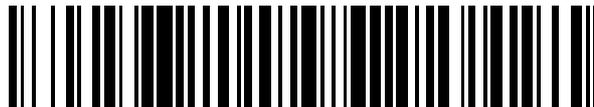


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 526 865**

51 Int. Cl.:

**C22C 38/00** (2006.01)

**C22C 38/22** (2006.01)

**C22C 38/24** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.11.2009 E 09450220 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.10.2014 EP 2196553**

54 Título: **Aleación de acero para componentes de máquina**

30 Prioridad:

**05.12.2008 AT 19042008**

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

**16.01.2015**

73 Titular/es:

**BÖHLER EDELSTAHL GMBH & CO KG (100.0%)  
MARIAZELLERSTRASSE 25  
8605 KAPFENBERG, AT**

72 Inventor/es:

**SILLER, INGO;  
SCHWEIGER, HERBERT;  
CALISKANOGLU, ZIYA DEVRIM y  
ZINNER, SILVIA**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 526 865 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**

Aleación de acero para componentes de máquina

- 5 La invención se refiere a componentes de máquina o elementos constructivos con una resistencia a la tracción superior a 2000 [MPa] para cargas mecánicas variables hasta una temperatura de 160 °C, formados a partir de una aleación de acero bonificada térmicamente. En particular la invención se refiere a componentes de motor- y/o de accionamiento de vehículos.
- 10 Los componentes de máquina con sollicitación mecánica variable se cargan en la técnica moderna cada vez más, hasta los límites de la resistencia del material respectiva. En particular esto es cierto para componentes en vehículos, porque las reducciones de peso conseguidas de esta manera también pueden aprovecharse para el ahorro de combustibles y similares.
- 15 De los materiales, a partir de los que se forman los componentes, se exigen en el estado bonificado térmicamente altos valores para el perfil de propiedades de tenacidad, resistencia y ductilidad, porque estos valores de propiedades son de importancia decisiva para un diseño dimensional de las piezas.
- 20 Por el fallo de piezas en el funcionamiento a largo plazo, tal como era evidente, se justifica también tener en cuenta las propiedades de la fatiga del material, para conseguir una alta seguridad de funcionamiento.
- 25 Para piezas con carga variable mecánica significativa en el sector ferroviario, automovilístico y aeronáutico se usan actualmente de acuerdo con el estado de la técnica en la mayoría de los casos aceros bonificados aleados, opcionalmente de baja aleación. Un representante preferido de estos aceros es la aleación de acuerdo con la norma DIN el material N° 1.6928. Éste contiene más bien material de baja aleación del 1,40 al 1,90 % en peso de silicio, para garantizar en gran medida una alta resistencia a la fluencia durante un periodo determinado. Se intentó también con ventaja, aumentar el contenido en silicio de esta aleación hasta el 3,0 % en peso, para conseguir las mejores propiedades de fatiga del material durante la sollicitación de las piezas.
- 30 Un uso de aleaciones de acero con una composición de manera correspondiente a la de aceros bonificados del tipo mencionado anteriormente se ha probado por completo para una producción de componentes de máquina sometidos a cargas elevadas de acuerdo con el estado de la técnica, no obstante sus propiedades de fatiga no son suficientes con frecuencia para una carga variable mecánica en el intervalo de valores límite del material utilizado.
- 35 Para un experto demostrado, a partir del estado de la técnica mediante un objeto de acero de herramientas para trabajos en caliente de acuerdo con el documento EP 1 300 482 A1, que a 550 °C y una dureza de 59 HRC y superior así como un trabajo de flexión por golpes de SB 180 J y una resiliencia de en dirección longitudinal de charpy-U-14J, mediante un acero para herramientas aleado (documento JP 2004169177A), que tiene una menor temperatura de temple que la matriz de aceros para trabajos rápidos convencionales, mediante un acero para resortes microaleado con Ti y/o Nb (documento JP 10121201A) o mediante un acero para rodamientos (documento JP 2002121648 A) con pequeño tamaño de grano de carburo y una dureza superficial de los componentes de cojinete, no resulta ninguna indicación con respecto a componentes de máquina con propiedades a largo plazo claramente mejoradas y un alto módulo E del material.
- 40
- 45 Es ahora objetivo de la invención indicar componentes de máquina o elementos constructivos con una resistencia a la tracción superior a 2000 [MPa], que en estado bonificado térmicamente estén expuestos a cargas mecánicas variables hasta una temperatura de 160 °C y que presenten propiedades a largo plazo esencialmente mejoradas y un alto módulo E.
- 50 Este objetivo se consigue con una aleación de acero bonificada térmicamente para componentes de máquina y/o elementos constructivos del tipo mencionado al principio, que tiene una composición química en % en peso de

	carbono (C)	del 0,48 al 0,55
	silicio (Si)	del 0,18 al 0,25
55	manganeso (Mn)	del 0,35 al 0,45
	cromo (Cr)	del 4,40 al 4,70
	molibdeno (Mo)	del 2,90 al 3,10
	vanadio (V)	del 0,72 al 0,77

60 *así como uno o varios de los siguientes elementos concomitantes o contaminantes*

	fósforo (P)	máx. 0,005
	azufre (S)	máx. 0,001
	níquel (Ni)	máx. 0,1
65	cobre (Cu)	máx. 0,1
	cobalto (Co)	máx. 0,1

titanio (Ti)	máx. 0,005
aluminio (Al)	máx. 0,01
nitrógeno (N)	máx. 0,003
oxígeno (O)	máx. 0,002
calcio (Ca)	máx. 0,001
magnesio (Mg)	máx. 0,001
estaño (Sn)	máx. 0,005

hierro (Fe) e impurezas como el resto.

Las ventajas conseguidas con el uso de un material de acuerdo con la invención pueden apreciarse esencialmente en que los componentes de máquina del tipo mencionado, en el caso de propiedades de resistencia mecánica iguales o mejoradas, presentan una seguridad de fátiga esencialmente mayor en el caso de altas cargas. Además, el material o el elemento constructivo de acuerdo con la invención tiene un módulo E esencialmente mayor, lo que en el caso de una sollicitación mecánica, específica, igual lleva a menores valores de extensión en el intervalo elástico y por lo tanto a una mayor vida útil de las piezas.

Los elementos concomitantes y contaminantes representan opcionalmente la causa de propiedades a largo plazo disminuidas, porque estos elementos pueden encontrarse enriquecidos en los límites de grano de la estructura o pueden formar compuestos. Se descubrió que las propiedades del material en el caso de una carga variable a largo plazo sólo se ven ligeramente afectadas, cuando los contenidos más altos de uno o varios de los componentes concomitantes o contaminantes *indicados anteriormente presentan los límites indicados anteriormente*.

Con ventaja, en el caso de una composición química, mencionada anteriormente, mediante bonificación térmica, puede ajustarse una distribución homogénea y una dureza formada libremente por valores de pico superior a 54 HRC, en particular superior a 55 HRC, que aumenta la seguridad de fatiga.

Es de especial importancia el grado de pureza de la aleación de acero con respecto a un inicio de fisuración. Se descubrió que en un material bonificado térmicamente con respecto a altos valores de resistencia también pequeñas inclusiones no metálicas, también con formas de cantos aproximadamente redondeadas, repercuten de la manera más negativa posible en la seguridad de fatiga, en el caso de carga mecánica variable. Esta circunstancia debe tenerse en cuenta también desde el punto de vista de la técnica de fusión, estando prevista después de un tratamiento de acero líquido de cinética de reacción por regla general también una refusión de arco de vacío doble de la aleación de acero, para ajustar un grado de pureza de la aleación de acero de acuerdo con la invención de menor/igual a D/0,5/DELGADO 1 (inclusiones de tipo A, B, C no presentes) de acuerdo con la norma ASTM E 45 (superficie de medición 160 mm<sup>2</sup>).

Cuando los componentes de máquina o el elemento constructivo tienen (o tiene) un módulo de elasticidad del material superior a 200.000 MPa, estos presentan o este presenta en el intervalo elástico de las tensiones mecánicas en el caso de carga variable, bajos valores de extensión y recalado, mediante lo cual se consigue una mayor vida útil o se dan mejores valores de fatiga.

Ha dado buen resultado especialmente, con respecto al conjunto del perfil de propiedades, la aleación de acero bonificada o el material como componente de máquina en la construcción de vehículo, concretamente en particular como pieza de motor y/o de accionamiento y/o de resorte.

A continuación se expone en detalle la invención por medio de resultados de ensayo así como diagramas comparativos.

Muestran:

la Figura 1	resistencia a la tracción
la Figura 2	límite de fluencia
la Figura 3	alargamiento de rotura y estricción
la Figura 4	módulo E
la Figura 5	número de ciclos bajo carga hasta la rotura
la Figura 6	disposición de ensayo

de materiales comparativos y componentes de máquina de acuerdo con la invención.

Las aleaciones de acero, que contienen esencialmente los elementos en % en peso carbono del 0,49 al 0,53, silicio del 0,20 al 0,23, manganeso del 0,36 al 0,42, cromo del 4,50 al 4,60, molibdeno del 2,80 al 3,00, vanadio del 0,70 al 0,85, el resto hierro e impurezas, se determinaron debido a los resultados de ensayos previos como materiales con un potencial de propiedades de acuerdo con la invención y se produjeron el mayor grado de pureza posible.

Los materiales de tal composición química son, tal como es común para el experto, aceros para trabajos en caliente para temperaturas de uso de hasta 500 °C. Sorprendentemente se había descubierto que estas aleaciones pueden emplearse de manera ventajosa en estado bonificado térmicamente para componentes de máquina o elementos constructivos con sollicitación mecánica variable a bajas temperaturas, cuando se da una composición química en estrechos límites de los elementos de aleación de acuerdo con la invención.

A partir de las aleaciones de acero de acuerdo con la invención con un alto grado de pureza, que se caracterizaban con W366, se habían fabricado muestras conformadas y bonificadas térmicamente, que se sometieron a ensayo en ensayos para determinar los valores característicos del material.

En comparación con el material de acuerdo con la invención tuvo lugar un establecimiento de los valores característicos del material de materiales tratados de igual modo, que se usaban de acuerdo con el estado de la técnica hasta el momento para componentes de máquina del tipo mencionado y están caracterizados de acuerdo con una norma US con una denominación 300 M, de manera correspondiente a la norma DIN material N° 1.6928, así como 300 M "improved" con mayor contenido en Si en las confrontaciones.

En la Figura 1 se reproduce comparativamente la resistencia a la tracción con los valores más altos para el material propuesto de acuerdo con la invención.

La Figura 2 muestra en un diagrama de barras igual, tal como se ilustra en la Figura 1, el límite de extensión al 0,2% de los materiales, encontrándose los valores de las muestras de elementos constructivos con una composición W366 en el nivel más alto.

La Figura 3 muestra que tanto los valores para el alargamiento de rotura como aquel para la estricción de rotura del material W366 son esencialmente más altos en comparación con 300 M y 300 M "improved", lo que da a conocer ventajas esenciales para su uso para componentes de máquina con sollicitación mecánica variable.

También el módulo de elasticidad del material W366 es, tal como se aprecia en la Figura 4, en comparación con los materiales de acuerdo con el estado de la técnica, más alto, de modo que en el uso pesado se dan pequeñas deformaciones elásticas en el caso de una carga mecánica del material, mediante lo cual se impide esencialmente un fallo de fatiga de una pieza de W366.

La Figura 5 muestra el comportamiento de fatiga de las muestras bonificadas térmicamente a partir de las aleaciones sometidas a ensayo en comparación.

Con respecto al comportamiento de fatiga:

En el caso de una sollicitación repetida cíclicamente se producen en un material un crecimiento de grietas subcrítico. La causa son deformaciones microplásticas, que se suman en el transcurso de la sollicitación variable a una deformación total relativamente alta. Esta forma del daño del material se denomina fatiga. También tensiones mecánicas, cíclicas, que se encuentran muy por debajo del límite de extensión, pueden llevar a la formación de grietas y al crecimiento de grietas o incluso a la rotura del material. El límite de resistencia a la fatiga por vibraciones (resistencia a la carga de rotura) es el valor límite de la sollicitación a la que también después de muchos ciclos de vibración sin fin (cambio de carga) ya no se produce ninguna rotura. Para la determinación de la resistencia a la carga de rotura debe llevarse a cabo el ensayo completo hasta alcanzar un número de ciclos de vibración límite  $N_G$ .

En el caso de los aceros para herramientas pueden aparecer roturas hasta  $10^7$  cambios de carga. En este ensayo se seleccionó sin embargo un número de ciclos límite de  $2 \times 10^6$  cambios de carga.

Los ensayos de fatiga se llevaron a cabo en una máquina de ensayo de resonancia del tipo "TESTRONIC" por medio de una disposición de flexión de cuatro puntos. Esta también denominada máquina de ensayo de vibración duradera es una máquina de ensayo dinámica, que trabaja a resonancia completa.

En la Figura 6 está representada esquemáticamente la disposición de flexión de cuatro puntos. La carga de las muestras tuvo lugar a través de rodillos con un diámetro de 5 mm. La separación de los rodillos entre sí ascendió en el intervalo superior a 15 mm y en el interior 30 mm. Para este ensayo se usaron muestras de cuatro cantos con las siguientes dimensiones: altura  $h = 5$  mm; anchura  $b = 7$  mm; longitud  $l = 55$  mm.

La tensión de fibra límite  $\sigma_b$  se determinó con la suposición de una distribución de tensión elástica lineal de manera correspondiente a la ecuación.

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{3 \times F \times x'}{b \times h^2}$$

A este respecto  $M_b = x' \times F/2$  el momento de flexión y  $W_b = b \times h^2/6$  el momento de resistencia de la muestra. F es la fuerza que actúa sobre los rodillos y  $x'$  (= 7,5 mm) es el brazo de palanca, que forma junto con la carga dependiente del tiempo F el momento de flexión.

- 5 En la Figura 5 se aprecian claramente las ventajas con respecto a un comportamiento de fatiga mejorado de componentes de máquina o elementos constructivos de acuerdo con la invención, caracterizándose el intervalo de valor "nivel de paso" la amplitud de tensión, hasta la que en el caso de un ciclo de carga sin fin no se produce ninguna rotura de la muestra.
- 10 Para establecer el efecto de elementos concomitantes y contaminantes con respecto al perfil de propiedades, se dopó con estos elementos con concentraciones diferentes la aleación de acero de acuerdo con la invención y se sometieron a ensayo muestras bonificadas de la misma. A continuación se indican los resultados de los ensayos y los valores límite resultantes de los mismos.
- 15 Los elementos contaminantes fósforo y azufre llevan en el caso de valores de resistencia del material de más de 53 HRC a segregaciones frágiles, pudiendo establecerse un aumento significativo de la fragilización a partir del 0,005 % en peso de P y el 0,001 % en peso de S.
- 20 Calcio, magnesio, aluminio son elementos desoxidantes y forman con oxígeno inclusiones oxídicas, que debido a la conformación de cantos afilados y en el caso de materiales conformados de la disposición en forma de línea provocan desventajas con respecto a la seguridad de fatiga del material, que depende también opcionalmente de la dirección de deformación. A pesar de la refusión de arco de vacío múltiple los ensayos de material dieron como resultado valores límite que no se superarán en el caso de los materiales de acuerdo con la invención. Estos valores límite son el 0,01 % en peso de Al, el 0,001 % en peso de Ca, el 0,001 % en peso de Mg y el 0,002 % en peso de O.
- 25 El nitrógeno puede, en particular con elementos de aleación así como titanio y oxígeno, formar nitruros de cantos afilados, que mediante una resistencia elevada provocan picos de tensión en el intervalo micrométrico y un inicio de fisuración de este tipo. Los valores límite superiores encontrados de los contenidos se encuentran en el 0,003 % en peso de N y el 0,005 % en peso de Ti.
- 30 Níquel, cobre y cobalto en pequeñas concentraciones representan elementos de inclusión en la formación cristalina de la aleación, sin embargo no superarán debido a un efecto desventajoso de alteraciones de retícula con respecto a las propiedades a largo plazo del material contenidos de en cada caso el 0,1 % en peso.
- 35 El estaño ha de considerarse, debido a la solubilidad extremadamente baja en materiales a base de hierro, como un elemento que ocupa los límites de grano y actúa a partir de una concentración del 0,005 % en peso de manera extraordinariamente negativa sobre las propiedades de fatiga y en particular de tenacidad de un elemento constructivo con sollicitación mecánica variable.

**REIVINDICACIONES**

5 1. Componentes de máquina o elementos constructivos con una resistencia a la tracción superior a 2000 [MPa] para cargas mecánicas variables hasta una temperatura de como máximo 160 °C, formados a partir de una aleación de acero bonificada térmicamente, que contiene en % en peso

10	carbono (C)	del 0,48 al 0,55
	silicio (Si)	del 0,18 al 0,25
	manganeso (Mn)	del 0,35 al 0,45
	cromo (Cr)	del 4,4 al 4,7
	molibdeno (Mo)	del 2,9 al 3,1
	vanadio (V)	del 0,72 al 0,77

15 *así como uno o varios de los siguientes elementos concomitantes o contaminantes*

20	fósforo (P)	máx. 0,005
	azufre (S)	máx. 0,001
	níquel (Ni)	máx. 0,1
	cobre (Cu)	máx. 0,1
25	cobalto (Co)	máx. 0,1
	titanio (Ti)	máx. 0,005
	aluminio (Al)	máx. 0,01
	nitrógeno (N)	máx. 0,003
	oxígeno (O)	máx. 0,002
	calcio (Ca)	máx. 0,001
	magnesio (Mg)	máx. 0,001
	estaño (Sn)	máx. 0,005

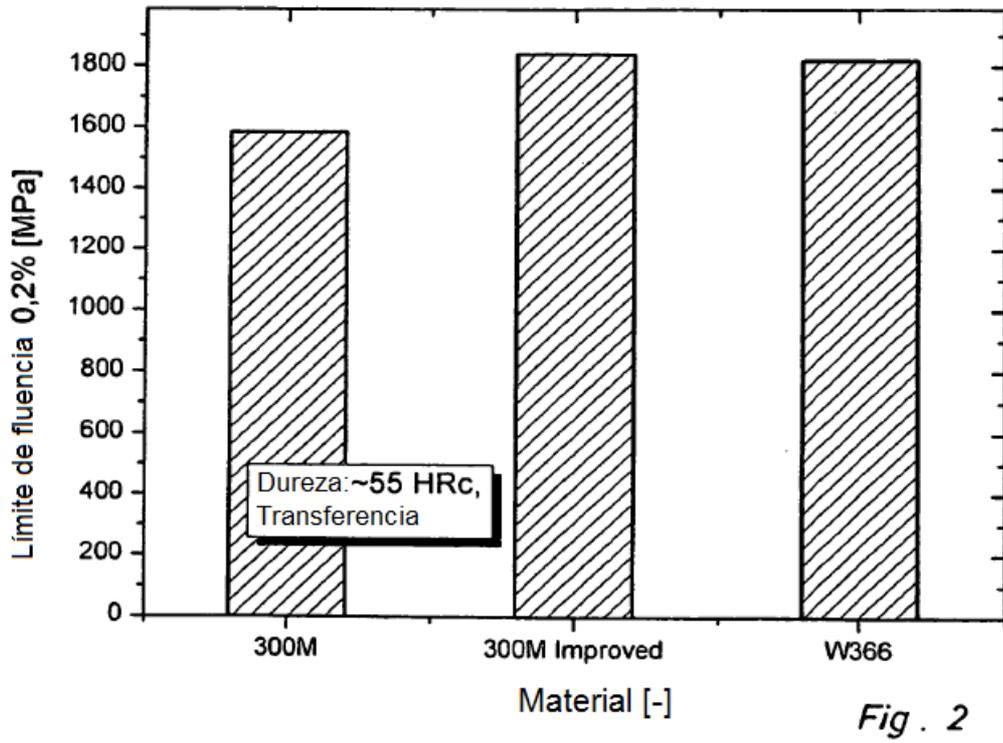
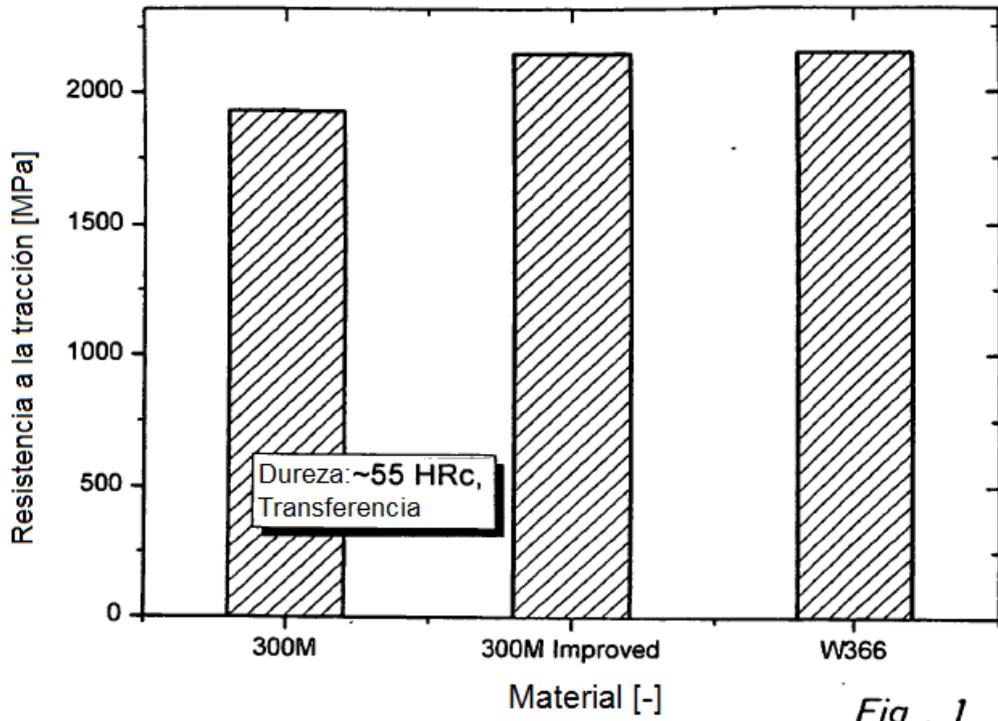
30 hierro (Fe) e impurezas como el resto.

35 2. Componentes de máquina de acuerdo con la reivindicación 1 con una dureza producida mediante bonificación térmica superior a 54 [HRC], en particular superior a 55 [HRC].

40 3. Componentes de máquina de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 2 con un grado de pureza de la aleación de acero a ajustar de menor/igual a D/0,5/DELGADO 1 (inclusiones de tipo A, B y C no presentes) según la norma ASTM E 45 (superficie de medición 160 mm<sup>2</sup>).

45 4. Componentes de máquina de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3 con un módulo de elasticidad del material de E = superior a 200 000 MPa, en particular superior a 205 000 MPa.

50 5. Componentes de máquina de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4 usados en la construcción de vehículos, en particular como pieza de motor y/o de accionamiento y/o de resorte.



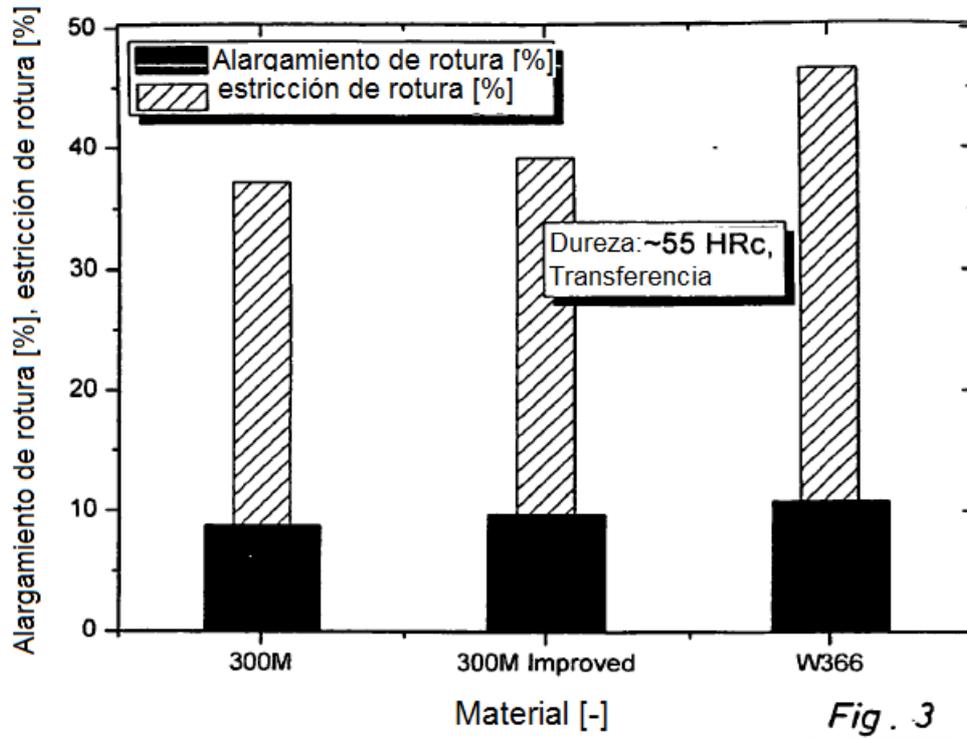


Fig. 3

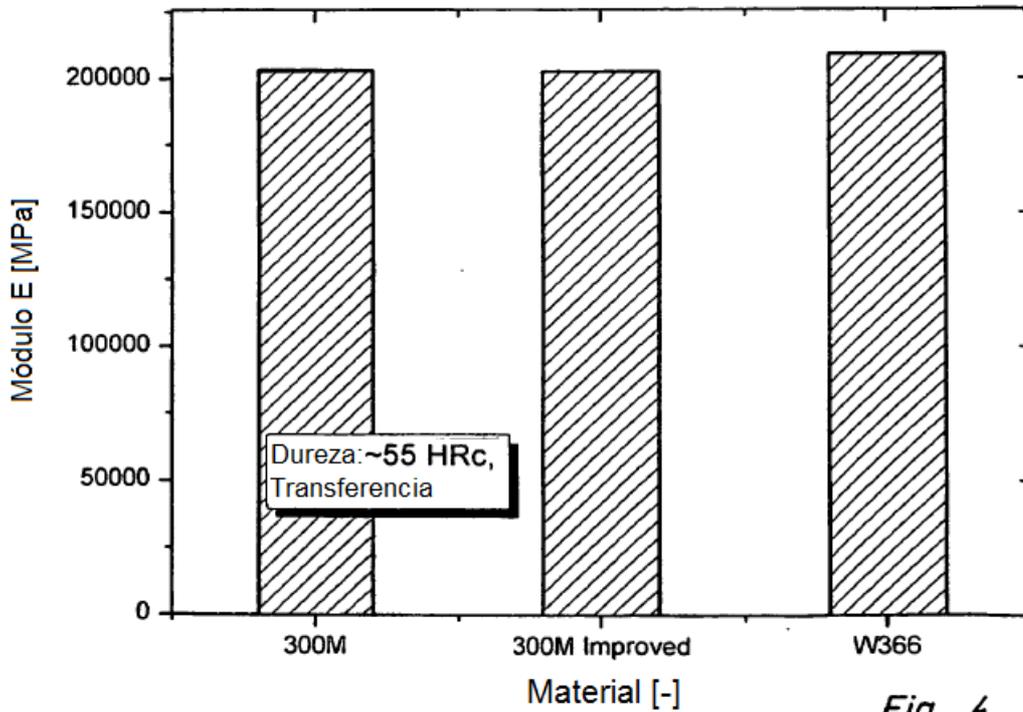


Fig. 4

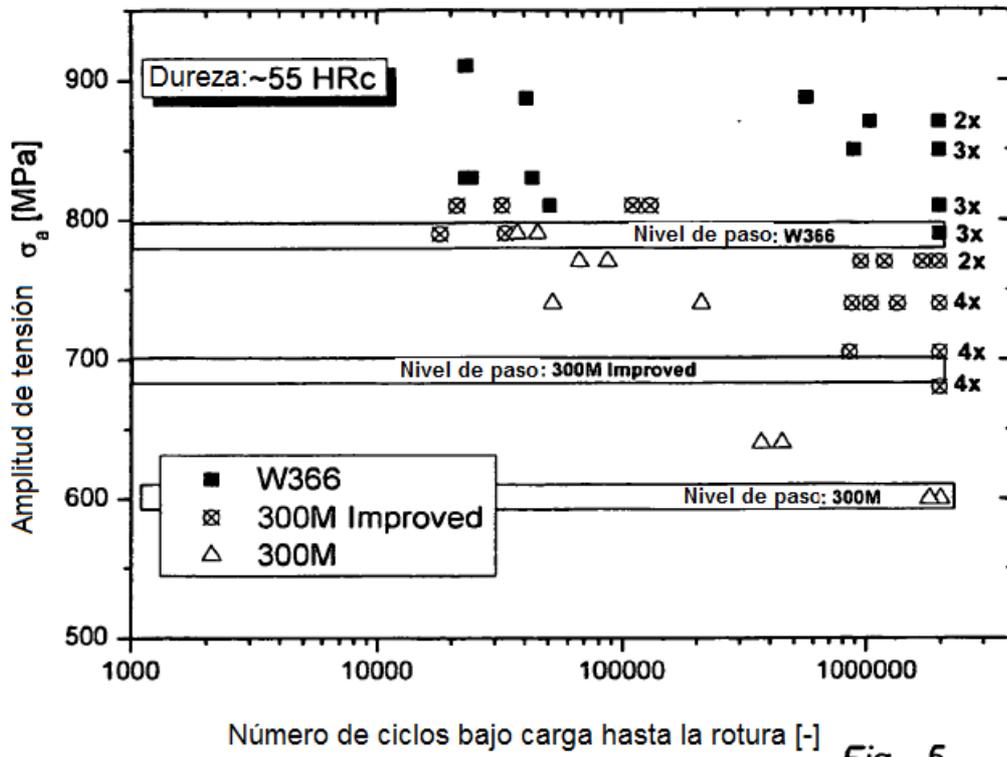


Fig . 5

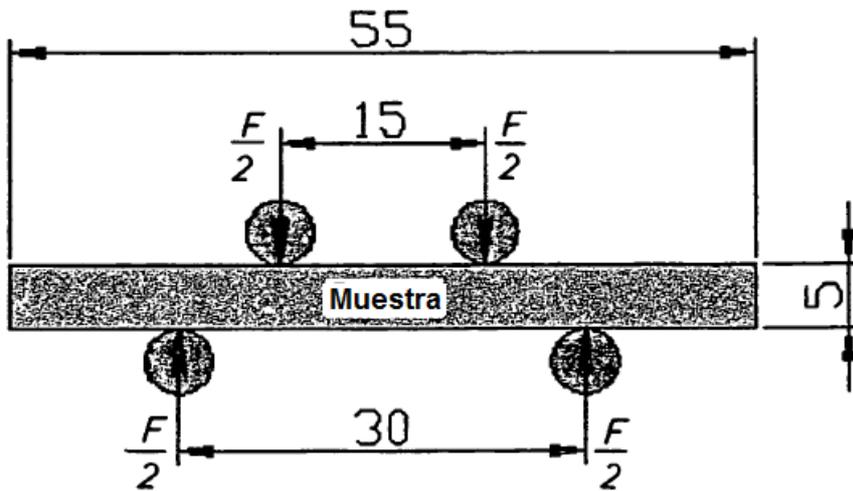


Fig . 6