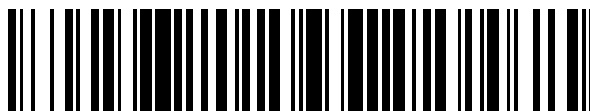


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 552 955**

51 Int. Cl.:

C21D 7/13 (2006.01)
C21D 9/30 (2006.01)
C21D 1/02 (2006.01)
C21D 1/18 (2006.01)
C21D 1/42 (2006.01)
F16C 3/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.10.2012 E 12790961 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.08.2015 EP 2764127**

54 Título: **Procedimiento para mejorar la resistencia a la fatiga de microaleaciones del acero, piezas forjadas realizadas mediante el procedimiento y aparato para ejecutar el procedimiento**

30 Prioridad:

07.10.2011 IN MM28522011

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

03.12.2015

73 Titular/es:

KALYANI, BABASAHEB NEELKANTH (100.0%)
Mundhwa Pune Cantonment
Pune 411036, IN

72 Inventor/es:

KALYANI, BABASAHEB NEELKANTH

74 Agente/Representante:

MARTÍN SANTOS, Victoria Sofia

ES 2 552 955 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

5 **Procedimiento para mejorar la resistencia a la fatiga de microaleaciones del acero, piezas forjadas realizadas mediante el procedimiento y aparato para ejecutar el procedimiento**

Campo de la invención:

10 Esta invención se relaciona con el campo de los aceros; en particular, la invención se refiere a la mejora de la resistencia a la fatiga de micro-aleaciones del acero.

Antecedentes de la invención:

15 Se supone que el cigüeñal es el corazón de un motor. El cigüeñal convierte el movimiento alternativo del pistón en movimiento de rotación. El cigüeñal tiene una geometría compleja y también experimenta gran número de ciclos de carga durante su vida de servicio. Por lo tanto, la resistencia a la fatiga y durabilidad son consideraciones clave en el diseño del cigüeñal y en su rendimiento. Durante su vida útil, un cigüeñal opera
20 bajo altas fuerzas resultantes de la combustión del combustible. La combustión y las fuerzas de inercia que actúan sobre el cigüeñal causan dos tipos de fluctuación de cargas sobre la estructura del cigüeñal, la carga de torsión y flexión. Por lo tanto un cigüeñal requiere una alta resistencia a la fatiga causada por la torsión y la flexión.

25 Los diseñadores de motores de combustión interna modernos se enfrentan al reto de reducir la contaminación del medio ambiente para cumplir con estrictas normas de control de la contaminación en todo el mundo. La contaminación ambiental se puede reducir a través de la mejora de la eficiencia del motor. El diseño del cigüeñal es crucial para decidir la eficiencia del motor, junto con una mayor resistencia al cociente de peso. Las normas de cumplimiento ambiental (por ejemplo, normas Euro) son cada vez más estrictas, lo cual conduce a
30 diseños de motores más ajustados como consecuencia de lo cual las presiones a las que se somete el cilindro del motor es mucho mayor que hace unos años. Para soportar este aumento de la presión, el cigüeñal exige mayor resistencia a la fatiga de torsión y flexión.

35 Existe una constante búsqueda de materiales de alta resistencia para hacer frente a estas situaciones exigentes. Uno de estos materiales categorizados como de alta resistencia, la micro-aleación (MA) de acero forjado, se está usando cada vez más en la fabricación de cigüeñales en motores de gasolina y diésel. La aleación de microacero, también denominado como acero microaleado, es un tipo de acero que contiene pequeñas cantidades de elementos de aleación (0,05 a 0,15%). Constituyen elementos de aleación estándar: niobio, vanadio, titanio, molibdeno, zirconio, boro, y los metales de las tierras raras. Se utilizan para refinar la
40 microestructura del grano y/o facilitar el endurecimiento por precipitación.

45 El rendimiento y el costo de estos aceros se encuentra entre el acero al carbono y el acero de baja aleación. Su límite elástico es de entre 500 y 750 MPa (73.000 y 109.000 psi) y sin tratamiento térmico. Su resistencia a la fatiga y su resistencia al desgaste son superiores a las de los aceros similares pero tratados con calor. Las desventajas conocidas de los aceros de micro-aleación son que su ductilidad y tenacidad no son tan buenos como los aceros templados y revenidos (T Q y).

50 Como parte de su proceso de formación, los aceros de microaleación también deben calentarse lo suficiente para que la totalidad de las aleaciones estén en solución. Después de la formación, el material debe ser enfriado rápidamente de 540 a 600°C (1004 a 1112°F) para el refinamiento del grano. Y al mismo tiempo, el enfriamiento debe ser lo suficientemente lento para asegurar el completo fortalecimiento de la precipitación. El éxito de las microaleaciones de acero se debe a sus mecanismos de fortalecimiento, específicamente el refinamiento del grano y el endurecimiento por precipitación.

55 La patente EP 1978124 divulga un acero forjado, una pieza forjada hecha de acero forjado, y un cigüeñal hecho del acero forjado resistente a la fractura por fatiga bajo severas condiciones de trabajo y con una excelente característica de resistencia a la fatiga. Las piezas forjadas se someten a un tratamiento térmico a aproximadamente 8700C para homogeneizar y favorecer el endurecimiento, y el forjado semiacabado se termina en una máquina para obtener una pieza forjada acabada.

60 La mayoría de las aplicaciones nuevas para cigüeñal constan de acero microaleado, y muchas aplicaciones actuales están cambiando el hierro fundido o el acero al carbono o de aleación tratados térmicamente y aleaciones de acero por microaleaciones de acero. La micro-aleación (MA) de acero o el acero de alta resistencia y baja aleación (HSLA) es un desarrollo importante en la producción de acero y se utiliza en todos
65 los mercados de acero importante en varias partes del mundo y el mismo ha desempeñado un papel

importante en la expansión de las industrias tales como extracción de petróleo y gas, construcción y transporte.

Una variante de los aceros MA, los aceros microaleados con vanadio tienden a ser de grano más grueso que el grado de aceros equivalente C38 + N2 que no contienen vanadio como se muestra en la Figura 1. Por tanto, es importante controlar el tamaño del grano utilizando un tipo de refrigeración óptima de la temperatura de forja para refinar el tamaño del grano utilizando un tratamiento térmico simple que no da lugar a mucha distorsión. Uno de estos procesos es el de refinamiento del grano.

Durante el proceso de forjado, los lingotes se calentaron hasta 1280°C. Se observa en la figura 1 que a la temperatura de forja el diámetro medio del grano es más de 350µm como se representa por un número de tamaño de grano ASTM equivalente de 0-1. Posteriormente, se produce una recrystalización y se forman nuevos granos. Estos granos son más gruesos (ASTM 3-5). Se sabe que con el aumento de tamaño del grano, el límite de resistencia disminuye. Por lo tanto, es esencial mantener el tamaño del grano fino para una mejor resistencia a la fatiga. En el caso de una estructura de grano fino, el movimiento de la dislocación está restringido debido a la mayor cantidad de área de superficie del grano lo que se consigue una mayor resistencia. De ahí que el acero con granos de tamaño fino tenga una mayor resistencia a la fatiga.

La figura 1a muestra un proceso convencional de fabricación de un cigüeñal de acero microaleado, que despliega una operación de forjado seguido de un enfriamiento controlado. Todo el proceso comprende las etapas de formación de lingotes, forja seguida de enfriamiento controlado, comprobando la dureza del producto, que forma la parte final a través de mecanizado. El tamaño del grano obtenido con este proceso está en el rango de ASTM 3-5. Los componentes como los cigüeñales fabricados con este proceso son posteriormente mecanizadas, endurecido por inducción, molido y probada su resistencia a la fatiga. Observado resistencia a la fatiga de torsión de dichos cigüeñales es de entre 95 a 100 MPa, y la resistencia a la fatiga de flexión es 3.649 micro cepa (839 MPa).

Objetivos y ventajas de esta invención:

La presente invención tiene como objetivo proporcionar un ratio mejorado de la fuerza y densidad del material y para proporcionar una micro-aleación de torsión cuya resistencia a la fatiga y resistencia a la fatiga de flexión son mayores que los aceros micro-aleación actualmente disponibles.

Resumen de la invención:

La presente invención describe un procedimiento que provee de una mayor resistencia a la fatiga a la micro-aleación de acero. En el procedimiento de la presente invención, la temperatura de remojo se mantiene en el rango de 900°C a 1.050°C y el tiempo de remojo se mantiene en un intervalo de 30-60 minutos dependiendo del tamaño del cigüeñal para obtener el tamaño de grano refinado. Se evita que se produzca la distorsión de los componentes con la provisión de apoyos adecuados especialmente diseñados para el proceso.

Los cigüeñales con grano refinado de acuerdo con el procedimiento de la presente invención dieron como resultado en torno a un 20 a 25% de mejora en la resistencia a la fatiga de torsión y un 10-25% de mejora en la flexión resistencia a la fatiga.

Descripción de términos técnicos:

Corte de lingotes: Corte con sierra de la barra fría al tamaño requerido.

Calentamiento de lingotes: El calentamiento de lingotes hasta una temperatura predefinida (1.285 +/- 25°C) en el horno seguido de desincrustación con agua para eliminar incrustaciones en los lingotes.

Forja: Término utilizado para describir colectivamente los pasos de rodamiento, bloqueador, acabado y recorte, cada uno de los cuales se describen a continuación.

Rodamiento: Un proceso para generar una forma preformada entre rodillos con una reducción predefinida para obtener la longitud requerida y optimizar el material de entrada.

Bloqueador: La forma que se genera entre dos troqueles antes del acabado con energía predefinida.

Acabado: La formación de la forma final entre matrices con energía predefinida.

Recorte: Recorte del material sobrante (Flash) en la forja de acabado a lo largo de la línea de

separación para conseguir la forma del producto final.

Relleno: Calibración de la forja final para alcanzar las dimensiones requeridas.

5 **Refinamiento del grano:** El refinamiento del grano es el más importante y más esencial de los métodos para controlar la microestructura de los materiales. Hay tales métodos para obtener grano fino como el tratamiento de calor por el uso de transformación de fase y recristalización.

10 **Comprobación de dureza:** La dureza se define como "la resistencia del metal a la reforma con plástico, por lo general por indentación". Es la propiedad de un metal que da la capacidad de resistirse a ser deformado permanentemente, cuando se aplica una carga. Cuanto mayor sea la dureza del metal, mayor será la resistencia que tiene a la deformación.

15 **Granallado:** El granallado del acero es el proceso más utilizado para la limpieza, decapado y la mejora de l acabado de la superficie de metal después de la operación de trabajar el metal (Forja).

20 **Desbaste:** El desbaste se puede definir como el proceso de eliminación de material de una pieza de trabajo en forma de fichas. El desbaste es necesario cuando se exige estrecha tolerancia en dimensiones y acabados.

25 **Endurecimiento por inducción:** El endurecimiento por inducción sirve para proporcionar una capa completamente martensítica desde la superficie hasta cierta profundidad del cigüeñal para aumentar la dureza y resistencia al desgaste, al tiempo que la parte restante de las manivelas no queda afectada por el proceso. El aumento en la dureza también mejora la resistencia a la fatiga de contacto.

30 **Acabado pulido:** Es un proceso de molienda que se usa para producir acabados muy finos, haciendo cortes muy ligeros, o formas de alta precisión utilizando una rueda abrasiva como el dispositivo de corte.

Breve descripción de los dibujos:

La figura 1 muestra el efecto en los elementos de aleación al engordar el grano.

35 La figura 1a muestra el diagrama de flujo del proceso convencional de fabricación de piezas forjadas tales como un cigüeñal.

La figura 1b muestra diagrama de flujo del procedimiento descrito por la presente invención.

40 Las figuras 2a y 2b muestran el tamaño del grano y la dureza de la superficie antes y después del proceso de refinamiento del grano para la microaleación de acero.

45 Las figuras 3a, 3b y 3c muestran comparaciones de resistencia a la fatiga de torsión del cigüeñal antes y después del proceso de refinamiento del grano para diferentes casos.

Las figuras 4a, 4b y 4c muestran comparaciones de resistencia a la fatiga de doblado del cigüeñal antes y después del proceso de refinamiento del grano para diferentes casos.

50 Descripción detallada de la invención:

55 Como es evidente a partir de la figura 1b, dentro del proceso convencional de fabricación de piezas forjadas se introduce una etapa de refinamiento del grano con el fin de mejorar la resistencia al cociente de peso de la parte. En particular, se aplica el procedimiento de esta invención para los cigüeñales de acero hechos de micro-aleación. Una mejora de un 20-25% en resistencia a la fatiga y una mejora de torsión del 10-25% en resistencia a la fatiga de flexión se observó en el caso del cigüeñal fabricado usando el procedimiento de la presente invención.

60 Un proceso de forjado convencional como se muestra en la figura 1a comprende las siguientes etapas:

- Formar lingotes al tamaño requerido y calentarlos.
- Forjar lingotes y aplicar enfriamiento controlado.
- 65 - Comprobación de la dureza de la pieza forjada.

- Realizar los pasos de desbaste, templado por inducción y pulido.

Un proceso de forja típico es un tratamiento termomecánico o un proceso de tratamiento térmico que a menudo se considera desde ambos puntos de vista micro estructural y térmico. En el sentido térmico, el proceso de refinamiento del grano incorpora un ciclo de austenización seguido de enfriamiento en el aire quieto o ligeramente agitado. Típicamente, el componente a ser tratado se calienta a una temperatura de aproximadamente 55°C (100°F) por encima de la línea crítica superior del diagrama de fases Fe-C, es decir, por encima de A_{c3} para los aceros hipoeutectoides y por encima de A_{cm} para aceros hiper-eutectoides. Para ser clasificado adecuadamente como un tratamiento de refinamiento del grano, la parte de calentamiento del proceso debe producir una fase austenítica homogénea (estructura cristalina cúbica con la cara centrada) antes de enfriar.

El procedimiento de la presente invención pretende proporcionar un desbaste mejorado, un refinamiento de la estructura del grano, homogeneización y modificación de las tensiones residuales, lo que se mejora el límite de fatiga del material. Esto se logra mediante la introducción de una etapa de refinamiento del grano en el proceso convencional de forja.

Los desafíos técnicos que la presente invención tiene como objetivo cumplir son:

1. Mantener las propiedades mecánicas y de dureza dentro de la especificación dada después del refinamiento del grano.
2. Para mantener la rectitud de la parte (minimizando la distorsión térmica) se precisan fijaciones y apoyos.

El procedimiento de la presente invención cumple los desafíos técnicos anteriores y proporciona ciertas ventajas sobre los métodos adoptados actualmente al tratamiento de las micro aleaciones de acero.

Durante la etapa de refinamiento del grano, como se describe en la Figura 1b, los componentes forjados y enfriados controladamente son tratados para mejorar la torsión y la resistencia a la fatiga de flexión por calentamiento de los mismos por encima de la temperatura austenítica, es decir, en el intervalo de 900 a 1050°C y manteniéndolos en esa temperatura durante un "período de remojo" de 30 a 60 minutos con el fin de homogeneizar la temperatura en todas las partes de los componentes. Las piezas calentadas y remojadas se enfrían a temperatura ambiente por aire quieto o en movimiento en función de la sección transversal de la forja.

El enfriamiento de aire forzado puede ser necesario para las piezas más grandes de 2.5" de espesor.

El equipo utilizado para este proceso de refinamiento del grano se calibra periódicamente horno de gasoil equipado con termopares, controlador de temperatura/tiempo, gráficos, y los accesorios necesarios para evitar la distorsión y la carga/descarga del dispositivo.

Equipamiento de test metalúrgico utilizado: Máquina de prueba de dureza Brinell, la máquina universal de ensayos de tracción, microscopio óptico con análisis de imágenes, etc.

El tamaño del grano se observó utilizando un microscopio óptico después del proceso de refinamiento del grano de la presente invención tal como se aplica a un cigüeñal de 95 mm de diámetro en el núcleo es ASTM 6-8 mientras que antes del proceso de refinamiento de grano, era ASTM 3-5 que se representa en la Figura 2a y la Figura 2b.

Las partes tratadas para refinar el tamaño del grano luego se desbastan, se endurecen por inducción, se muelen y se testan en resistencia a la fatiga.

Ensayos de fatiga se llevaron a cabo en muestras de cigüeñales de tres diámetros diferentes (ver tabla 1). Siete muestras de cada caso (representando uno de diámetro) se ensayaron utilizando el método de escalera, donde dependiendo de los resultados de ensayo de la muestra anterior, se cargan sobre la muestra anterior o bien se aumenta o disminuye. Con base en los resultados de pruebas de una media estadística (B50) y la desviación estándar, se calcula la resistencia a la fatiga de torsión observado después del proceso de refinamiento del grano de 120 MPa a 130 MPa que es del 20% al 26% más alto que sin proceso de refinamiento del grano, como se muestra en la Figura 3a. La resistencia a la fatiga de flexión observada después del proceso de refinamiento del grano es de 4780 micro-deformación (1100 MPa), que es del 11% al 31% más alto que sin proceso de refinamiento del grano, como se muestra en la Figura 4a.

Tabla 1: Detalles del cigüeñal de los casos analizados en este informe:

Caso N°.	Figura	Capacidad del motor (litros)
1	3a y 4a	12,8
2	3b y 4b	14
3	3c y 4c	14,8

Lograr la dureza especificada después del refinamiento del grano es un gran desafío. Es conocido para una persona experta en la materia que el refinamiento del grano siempre reduce la dureza y la resistencia a la tracción del cigüeñal. Por lo tanto no sería conveniente utilizar un grano demasiado fino porque los componentes fallarían en dureza, rendimiento de resistencia y resistencia a la tracción.

También es posible engrosar los granos para lograr propiedades mecánicas óptimas por aumento de tiempo de remojo a alta temperatura o mediante el aumento de la temperatura de austenización. Sin embargo, es bien sabido que ambos de estos procesos resultan en una distorsión inaceptablemente alta de los componentes haciéndolos inútiles en muchos casos. Por este motivo, establecer un tiempo de remojo que homogeneizar el tamaño del grano sin distorsión es otra dificultad añadida al proceso de tratamiento térmico de la invención.

Debido a ciclo térmico, es difícil mantener la rectitud de las partes dentro de la especificación dada. Aproximadamente el 30% de la distorsión observada después del refinamiento del grano de debió a la falta de sujeción. Esta dificultad se eliminó mediante el diseño de un apoyo adecuado para cada eje durante la austenización, para evitar la deformación.

Se puede observar en las figuras 3a, 3b y 3c que la resistencia a la fatiga de torsión observada para estos cigüeñales fabricados usando el procedimiento de la invención descrita es de un 20 a un 25% más alto que sin el proceso de refinamiento del grano, como se muestra en las figuras 3a, 3b y 3c. Las figuras 4A, 4B y 4C muestran el efecto sobre la resistencia a la fatiga de flexión del proceso de la presente invención. La resistencia a la flexión a la fatiga del material tratado con el proceso de la presente invención también está en el intervalo de 10-15% más alta que sin proceso de refinamiento del grano, como se muestra en las Figuras 4a, 4b y 4c.

La Tabla 2 muestra una comparación de las propiedades mecánicas de la microaleación de acero antes y después del proceso de refinamiento del grano de la presente invención.

Tabla 2: Comparación de las propiedades mecánicas antes y después del proceso de refinamiento de grano.

Propiedades mecánicas	Límite elástico (Mpa)	Resistencia a la tracción (Mpa)	% Alargamiento	% reducción en el área CS	Dureza HBW
Especificación	550 (Min)	850-1000	12 min.	25 min.	255-302
Antes del proceso de refinamiento del grano	570-590	893-930	16-18	30-40	269-285
Después del proceso de refinamiento del grano	570-583	853-863	19-22	45-55	255-269

De la tabla anterior se observa que después del proceso de refinamiento del grano la resistencia a la tracción más baja observada es de 853 MPa, que es mejor que la resistencia a la tracción mínima (850 MPa) requerida para tales componentes. La reducción porcentual en el área de la sección transversal observada durante la resistencia a la tracción llevada a cabo después del proceso de refinamiento de grano es alta (45-55%) en

comparación con antes del proceso de refinamiento de grano (30-40%), lo que indica el proceso de afinamiento del grano induce una alta dureza en componente que es beneficioso para alta resistencia a la fatiga.

Es evidente de la discusión anterior que el procedimiento de la presente invención ofrece las siguientes ventajas:

1. Grano de refinamiento: los granos son más finos que los de los aceros Q y T.
2. Uniformidad de la estructura en toda la sección independientemente del espesor de la sección.
3. Aumento de la dureza como es evidente a partir del aumento del porcentaje de reducción en el área de sección transversal.
4. Aumento de la resistencia del acero a la iniciación de grietas por fatiga resultante del aumento de la dureza, y el consiguiente aumento de resistencia a la fatiga del material.
5. Resistencia mejorada y consistente a la fatiga.

La presente invención describe un tratamiento térmico de microaleación de vanadio de acero que supera el excesivo engrosamiento del grano durante el trabajo en caliente y el tratamiento de enfriamiento post-forja subsiguiente aplicado a los componentes que se están forjando. Al mismo tiempo, este tratamiento no da lugar a distorsiones asociadas con piezas forjadas de acero convencionales Q y T. En el proceso de la presente invención, la temperatura de remojo se mantiene en el rango de 900°C a 1.050°C y el tiempo de remojo en el intervalo de 30-60 minutos dependiendo del tamaño del cigüeñal para obtener el tamaño de grano refinado. Se evita que se produzca la distorsión de los componentes proveyendo apoyos adecuados especialmente diseñados para el proceso.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para mejorar la resistencia a la fatiga de piezas forjadas de microaleaciones de acero y vanadio, caracterizado porque dicho proceso consta de un paso para refinar el tamaño del grano, etapa que comprende a su vez:
- 10 - la austenitización de dichas piezas por calentamiento de las mismas a una primera temperatura que está en el rango de entre 900 a 1.050°C,
- 15 - el mantenimiento de dichas piezas a esa temperatura durante un período de remojo de 30-60 minutos hasta que la temperatura de la pieza se homogeneiza y
- 20 - el enfriamiento de dicho piezas a temperatura ambiente, en donde durante las etapas de austenización, remojo y enfriamiento se proporciona un soporte que evita la deformación de las piezas.
2. Procedimiento según la reivindicación 1 en el que dicho enfriamiento se aplica mediante métodos de enfriamiento de aire quieto o forzado.
3. Pieza forjada a partir de la microaleación de acero y vanadio que presenta la mejora en el tamaño de grano de ASTM 6-8, y estructura obtenida por el procedimiento descrito en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4.

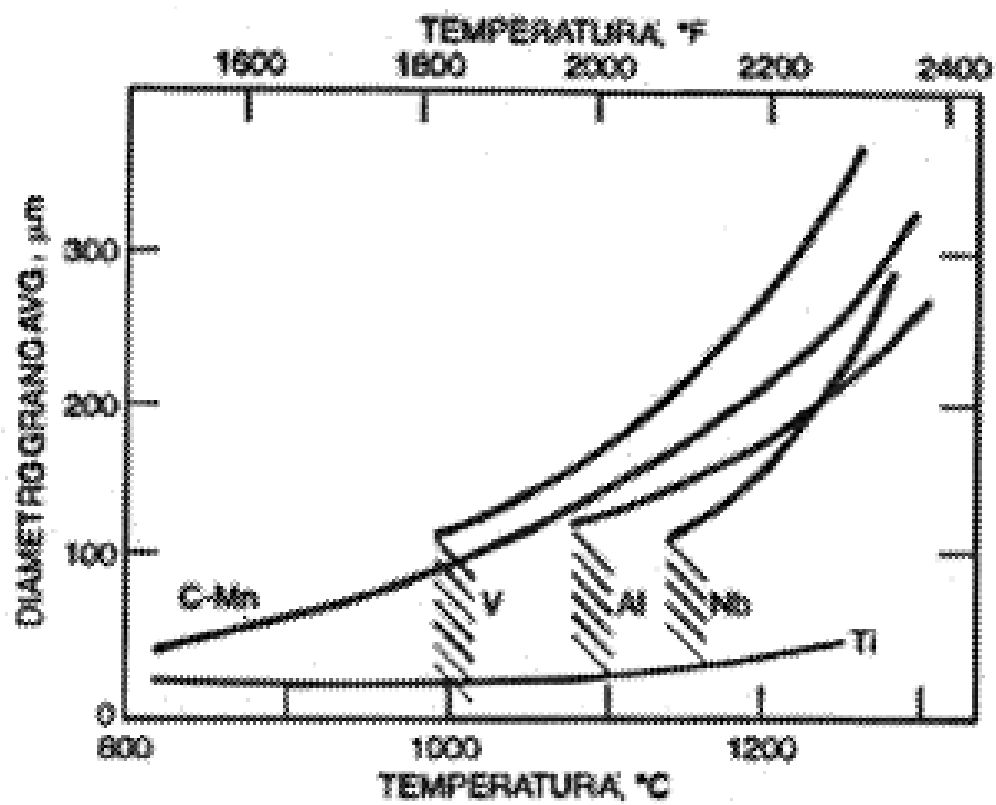


Figure 1

Proceso Convencional



Figura 1a

Proceso Nuevo



Figura 1b

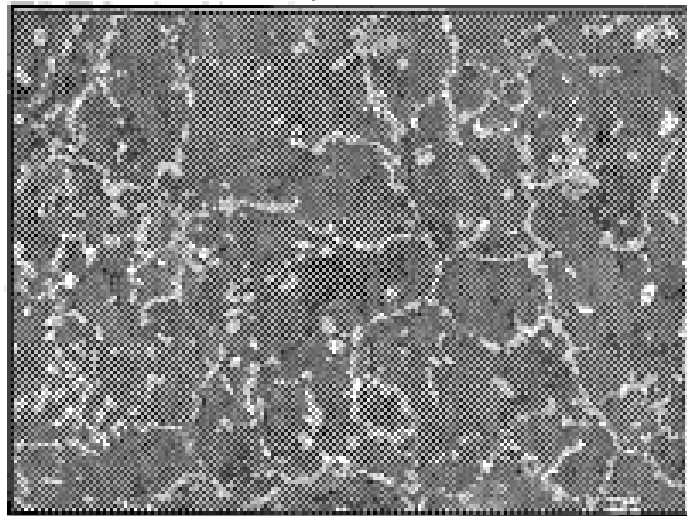


Figura 2a

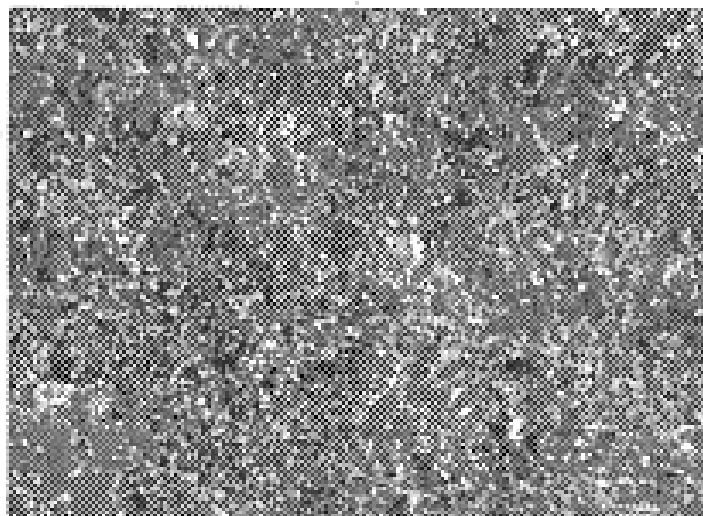


Figura 2b

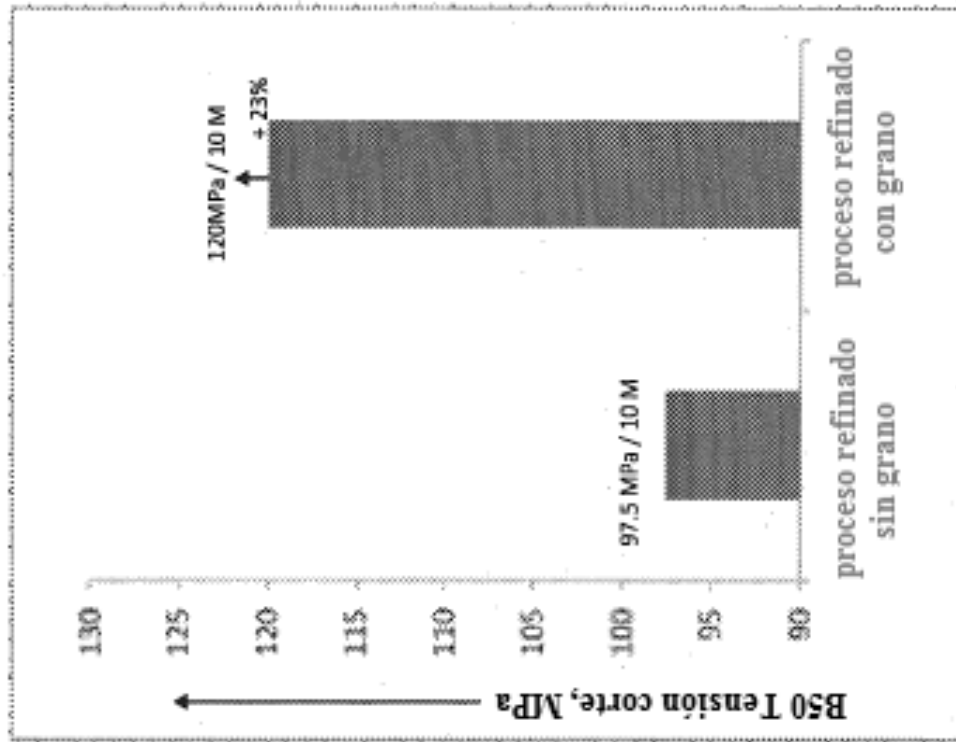


Figura 3a - Caso 1

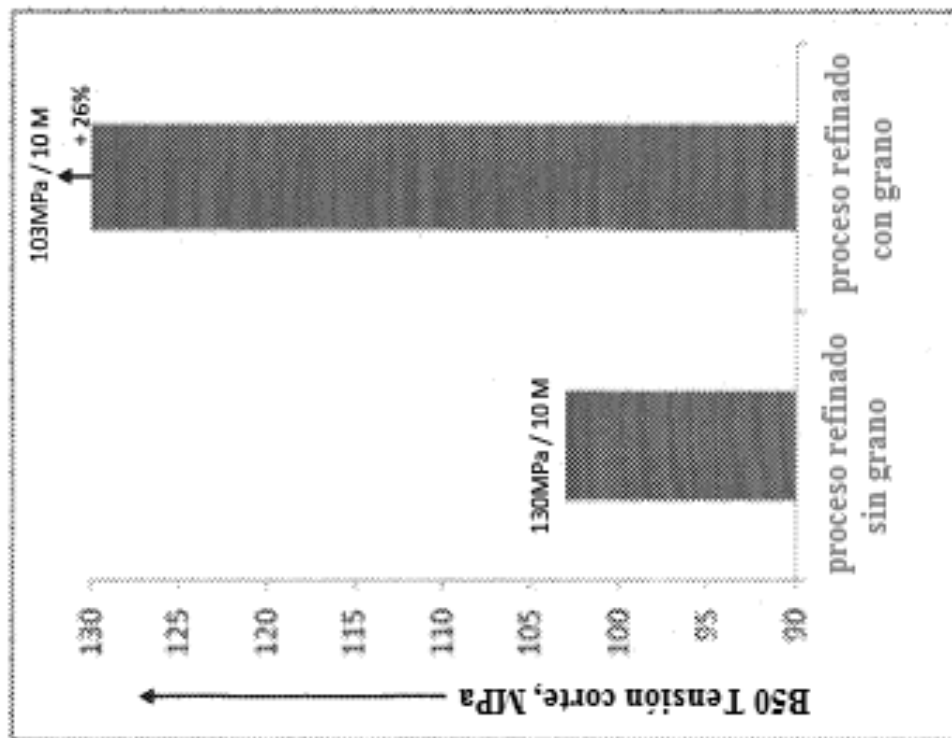


Figura 3b - Caso 2

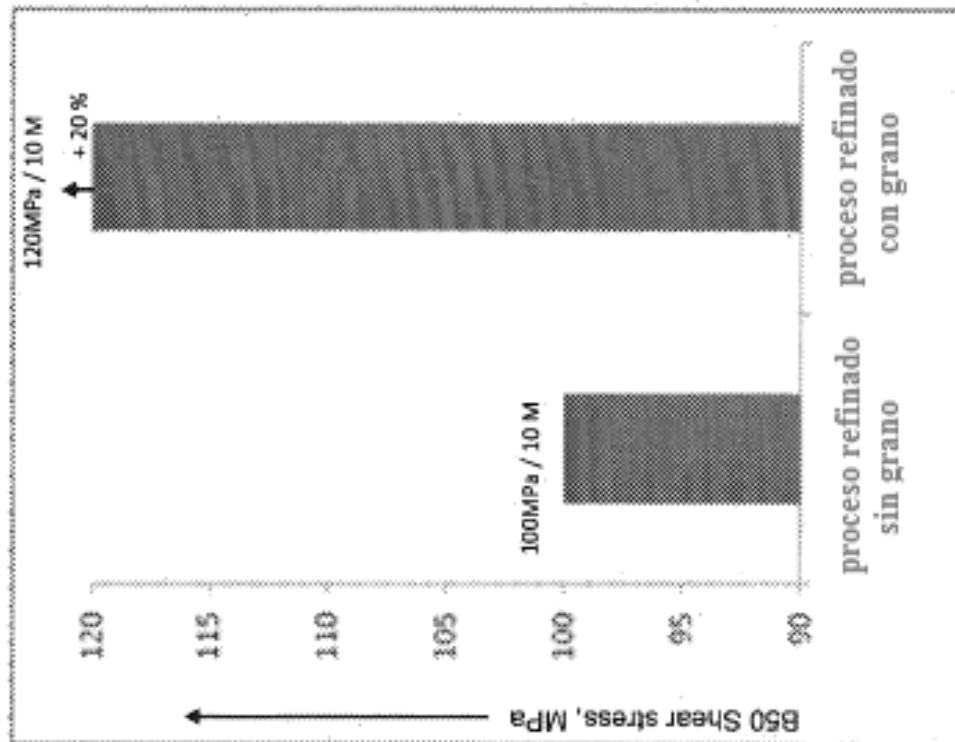


Figura 4a - Caso 1

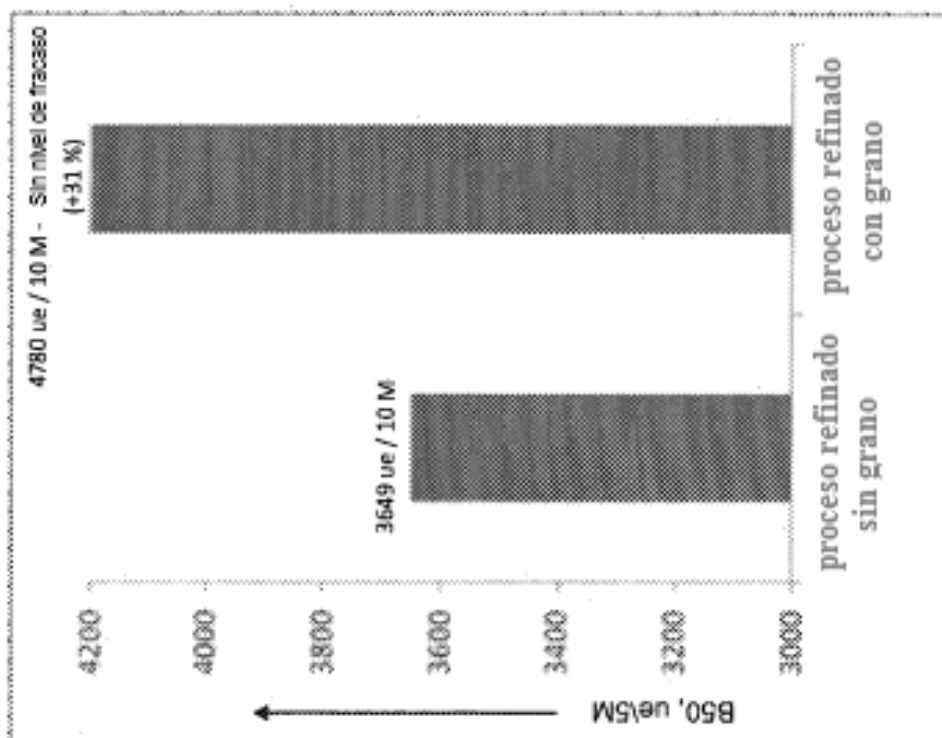


Figura 3c - Caso 3