

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 524 004**

51 Int. Cl.:

C21D 9/00 (2006.01)

F16B 23/00 (2006.01)

F16B 29/00 (2006.01)

F16B 31/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.11.2012 E 12192896 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.08.2014 EP 2594653**

54 Título: **Tornillo de resistencia ultraalta con elevada relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción**

30 Prioridad:

18.11.2011 DE 102011055497

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

03.12.2014

73 Titular/es:

**KAMAX HOLDING GMBH & CO. KG (100.0%)
Dr.-Rudolf-Kellermann-Strasse 2
35315 Homberg (Ohm), DE**

72 Inventor/es:

**DIETERLE, HORST y
MERSCHROD, UWE**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 524 004 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

Tornillo de resistencia ultraalta con elevada relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción

5 **Campo técnico de la invención**

La invención se refiere a un tornillo de alta resistencia, a una unión roscada con un tornillo de alta resistencia y a un componente y a un procedimiento para la fabricación de un tornillo de alta resistencia.

10 **Estado de la técnica**

15 Un tornillo de resistencia ultraalta con una estructura de bainita, una unión roscada con un tornillo de este tipo y un componente, así como un procedimiento para la fabricación de un tornillo de este tipo se conocen de la solicitud de patente alemana DE 10 2008 041 391 A1. La estructura de bainita se fabricó mediante temple austenítico y se extiende esencialmente a lo largo de toda la sección transversal del tornillo. El tornillo posee por ello una resistencia a la tracción R_m de al menos 1.400 N/mm^2 . Gracias a la estructura de bainita, el tornillo presenta valores de resistencia extremadamente elevados junto con valores de tenacidad máximos. El tornillo presenta, en particular, una relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción inferior al 90 % y, preferentemente, inferior al 80 %.

20 Otro estado de la técnica está descrito en el apartado "estado de la técnica" de la solicitud de patente alemana DE 10 2008 041 391 A1 anteriormente descrita.

25 Otro estado de la técnica se conoce del procedimiento de examen de la solicitud de patente alemana DE 10 2008 041 391 A1 anteriormente descrita. Se trata, a este respecto, de los documentos DE 28 17 628 C2, DE 1 758 287 A, DE 1 558 505 A, DE 23 26 882 A, DE 698 07 297 T2, JP 09263875 A resúmenes de patentes de Japón, DE 10 2005 004 712 A1 así como "Verbindungselement "Pass-Dehn-Schraube"-Mehrfachverschraubung im überelastischen Bereich" en "Der Konstrukteur 4", 1986, pág. 40, 42, 44.

30 Un tornillo de alta resistencia con una estructura de bainita se conoce además de la solicitud de patente japonesa JP 09 263 875. En la tabla 2 contenida allí se indica, en la octava columna desde la izquierda señalada mediante la unidad "MPa", el límite de alargamiento del 0,2 % $R_{p0,2}$. En la novena columna, indicada a su derecha, se indican valores para la resistencia a la tracción R_m . Si se dividen los valores de la columna 8 por los de la columna 9, se pueden calcular relaciones de límite de fluencia/resistencia a la tracción entre 0,95 y 0,96.

35 **Objetivo de la invención**

La presente invención tiene por objetivo proporcionar un tornillo de alta resistencia con una elevada ductilidad, que sea muy apropiado para un apriete múltiple.

40 **Solución**

El objetivo de la invención se consigue, de acuerdo con la invención, con las características de las reivindicaciones independientes.

45 Otras configuraciones preferentes de acuerdo con la invención se pueden encontrar en las reivindicaciones dependientes.

Descripción de la invención

50 La invención se refiere a un tornillo de alta resistencia con una estructura de bainita que presenta una relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción de al menos 0,95.

55 La invención se refiere además a una unión roscada con un tornillo de alta resistencia de este tipo y un componente que va atornillado al tornillo de alta resistencia.

La invención se refiere también a un procedimiento para la fabricación de un tornillo de alta resistencia, en el que un tornillo que presenta una estructura de bainita se somete de tal forma a un tratamiento térmico, que el tornillo obtiene una relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción de al menos 0,95.

60 **Definiciones**

Relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción: por relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción se entiende la relación del límite de alargamiento del 0,2 % $R_{p0,2}$ con respecto a la resistencia a la tracción R_m .

65 **Tornillo de alta resistencia:** por un tornillo de alta resistencia se entiende un tornillo con una resistencia a la tracción R_m de al menos 800 N/mm^2 . Hasta ahora, en el estado de la técnica se entendía por tornillos de alta

resistencia esencialmente tornillos de las clases de resistencia 8.8, 10.9 y 12.9.

Tornillo de resistencia ultraalta: por un tornillo de resistencia ultraalta se entiende un tornillo con una resistencia a la tracción R_m de al menos 1.400 N/mm².

Alargamiento uniforme: por el alargamiento uniforme se entiende la alteración plástica de la longitud referida a la longitud inicial en el ensayo de tracción al solicitar el tornillo con la fuerza asignada a la resistencia a la tracción R_m . El alargamiento uniforme indica, por lo tanto, que el tornillo no se estrecha en esta área, sino que se alarga de forma uniforme.

Descripción adicional

El nuevo tornillo tiene, por lo tanto, una relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción entre 0,97 y 1,05. Con una relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción de aproximadamente 1, el límite de alargamiento se corresponde aproximadamente con el límite de resistencia, hablándose entonces de un comportamiento elástico/plástico ideal. El tornillo se plastifica y no experimenta prácticamente ningún endurecimiento más durante el posterior apriete hasta la rotura. Un tornillo de este tipo se adecua óptimamente para un apriete de la unión roscada mediante procedimientos de apriete regulados por límite de fluencia así como procedimientos con par de unión más ángulo de giro.

Las relaciones de límite de fluencia/resistencia a la tracción mayores de 1 implican que el tornillo posee su máxima resistencia y, con ello, fuerza de pre-tensión al alcanzar el límite de fluencia y a continuación la fuerza de pre-tensión desciende ligeramente de nuevo a un nivel constante (véase la figura 3). Sin embargo, con un apriete a través de par de torsión y ángulo de giro, este ligero descenso no resulta problemático.

El nuevo tornillo con la elevada relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción es también especialmente adecuado para un procedimiento de apriete regulado por límite de fluencia. En un procedimiento de apriete de este tipo, la herramienta de atornillar vigila permanentemente la variación de la pendiente de la curva de pares de torsión/ángulo de giro. Dado que esta pendiente en el punto de límite de fluencia diverge de la recta de Hook, el punto de límite de fluencia se puede detectar a través de esta variación. Sin embargo, en el estado de la técnica esta detección resultaba prácticamente imposible o difícilmente realizable, puesto que los materiales empleados no poseen un límite de fluencia pronunciado y, con ello, la transición de la recta de Hook al área plástica solo se produce de forma comparativamente lenta y no característica. Con la nueva relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción del tornillo de acuerdo con la invención de aproximadamente 1, esta transición se puede reconocer ahora de forma patente y, con ello, también es detectable en condiciones de servicio comparativamente duras de forma inequívoca y exacta.

El nuevo tornillo se acerca mucho al comportamiento elástico/plástico ideal y posee, al mismo tiempo, una gran capacidad de conformado. Debido a la elevada relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción y la buena capacidad de deformación se hace posible un aprovechamiento casi completo de la resistencia del tornillo así como de la capacidad de conformado y, por consiguiente, de la máxima fuerza de pre-tensión posible. Además, es posible aplicar la máxima fuerza de pre-tensión alcanzable con solo una ligera deformación plástica del tornillo en varios aprietes repetidos. Toda la capacidad de deformación del tornillo está de este modo a disposición para aprietes repetidos, incluso en caso de apriete múltiple más allá del límite de elasticidad.

En el apriete de uniones roscadas con un tornillo de alta resistencia, en la práctica a menudo se indica que el primer y el segundo apriete de la unión roscada deben realizarse con la misma especificación de apriete. Cuando entonces en el estado de la técnica con los tornillos conocidos con una relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción de, por ejemplo, 0,8, esta especificación de apriete se aplica dos veces o con mayor frecuencia, ello origina problemas. Una primera posibilidad consiste en apretar la unión roscada hasta la meseta plástica tras abandonar el área elástica. En el siguiente apriete se alcanza entonces la misma fuerza de pre-tensión, pero debido al endurecimiento por deformación en frío producido durante el primer apriete se produce, con el mismo ángulo de giro, una mayor plastificación del tornillo. Dicho de otra forma, este segundo apriete finaliza más hacia la derecha sobre la recta horizontal que representa la deformación plástica. Se ha consumido por lo tanto ya una parte de la capacidad de conformado disponible en la meseta, llevando esto entonces ya en el segundo apriete o en aprietes posteriores a un estrechamiento o fallo del tornillo. Una segunda posibilidad consiste en que el apriete de la unión roscada finalice antes de alcanzar la meseta plástica. Si se mantiene la especificación de apriete del apriete inicial, resultan en caso de atornilladura múltiple, por consiguiente, distintas fuerzas de pre-tensión, lo cual también es indeseado. Para un aprovechamiento óptimo de la resistencia del tornillo es, sin embargo, necesario apretar el tornillo claramente más allá del límite de fluencia.

Por medio de la elevada relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción del nuevo tornillo entre 0,97 y 1,05, preferentemente entre 0,99 y 1,03, se alcanza ahora la misma fuerza de pre-tensión definida también con un apriete múltiple de la unión roscada de manera fiable. La elevada relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción implica en el diagrama de tensión-deformación una inflexión pronunciada en la transición entre el campo lineal elástico (la "recta de Hook") y el campo plástico. Esta inflexión pronunciada puede detectarse de modo fiable.

El nuevo tornillo de alta resistencia presenta una estructura de bainita que, en particular, ha sido fabricado, al menos parcialmente, mediante temple austenítico. La estructura de bainita conduce a una resistencia a la tracción muy elevada con una ductilidad también muy elevada. Esta elevada ductilidad o tenacidad distingue a la estructura de bainita en esencia de una estructura de martensita, que en el estado de la técnica de forma conocida se produce mediante temple con posterior revenido. En el temple austenítico, el temple se produce, en cambio, mediante un rápido enfriamiento desde la fase austenita mediante una transformación isotérmica de la estructura en la fase bainita. A este respecto, la pieza, en especial el tornillo, permanece a una temperatura isotérmica en un baño salino hasta que la transformación de estructura de austenita a bainita ha concluido a lo largo de toda la sección transversal. El proceso de revenido necesario en el temple martensítico puede suprimirse preferentemente. Con ello, también se reduce la tendencia a la deformación de temple.

Con el bainitizado queda suprimida la transformación directa de estructura en martensita y, con ello, la brusca transformación de red cristalina con elevadas tensiones de red cristalina. Esto implica que las piezas con estructura de bainita destacan por valores de resistencia extremadamente altos junto con valores de tenacidad máximos. Para otros detalles y ventajas de la estructura de bainita se remite a la solicitud de patente alemana DE 10 2008 041 391 A1 del solicitante.

La elevada relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción se logra, en particular, tras el temple austenítico mediante determinadas etapas de procedimiento. En una primera variante, la correspondiente primera etapa del procedimiento consiste en un conformado en frío del tornillo, por lo que aumenta la densidad de dislocación en el material. En lo que respecta a este conformado en frío puede tratarse, en particular, de un esfuerzo de tracción ("estirado") en sentido axial. Sin embargo, también son posibles esfuerzos de tracción y torsión combinados como conformado en frío. A ese respecto, es esencial que el conformado llevado a cabo conduzca a un determinado aumento de la densidad de dislocación en el material.

En una etapa del procedimiento posterior o también separada se realiza un tratamiento térmico del tornillo a temperaturas comparativamente bajas. El tratamiento térmico produce en el material precipitaciones y difusión de elementos de aleación disueltos intersticialmente –tales como, en particular, C, B y N– que se acumulan en la zona de dilatación de las dislocaciones e impiden los movimientos de dislocación. De este modo aumenta la resistencia y se alcanza un mayor límite de fluencia. La resistencia a la tracción R_m a este respecto no varía o solo lo hace en escasa medida (en particular aumenta aproximadamente el 5 %), de forma que esencialmente un incremento del límite de alargamiento del 0,2 % $R_{p0,2}$ contribuye al deseado incremento de la relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción. El tratamiento térmico puede realizarse, en particular, a una temperatura entre 100 °C y 400 °C, preferentemente entre 120 °C y 250 °C, por ejemplo con duraciones de tratamiento de 0,5 a 50 horas. La duración del tratamiento térmico depende del estado del material, la composición química y de la resistencia deseada.

En otra variante del procedimiento de fabricación, para alcanzar el elevado límite de fluencia se suprime la etapa del conformado en frío que sigue al temple austenítico. Por otra parte, sin embargo, tiene lugar un tratamiento térmico del tornillo, desarrollándose el mismo en particular a una temperatura entre 350 °C y 600 °C, preferentemente entre 400 °C y 550 °C, por ejemplo en duraciones de tratamiento de 0,5 a 2 horas. El tratamiento térmico produce, en este caso, debido a las mayores temperaturas de tratamiento, por una parte, una disminución de la resistencia a la tracción motivada por el restablecimiento de dislocaciones y, por otra parte, la precipitación de carburos de los elementos de aleación, tales como, por ejemplo, Cr, Mo, Mn, Ni y V, Nb o Ti. Ello conduce a un impedimento del movimiento de dislocación y, por consiguiente, aumenta el límite de fluencia o se contrarresta una reducción del límite de fluencia debido al restablecimiento de dislocaciones, cuando menos. El deseado incremento de la relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción se logra en este procedimiento, por consiguiente, mediante una reducción de la resistencia a la tracción con un límite de fluencia casi inalterado.

Con independencia de que el segundo tratamiento térmico tenga lugar con o sin un conformado en frío, se puede combinar de forma ventajosa también con otras etapas de procedimiento de la fabricación del tornillo, en especial, por ejemplo, con un recubrimiento de superficie realizado de todos modos, que por razones de proceso requiera un tratamiento térmico, por ejemplo, para la evaporación o cochura de los materiales de recubrimiento. Este tipo de tratamientos de la superficie se emplean, entre otras cosas, para el aumento de la protección contra la corrosión.

El tornillo presenta, en particular, un alargamiento uniforme de al menos 0,5 %, preferentemente de al menos 0,6 %. Esto implica que la meseta en el diagrama de tensión-deformación está conformada comparativamente larga y, por consiguiente, es posible un apriete múltiple de la unión roscada por encima del límite de fluencia sin estrechamiento o fallo del tornillo. La misma fuerza de pre-tensión definida puede, por lo tanto, alcanzarse también bien en un segundo, tercer, cuarto, quinto etc. apriete de la unión roscada.

Los tornillos de alta resistencia se producen, como es sabido, por conformado en frío, designándose el material de partida empleado para ello habitualmente "alambre". El alambre usado para el nuevo tornillo de alta resistencia puede estar compuesto de acero conformable en frío no templado y poseer un contenido en carbono de aproximadamente el 0,2 % al 0,6 %. El acero puede presentar partes de aleación, en especial Cr, Mo, Mn, Ni, V, Nb o Ti de un total de aproximadamente más del 1,1 %.

El tornillo puede estar configurado como tornillo de resistencia ultraalta con una resistencia a la tracción R_m de al menos 1400 N/mm^2 . Un tornillo de resistencia ultraalta de este tipo, con una nueva relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción, facilita, por lo tanto, también en el apriete múltiples fuerzas de pre-tensión extremadamente elevadas de forma reproducible. Un tornillo de este tipo debería asignarse entonces de acuerdo con las convenciones de denominación habituales a las clases de resistencia aún por definir 14.10, 15.10, 16.10, 17.10 o mayor.

El tornillo puede presentar un recubrimiento en forma de una laca lubricante o un lubricante, presentando éste, como lubricante, en particular MoS, MoS₂, grafito, polietileno u otro polímero. Como alternativa, los tornillos pueden estar fosfatados y lubricados. Los recubrimientos de este tipo proporcionan coeficientes de fricción uniformes también en caso de aprietes múltiples, de tal manera que también así las proporciones en caso de aprietes múltiples quedan unificadas.

El tornillo puede presentar una proporción reducida de martensita inferior al 15 %. La característica según la cual el tornillo de alta resistencia presenta una estructura de bainita no implica que partes comparativamente pequeñas de otra estructura –por ejemplo, martensita o austenita residual– conduzcan a la materialización de esta característica. La estructura de bainita está compuesta preferentemente sobre todo de bainita inferior y puede contener tanto partes de estructura de bainita tanto superior como inferior o como de bainita granular. Adicionalmente se pueden ajustar, de manera específica, pequeñas proporciones de martensita, es decir, proporciones de, en particular, menos de aproximadamente el 15 %, proporciones de aproximadamente el 10 % o inferiores, proporciones entre el 8 % y el 11 % o proporciones entre aproximadamente el 3 % y el 5 %. Estas proporciones se refieren a las proporciones de superficie de la martensita en un área de sección transversal promedio del tornillo. Debido a la proporción de martensita aumenta la resistencia a la tracción, de tal manera que la proporción de bainita sigue siendo suficientemente elevada como para alcanzar la alta ductilidad deseada.

El nuevo proceso para la fabricación del tornillo de alta resistencia presenta las siguientes etapas:

- fabricación de una estructura de bainita,
- tratamiento térmico del tornillo, de tal forma que el tornillo obtiene una relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción de al menos 0,95.

Con anterioridad a esta segunda etapa de procedimiento puede realizarse eventualmente otra etapa de procedimiento, en la que se lleva a cabo un conformado en frío del tornillo, por ejemplo mediante estirado axial. Otra etapa del procedimiento la representa la fabricación de roscas. Ésta puede tener lugar también en distintos momentos, tal y como se describe también más abajo de forma más detallada.

Perfeccionamientos ventajosos de la invención resultan de las reivindicaciones, de la descripción y los dibujos. Las ventajas mencionadas en la introducción de la descripción de características y de combinaciones de varias características se facilitan únicamente a título de ejemplo y pueden surtir efecto de forma alternativa o acumulativa, sin que las ventajas tengan que obtenerse forzosamente de formas de realización de acuerdo con la invención. Sin que por ello el objeto de las reivindicaciones adjuntas se vea modificado, en lo que respecta al contenido de la divulgación de los documentos de solicitud originales y de la patente es válido lo siguiente: otras características pueden deducirse de los dibujos, en particular de las geometrías representadas y las dimensiones relativas de varios componentes uno respecto a otro así como su disposición relativa y su unión eficaz. La combinación de características de diferentes formas de realización de la invención o de características de diferentes reivindicaciones es asimismo posible difiriendo de las referencias elegidas de las reivindicaciones y, con ello, se sugiere. Esto afecta igualmente a aquellas características que están representadas en dibujos separados o que se nombran en su descripción. Estas características pueden combinarse también con características de diferentes reivindicaciones. Igualmente pueden suprimirse características mencionadas en las reivindicaciones para otras formas de realización de la invención.

Las características mencionadas en las reivindicaciones y en la descripción deberán entenderse, en lo que respecta a su cantidad, de tal manera que existe exactamente esa cantidad o una cantidad mayor a la cantidad mencionada, sin que sea necesario un uso explícito de la locución adverbial "al menos". Cuando por tanto, por ejemplo, se habla de un elemento, ello debe entenderse de tal manera que exactamente existe(n) un elemento, dos elementos o varios elementos. Cuando, sin embargo, solo se pretende indicar la cantidad exacta de una característica, el adjetivo "exacto" se emplea delante de la respectiva característica.

Breve descripción de las figuras

A continuación, la invención se aclara y describe adicionalmente mediante los ejemplos de realización preferentes representados en las figuras.

La **fig. 1** muestra un primer ejemplo de realización de la nueva unión roscada con un tornillo de alta resistencia y un componente.

- La **fig. 2** muestra un diagrama de tensión-deformación esquemático de una primera forma de realización ejemplar de la nueva unión roscada en comparación con el estado de la técnica.
- 5 La **fig. 3** muestra un diagrama de tensión-deformación esquemático de una segunda forma de realización ejemplar de la nueva unión roscada.
- La **fig. 4** muestra un diagrama de tensión-deformación esquemático de la nueva unión roscada de acuerdo con la fig. 1 en el apriete múltiple.
- 10 La **fig. 5** muestra un diagrama de flujo de una primera forma de realización ejemplar del nuevo procedimiento para la fabricación de un nuevo tornillo.
- La **fig. 6** muestra un diagrama de flujo de una segunda forma de realización ejemplar del nuevo procedimiento para la fabricación de un nuevo tornillo.
- 15

Descripción de las figuras

La **fig. 1** muestra un primer ejemplo de realización de una unión roscada 1 con un tornillo de alta resistencia 2 así como un primer componente 3 y un segundo componente 4. El tornillo 2 presenta una cabeza 5, un tramo de caña 6 y un tramo de rosca 7 con una rosca exterior 8. El primer componente 3 presenta una perforación 9 y el segundo componente 4, una perforación 10. La perforación 10 presenta una rosca interior 11 correspondiente a la rosca exterior 8 del tornillo 2. Por medio de las roscas engranadas entre sí 8, 11 y la superficie de asiento de cabeza 12 de la cabeza 5 del tornillo 2 se obtiene la fuerza de inmovilización necesaria para la unión roscada 1 segura.

20

25 En el caso del tornillo 2 se trata de un tornillo de resistencia ultraalta con una resistencia a la tracción de al menos 1400 N/mm^2 . El tornillo 2 presenta una estructura de bainita fabricada, en particular, mediante temple austenítico, que esencialmente se extiende sobre la toda la sección transversal del tornillo 2. El tornillo 2 puede encontrarse inicialmente apretado en el marco de un apriete a modo de ensayo, habiéndose apretado el tornillo 2 hasta más allá de su límite de fluencia. Para efectuar la unión roscada 1 definitivamente se ha procedido entonces al segundo apriete de la unión roscada 1, al menos hasta el límite de fluencia aumentado resultante del apriete a modo de ensayo.

30

La **fig. 2** muestra un diagrama de tensión-deformación esquemático de una primera forma de realización ejemplar de la unión roscada 1 de acuerdo con la invención en comparación con una unión roscada habitual del estado de la técnica. La curva representada en un trazado de línea continuo de la unión roscada 1 de acuerdo con la invención se encuentra, a este respecto, identificada mediante la referencia 13, mientras que la curva representada en un trazado de línea discontinuo de la unión roscada del estado de la técnica se encuentra identificada mediante la referencia 14.

35

40 En la unión roscada del estado de la técnica se da el curso de curva habitual, es decir tras abandonar la recta de Hook 15 sigue una zona de transición que se extiende a lo largo de un ángulo de giro comparativamente grande o un alargamiento comparativamente grande hasta alcanzar la meseta plástica 16. A ese respecto, el límite de alargamiento del $0,2\% R_{p0,2}$ y la resistencia a la tracción R_m se distinguen en esencia de tal modo que se da una relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción de aproximadamente 0,8 o como máximo 0,9. La meseta 16 posterior en caso de un apriete adicional de la unión roscada solo tiene una extensión comparativamente corta y acaba en un punto de estrechamiento 17. En un apriete posterior de la unión roscada, esto conduce entonces finalmente al fallo.

45

50 Tal y como se representa en la fig. 2 de forma bien reconocible, el curso de la curva de la invención 13 se distingue esencialmente de aquel del estado de la técnica 14. La recta de Hook 15 presenta una extensión mayor y pasa, por el hecho de que la relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción es de aproximadamente 1, en un punto de inflexión comparativamente pronunciado 18 a la meseta 16. El límite de alargamiento del $0,2\% R_{p0,2}$ y la resistencia a la tracción R_m poseen, por lo tanto, aproximadamente el mismo valor. La meseta 16 presenta, en comparación con el estado de la técnica 14, una extensión horizontal mucho más larga y finaliza luego en el punto de estrechamiento 19. Esta longitud comparativamente grande de la meseta 16 implica que el nuevo tornillo 2 tiene una capacidad de deformación plástica comparativamente grande con una tensión constante. El alargamiento uniforme que resulta de ello puede ascender, en particular, a al menos el $0,5\%$ y, en particular, preferentemente al $0,6\%$.

55

La **fig. 3** muestra un diagrama de tensión-deformación esquemático de una segunda forma de realización ejemplar de la nueva unión roscada 1. A diferencia de la forma de realización de acuerdo con la fig. 2 aquí se presenta un caso en el que el límite de fluencia R_e se sitúa por encima de la resistencia a la tracción R_m . La transición de la recta de Hook 15 a la meseta 16 transcurre, por lo tanto, de forma distinta que en la fig. 2, siendo reconocible que también aquí está a disposición una meseta 16 comparativamente larga.

60

La **fig. 4** muestra un diagrama de tensión-deformación esquemático de la nueva unión roscada 1 de acuerdo con la fig. 1 en el apriete múltiple con apriete en ángulo de giro o apriete combinado con par de unión y ángulo de giro. En el ejemplo presente se representan cinco procesos de apriete sucesivos ("aprietes"). Se puede apreciar que tras el

65

apriete de la unión roscada 1 hasta por encima de alcanzar el límite de alargamiento del 0,2 % $R_{p0,2}$ se produce una fuerza de pre-tensión constante del tornillo 2, de tal manera que tras el primer apriete (flecha ascendente a la izquierda del todo) y el posterior aflojamiento (flecha descendente a la izquierda del todo) en el segundo apriete (segunda flecha ascendente de la izquierda) R_m y $R_{p0,2}$ no se alcanzan hasta un ángulo de giro mayor. En este sentido ya se ha consumido, por lo tanto, una parte de la meseta 16. Lo correspondiente sucede luego también en el tercer, cuarto, quinto etc. apriete. En comparación con el estado de la técnica, R_m y $R_{p0,2}$ se alcanzan, sin embargo, respectivamente ya con un ángulo de giro menor y solo se consume una parte reducida de la meseta 16 con cada apriete. Debido al elevado alargamiento uniforme, el tornillo 2 presenta asimismo suficiente potencial como para poner a disposición en el apriete múltiple con una especificación de apriete invariable fuerzas invariables de pre-tensión. En un procedimiento de apriete regulado por límite de fluencia, en el que el punto de transición en el tornillo de acuerdo con la invención se puede detectar muy bien, las curvas de apriete y de aflojamiento estarían considerablemente más juntas, de tal manera que el tornillo 2 puede apretarse a menudo varias veces prácticamente de forma ilimitada.

La **fig. 5** muestra un diagrama de flujo de una primera forma de realización ejemplar del nuevo procedimiento para la fabricación de un tornillo 2. Dentro del diagrama de flujo se describen, en ese caso, parcialmente variantes mediante distintas indicaciones en los lados izquierdo y derecho. El material de partida es un acero conformable en frío no templado con un contenido en carbono de aproximadamente el 0,2 al 0,5 %. El acero puede ser no recocido o recocido (por ejemplo, mediante recocido sobre cementita globular; "recocido globular"). Tras la extensión sigue un conformado en frío. A continuación puede realizarse la fabricación de roscas u, omitiendo esta etapa, producirse a continuación la estructura bainítica, en particular mediante temple austenítico. Si la fabricación de roscas aún no se ha efectuado, se realiza en la próxima etapa. A continuación se realiza un posterior conformado en frío, por ejemplo mediante estirado. Finalmente tiene lugar un tratamiento térmico, en particular a una temperatura entre aproximadamente 100 °C y 400 °C.

La **Fig. 6** muestra un diagrama de flujo de una segunda forma de realización ejemplar del nuevo procedimiento para la fabricación de un tornillo 2. En este caso, el acero conformable en frío presenta elementos de aleación de más de aproximadamente el 1,1 % en total. En particular se puede tratar de Cr, Mo, Mn, Ni, V, Nb y Ti. Las próximas etapas de procedimiento se desarrollan, en ese caso, como en la forma de realización de acuerdo con la fig. 5. A diferencia de ello, se suprime la etapa del conformado en frío, por ejemplo mediante estirado, y, en su lugar, tiene lugar de forma inmediata un tratamiento térmico que en este caso se realiza, sin embargo, a temperaturas más elevadas. Estas temperaturas pueden ascender, en particular, a aproximadamente entre 350 °C y 600 °C. En la medida en que la fabricación de roscas por conformado en frío no se haya realizado con anterioridad, tendrá lugar posteriormente.

LISTA DE REFERENCIAS

- 1 Unión roscada
- 2 Tornillo
- 3 Componente
- 4 Componente
- 5 Cabeza
- 6 Tramo de caña
- 7 Tramo de rosca
- 8 Rosca exterior
- 9 Perforación
- 10 Perforación
- 11 Rosca interior
- 12 Superficie de asiento de la cabeza
- 13 Invención
- 14 Estado de la técnica
- 15 Recta de Hook
- 16 Meseta
- 17 Punto de estrechamiento
- 18 Punto de inflexión
- 19 Punto de estrechamiento

REIVINDICACIONES

- 5 1. Tornillo de alta resistencia (2) con una estructura de bainita, **caracterizado por que** la estructura de bainita se extiende esencialmente a lo largo de toda la sección transversal del tornillo (2) y el tornillo (2) presenta una relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción entre 0,97 y 1,05 y un alargamiento uniforme de al menos el 0,5 %.
2. Tornillo (2) de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** la estructura de bainita está fabricada al menos parcialmente mediante temple austenítico.
- 10 3. Tornillo (2) de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado por que** la relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción se ha alcanzado tras el temple austenítico por conformado en frío y un tratamiento térmico posterior del tornillo (2).
- 15 4. Tornillo (2) de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado por que** en el conformado en frío del tornillo (2) se trata de un estirado en sentido axial y el tratamiento térmico del tornillo (2) tiene lugar a una temperatura entre 100 °C y 400 °C, en particular entre 120 °C y 250 °C.
- 20 5. Tornillo (2) de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado por que** la relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción se ha alcanzado tras el temple austenítico por medio de un tratamiento térmico del tornillo (2) a una temperatura entre 350 °C y 600 °C, en particular entre 400 °C y 550 °C.
- 25 6. Tornillo (2) de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción se sitúa entre 0,99 y 1,03.
7. Tornillo (2) de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el tornillo (2) posee un alargamiento uniforme de al menos el 0,6 %.
- 30 8. Tornillo (2) de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el tornillo (2) ha sido fabricado a partir de un alambre que es de acero no templado conformable en frío y posee un contenido en carbono del 0,2 % al 0,6 %.
- 35 9. Tornillo (2) de acuerdo con la reivindicación 8, **caracterizado por que** el acero presenta partes de aleación, en particular Cr, Mo, Mn, Ni, V, Nb y Ti, de más del 1,1 % en total.
10. Tornillo (2) de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el tornillo (2) está configurado como tornillo de resistencia ultraalta con una resistencia a la tracción R_m de al menos 1400 N/mm².
- 40 11. Tornillo (2) de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el tornillo (2) presenta un recubrimiento en forma de una laca lubricante o un lubricante que como sustancia lubricante presenta en particular MoS, MoS₂, grafito, polietileno u otro polímero, o el tornillo (2) está fosfatado y lubricado.
12. Tornillo (2) de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el tornillo (2) presenta una cantidad reducida de martensita inferior al 15 %.
- 45 13. Unión roscada (1), con un tornillo de alta resistencia (2) de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones anteriores y un componente que está atornillado al tornillo de alta resistencia (2).
- 50 14. Procedimiento para la fabricación de un tornillo de alta resistencia (2), en particular un tornillo (2) de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones anteriores, con las etapas de temple austenítico del tornillo (2) para la fabricación de una estructura de bainita que esencialmente se extiende a lo largo de toda la sección transversal del tornillo (2) y a continuación
- 55 a) conformado en frío del tornillo (2) mediante estirado en sentido axial y posterior tratamiento térmico del tornillo (2) a una temperatura entre 100 °C y 400 °C, de tal manera que el tornillo (2) obtiene una relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción de al menos 0,95 o
- b) tratamiento térmico del tornillo (2) a una temperatura entre 350 °C y 600 °C, de tal forma que el tornillo (2) obtiene una relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción de al menos 0,95.

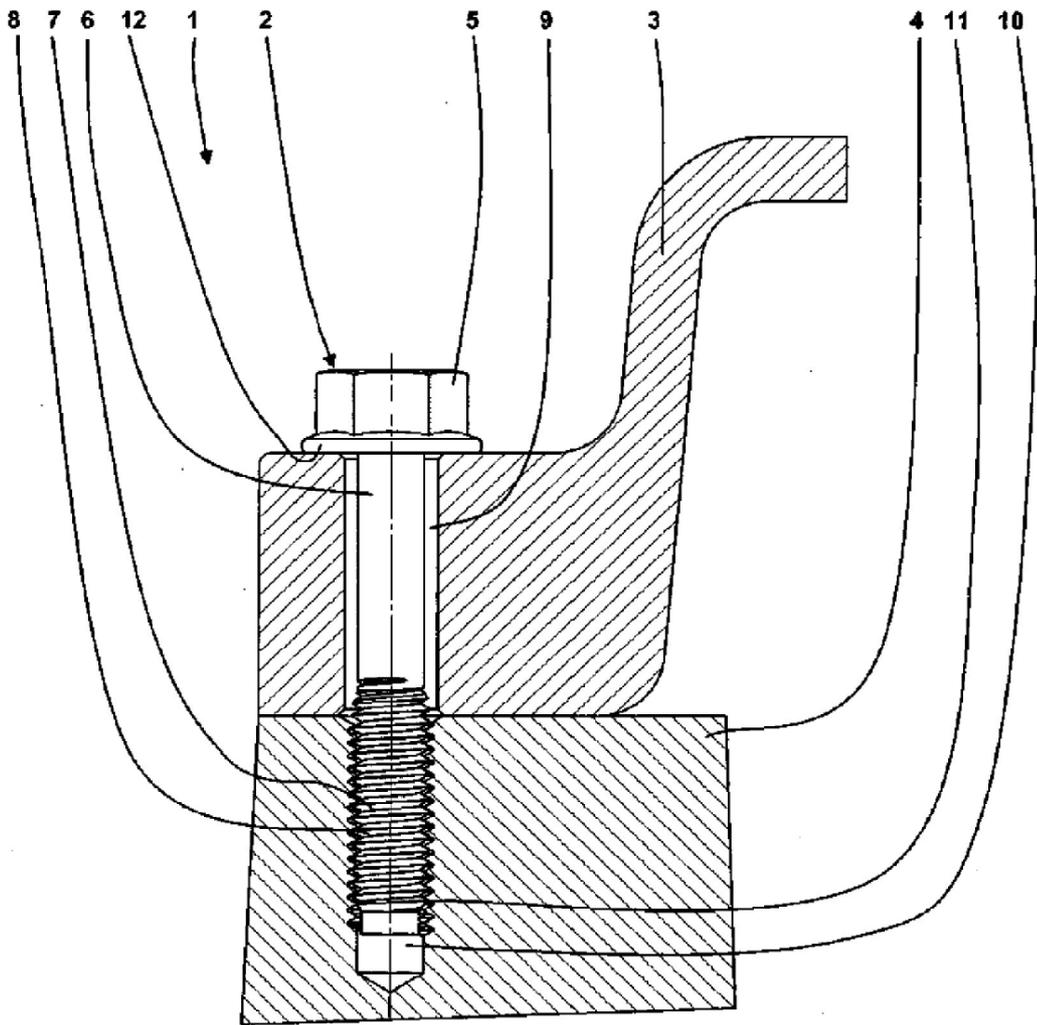


Fig. 1

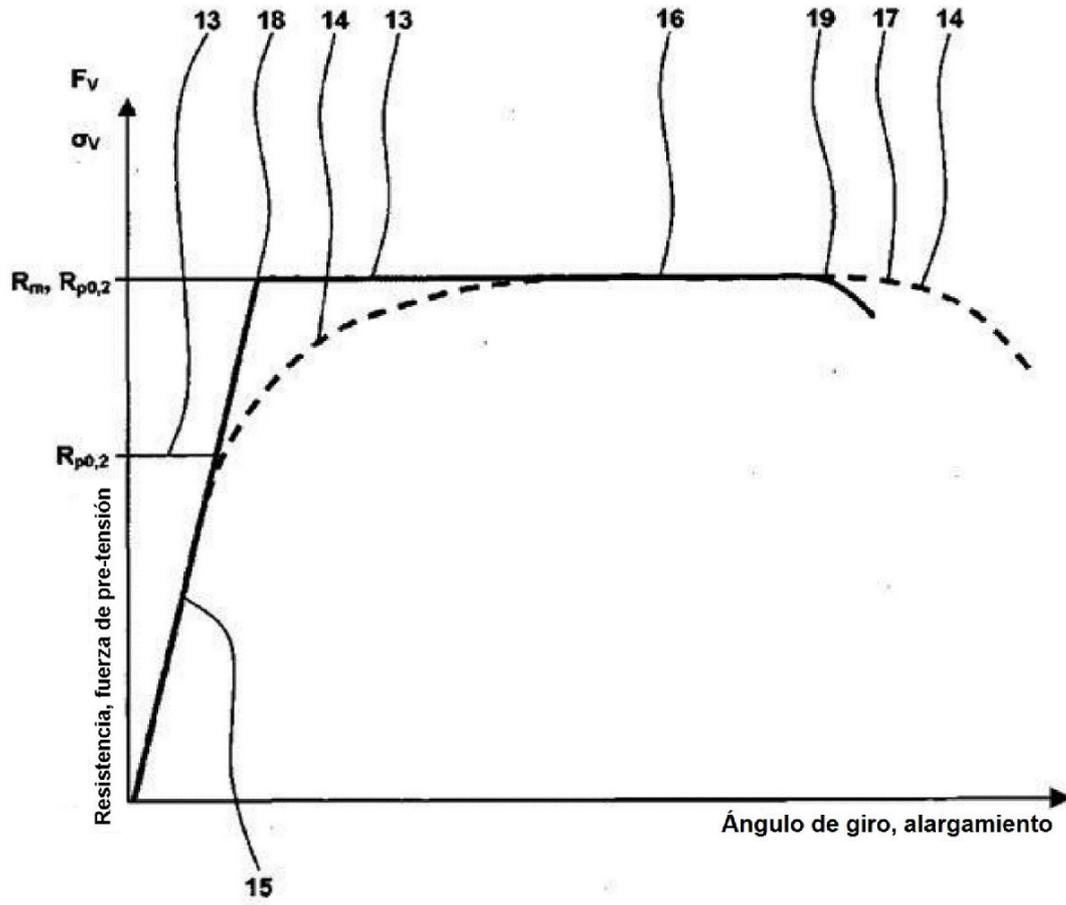


Fig. 2

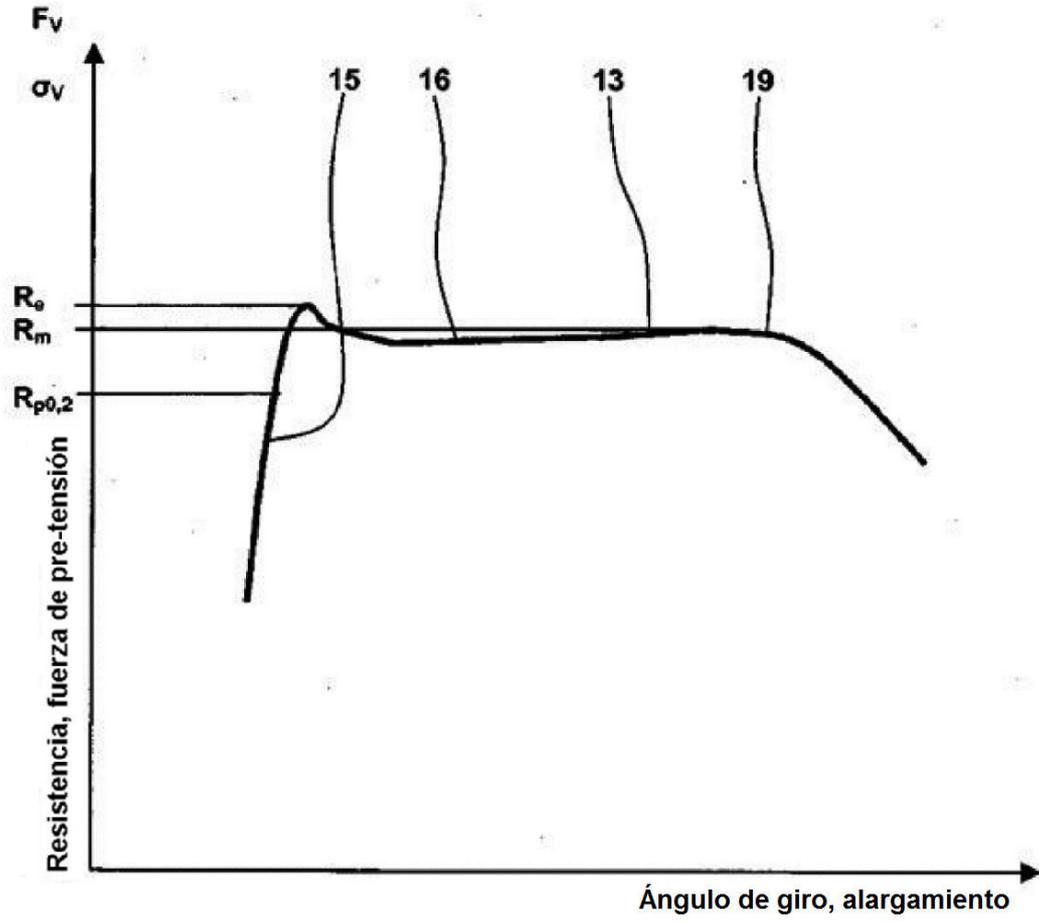


Fig. 3

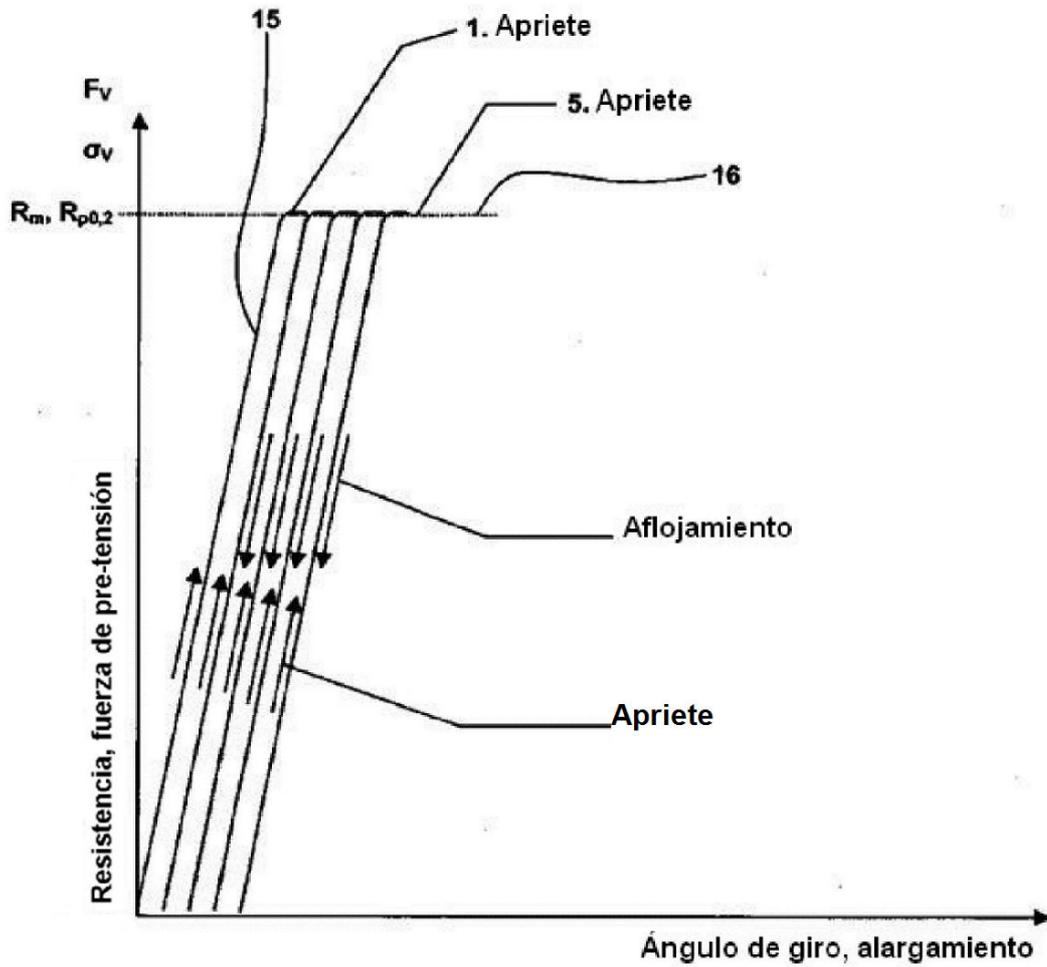


Fig. 4

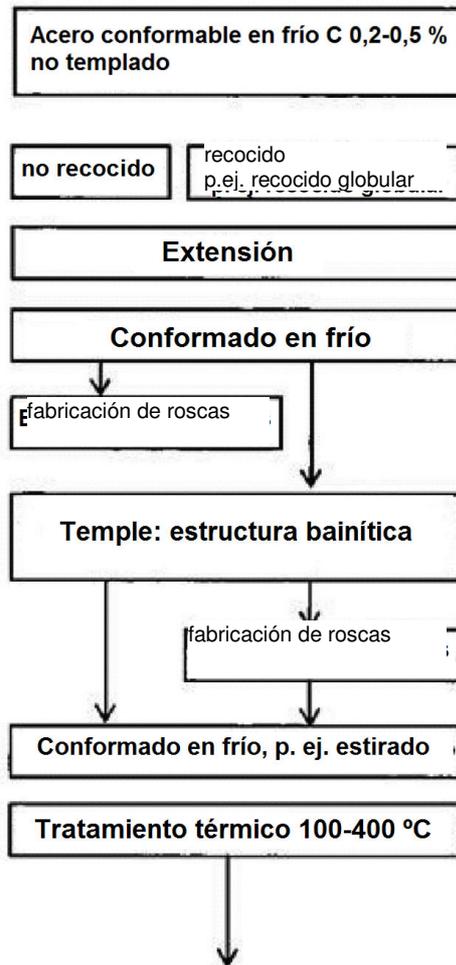


Fig. 5

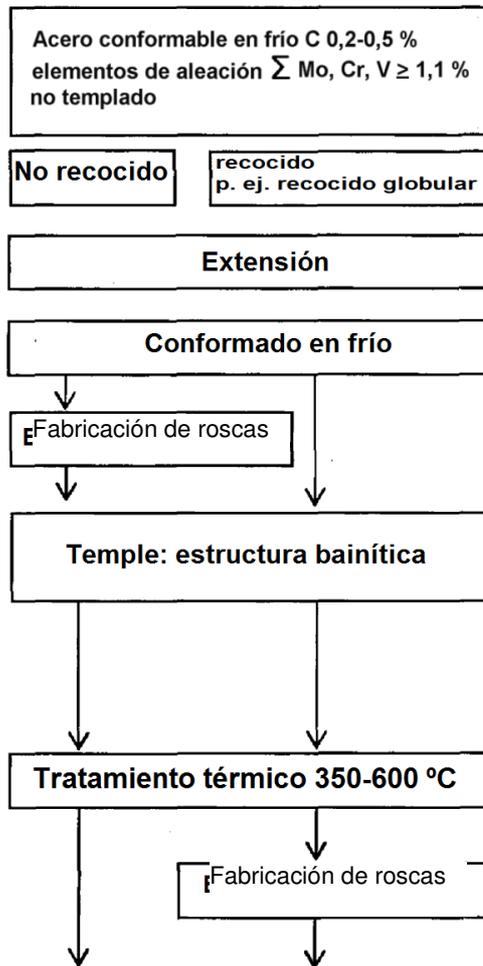


Fig. 6