecánica a la tracción en función del tiempo de revenido", para la temperatura de revenido considerada. El pico de resistencia se define como el máximo de esta curva.

- 50 La duración de revenido que confiere a la aleación sus características mecánicas máximas, asociada con la temperatura de revenido considerada, constituyen así las condiciones de revenido en el pico de resistencia.

- Este pico de resistencia también puede ser determinado utilizando unas pruebas de dureza en lugar de los ensayos de tracción, pero la técnica que utiliza probetas de tracción es más precisa y por lo tanto es la recomendada por el solicitante.

- 55 Según un modo de realización preferido de la invención, se lleva a cabo un revenido duro en el pico, según el cual la aleación es llevada al pico de resistencia determinado según el procedimiento descrito anteriormente. De esta manera se obtiene para esta temperatura de revenido dada, el estado comúnmente designado por "T6" para las aleaciones de aluminio que corresponden al pico de resistencia de la aleación para temperatura dada.

- 60 Como variante, se realiza un revenido cerca del pico, según el cual la aleación es sometida a un revenido adecuado para obtener un nivel de resistencia a la tracción por lo menos igual al 85%, preferentemente por lo menos igual al 90%, más preferentemente por lo menos igual al 95%, del nivel de resistencia máximo a la temperatura de revenido considerada.

El revenido según la invención se realiza por consiguiente según un par temperatura/duración adaptado para alcanzar el estado T6 más elevado posible -o por lo menos acercarse al mismo- después del temple al aire o temple en lecho fluidizado según las curvas temperatura-tiempo descritas por el solicitante, y que corresponde a la resistencia máxima de la aleación, según procedimiento que acaba de ser detallado.

A título de ejemplos, y como se detallará a continuación, el revenido duro según la invención se puede realizar manteniendo una temperatura de 240°C durante 1 h 30 para una aleación de tipo AA 319 en un tratamiento de revenido en lecho fluidizado, o bien también manteniendo una temperatura de 180°C durante 5 h para una aleación de tipo AA 356 en un tratamiento de revenido en horno convencional.

La realización del procedimiento según la invención da como resultado unas prestaciones de vida útil de la culata completamente excepcionales, tal como se miden en una culata completa en un ensayo de fatiga denominado "caliente-frío" del tipo descrito en la solicitud de patente EP 1 090 278 del solicitante. Se observará que este ensayo tiene la ventaja de estar perfectamente correlacionado con los ensayos motor, estando acelerado al mismo tiempo, para un tiempo total de ensayo del orden de 1 a 2 semanas.

Experimentos

Experimento nº 1

En todos los ejemplos siguientes, se han moldeado unas culatas diésel de 5 cilindros en línea bajo gravedad estática en molde metálico, con la cara fuego hacia abajo, con una solera de acero enfriada enérgicamente de manera que se obtenga una micro-estructura muy fina que se puede caracterizar por la medición del SDAS ("Secondary Dendrite Arm Spacing") con unos valores del orden de 23 micras en la zona en la que se toman las probetas de tracción que sirven para caracterizar el material.

La temperatura del metal en la colada es de 710 a 715°C a la llegada a la cuchara de colada del molde, de donde salen los canales de alimentación para llenar el molde a través de las entradas situadas en la parte inferior de la pieza.

La carga bruta por tonelada, la relación entre el peso colado (pieza más sistema de alimentación, más mazarotas) y el peso de la pieza, es de 1,66. La fundición moldeada pesa 18,6 kg.

El núcleo completo se realiza en un procedimiento de tipo "caja fría", para la realización de las formas interiores: conductos de admisión, de escape, de circulación de agua, de aceite y para la realización del núcleo que contiene las mazarotas, reserva de metal situada por encima de la propia pieza y que permite la alimentación con metal líquido durante la solidificación y la contracción de la pieza.

El tiempo de ciclo de moldeo es del orden de 6 minutos de pieza a pieza.

La aleación es de tipo AA 319, de segunda fusión seleccionada, con una composición química dada de a continuación en porcentaje en peso:

Si	Cu	Fe	Mn	Mg	Ti	Zn	Al
6,87	3,10	0,45	0,20	0,21	0,14	0,20	resto

La aleación tiene su estructura eutéctica modificada por adición de estroncio.

El ensayo en banco se realizó en unas condiciones que permiten reproducir las sollicitaciones térmicas de un ensayo caliente-frío severo en banco motor, estando la culata fijada por sus tornillos de fijación sobre una placa de acero que reemplaza el bloque de motor, y provista de taladros que reproducen los taladros de los cilindros del motor.

Unos quemadores a gas están alojados en estos taladros. La culata está montada con las válvulas de escape abiertas y las válvulas de admisión cerradas.

El ciclo caliente consiste en calentar la cara combustión con la ayuda de quemadores a gas, siendo la circulación de agua recorrida por el líquido de refrigeración, de tal manera que la temperatura en los puentes inter-válvulas alcance el valor de 250°C.

El ciclo frío consiste en interrumpir el calentamiento de la cara combustión, siendo la circulación de agua recorrida por el líquido de refrigeración, de tal manera que la temperatura en los puentes inter-válvulas alcance el valor de 40°C.

La temperatura de los puentes inter-válvulas se mide a 1 mm de la superficie de la cara fuego en una culata idéntica a la del estado T5 (ensayo nº 1) y provista de termopares, esto con el fin de efectuar los ajustes de los quemadores y de los caudales de líquido de refrigeración que permite alcanzar estas temperaturas.

La duración de ciclo caliente es de 40 segundos; la del ciclo frío de 25 segundos, lo cual da un tiempo de ciclo total unitario de 65 segundos.

- 5 El ensayo se interrumpe regularmente para examinar los puentes en el lado de la cara combustión, para determinar la fase de inicio de las fisuras. La rotura en fatiga se determina en cuanto se observa una fisura pasante de puente que conduce a una fuga de agua de la circulación de agua hacia la cara de combustión.

10 Estas condiciones experimentales de ensayo de rotura en fatiga se aplicaron en primer lugar a las culatas tratadas en el estado T5 (ensayo nº 1). Se reprodujeron a continuación en las mismas condiciones de potencia de calentamiento, de potencia de enfriamiento y de ciclado a unas culatas sometidas a otros tratamientos térmicos (ensayos nº 2 y 3).

15 Las culatas han sido también objeto de caracterización en el ambiente a la tracción y a la dureza.

Las propiedades de tracción se miden según la norma AFNOR EN 10002-1 en la cara fuego mediante unas probetas de tracción de diámetro 6,18 mm de longitud calibrada de 36,2 mm. Cada medida es la medida de 5 probetas por pieza, para 3 piezas.

20 La dureza Brinell se mide según las normas AFNOR EN ISO 6506-1 y ASTM E10-06 también en la cara fuego. Se realiza una medición por pieza, para cinco piezas.

Se han representado en la figura 2 las zonas de toma de muestras T1-T5 de las probetas de tracción, la posición HB1 de las mediciones de dureza y la posición A-E de los exámenes micrográficos para la medición del SDAS.

25 Ensayo nº 1: Culata sometida al tratamiento de referencia T5

Después de la colada, la pieza se extrajo del molde y se enfrió en un túnel de aire forzado de tal manera que se enfríe hasta una temperatura de 50°C en un tiempo d el orden de 60 minutos.

30 La culata se sometió entonces a las operaciones habituales de acabado y después, de revenido: 4 horas a 210°C en un horno de revenido convencional y después, de mecanización completa, antes de someterse al ensayo en banco.

35 El resultado del ensayo de resistencia, expresado en número de ciclos antes de la rotura en fatiga, es de 3600 ciclos (+/- 200 ciclos; repetidos dos veces) para la culata tratada por el tratamiento térmico T5.

Ensayo nº 2

El ensayo se realizó en una culata que se ha sometido al siguiente procedimiento.

40 Después de la colada, la pieza se extrajo del molde y se sometió, después de haber liberada de sus sistemas de colada, a un tratamiento térmico con los siguientes parámetros:

- Puesta en solución 2 h a 498°C en un lecho fluidizado;
- Temple en un lecho fluidizado a 30°C. La curva de enfriamiento está de acuerdo con la que lleva la referencia E2/E3 en la figura 1 y situada bajo la curva de enfriamiento INF. Se observará, en particular, que según esta curva E2, E3, la duración para pasar de 495°C a 200 °C es del orden de 3 min 30 s, por lo tanto, inferior a 4 min 30 s;
- Revenido 4 h a 210°C en un horno convencional ventilado, correspondiente al pico de resistencia máximo de la aleación.

La culata ha sido objeto a continuación de una mecanización completa, antes de someterse al ensayo en banco.

55 El resultado de la prueba de resistencia, expresado en el número de ciclos antes de la rotura de fatiga es 4800 ciclos (+/- 200 ciclos; repetidos dos veces) para la culata tratada según el ensayo nº 2.

Ensayo nº 3.

60 La prueba se realizó en una culata que se ha sometido al siguiente procedimiento.

Después de colada, la pieza se extrajo del molde y se sometió, después de haber sido retirados sus sistemas de colada, a un tratamiento térmico según la invención con los siguientes parámetros:

- Puesta en solución larga: 8 h a 498°C en un lecho fluidizado;

- Temple en un lecho fluidizado a 30°C constituido por una mezcla bifásica de aire a temperatura ambiente y de arena silíceas de granulometría 50 AFS, siendo el conjunto fluidizado en un tanque de temple provisto de placas de enfriamiento recorridas por agua fría a 20-23°C. La curva de enfriamiento es conforme a la que lleva la referencia E2/E3 en la figura 1, situada bajo la curva de enfriamiento INF;
- Revenido 1 h 30 a 230°C en un lecho fluidizado, lo cual corresponde al pico de resistencia de la aleación a esta temperatura de revenido.

El resultado de la prueba de resistencia, expresado en número de ciclos antes de la rotura de fatiga, es 9500 ciclos (+/- 250 ciclos; repetidos dos veces) para la culata tratada según el ensayo nº 3.

El conjunto de estos resultados muestran claramente el interés de la asociación, representada esquemáticamente en el diagrama temperatura-tiempo de la figura 4, de una puesta en solución larga L (L por "Long"), de un temple que no genera ninguna tensión residual S (S por "Soft"), y de un revenido duro H (H por "Hard").

También se observa que el tratamiento térmico según la invención tiene claramente más prestaciones que el tratamiento T5 tal como es practicado por el solicitante, teniendo este tratamiento T5 por sí mismo más prestaciones en ensayos motores que los tratamientos térmicos convencionales de tipo T7, para la culata considerada.

Los tratamientos convencionales T7 que consisten en una puesta en solución del orden de 5 horas a 495°C, un temple en agua a 70°C típicamente, y unos revenidos del orden de 5 horas a 230°C (súper-templado) han sido caracterizados por otra parte por el solicitante en unas culatas similares. En particular, la publicación "A Phenomenological Model for Fatigue Life Prediction of Highly Loaded Cylinder Heads" (SAE Technical Paper nº 2006-01-0542) pone en evidencia que para ciertas aplicaciones de motor muy solicitadas, las aleaciones de tipo 319 tratadas en el estado T5 -aunque no alcancen el potencial de endurecimiento máximo de la aleación- pueden ofrecer unas prestaciones en culatas en servicio superiores a las de aleaciones sometidas a tratamientos térmicos completos de tipo T7.

Por otra parte, se observará que las características mecánicas estáticas, en las culatas de los ensayos nº 1, 2 y 3, e indicadas en la tabla siguiente, no mostraron diferencias significativas entre las piezas del ensayo nº 2 y las del ensayo nº 3. Estas piezas, sin embargo, son muy diferentes en comportamiento funcional en banco (4600 ciclos antes de la rotura para el ensayo nº 2; 9500 ciclos antes de la rotura para el ensayo nº 3).

Ensayo	Límite de Rotura R _m (MPa)	Límite Elástico R _{p0.2} (MPa)	Alargamiento A _p (%)	Dureza H _B
nº 1	280	218	1,7	101
nº 2	346	282	1,9	107
nº 3	349	281	1,9	107

El conjunto de estas observaciones lleva a la conclusión de que las caracterizaciones de tracción y de dureza no permiten predecir las prestaciones funcionales de la culata en banco.

Se comprende que a la vista de las propiedades mecánicas estáticas observadas en estas muestras probetas, nada dejaba presagiar que el tratamiento térmico de acuerdo con la invención del ensayo nº 3 pueda permitir obtener unas prestaciones funcionales en culata en servicio tan superiores a las del ensayo nº 2.

Se trata en este caso de resultados observados de manera sorprendente por el solicitante, cuando realizó una caracterización en banco de la resistencia a la fatiga de culatas completa.

Se observará por otra parte que en el campo técnico de la invención, se comparte el sentimiento general según el cual la duración de la puesta en solución no tiene ningún impacto considerable en la fatiga, por poco que se aplique una puesta en solución. De ello se desprende, como se describe en el documento GB 2 361 710, un estímulo para reducir la duración de la puesta en solución.

Sin embargo, el solicitante ha podido constatar, a pesar incluso de que las características mecánicas estáticas (tracción, dureza) sean globalmente equivalentes y, que nada incitaba por consiguiente a realizar unos experimentos suplementarios, en particular en las piezas completas, y a pesar incluso que las ideas preconcebidas en el campo tendían a alejar al solicitante de la solución de la invención al recomendar una puesta en solución corta, que, de manera sorprendente, se ha podido desembocar en un fuerte aumento de las prestaciones funcionales de la culata al realizar el procedimiento según la invención que asocia una puesta en solución larga, un temple que no genera tensiones residuales, y un revenido duro.

Experimento nº 2

En todos los ejemplos siguientes, se han moldeado unas culatas diésel de cuatro cilindros en línea en gravedad

estática en un molde metálico, la cara fuego hacia abajo, con una solera de acero enfriada energicamente de manera que se obtenga una microestructura fina que se puede caracterizar por la medida SDAS ("Secondary Dendrite Arm Spacing"), con unos valores del orden de 30 micras en la zona en la que se extraen las probetas de tracción que sirven para caracterizar el material.

5 La temperatura de metal en la colada es de 720°C a la llegada a la cuchara de colada del molde, de donde salen los canales de alimentación para llenar el molde a través de entradas situadas en la parte inferior de la pieza.

10 La carga bruta por tonelada, relación entre el peso colado (pieza más sistema de alimentación, más mazarotas) y el peso de la pieza es de 1,7. La pieza moldeada pesa 14,1 kg.

15 Toda la infiltración se realiza en un procedimiento de tipo "caja fría", para la realización de las formas interiores: conductos de admisión, de escape, de circulación de agua, de aceite y para la realización del núcleo que contiene los mazarotas, reserva de metal situada por encima de la propia pieza y que permite la alimentación con metal líquido durante la solidificación y la contracción de la pieza.

El tiempo de ciclo de moldeo es del orden de 5 minutos de pieza a pieza.

20 La aleación es de tipo AA 356, de primer fusión, con una composición química dada a continuación en porcentaje en peso:

Si	Fe	Mn	Mg	Ti	Zn	Al
7,4	0,12	0,02	0,30	0,11	0,02	resto

La aleación tiene su estructura eutéctica modificada por adición de estroncio.

25 Después de colada, la pieza se extrajo del molde y se enfrió en un túnel de aire forzado de tal manera que se enfríe hasta la temperatura de 50°C en un tiempo del orden de 120 minutos.

Las culatas se sometieron a continuación a las operaciones habituales de acabado y después:

30 Ensayo nº 4: el tratamiento térmico de referencia que comprende:

- Una puesta en solución 6 h a 540°C en un horno convencional
- Un temple en agua caliente a 70°C
- Un revenido de 6 h a 200°C en un horno convencional.

35 Ensayo nº 5: un tratamiento térmico fuera del perímetro de la invención, utilizando un temple al agua, y que comprende:

- Una puesta en solución 6 h a 540°C en un horno convencional
- Un temple al agua cercana a la ebullición a 93°C
- Un revenido 6 h a 200°C en un horno convencional.

Ensayo nº 6: un tratamiento térmico de acuerdo con la invención, que comprende:

- 45 - Una puesta en solución 6 h a 540°C en un horno convencional.
- Un temple al aire en las condiciones operativas expuestas anteriormente, con una curva de enfriamiento de acuerdo con la que lleva la referencia E6 en la figura 1, situada bajo la curva de enfriamiento INF. En particular, se observará que según esta curva E6, la duración para pasar de 495°C a 200°C es el orden de 4 min, por lo tanto, inferior a 4 min 30 s.

50 El temple al aire de la curva E6 corresponde a un temple de las culatas dispuestas vertical e individualmente en una capa única, estando las culatas separadas 30 mm unas de las otras (sin contar los separadores), y colocadas en unas cestas atravesadas por un flujo de aire que tiene un caudal de 3000 m³/h.

- 55 - Un revenido 5 h a 180°C en un horno convencional, que corresponde al pico de resistencia máxima de la aleación.

60 Unas probetas de tracción se extrajeron en las culatas de los ensayos nº 4, 5, y 6, de forma similar a lo que se realizó en el marco del experimento 1, y las características mecánicas de tracción se midieron en estas probetas.

De manera similar al ejemplo 1, la dureza también se midió en la cara fuego de las culatas.

Estas características se indican en la siguiente tabla.

Ensayo	Límite de rotura Pm (MPa)	Límite elástico Rp ₀₂ (MPa)	Alargamiento A _p (%)	Dureza H _B
nº 4	283	245	6,7	97
nº 5	271	233	6,2	95
nº 6	290	238	4,4	106

Se observará que el tratamiento térmico de acuerdo con la invención y que utiliza una puesta en solución larga, un temple al aire y un revenido cerca del pico de resistencia (ensayo nº 6) induce un juego de propiedades mecánicas comparables a las del tratamiento de referencia de tipo T7 efectuado con un temple al agua a 70°C, a costa de una ligera reducción en las características de alargamiento con respecto al tratamiento T7 que utiliza un temple al agua clásico (ensayo nº 4) y da unos resultados de características mecánicas superiores a los obtenidos con el tratamiento T7 que utiliza un temple al agua a una temperatura cercana al punto de ebullición (ensayo nº 5).

Los niveles globales de tensiones residuales se caracterizaron por otra parte por los tres ensayos nº 4, 5 y 6, de la siguiente manera:

Tal como está representado esquemáticamente en la figura 3, las culatas fueron seccionadas progresivamente por fresado a partir de la cara fuego. Las culatas están, antes del recorte, y después en cada etapa del recorte, a 13 y a 30 mm de profundidad con respecto a la cara fuego, medidas dimensionalmente de manera que se cuantifique la flecha máxima de la culata con respecto a tres rangos de referencia Pr de la cara fuego, y la variación de longitud media de la culata en las caras A y B.

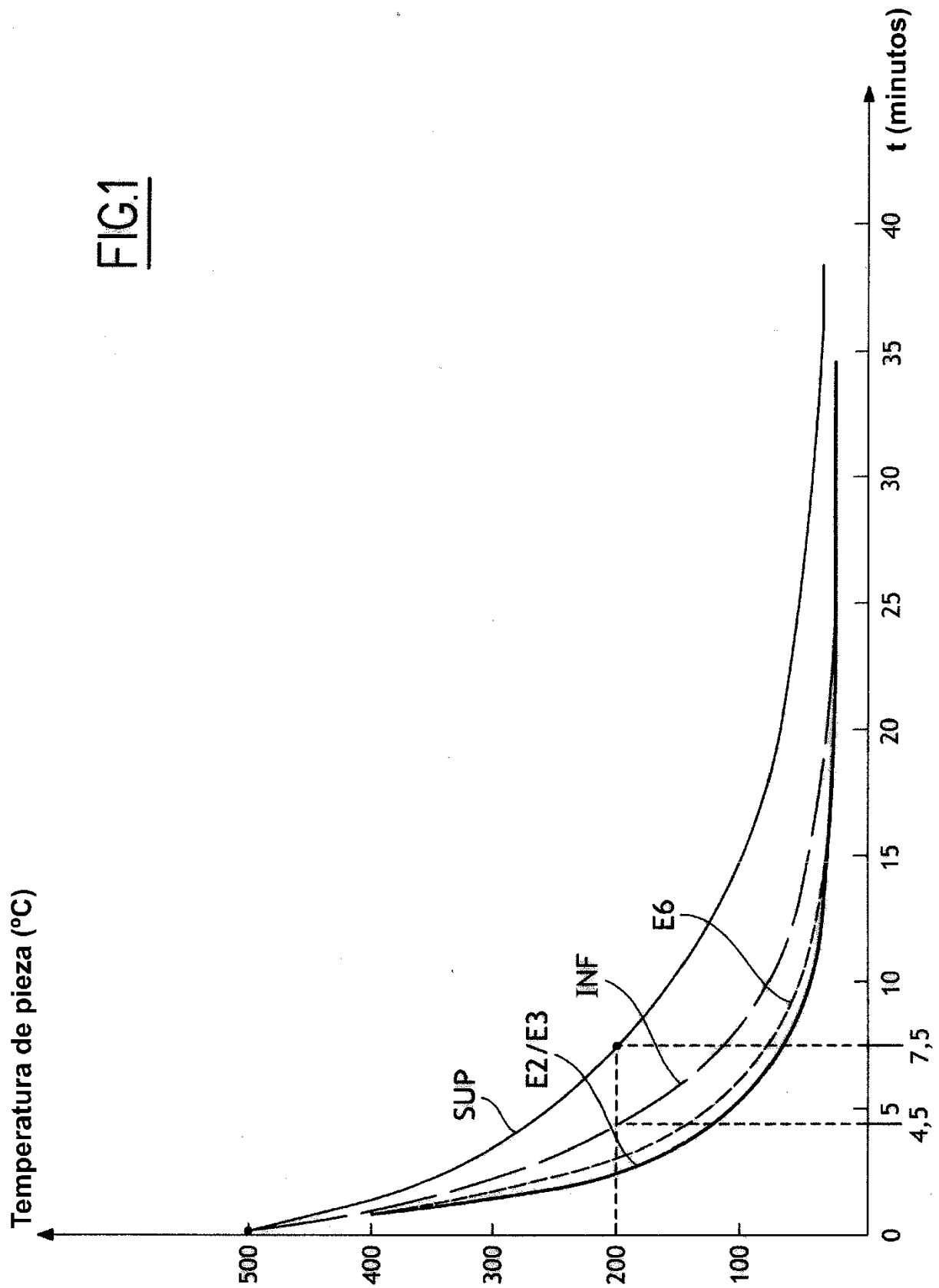
Se indican de esta manera en la tabla siguiente los valores de las deformaciones debidas a la relajación de la culata; estos valores representan una medición cualitativa y global del estado de tensiones residuales de la culata.

Ensayo	Flecha máxima, cara fuego (mm)	Contracción media en longitud (A/B) (mm)
nº 4	0,14	0,10
nº 5	0,15	0,26
nº 6	0,05	0,05

Se observa que entre estos tres ensayos, el tratamiento según la invención que comprende un temple al aire en las condiciones operativas del procedimiento según la invención es el único capaz de ofrecer una reducción significativa de tensiones residuales, conservando al mismo tiempo un buen nivel de características mecánicas. Este efecto en las tensiones residuales es probablemente un elemento discriminatorio en la mejora inesperada de los comportamientos en banco de las culatas tratadas térmicamente mediante el procedimiento según la invención.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de tratamiento térmico de una pieza de fundición de tipo culata realizada en aleación de aluminio, de silicio y de magnesio, caracterizado por que comprende las etapas siguientes:
 - puesta en solución de la pieza durante un tiempo comprendido entre tres y diez horas, a una temperatura comprendida entre 490°C y 550°C;
 - temple de la pieza al aire o en lecho fluidizado, a una velocidad de enfriamiento tal que la temperatura de una cara fuego de la pieza pase de 495°C a 200°C en menos de 7 min 30 s;
 - revenido de la pieza en el pico de resistencia, o cerca del pico de resistencia, siendo el revenido realizado según un tiempo adaptado para alcanzar un nivel de resistencia de la pieza por lo menos igual al 85% del nivel de resistencia máxima, a la temperatura del revenido considerado.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la puesta en solución se realiza durante un tiempo comprendido entre cinco horas y diez horas.
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 o 2, en el que la puesta en solución se efectúa en un horno convencional o en un lecho fluidizado.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 o 2, en el que la puesta en solución comprende:
 - una puesta en solución en lecho fluidizado durante un tiempo inferior o igual a 30 minutos, aplicada a la salida de moldeo de manera que desarene la pieza,
 - una puesta en solución complementaria en horno convencional.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la puesta en solución se aplica a la pieza después de un desarenado completo adaptado para retirar de la pieza sus núcleos internos, y después de la eliminación de las mazarotas y de los sistemas de colada.
6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la puesta en solución se aplica a la pieza a la salida de moldeo.
7. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el temple se efectúa en un lecho fluidizado a una temperatura de menos de 40°C.
8. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el temple es un temple al aire a temperatura ambiente de las piezas dispuestas en una capa única atravesada por el flujo de aire, siendo los caudales de aire superiores a 1000 m³/h/pieza, y preferentemente superiores o iguales a 1700 m³/h/pieza.
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que el revenido se realiza en el pico de resistencia máxima para la temperatura de revenido considerada.
10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que el revenido se realiza en horno convencional o en lecho fluidizado.
11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que la aleación es del tipo AA 319 y el revenido se realiza a 230°C durante 1 h 30 en lecho fluidizado, o a 210°C durante 4 horas en horno convencional.
12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que la aleación es del tipo AA 356 y el revenido se realiza a 180°C durante 5 horas en horno convencional.
17. Culata realizada en aleación a base de aluminio, de silicio, y de magnesio, caracterizada por que tiene una resistencia a la fatiga evaluada por la prueba de resistencia a la fatiga caliente-frío, y expresada en número de ciclos antes de la rotura de fatiga a +/- 200 ciclos, superior a 4800 ciclos, preferentemente cercano a 9500 ciclos.



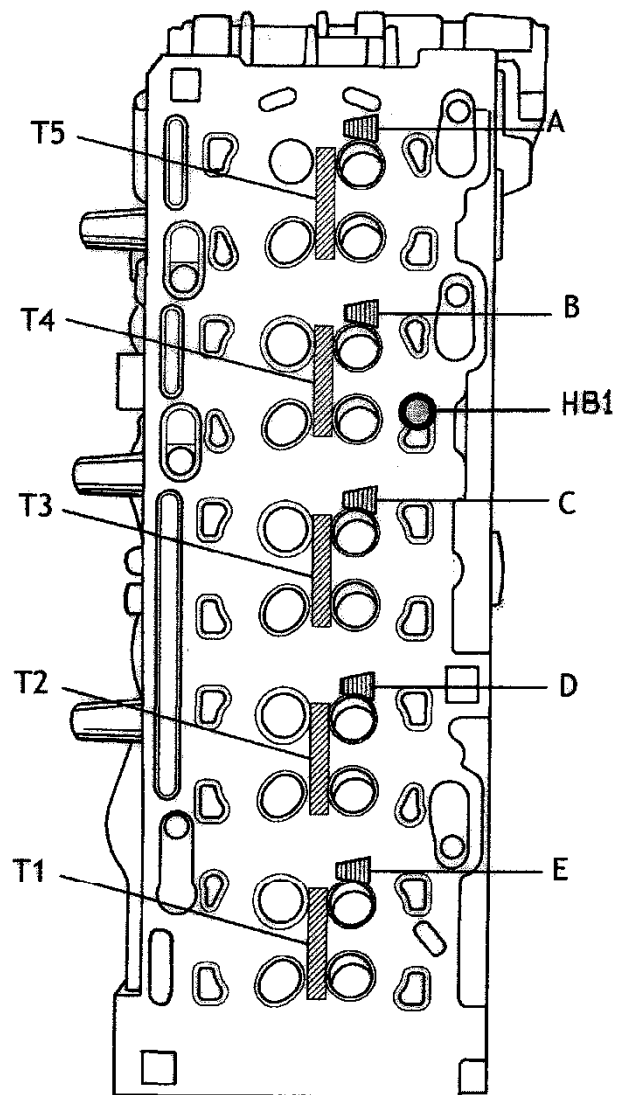


FIG.2

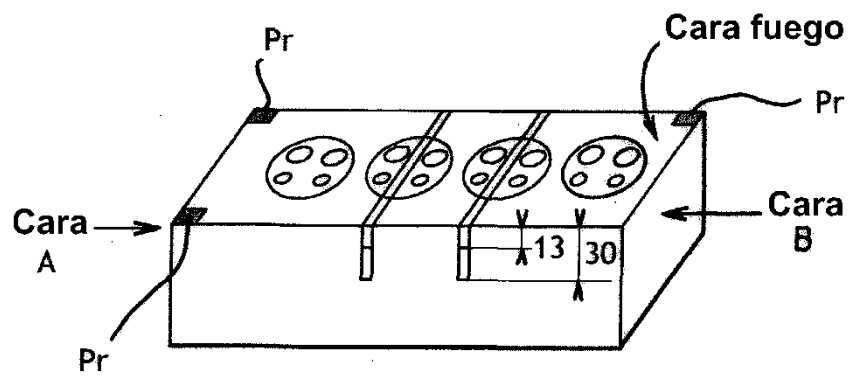


FIG.3

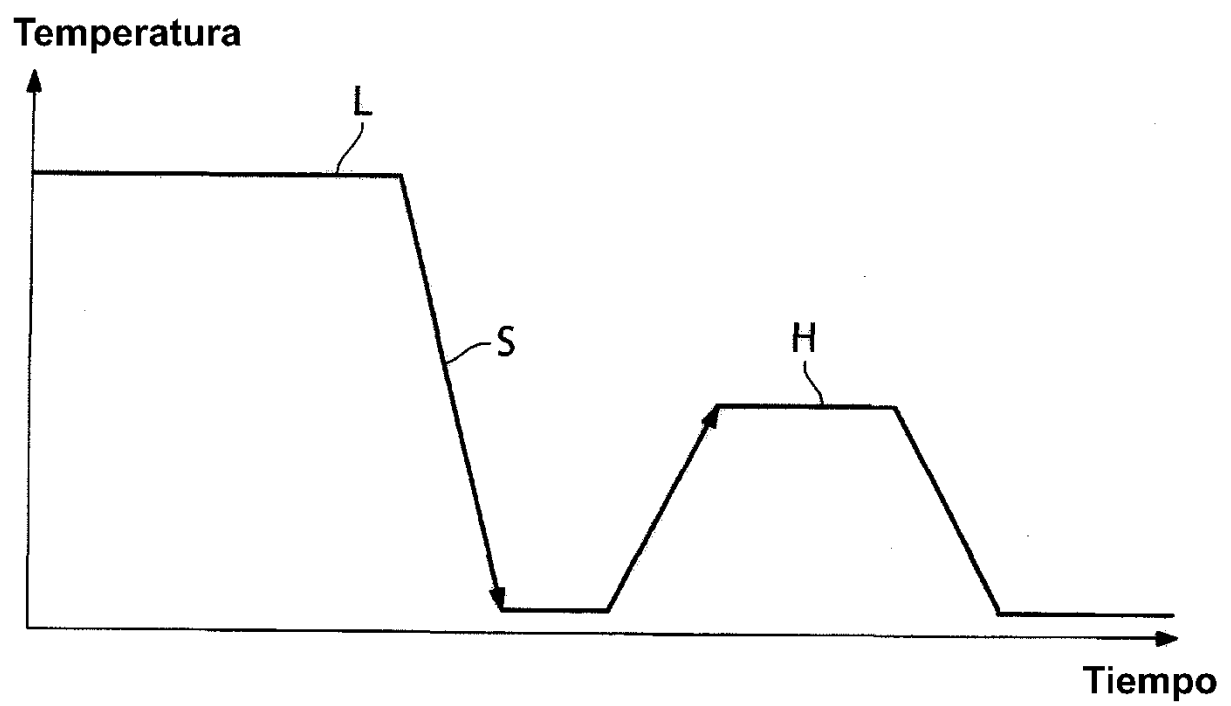


FIG.4