

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 612 192**

51 Int. Cl.:

C21D 8/06 (2006.01)

C22C 38/02 (2006.01)

C22C 38/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.04.2010** **PCT/EP2010/054474**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.10.2010** **WO10112611**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.04.2010** **E 10714606 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.10.2016** **EP 2414552**

54 Título: **Perno esférico de acero bainítico para turismos y camiones ligeros**

30 Prioridad:

03.04.2009 DE 102009016079

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

12.05.2017

73 Titular/es:

SWISS STEEL AG (100.0%)
Emmenweidstrasse 90
6020 Emmenbrücke, CH

72 Inventor/es:

KRUSE, JOCHEN;
URLAU, ULRICH y
HASLER, STEPHAN

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 612 192 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

Perno esférico de acero bainítico para turismos y camiones ligeros

La invención se refiere a pernos esféricos de un acero con microestructura bainítica y a un procedimiento para la fabricación de tales pernos esféricos.

- 5 Las articulaciones esféricas son los componentes centrales en ejes de turismos y camiones. Permiten, por ejemplo, la orientación y la suspensión de las ruedas. En relación con la estructura de articulaciones esféricas véase también: Nikolaus Fecht: "Komponenten für Fahrwerk und Lenkung", Verlag Moderne Industrie, Band 152. Los pernos esféricos se encuentran, además, en varillajes de dirección, diagonales sometidas a tracción y a compresión y bielas de automóviles. Puede obtenerse información fundamental sobre pernos esféricos, por ejemplo, en los documentos
- 10 DE 10 2005 019 559 A1 y DE 100 23 602 C2.

- Los pernos esféricos no han de confundirse con tornillos. Los requisitos de los pernos esféricos son totalmente distintos de los de los tornillos. De la idoneidad de un acero para la fabricación de tornillos no puede concluirse la idoneidad para la fabricación de pernos esféricos. El perfil de requisitos para tornillos se menciona, por ejemplo, en las normas ISO 898-1 e ISO 898-5. Los tornillos se cargan exclusivamente a tracción. A la carga estática puede
- 15 estar superpuesta una carga variable notablemente reducida en cuanto a su valor absoluto, de modo que se obtiene como resultado una carga pulsátil (tensión mínima con respecto a tensión máxima mayor que 0,5). Los tornillos se someten a prueba a temperatura ambiente (RT) o a temperaturas elevadas.

El pliego de condiciones de un perno esférico depende, en cambio, del fabricante y del vehículo. Una visión general de los requisitos se da, por ejemplo, en "AK-LH 14 Arbeitskreis- Lastenheft für Fahrwerksgelenke".

- 20 La zona esférica delantera del perno esférico, que sobresale de la fijación (ojo de palanca), se carga de manera variada de forma estática, cíclica y dinámica. Las cargas estáticas son cargas a tracción, a compresión y a flexión, las cargas cíclicas son igualmente cargas a tracción, a compresión y a flexión, con frecuencia con relaciones de tensión variables (tensión mínima con respecto a tensión máxima igual a -1), las cargas dinámicas son golpes fuertes breves, como los que pueden resultar, por ejemplo, al pasar sobre una traviesa o un bordillo. Los fabricantes
- 25 de turismos someten a prueba estas cargas (OEM), en el caso de los fabricantes de pernos esféricos se efectúa una prueba previa en el denominado "ensayo por caída de martillo".

El documento EP 1 565 587 da a conocer un acero con microestructura bainítica para pernos esféricos de turismos con un contenido en carbono reducido, que contiene entre otros 0,4-0,10 % en peso de Nb, 0,10-0,35 % en peso de Mo así como 1.3-2.0 % en peso de Mn.

- 30 Los pernos esféricos se someten a prueba en un intervalo de temperaturas desde -40 °C hasta +80 °C, a diferencia de los tornillos. La norma ISO 898 para tornillos solo prevé explícitamente una prueba a temperatura ambiente. Especialmente en el ensayo por caída de martillo se ha demostrado que la prueba a -40 °C es la prueba crítica y que de unos buenos resultados a temperatura ambiente no puede concluirse la idoneidad a -40 °C. La temperatura de transición dúctil-frágil de los aceros no depende solo de la composición química, sino también de los parámetros de proceso de la fabricación del acero. Los pernos esféricos según el estado de la técnica se componen, por regla general, del acero bonificado 41 Cr4 o 42CrMo4 (con aproximadamente 1 % en peso de Cr o 1 % en peso de Cr y aproximadamente 0,25 % en peso de Mo). En la zona asiática se fabrican además también a partir de aceros de cimentación como por ejemplo 20NiCrMo2-2. El acero se funde y se extruye dando lugar a "tochos". Los tochos se laminan después en caliente para dar lugar a alambrrón (rollos o en inglés "coil") en el intervalo de diámetros desde
- 35 10 mm hasta 30 mm. Para que a partir del alambre puedan fabricarse en una prensa estampadora de varias etapas los pernos esféricos, el alambrrón debe recocerse, de modo que aparezca cementita globular (GKZ). Para ello se decapa el alambrrón, se recubre en un baño de fosfato, se estira, se recuece con recristalización, se vuelve a decapar y se fosfata. A continuación se produce un estirado del alambre hasta el diámetro final con una tolerancia estrecha. En una prensa estampadora de varias etapas se fabrican, a partir del alambre estirado, las piezas brutas estampadas para pernos esféricos. Para un ajuste de la resistencia deseada, las piezas brutas estampadas para pernos esféricos deben bonificarse, para lo que se calientan (se austenizan) a aproximadamente 900 °C, se enfrían bruscamente (se templan) en agua o aceite y se calientan (se someten a revenido) de nuevo a temperaturas de 500 °C a 600 °C. El acero se presenta ahora en una microestructura bonificada (martensita revenida). El mecanizado por arranque de virutas o sin arranque de virutas de los pernos esféricos se produce a continuación. Los pernos
- 40 esféricos también pueden fabricarse naturalmente de otra manera. Para más información véase también: Jochen Kruse: "Spurstangenkomponenten, Werkstoffe und Herstellung im Wandel der Zeit", Sächsische Fachtagung für Umformtechnik 2007.

- Si los pernos esféricos han de ser a prueba de corrosión, se nitrocarburan tras la fabricación. A este respecto, se introducen por difusión carbono y nitrógeno a temperaturas entre 450 °C y 600 °C en la capa marginal del perno. De este modo, la zona exterior del acero se vuelve dura y resistente a la corrosión.
- 55

Los aceros para cimentación habituales en la región asiática se recuecen tras el mecanizado por arranque de virutas durante un tiempo prolongado (de 10 horas a 2 días) a temperaturas de 850 °C a 1000 °C en medios que emiten carbono para la carburación y a continuación se templan y someten a revenido igualmente de forma brusca en agua

o aceite.

5 En un tipo especial de perno esférico, el perno esférico de vástago largo, como los utilizados como unión para bielas, se utiliza desde aproximadamente 10 años como material de trabajo el 30MnVS6. Este acero se fabrica básicamente tal como se ha descrito anteriormente, pero tras el laminado en caliente se produce un enfriamiento controlado del calor de laminado. A este respecto se eliminan de la microestructura ferrítica / perlítica precipitaciones de carburo de vanadio finamente distribuidas. Puede prescindirse de un recocido con GKZ del rollo. Las piezas brutas estampadas a partir de este acero ya no se templan ni se bonifican. La resistencia de los componentes es resultado de la resistencia de base del alambre y de la conformación en frío durante el estampado.

10 Resulta desventajoso en las soluciones según el estado de la técnica, con el uso de los aceros bonificados, que el recocido con GKZ conlleve un coste energético y de tiempo y que los componentes tengan que bonificarse igualmente con un coste energético y de tiempo.

Debido al contenido en carbono superior al 0,2 % en peso, los aceros bonificados no pueden soldarse en el estado bonificado, según las reglas generales de la técnica de soldadura. Esto limita notablemente la viabilidad de producción de los pernos esféricos.

15 Además, debido al alto contenido en carbono, la capacidad de conformación o estampado de los rollos recocidos con GKZ está notablemente limitada. Así, durante el estampado pueden producirse de manera repetida agrietamientos especialmente en caso de incorporar superficies de ataque para herramientas, como por ejemplo una entalladura hexagonal o hexagonal de puntas redondeada.

20 En caso de usar el acero templado por precipitación 30MnVS6, si bien se ahorra el tratamiento térmico del bonificado, la tenacidad del acero, medida como resiliencia según la norma DIN 50045-1 con muesca en V, es notablemente menor que en los aceros bonificados. Por tanto los aceros se utilizan solo en pernos que están cargados exclusivamente a tracción/compresión.

25 El acero 30MnVS6 tampoco puede soldarse, según las reglas generales de la técnica de soldadura. Además, su capacidad de conformación o estampado es todavía menor que la de los aceros bonificados. En este acero no puede estamparse ningún ataque interior (entalladura hexagonal o hexagonal de puntas redondeada).

Otros tipos de aceros denominados generalmente como aceros microaleados tienen siempre una microestructura ferrítica / perlítica. Si se reduce el contenido en carbono hasta por debajo del 0,2 % en peso, entonces, si bien los aceros podrán soldarse entonces, la resistencia que resulta de la conformación en frío será demasiado baja para los pernos esféricos. Además tras la nitrocarburation serán extremadamente débiles.

30 Los aceros de microestructura bainítica se conocen y se describen muy detalladamente en: "Bainite in steels - Transformations, Microstructure and Properties", second edition, H. K. D. H. Bhadeshia, IOM Communications Ltd, 1 Carlton House Terrace, London SW1Y 3DB, Book 0735.

35 Sin embargo, hasta el momento, los aceros con microestructura bainítica se procesaban exclusivamente para dar lugar a chapas y no estaban disponibles comercialmente para la fabricación de alambre. Una fabricación de alambres choca, de manera condicionada por la fabricación, contra límites insalvables, ya que las chapas pueden laminarse en caliente más lentamente (a aproximadamente 40 - 50 km/h) y por tanto se enfrían más rápido que el alambre, cuya velocidad de laminado máxima se sitúa a aproximadamente de 150 a 200 km/h. Por lo tanto, el experto en la materia tampoco podía en el pasado tratar de fabricar pernos esféricos mediante extrusión en frío.

40 Una desventaja general de los aceros bainíticos, en particular para su uso en la conformación maciza en frío, era en el pasado la aparición de cementita (precipitaciones de Fe₃C), que aparece por el enfriamiento a partir de la austenita. Esta fase es frágil y puede conducir en particular durante la conformación maciza en frío a una aparición de grietas y por tanto a deterioro.

45 El objetivo de la presente invención era superar las desventajas mencionadas del estado de la técnica, en particular fabricar pernos esféricos con una elevada resistencia en combinación con una buena soldabilidad y buenas tenacidades.

El objetivo planteado se soluciona con las características de las reivindicaciones independientes.

De manera sorprendente se ha descubierto que los pernos esféricos de un acero con microestructura bainítica superan la desventaja del estado de la técnica. Un acero de acuerdo con la invención según la reivindicación 1 tiene la siguiente composición en % en peso:

- 50
- hierro, así como
 - de 0,05 a 0,15 de carbono
 - de 0,10 a 0,4 de silicio
 - de 1,0 a 2,5 de manganeso
 - de 0,0015 (15 ppm) a 0,0120 (120 ppm) de boro

- en total de 0,06 a 0,30 de los elementos vanadio, niobio, titanio

de 0,06 a 0,15 de titanio, hasta 0,08 de Mo, hasta 0,25 de Cr, hasta 0,25 de Al, hasta 0,25 de Ni, hasta 0,25 de Cu y menos de 0,012 de N₂. De acuerdo con la invención pueden ponerse a disposición por tanto pernos esféricos cuyo material de trabajo contenga notablemente menos molibdeno y/o cromo, que son caros, que los aceros bonificados clásicos 41Cr4 o 42CrMo4. Además puede prescindirse por completo del costoso recocido con GKZ, alcanzándose pese a ello los valores de resistencia requeridos, como si se hubiera aplicado un recocido con GKZ. Una bonificación del acero puede omitirse igualmente. La fabricación de los pernos esféricos según la invención es por tanto esencialmente más sencilla y económica que hasta el momento. Además, mediante el uso de aceros bainíticos para material en alambre se ha superado un prejuicio existente desde hace mucho.

- 5
- 10 Además resultó sorprendente que mediante el uso de un acero bainítico también fuese posible de repente el estampado sin problemas de ataques interiores, lo que era imposible de prever con anterioridad. Aproximadamente un 75% de todos los pernos esféricos tienen ataques interiores, por lo que esto es importante para la realización de la enseñanza, ya que los pernos esféricos de acuerdo con la invención son particularmente adecuados para su uso en la fabricación de vehículos. En este caso es posible su uso, por ejemplo, en varillajes de dirección, diagonales sometidas a tracción y a compresión, barras de acoplamiento o conexiones de estabilizador, brazos transversales articulados en dos y tres puntos y bielvas.
- 15

Evidentemente, el acero bainítico puede contener aún más elementos de aleación en cantidades mayores o menores. Son ya habituales, de manera condicionada por la fabricación, otros componentes de aleación como, por ejemplo, fósforo, azufre, cobre y nitrógeno.

- 20 Además se exponen configuraciones adicionales de la invención en las reivindicaciones dependientes.

Un acero con microestructura bainítica de acuerdo con la reivindicación 1 tiene la siguiente composición en porcentaje en peso

- hierro, así como
- de 0,06 a 0,12 de carbono
- 25 - de 0,15 a 0,3 de silicio
- de 1,4 a 2,0 de manganeso
- de 0,06 a 0,15 de titanio
- de 0,0015 (15 ppm) a 0,0120 (120 ppm) de boro
- en total de 0,03 a 0,22 de los elementos niobio y vanadio
- 30 - hasta 0,012 de nitrógeno (120 ppm).

Sin embargo, conforme a una configuración ventajosa de la invención de acuerdo con la reivindicación 1 también es posible que estén contenidos uno o varios de los siguientes elementos (indicados en porcentaje en peso):

- como máximo 0,25 de níquel
- 35 - como máximo 0,30 en total de níquel y cobre
- como máximo 0,25 de cromo
- como máximo 0,05 de aluminio

Es un objeto de la invención además un procedimiento para la fabricación de pernos esféricos a partir de un acero con microestructura bainítica.

- 40 El procedimiento comprende al menos las etapas:

- fundir el acero
- colar el acero en colada en lingotes o continua
- laminado en caliente formando un rollo
- enfriamiento controlado tras el laminado en caliente
- 45 - estirado en frío del rollo
- extrusionado

El acero se funde, se cuela dando lugar a tochos, se lamina en caliente dando lugar a rollos y, a partir del calor de laminación, se enfría de manera controlada, con tasas de enfriamiento superiores a 1 K/s, hasta entre 800 y 500°C, de modo que aparece bainita. A este respecto, el acero puede o bien someterse a laminado de normalización de manera convencional con una temperatura de laminado final de alrededor de 1000°C, o termomecánicamente con una temperatura de laminado final disminuida de alrededor de 800°C. Para una definición de los conceptos "normalización" y "termomecánicamente" se remite a la norma DIN EN 10025-2.

- 50
- 55 El rollo laminado en caliente se estira en frío sin recocido intermedio y, a continuación, se estampan a partir de los mismos en una prensa estampadora de varias etapas las piezas brutas para pernos esféricos. Tras el estampado se realiza, dado el caso, el mecanizado mecánico de las piezas brutas. Las piezas brutas obtienen su resistencia a partir de la resistencia de base del alambre y de la conformación en frío durante el estampado. Para el ajuste de la

resistencia ya no tienen que bonificarse.

Para el experto en la materia ha resultado sorprendente que los pernos esféricos también puedan estamparse sin un costoso tratamiento con GKZ del alambre en una prensa estampadora de varias etapas. Puede prescindirse del caro y costoso tratamiento con GKZ. Además resultó sorprendente para el experto en la materia que los componentes presentasen tras el estampado la misma alta resistencia que de lo contrario solo presentarían los componentes bonificados. Al usar el aceros de acuerdo con la invención puede prescindirse por tanto del caro y costoso bonificado.

Preferentemente, la fabricación de piezas brutas se realiza mediante un procedimiento de conformación en frío en varias etapas, en el que se estampa la pieza bruta a partir del alambre.

Preferentemente, tras el laminado en caliente se realiza un estirado en frío de más del 5% para el ajuste de la resistencia nominal.

Sorprendentemente se ha descubierto que un contenido superior, en comparación, de más del 0,06 % en peso de un metal M, siendo M = vanadio, niobio o titanio, o una combinación de estos tres metales con en total más del 0,06 % en peso, en un acero de la composición de base anteriormente mencionada, preferentemente en asociación con laminado termomecánico y enfriamiento acelerado tras el laminado, conduce a una microestructura libre de cementita. Esta se compone predominantemente de una microestructura secundaria bainítica con precipitaciones del tipo MX, siendo X un elemento intersticial como por ejemplo carbono y/o nitrógeno, y presenta un porcentaje de en total menos del 20 por ciento en volumen de zonas martensíticas o austeníticas residuales de un tamaño de 2 a 3 mm. La precipitación MX puede ser, por consiguiente, un carburo, nitruro o carbonitruro. En general hay dos tipos de precipitaciones MX: precipitaciones MX primarias (grandes o gruesas) y secundarias (pequeñas o finas). Las precipitaciones MX primarias en aceros tienen habitualmente un tamaño superior a 50 nm mientras que las precipitaciones MX secundarias son normalmente inferiores a 20 nm. Las condiciones en las que diferentes átomos metálicos forman precipitaciones MX dependen de la composición química del acero.

Al usar contenidos en vanadio, niobio y/o titanio superiores al 0,06 % en peso puede aumentarse, por medio de endurecimiento por precipitación con precipitaciones MX finas (por ejemplo TiC) en la estructura bainítica, la resistencia del alambre de manera controlada en hasta 200 MPa, pudiendo mantenerse al mismo tiempo el contenido en carbono en un nivel relativamente bajo. Este contenido en carbono más bajo favorece propiedades tecnológicas como la conformabilidad en frío, la ductilidad, la tenacidad y la soldabilidad. En particular, la aleación con contenidos superiores en titanio y/o niobio parece tener, preferentemente en asociación con el laminado termomecánico y el enfriamiento acelerado tras el laminado, una influencia favorable en la formación de la microestructura bainítica anteriormente descrita y conduce a un endurecimiento por precipitación muy eficaz. Para una definición del concepto "endurecimiento por precipitación" se remite a la norma DIN EN 10267. Es especialmente necesario el uso de un contenido en titanio en el intervalo desde el 0,06 hasta el 0,15 % en peso.

En particular los elementos titanio y niobio tienen el efecto adicional de que las precipitaciones finas que precipitan durante y tras el laminado retrasan la recrystalización estática y dinámica, con lo cual aparece un grano austenítico fino antes de la transformación de la austenita en bainita, lo que conduce finalmente a una microestructura fina en el producto laminado acabado.

Una microestructura bainítica de este tipo con un contenido en carbono más reducido, en la que las frágiles precipitaciones de cementita se sustituyen por carburo MX finamente distribuido y por una fase residual dúctil finalmente formada (austenita residual/martensita revenida), representará la microestructura ideal para la conformación maciza en frío sin tratamiento térmico (elevada resistencia y, pese a ello, buena ductilidad). La conformación crítica, que puede conducir a fallos, disminuye con el porcentaje y el tamaño de la fase residual (en este caso austenita residual/martensita revenida). Sin ceñirnos a la teoría, se supone que aparecen menos picos de tensión en las superficies límite de dos fases debido a diferentes propiedades mecánicas de las fases adyacentes.

Las excelentes propiedades tecnológicas para la conformación maciza en frío son atribuibles a la microestructura especial.

De manera ventajosa, el laminado se realiza con una temperatura de laminado final alrededor de 800°C y el enfriamiento del alambre tras el laminado en caliente con velocidades de enfriamiento superiores a 1 K/s, en particular superiores a 3 K/s. De ello se desprende que la resiliencia medida a -40 °C en probetas ISO-V, tomadas tras la etapa de procedimiento del enfriamiento controlado y antes de la etapa de procedimiento del estirado en frío, es superior a 60 J.

A continuación se explicará más detalladamente la invención mediante los siguientes ejemplos:

Ejemplo 1

Se preparó una aleación que tenía la siguiente composición:

- 0,07 % en peso de carbono

- 1,86 % en peso de manganeso
- 0,21 % en peso de silicio
- 0,007 % en peso de fósforo
- 0,007 % en peso de azufre
- 5 - 0,10 % en peso de níquel
- 0,11 % en peso de cromo
- 0,19 % en peso de cobre
- 0,04 % en peso de vanadio
- 0,08 % en peso de titanio
- 10 - 0,010 % en peso de nitrógeno
- 0,03 % en peso de aluminio
- 15 ppm en peso de boro
- resto, hierro

Ejemplo 2

15 Se preparó una aleación que tenía la siguiente composición:

- 0,06 % en peso de carbono
- 1,82 % en peso de manganeso
- 0,20 % en peso de silicio
- 0,011 % en peso de fósforo
- 20 - 0,012 % en peso de azufre
- 0,15 % en peso de níquel
- 0,15 % en peso de cobre
- 0,10 % en peso de titanio
- 0,008 % en peso de nitrógeno
- 25 - 0,025 % en peso de aluminio
- 30 ppm en peso de boro
- resto, hierro

Ejemplo 3

Se preparó una aleación que tenía la siguiente composición:

- 30 - 0,07 % en peso de carbono
- 1,53 % en peso de manganeso
- 0,27 % en peso de silicio
- 0,007 % en peso de fósforo
- 0,006 % en peso de azufre
- 35 - 0,02 % en peso de níquel
- 0,02 % en peso de cromo
- 0,01 % en peso de cobre
- 0,12 % en peso de titanio
- 0,003 % en peso de nitrógeno
- 40 - 100 ppm en peso de boro
- resto, hierro

La invención se explicará a continuación más detalladamente con ayuda de los dibujos adjuntos. Las representaciones no representan ninguna limitación a la realización mostrada en concreto, sino que sirven únicamente para explicar un principio de la invención. A este respecto, componentes iguales o de tipo similar se designan como las mismas referencias. Muestra:

- la figura 1: un ensamblaje parcial de una articulación esférica,
- la figura 2 una sección transversal a través de un perno esférico de acuerdo con la invención,
- la figura 3 la microestructura de un perno esférico de acuerdo con la invención en representación ampliada,
- la figura 4 el perfil de microdureza (HV1) a través de una unión de soldadura entre el acero bonificado 23MnB4 y
- 50 dos masas fundidas diferentes del acero de acuerdo con la invención,
- la figura 5 das diagrama de revenido del acero de acuerdo con la invención,
- la figura 6 un perno esférico conformado, pero libre de grietas, a partir del acero de acuerdo con la invención,
- la figura 7 un diagrama de resistencia a la fatiga del acero de acuerdo con la invención.

La figura 1 muestra esquemáticamente un ensamblaje parcial 1 de una articulación esféricas con un perno esférico 2, que comprende una parte de vástago 3 con una rosca 5, una cabeza esférica 4 y un casquete esférico 6.

La figura 2 muestra una sección transversal a través de un perno esférico fabricado de acuerdo con la invención. Pueden observarse claramente aquí las marcadas líneas de penetración 7 del material de trabajo de acero. Además, el perno esférico 2 presenta diversos puntos de medición 8 indicados para mediciones de dureza, en los que pueden

efectuarse preferentemente mediciones. En la cabeza esférica 4 se ha practicado una perforación de centrado 10, habiéndose creado en el lado opuesto del perno esférico 2 una entalladura hexagonal 9, que sirve como superficie de ataque para herramientas. Mediante el macrograbado se han hecho visibles las líneas de penetración 7. La pieza bruta para perno esférico 2 se ha estampado en este caso mediante un procedimiento de conformación en frío de varias etapas directamente a partir de un alambre de calibrado. Tras el estampado se realiza el mecanizado por arranque de virutas de la pieza bruta. Tras el estampado, el componente no se ha bonificado ni tratado térmicamente. Mediante la conformación en frío se obtienen en el componente resistencias a la tracción desde 860 MPa hasta 1090 MPa. La distribución de resistencias a la tracción no es homogénea, debido al procedimiento, a diferencia de en los componentes bonificados. Las resistencias a la tracción se han convertido de valores de dureza, según la norma DIN EN ISO 18265 tabla A1, estando mostrados aquí diversos puntos de medición 8 para mediciones de dureza. La resistencia a la tracción del material de trabajo estándar alcanza valores desde 850 MPa hasta 1000 MPa.

La figura 3 muestra la microestructura del acero de acuerdo con la invención, tal como se definió anteriormente como "ejemplo 1", en un perno esférico. Se efectuó el rectificado metalográfico a partir de un perno esférico. La microestructura se compone de bainita de grano fino con precipitaciones 11 aisladas. Para compara con otras microestructuras, véase: "Das Zustandsschaubild Eisen-Kohlenstoff und die Grundlagen der Wärmebehandlung der Eisen-Kohlenstoff-Legierungen"; Verlag Stahleisen; Düsseldorf.

La figura 4 muestra el perfil de microdureza (HV1) a través de una unión de soldadura entre el acero bonificado 23MnB4 (lado izquierdo) y dos masas fundidas diferentes (véase "ejemplo 1" y "ejemplo 2") del acero de acuerdo con la invención (lado derecho). La distancia "cero" sobre el eje x es el punto de contacto de ambos materiales.

A partir de los aceros de acuerdo con la invención se estamparon espárragos roscados pequeños, sobre los que se soldaron después esferas rectificadas perfectamente redondas. La forma esférica de pernos esféricos "normales" está achatada en el extremo superior (véase la imagen 1) y no puede producirse, de manera condicionada por la fabricación, sin achatado. Para una articulación esférica puede resultar ventajoso que la forma esférica sea perfectamente redonda. Esto solo es posible cuando se suelda una esfera rectificada sobre un espárrago.

La resistencia de base del acero bainítico asciende en este caso a 280HV1 (puntos de medición a la derecha a una distancia de 5 mm de la zona de soldadura). En dirección a la zona de soldadura, en la zona de influencia térmica (WEZ) la dureza disminuye ligeramente hasta 250 HV1, para subir en la zona de soldadura (SZ) a 300HV1 hasta 350HV1. Según las reglas generales habituales de la técnica de soldadura, la dureza en las uniones de soldadura no ha de superar el valor de 350 HV, ya que entonces la unión de soldadura se considera demasiado frágil. La dureza en la zona de soldadura en el acero bonificado aleado moderadamente con un 0,2 % en peso de carbono sube a más de 500HV1. Si se suelda el acero bonificado 32CrB4, se obtienen valores de dureza de 550HV1 a 600HV1. En este caso es notable la ventaja del acero bainítico con respecto a los aceros bonificados. Este solo se endurece ligeramente en la zona de soldadura. En el diagrama "QT" significa *quench tempered* (=bonificado).

La figura 5 muestra el diagrama de revenido del acero de acuerdo con la invención correspondiente al ejemplo 1. Se recocieron pernos esféricos estampados en intervalos de temperatura desde 400 °C hasta 650 °C durante 1 hora, 4 horas y 14 horas. Mediante el tratamiento térmico se modifica la resistencia de los componentes. Solo por encima de 600 °C se produce una caída de resistencia significativa. Pernos recocidos 14 horas a 600 °C todavía tienen, a temperatura ambiente, resistencias a la tracción de 880 MPa. El acero bonificado 41Cr4 "solo" tiene todavía, tras un recocido a 580 °C, una resistencia de 820 MPa. En el diagrama "QP" significa *quench polished* (=nitrurado)

Puesto que los pernos esféricos son componentes críticos para la seguridad, solo han de deformarse plásticamente, también a -40 °C, en caso de resultar dañados y no mostrar grietas. La figura 6 muestra un perno esférico de un acero de acuerdo con la invención correspondiente al ejemplo 1, deformado dinámicamente a -40 °C con 400 J, pero sin grietas. Los aceros de acuerdo con la invención son muy dúctiles para su uso como material de trabajo para pernos esféricos.

Además de la carga estática y dinámica, los pernos esféricos también se cargan cíclicamente. La figura 7 muestra el diagrama de resistencia a la fatiga (curva de Wöhler) del acero de acuerdo con la invención correspondiente al ejemplo 1 tras el estampado (en bruto) y tras la nitrocarburation (nitrurado) en comparación con las especificaciones teóricas. De manera condicionada por la tensión propia a compresión generada durante la nitración sobre las superficies del componente, las resistencias a la fatiga son en este caso especialmente grandes. No obstante, también pernos esféricos no nitrurados cumplen las especificaciones teóricas.

Lista de referencias

- 1 ensamblaje parcial de articulación esférica
- 2 perno esférico
- 3 parte de vástago
- 4 cabeza esférica
- 5 rosca
- 6 casquete esférico

	7	líneas de penetración
	8	posibles puntos de medición
	9	entalladura hexagonal
	10	perforación de centrado
5	11	precipitaciones

REIVINDICACIONES

1. Perno esférico de un acero con microestructura bainítica con la siguiente composición en porcentaje en peso:
 - de 0,05 a 0,15 de carbono
 - de 0,10 a 0,4 de silicio
 - de 1,0 a 2,5 de manganeso
 - de 0,0015 (15 ppm) a 0,0120 (120 ppm) de boro
 - de 0,06 a 0,15 de titanio
 - en total de 0,06 a 0,30 de los elementos vanadio, niobio, titanio,
 - hasta 0,08 de molibdeno
 - hasta 0,25 de cromo
 - hasta 0,05 de aluminio
 - hasta 0,25 de níquel
 - hasta 0,25 de cobre
 - dado el caso nitrógeno, aunque menos de 0,012
 - el resto hierro así como impurezas habituales del acero.
2. Perno esférico según la reivindicación 1, en el que la microestructura bainítica presenta una microestructura libre de cementita, que se compone predominantemente de una microestructura secundaria bainítica con precipitaciones del tipo MX e, incorporados en la misma, un porcentaje de en total menos del 20 por ciento en volumen de zonas martensíticas o austeníticas residuales, siendo M = vanadio, niobio y/o titanio y X = carbono o nitrógeno.
3. Perno esférico según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** el contenido en carbono se sitúa en el intervalo desde el 0,06 hasta el 0,12 % en peso.
4. Perno esférico según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** el contenido en silicio se sitúa en el intervalo desde el 0,15 hasta el 0,30 % en peso.
5. Perno esférico según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** el contenido en manganeso se sitúa en el intervalo desde el 1,4 hasta el 2,0 % en peso.
6. Perno esférico según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** el contenido en niobio es inferior al 0,03 % en peso.
7. Perno esférico según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** el acero contiene adicionalmente al menos uno de los siguientes elementos en porcentaje en peso:
 - de 0,05 a 0,25 de níquel
 - como mínimo 0,30 en total de níquel y cobre
 - de 0,05 a 0,25 de cromo
 - de 0,005 a 0,05 de aluminio.
8. Procedimiento para la fabricación de pernos esféricos según una de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende al menos las etapas de:
 - fundir el acero
 - colar el acero en colada en lingotes o continua
 - laminado en caliente
 - enfriamiento controlado tras el laminado en caliente
 - estirado en frío
 - extruido o extrudido.
9. Procedimiento según la reivindicación 8, **caracterizado porque** tras el laminado en caliente se realiza el enfriamiento a tasas superiores a 1 K/s, para conseguir que en el acero aparezca al menos un 80% de bainita.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 8 o 9, **caracterizado porque** el acero se somete a un laminado de normalización con una temperatura de laminado final alrededor de 1000°C.
11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 8 o 9, **caracterizado porque** el acero se somete a un laminado termomecánico con una temperatura de laminado final alrededor de 800°C.
12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 8 a 11, **caracterizado porque** las piezas brutas presentan solo mediante solidificación en frío una resistencia de más de 850 MPa.
13. Procedimiento según una de las reivindicaciones 8 a 12, **caracterizado porque** tras el laminado en caliente se realiza un estirado en frío de más del 5% para el ajuste de la resistencia nominal.
14. Procedimiento según una de las reivindicaciones 9 a 13, **caracterizado porque** las tasas de enfriamiento tras el

laminado en caliente son superiores a 3 K/s, para conseguir que la resiliencia a -40 °C en probetas ISO-V tras el enfriamiento controlado y antes del estirado en frío sea superior a 60 J.

- 5 15. Procedimiento según una de las reivindicaciones 8 a 14, **caracterizado porque** el perno esférico se compone de al menos dos piezas, de las que al menos una pieza corresponde al acero con microestructura bainítica, y las piezas se ensamblan mediante un procedimiento de soldadura.

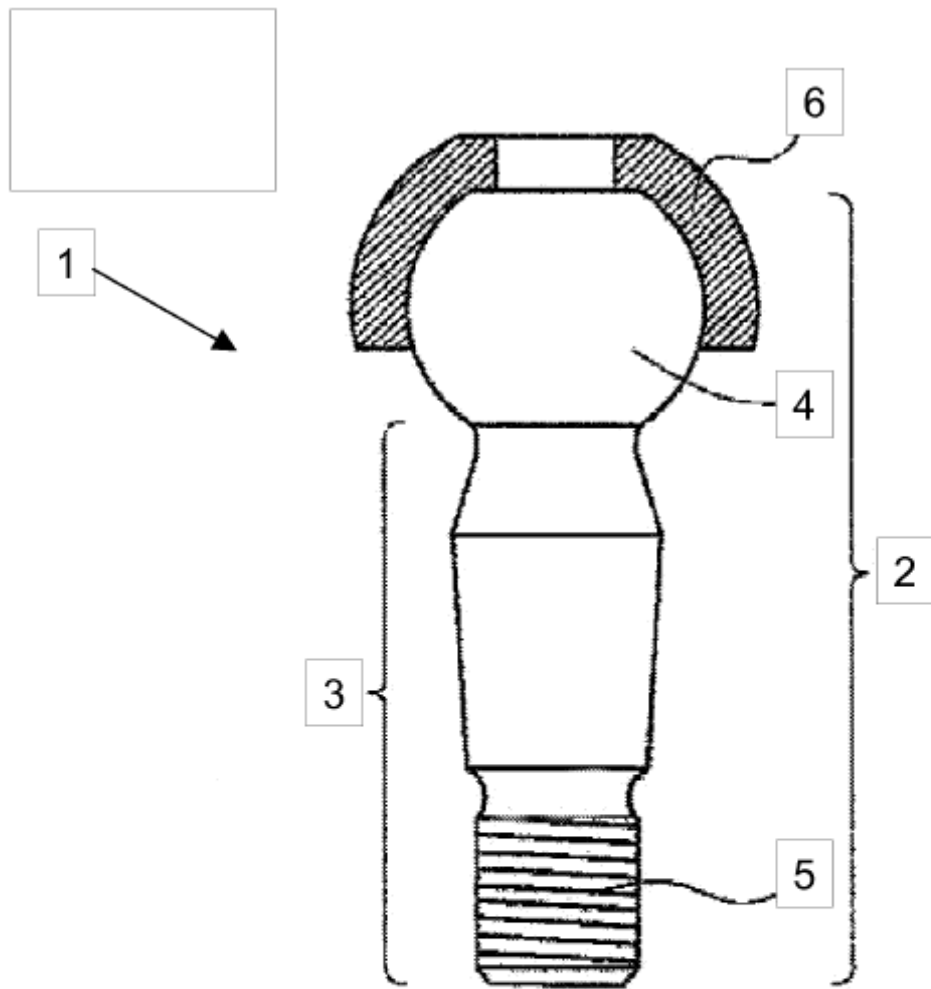


Fig. 1

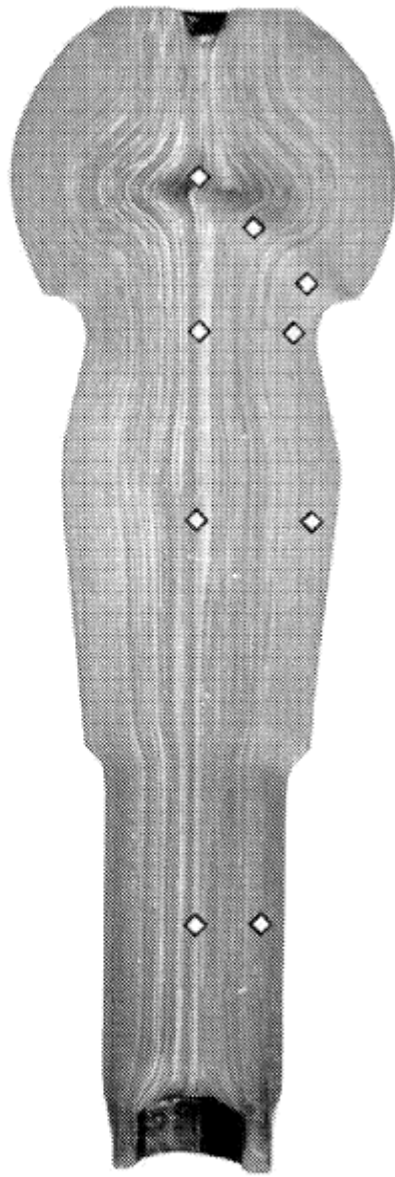


Fig. 2

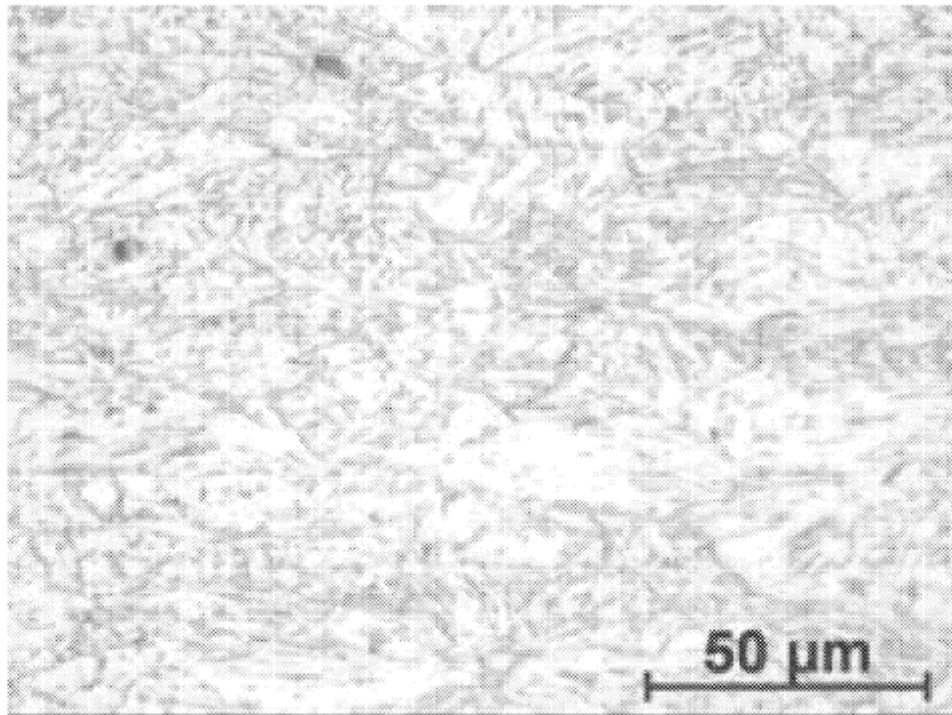


Fig. 3

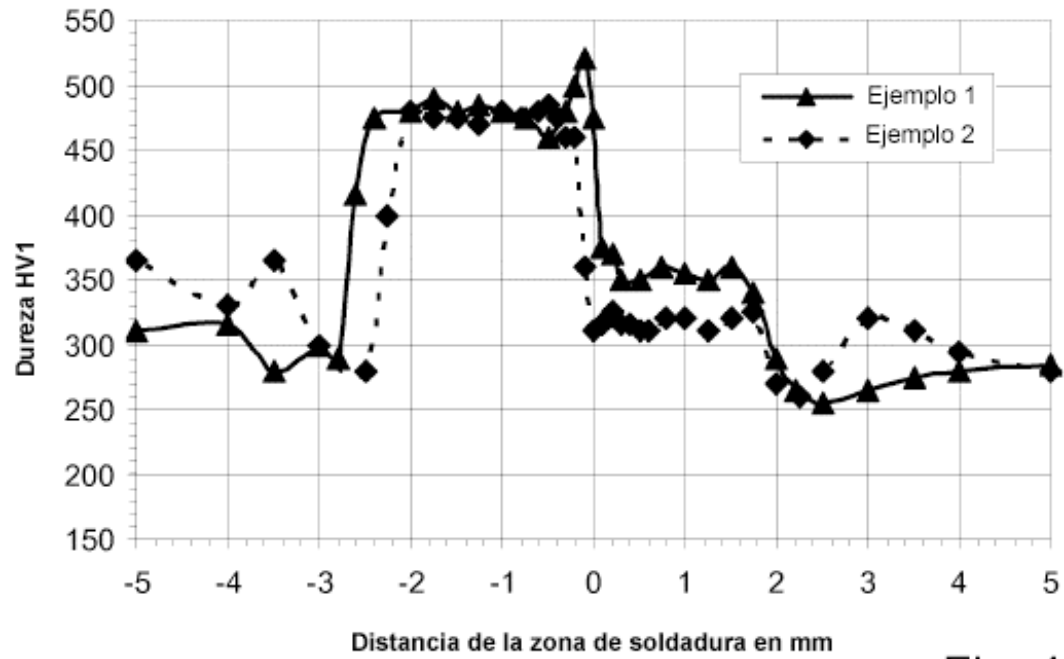


Fig. 4

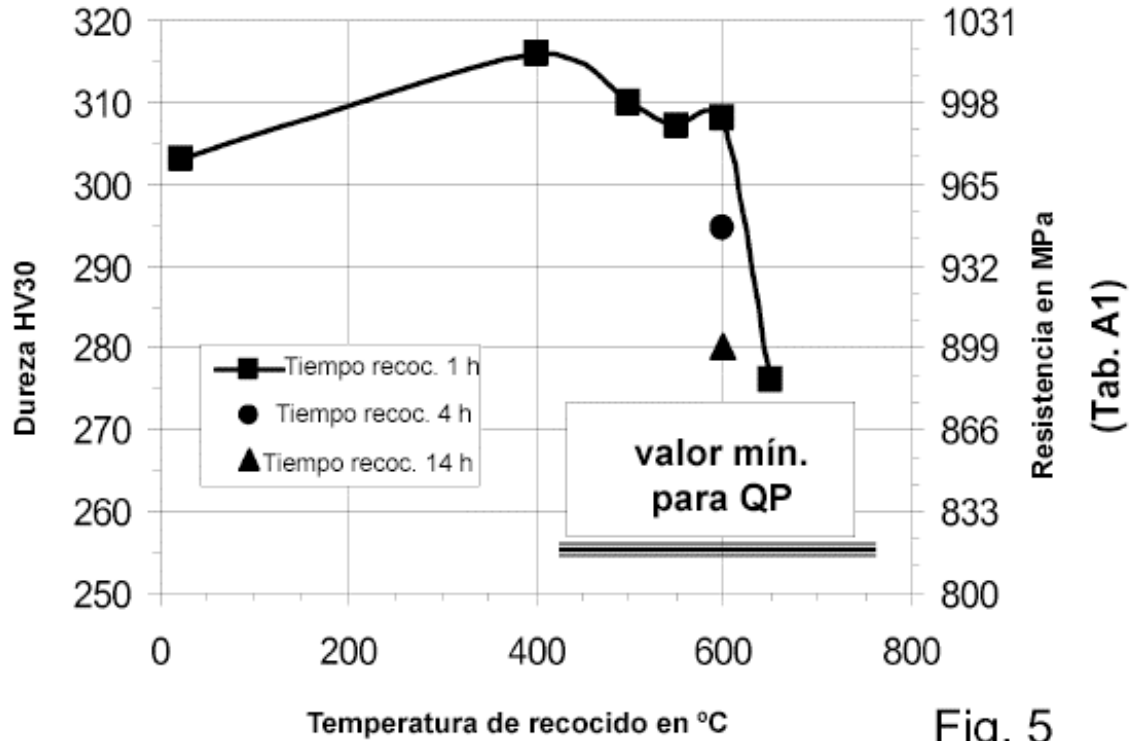


Fig. 5

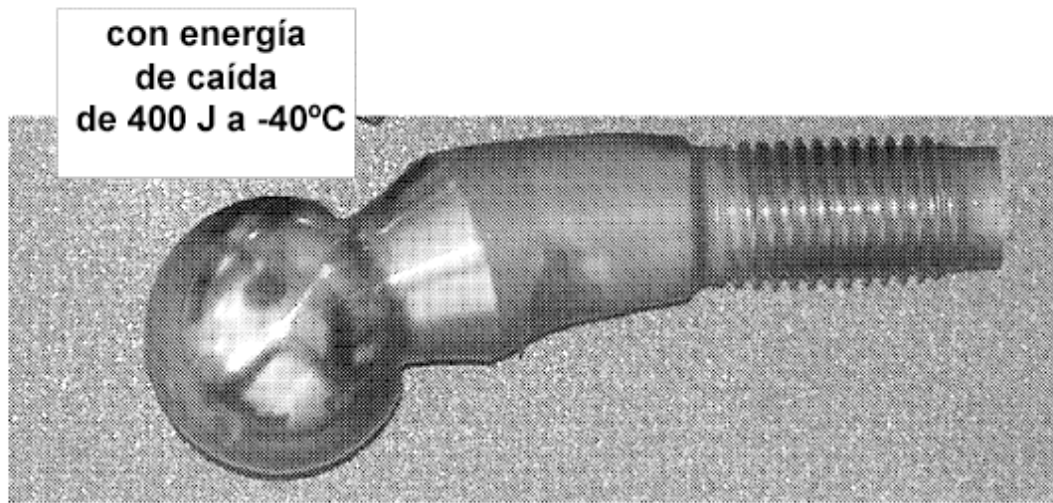


Fig. 6

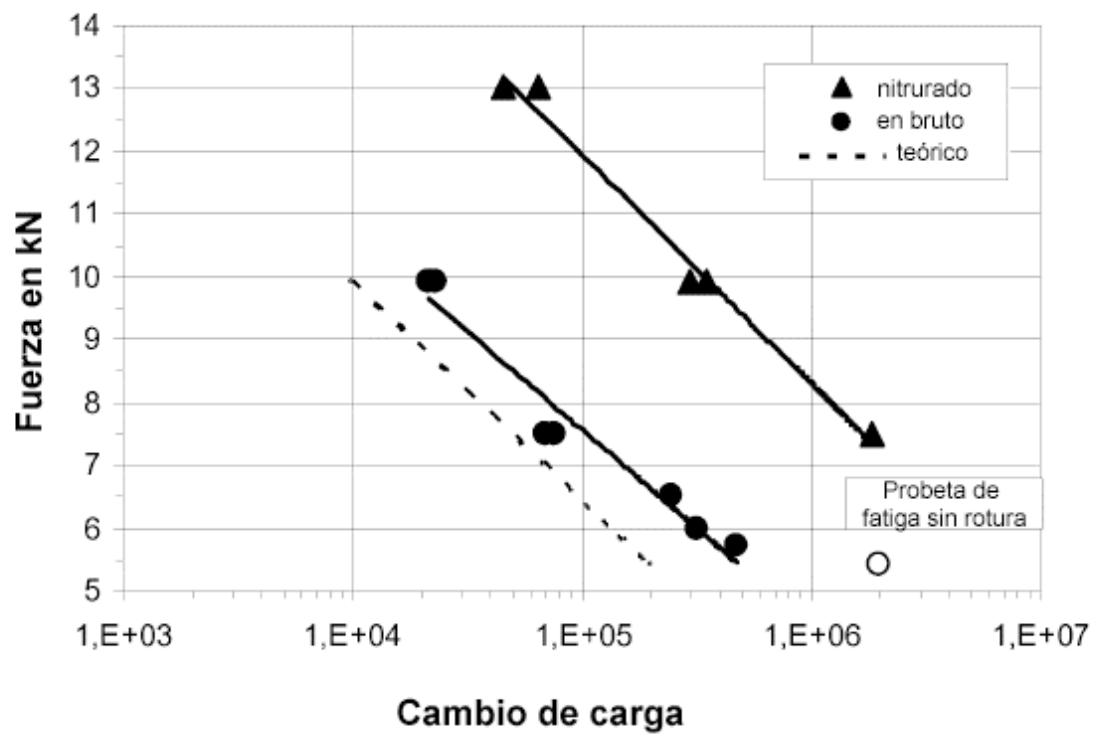


Fig. 7