

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 738 787**

51 Int. Cl.:

<b>C21D 1/02</b>	(2006.01) <b>B21J 5/08</b>	(2006.01)
<b>C21D 1/28</b>	(2006.01)	
<b>C21D 8/10</b>	(2006.01)	
<b>C21D 11/00</b>	(2006.01)	
<b>C22C 38/04</b>	(2006.01)	
<b>C21D 9/28</b>	(2006.01)	
<b>C21D 8/04</b>	(2006.01)	
<b>B60B 35/04</b>	(2006.01)	
<b>F16C 3/02</b>	(2006.01)	
<b>B21K 1/10</b>	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.12.2008 PCT/BR2008/000362**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **04.06.2009 WO09067773**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.12.2008 E 08855639 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.05.2019 EP 2229461**

54 Título: **Un eje a partir de un tubo sin soldadura para vehículos ferroviarios, y un procedimiento de fabricación de un eje a partir de un tubo de acero sin soldadura para vehículos ferroviarios**

30 Prioridad:

**30.11.2007 BR 0704944**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**27.01.2020**

73 Titular/es:

**VALLOUREC TUBOS DO BRASIL LTDA. (100.0%)  
Av. Olinto Meireles, 65, Barreiro de Baixo  
30640-010 Belo Horizonte, MG, BR**

72 Inventor/es:

**FARIA ANTUNES, RONALDO y  
FILHO, JOSE ANTONIO**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 738 787 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

Un eje a partir de un tubo sin soldadura para vehículos ferroviarios, y un procedimiento de fabricación de un eje a partir de un tubo de acero sin soldadura para vehículos ferroviarios

La presente invención se refiere a un procedimiento de fabricación de un eje que tiene un grosor variable forjado a partir de tubos de acero sin soldadura para vehículos ferroviarios.

Descripción de la técnica anterior

En la actualidad, el consumo de combustible y la emisión de contaminantes en el transporte ferroviario son una gran preocupación para el sector ferroviario, debido a sus implicaciones en el coste de operación y en el medio ambiente. La tara del vehículo ferroviario es uno de los principales factores que influyen en estos parámetros. En este aspecto, se debe tener en cuenta que los ejes de los vehículos ferroviarios pueden soportar el 10% de la tara y son predominantemente macizos.

Además, como resultado del aumento en el uso de los ferrocarriles como sistema de transporte, la tendencia actual es que la carga y el peso transportados por los ferrocarriles aumentan significativamente, lo que provoca, por consiguiente, un aumento en la tensión aplicada sobre los ejes del ferrocarril, requiriendo, por lo tanto, una mayor resistencia del material y adaptación en el diseño de estos ejes, de modo que tengan una buena durabilidad.

La búsqueda de tecnologías para reducir el peso a través del concepto de eje tubular en el sector ferroviario ya existe desde el siglo XIX, como se muestra en la patente estadounidense 44.434, titulada "mejora en los ejes de automóviles", de B. J. La Mothe, de 1864. Esta patente propone que el eje debe estar compuesto por varios tubos de diferentes diámetros acoplados y ajustados por interferencia mecánica. La publicación internacional WO2007065235 da a conocer un eje de ferrocarril tubular que puede ser total o parcialmente hueco con un zona de sección transversal variable a lo largo de su longitud. El material seleccionado para ser utilizado en el eje del ferrocarril tubular tiene propiedades que garantizan la resistencia del eje y la vida útil adecuada para soportar las capacidades de carga de diseño. El eje tubular del ferrocarril puede fabricarse con dimensiones estándar para garantizar la capacidad de intercambio con las partes de componentes estandarizadas existentes, tales como ruedas y cojinetes.

Stewart, George W., autor de la patente US 293.201, en 1884, titulada "eje de automóvil", reivindicó la invención de un eje tubular con sección uniforme, cuyas guías para los cojinetes de fricción eran bujes macizos parcialmente introducidos con interferencia en el eje hasta la región de la rueda.

Pekham, E., autor de la patente US 352.657, titulada "eje de automóvil", en 1886, se refiere a una propuesta similar, que señala, como mejora, la aplicación de un refuerzo interno tubular en la mangueta, que puede conformarse más adelante para formar el asiento del cojinete de fricción, que era el tipo de cojinete utilizado en ese momento.

Ernest Kreissig, autor de la patente británica GB 360.521, concedida en 1931, titulada "mejoras en (...) ejes huecos", no se refiere específicamente al eje o a su fabricación, sino a una barra (o tubo) previamente sometida y mantenida bajo tensión de tracción en el interior de árboles huecos para someterlos a esfuerzos de compresión, compensando proporcionalmente las tensiones de tracción resultantes de la flexión del eje en condiciones normales de operación.

Oelkers, Alfred H., autor de la patente US 1.902.910, titulada "construcción de rueda y eje antifricción", 1933, propuso variaciones de ejes y ruedas mediante la combinación de tubos concéntricos, husillos y cojinetes macizos, lo que permitió, en una de las combinaciones, que el eje fuera estático y que solo la rueda girara, a diferencia de la situación habitual de eje y las ruedas girando en conjunto.

Urshel, B. H., autor de la patente US 2.512.186, en 1950, titulada "eje de vehículo", se refiere a una propuesta de una composición de entubado y cita otras variaciones, como un eje con una cámara anular formada por el eje y un tubo interno, llena de líquido, cuya función sería la transferencia de calor desde el eje al entorno.

Blackwood, W., autor de la patente US 2.747.918, titulada "ejes de vehículo ferroviario", concedida en 1956, propuso la combinación de un eje macizo convencional dentro de un eje tubular, cuyo espacio se llenaría con unidades de un material elástico, como caucho. En este caso, el objetivo era atenuar los choques y distribuir las cargas de manera uniforme, evitando así problemas de fatiga.

Adrienne, J. L. C, autor de patente suiza CH 376.955, titulada "procedimiento para la fabricación de ejes de material rodante", otorgada en 1958, propuso más variantes de ejes tubulares, señalando el procedimiento de laminado en caliente de los extremos mediante tres cilindros escalonados, con el perfil deseado de los extremos.

En cuanto al material utilizado para la fabricación de ejes ferroviarios, algunos fabricantes, como los brasileños y los norteamericanos, intentan cumplir con las normas de las normas técnicas de la Asociación Americana de Ferrocarriles (AAR). Según las reglas de la AAR, las composiciones de los ejes del ferrocarril deben cumplir los siguientes criterios, mostrados en la tabla 1 a continuación.

Tabla 1: Reglas técnicas de la AAR. (“AAR Manual of Standards and Recommended Practices - Wheels and Axles - Axles, Carbon Steel, Heat-Treated - Specification M-101 - Revision 2004”) para la composición química de los ejes ferroviarios

Elemento	Referencia de tratamiento térmico del eje				Unidad
	AAR - Grado F (doble normalizado y templado)		AAR - Grado G (enfriado y templado) y AAR - Grado H (normalizado, enfriado y templado)		
	Min	Max	Min	Max	
C	0,45	0,59	-	-	% en peso
Mn	0,60	0,90	0,60	0,90	% en peso
P	-	0,045	-	0,45	% en peso
S	-	0,50	-	0,50	% en peso
Si	0,15	-	0,15	-	% en peso

5 Desde entonces continuaron nuevos desarrollos relacionados con la técnica de eje ferroviario, y el concepto tubular se utiliza en la actualidad en automóviles de pasajeros de alta velocidad, locomotoras y vagones de carga.

10 En la actualidad, la técnica anterior relacionada con los ejes ferroviarios comprende, por un lado, el uso de ejes macizos que utilizan aleaciones metálicas que cumplen las normas técnicas AAR, estos ejes se producen a partir de barras que se transforman en vigas y cuyas propiedades mecánicas también cumplen las normas técnicas de la AAR.

15 Por otro lado, la técnica anterior relacionada con ejes de ferrocarril también comprende el uso de ejes tubulares. Estos ejes se producen a partir de barras forjadas que se perforan por mecanizado. Estos ejes tubulares tienen un peso 20% menor que el de los ejes macizos, pero el procedimiento de fabricación conlleva un considerable desperdicio de materia prima y tiene un alto coste operativo, a cambio de una pequeña reducción de peso.

20 También hay ejes de ferrocarril tubulares de la técnica anterior, compuestos por tubos sin soldadura, que se producen por forjado. Estos ejes tienen un peso de alrededor del 40% más bajo que los macizos.

25 El documento de patente EP044783 A1 describe un procedimiento de fabricación de un eje forjado para ferrocarriles que puede ser uno fabricado a partir de un tubo o incluso una pieza maciza. En este procedimiento, la pieza de trabajo se calienta y, a la vez, experimenta una etapa de recalcado de la parte intermedia junto con una etapa de conformación de sus husillos con matrices cerradas. Este documento no da a conocer tratamientos térmicos que buscan mejorar las propiedades de fatiga, dureza y resistencia del eje tubular, ni da a conocer una composición específica de este eje para lograr estas mismas propiedades.

30 El documento de patente EP 0052308 describe una pieza de trabajo de acero forjado altamente cargada, que, después de ser forjada en caliente, se somete a revenido. Esta pieza de trabajo tiene un contenido del 0,05 al 0,25% en peso de carbono y del 1,0 al 2,0% en peso de manganeso. Este documento no prevé la aplicación de este procedimiento o de esta pieza de trabajo a los ejes tubulares para ferrocarriles, ni identifica ni da a conocer diversas etapas de procesamiento necesarias para convertir esta pieza en un tubo sin soldadura. Además, en este documento no se prevén rangos de valores de las propiedades físicas que debe exhibir esta pieza de trabajo, tales como el límite de elasticidad, la resistencia a la tracción, el alargamiento y la resistencia a la fatiga.

40 El documento de patente US 4.895.700 prevé un eje para vehículos ferroviarios que es macizo y exhibe contenidos del 0,40 al 0,48% en peso de carbono, del 1,35 al 1,61% en peso de manganeso, del 0,16 al 0,30% en peso de silicio, del 0 al 0,23% en peso de cromo. Esta composición está adaptada para formar ejes con un diámetro de 5,33 cm a 6,6 cm, y soporta alrededor de 14,7 a 19,6 toneladas. Por lo tanto, la aplicación del eje y sus dimensiones muy reducidas son diferentes de las de la presente invención, y además no tiene una geometría tubular.

45 Los ejes macizos a menudo exhiben mayor resistencia que la necesaria para soportar la carga a la que están sometidos. Esto significa que estos ejes pueden tener un peso mayor de lo necesario, lo que provoca un consumo de material en la producción del eje que podría evitarse.

50 Por otro lado, el concepto tubular, principalmente en el caso de tubos sin soldadura con grosores más pequeños que los ejes de barra perforados, implica, como resultado, que algunas partes del eje seguirán estando sometidas a mayores esfuerzos y otras seguirán estando sometidas a mayores tensiones que en el caso de otros ejes (barras macizas o perforadas) bajo las mismas condiciones de carga.

Objetivos de la Invención

Un primer objetivo de la invención es proporcionar un eje tubular con menor peso, que tenga, al mismo tiempo, propiedades de resistencia a la fatiga y límite de elasticidad y resistencia a la tracción mejoradas, que permitan soportar altas tensiones aplicadas sobre el mismo.

5 Otro objetivo de la invención es proporcionar un eje tubular y un procedimiento para fabricarlo, lo que proporciona un ahorro del material utilizado para fabricar este eje, así como un bajo coste de producción.

10 Un objetivo adicional de la invención consiste en proporcionar un procedimiento para producir ejes tubulares que tenga un mejor control de calidad de los ejes producidos, en virtud de las modernas ayudas informáticas, metodologías de producción y técnicas de inspección.

15 Otro objetivo de la invención es proporcionar un procedimiento para producir ejes tubulares que permita el control estadístico del procedimiento y las propiedades determinadas de los ejes, para garantizar que los ejes sean adecuados para diferentes propósitos y diferentes aplicaciones.

Breve descripción de la Invención

Los objetivos de la invención se logran mediante un procedimiento para fabricar un eje forjado a partir de un tubo de acero sin soldadura para vehículos ferroviarios, que comprende los siguientes pasos:

- 20 - fundir la aleación metálica que tiene la composición según la reivindicación 1, lo que genera la aleación metálica de acero;
- colar el material fundido, formando productos con forma de lingote;
- 25 - recalentar los productos con forma de lingote en un horno de recalentamiento para perforación;
- perforar los productos con forma de lingote;
- alargar los productos perforados, formando impresiones huecas;
- acabar los huecos, transformándolos en tubos sin soldadura;
- 30 - forjar los tubos sin soldadura, cambiándolos a ejes forjados a partir de tubos sin soldadura para el eje forjado a partir de un tubo de acero sin soldadura para vehículos ferroviarios producidos por el procedimiento tal como en la reivindicación 1 exhibiendo un límite de fatiga mínimo de 170 MPa.

35 El procedimiento puede comprender además, después de la etapa de fusión, una etapa de refinación secundaria, en la que se realizan los ajustes en la composición química de la aleación de metal y el tratamiento metalúrgico con calcio-silicio, así como, después de la etapa de refinación secundaria, una etapa de desgasificación a vacío.

40 El paso de fundición se puede realizar bajo agitación electromagnética. Después de la etapa de fundición, el producto con forma de lingote puede someterse a una etapa de recalentamiento auxiliar a una temperatura de 880° C a 1300° C durante un tiempo entre 1 y 48 horas. Después del paso de recalentamiento auxiliar, el procedimiento puede incluir además una etapa de rodadura.

La etapa de recalentamiento para la perforación se lleva a cabo preferiblemente en un horno de recalentamiento a una temperatura entre 1000° C y 1300° C

45 Alternativamente, el procedimiento tiene una etapa de recalentamiento hueco entre 820° C y 980° C antes del paso de acabado hueco y, después de terminar los huecos, las piezas del tubo del eje, aún en forma de tubos sin soldadura, se someten a un lecho de enfriamiento.

50 Preferiblemente, antes de la etapa de forjado, los tubos sin soldadura se normalizan, en donde los tubos sin soldadura se mantienen a temperaturas entre 880° C y 950° C durante al menos 10 minutos de tiempo de remojo, y luego los tubos sin soldadura se someten a enfriamiento por aire.

55 Alternativamente, antes de la etapa de forjado, los tubos sin soldadura se enfrían, en donde el enfriamiento rápido de las piezas del tubo del eje se lleva a cabo mediante un medio seleccionado de agua y aceite. Los tubos sin soldadura se pueden templar aún más en un horno de recalentamiento, donde se mantienen a temperaturas entre 400° C y 700° C durante al menos 10 minutos de remojo, y luego las piezas del tubo del eje se someten a enfriamiento por aire.

60 Alternativamente, antes de la etapa de forjado, los tubos sin soldadura se enderezan en caliente y siguen a un lecho de enfriamiento. El procedimiento también puede comprender, antes de la etapa de forjado, una etapa de inspección de los tubos mediante pruebas no destructivas de dimensiones y discontinuidades de la superficie y/o una etapa de acabado, que comprende el mecanizado sobre toda la superficie interior de los tubos sin soldadura. Después del mecanizado, se puede realizar el rectificado de la superficie interna de los tubos sin soldadura, o incluso el pulido de la superficie interna de los tubos sin soldadura.

65 Preferiblemente, antes de la etapa de forjado, se lleva a cabo la operación de recalado, en la cual los tubos sin soldadura se calientan entre 800° C y 1300° C en la región donde se incrementará el grosor, y luego se aplica una

fuerza de compresión longitudinal en la dirección axial a través del avance de al menos una herramienta de recalado, por lo que se obtiene un tubo sin soldadura recalado.

La etapa de forjado se realiza en caliente y se puede realizar en temperaturas en el rango entre 800° C y 1300° C por medio de al menos dos matrices de curso variable que oscilan radialmente, una herramienta auxiliar de recalado y un elemento de manipulación para la traslación y rotación del tubo sin soldadura, que están controlados por control numérico computarizado o se realizan mediante forjado en frío y en caliente en un rango de temperatura de temperatura ambiente a 800° C, o mediante forjado en caliente en temperaturas entre 800° C y 1300° C en al menos una matriz que comprime axial y radialmente los extremos del tubo, transformándolo en un eje forjado. Si la forjado es en caliente, el procedimiento comprende además una etapa de enfriamiento después del forjado, en la cual el enfriamiento se realiza en un medio seleccionado de los siguientes medios: aire, aire forzado, agua y aceite.

El procedimiento puede comprender además una etapa de normalización de al menos una parte del eje, utilizando un horno para recalentar a temperaturas entre 880° C y 950° C durante al menos 10 minutos de remojo y enfriamiento en aire y/o una etapa de revenido de al menos una parte del tubo del eje, usando para la austenitización de un horno para recalentar a temperaturas entre 880° C y 950° C durante al menos 10 minutos de remojo y, para revenir, un enfriamiento rápido con agua, y/o una etapa para atemperar al menos una parte del tubo del eje, utilizando un horno para recalentar a temperaturas entre 400° C y 700° C durante al menos 10 minutos de tiempo de remojo y enfriamiento por aire.

Alternativamente, la etapa de acabado comprende al menos una de las siguientes etapas: pelar con granalla la superficie interna del tubo, enderezar el tubo, mecanizar el interior de los orificios de inspección en los dos extremos del tubo, mecanizar el achaflanado en el borde del diámetro interior de los orificios de inspección del tubo y el mecanizado de al menos dos orificios roscados y un rebaje liso en cada extremo. Después de la etapa de acabado, se puede aplicar una etapa de tratamiento térmico de revenido y atemperado a al menos una parte del eje forjado, y se lleva a cabo una etapa final de inspección de los defectos de superficie de la pieza del tubo del eje.

Finalmente, los objetivos de la invención también se logran por medio de un eje con la composición y las propiedades descritas en este documento y que se produce mediante un procedimiento del tipo descrito en este documento.

#### Breve descripción de las figuras

Para una mejor comprensión, las características y ventajas de la presente invención se presentarán y describirán junto con sus respectivas figuras, que ilustran algunas configuraciones preferidas de la invención.

La figura 1 muestra una vista frontal de una realización preferida del eje de ferrocarril tubular según la presente invención.

La figura 2 muestra una vista frontal en sección transversal de una realización preferida del eje de ferrocarril tubular según la presente invención.

La figura 3 muestra una vista frontal en sección transversal de un detalle del extremo del eje de ferrocarril tubular según la presente invención.

La figura 4 es una vista lateral izquierda del eje del ferrocarril tubular.

La figura 5 es una vista frontal en sección transversal del tubo sin soldadura y de una herramienta de recalado que se mueve axialmente.

La figura 6 es una vista frontal en sección transversal de un tubo sin soldadura después de una operación de recalado, donde se ha aumentado el grosor del extremo.

La figura 7 muestra una vista en sección transversal de un tubo sin soldadura, después de una operación de recalado, sometido a traslación y rotación, con dos matrices abiertas que oscilan radialmente y tienen un curso variable y una herramienta auxiliar de recalado axial.

La figura 8 muestra una vista frontal en sección transversal del tubo sin soldadura, después de una operación de recalado, con una matriz que comprime uno de los extremos del tubo de forma axial y radial, reduciendo su diámetro.

La figura 9 muestra una vista frontal en sección transversal de un tubo sin soldadura después de una operación de forjado en un extremo, ya sea por matriz abierta oscilante o por matriz de compresión radial y axial semiabierta.

La figura 10 muestra una vista frontal en sección transversal de un tubo sin soldadura después de las operaciones de forjado en los dos extremos, ya sea por matriz abierta oscilante o por matriz de compresión radial y axial semiabierta.

La figura 11 muestra un diagrama de flujo del procedimiento de fabricación de un eje de ferrocarril tubular según la presente invención, destacándose la realización preferida en gris.

#### Descripción detallada de la Invención

Las figuras 1 y 2 ilustran una realización preferida del eje forjado a partir de un tubo sin soldadura para vehículos ferroviarios según la presente invención, y el diagrama de flujo de la figura 11 ilustra un procedimiento preferido de fabricación de este eje. Las secciones principales del eje tubular son el gorrón o el asiento del cojinete 1, la

protección contra el polvo 2, el asiento de la rueda 3 y el cuerpo 4. La figura 2 muestra que el grosor de la pared de las secciones respectivas puede variar.

El extremo del eje del ferrocarril tubular según la presente invención se muestra resaltado en la figura 3. El eje tiene preferiblemente tres orificios roscados 5 y un rebaje 6 en cada extremo, para fijar las cubiertas de cojinetes y un chafalán 7 para soporte entre puntas cónicas con un ángulo 8. La superficie interna 9 del extremo se puede usar para acoplar sondas de inspección por ultrasonido para la inspección del gorrón 1, la protección contra el polvo 2 y, en algunos casos, de una parte del asiento de la rueda 3. La superficie interna 10 puede utilizarse para acoplar sondas de inspección por ultrasonido para la inspección del asiento de la rueda 3 y el cuerpo 4.

En la figura 4, en la que se representa una vista lateral izquierda del eje del ferrocarril tubular, se muestran tres orificios roscados 5, el rebaje 6 y el chafalán 7 para el soporte entre las puntas cónicas.

Los ejes forjados a partir de tubos sin soldadura según la presente invención se conforman según se muestra en las figuras con un grosor variable, es decir, con una distribución variable de material a lo largo de su longitud, a fin de proporcionar una mayor robustez y resistencia frente a la fatiga solo en el punto donde el eje sufre mayor carga. Esta forma ya es conocida de la técnica anterior.

Sin embargo, el eje forjado a partir de un tubo sin soldadura según la presente invención tiene un rendimiento superior al de los ejes de la misma forma conocidos por la técnica anterior, ya que comprenden un material que tiene mejores propiedades mecánicas, que todavía se potencian por medio del procedimiento de fabricación de estos ejes según la presente invención. La composición del eje forjado a partir de un tubo sin soldadura según la presente invención, así como su procedimiento de fabricación, permiten especificar adecuadamente las propiedades del material para compensar las variaciones de cargas a las que está sometido el eje.

Las propiedades químicas, mecánicas y metalúrgicas que se tienen en cuenta en este desarrollo para la adaptación del material a la aplicación son: composición química, resistencia mecánica (límite de elasticidad, resistencia a la tracción, límite de fatiga, alargamiento, dureza) y microestructura (fases y constituyentes, tamaño de grano). La mayoría de estas propiedades están interrelacionadas y asociadas a las características especificadas de los procedimientos de fabricación de tubos de acero sin soldadura laminados en caliente, forjado en caliente y tratamientos térmicos.

En base a lo anterior, se ha desarrollado una composición química para la aleación de acero metálico que compone el eje de tubo sin soldadura, el material de aleación metálica tiene una resistencia elástica mínima de 520 MPa, una resistencia a la tracción mínima de 750 MPa y un alargamiento mínimo del 16%.

Según la invención, el material de aleación metálica del eje tubular comprende del 0,32 al 0,42% en peso de carbono, y del 1,40 al 1,70% en peso de manganeso, y además puede comprender hasta el 0,020% en peso de fósforo, y/o hasta el 0,020% en peso de azufre, y/o del 0,10 al 0,35% en peso de silicio, y/o del 0,10 al 0,30% en peso de molibdeno, y/o del 0,10 al 0,45% en peso de aluminio, y/o del 0,010 al 0,050% en peso de niobio y/o del 0,05 al 0,27% en peso de vanadio.

La materia prima de la aleación de acero metálico es preferiblemente arrabio, chatarra o incluso una mezcla de cualquier proporción de arrabio y chatarra.

La tabla 2 a continuación contiene los rangos de elementos químicos que contienen la composición química del producto según una realización de la invención.

Tabla 2 – rangos de la composición química (% en peso) según una realización de la invención

% en peso	C	Mn	P	S	Si	Mo	Al	Nb	V
Min	0,22	1,10	-	-	0,10	0,10	0,10	0,010	0,05
Max	0,42	1,70	0,010	0,010	0,35	0,30	0,45	0,050	0,27

Al diseñar esta composición química, cada elemento se ajustó cuidadosamente según los criterios que se describen a continuación.

El manganeso, que es el elemento sustituto en la disolución sólida, aumenta la resistencia a medida que se agrega.

Los elementos intersticiales, como el carbono y el nitrógeno, deben reducirse con el fin de maximizar los contenidos de manganeso en disolución sólida, mejorando así la resistencia mecánica. En este sentido, elementos como el aluminio, cuya función principal es la desoxidación, pero también contribuye a la resistencia, el niobio y el molibdeno, contribuyen a eliminar los elementos intersticiales de la matriz, minimizando la formación de carburos de manganeso. Sin embargo, el contenido de carbono no debe ser muy bajo, a fin de garantizar la resistencia necesaria para su aplicación junto con los otros elementos, y para no perjudicar la capacidad de endurecimiento, ya que el

manganeso también reduce la temperatura de formación de martensita, que, por otro lado, está parcialmente compensada por el aluminio.

5 Los elementos como el azufre y el fósforo deben ser lo más bajos posible, ya que están asociados con microinclusiones y microsegregaciones, factores que reducen la resistencia a la fatiga del material. Otros elementos, como el silicio y otros ya mencionados (C, Mo, Nb), contribuyen a aumentar la resistencia mecánica mediante diversos mecanismos de endurecimiento como la disolución sólida, la precipitación de carburo y el refinamiento del grano.

10 La tabla 3 a continuación ilustra comparativamente las especificaciones de las propiedades mecánicas y el tamaño del grano según los estándares AAR ("manual AAR de normas y prácticas recomendadas - Ruedas y ejes - Ejes, acero al carbono, tratamiento térmico - Especificación M-101 - Revisión 2004") para ejes ferroviarios y sus respectivos tratamientos térmicos, así como los resultados de las propiedades técnicas y el tamaño de grano de una realización de la invención.

15 Tabla 3 - Especificaciones de propiedades mecánicas y tamaño de grano según los estándares AAR ("manual AAR de estándares y prácticas recomendadas - Ruedas y ejes - Ejes, acero al carbono, tratamiento térmico - Especificación M-101 - Revisión 2004") para ejes ferroviarios y sus respectivos tratamientos térmicos, así como los resultados de las propiedades técnicas y el tamaño de grano de una realización de la invención.

Material (tratamiento térmico)	Resistencia de elasticidad (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Alargamiento (%)	Tamaño de grano según ASTM E 112
AAR - Grado F (doble normalizado y templado)	345	610	22	>5
AAR - Grado G (enfriado y templado)	380	620	20	>5
AAR - Grado H (Normalizado, enfriado y templado)	520	790	16	>5
Resultados de una realización de la invención.	610	840	17	7-9

25 El límite de fatiga de un material se puede evaluar girando las pruebas de laboratorio de flexión a temperatura ambiente, en las que se analiza que muchas muestras fallan al determinar la curva de tensión (S) x vida (N - número de ciclos de falla) del material. Las muestras se prueban girándolas mientras se someten a una carga de flexión. Esto resulta en una tensión de flexión alterna de una manera similar a la presente en el eje a escala real. Si la carga de flexión es constante, como resultado, la relación de tensión mínima a máxima (R) es siempre -1. Se asume que hay una tensión mínima en la curva de tensión-vida (S-N) del material, tras la cual no se observa ningún fallo a medida que aumenta el número de ciclos. Esta tensión se define como límite de fatiga del material. Las muestras de eje, sometidas a prueba mediante rotación mientras se someten a una carga de flexión, según una realización de la invención muestran un límite de fatiga de 120 MPa. En otra realización de la invención, se podría obtener un límite de fatiga de 170 MPa.

30 En vista de las diferentes propiedades físicas que cada uno de estos elementos químicos imparte al material de aleación de acero, se puede ajustar la composición química de este material en función de las propiedades que debe tener el eje tubular, dependiendo de la aplicación específica en la que se utilizará. Dado que varias etapas del procedimiento de la presente invención se controlan numérica y electrónicamente, con la ayuda de un ordenador, es posible configurar este procedimiento para obtener ejes con la composición química deseada.

35 Con la ayuda del diagrama de flujo presentado en la figura 11, se presentan a continuación las etapas principales de las realizaciones preferidas y alternativas del procedimiento de fabricación del eje, que son el objetivo de la presente invención junto con el propio eje obtenido de esta manera.

40 Inicialmente, la materia prima de la aleación metálica se funde, generando un material fundido de aleación metálica de acero. La fusión de la aleación utilizada en este producto se puede realizar utilizando un convertidor LD o un horno de arco eléctrico (EAF), y como materia prima, arrabio, chatarra o la mezcla de arrabio y chatarra en cualquier proporción. El convertidor LD debe estar equipado con soplado sumergido, que permite el uso de argón y/o nitrógeno durante todo el procesamiento. Preferiblemente, esta etapa está totalmente controlada por ordenador a través de modelos estáticos y dinámicos derivados de su propio desarrollo. La medición automática de la temperatura durante el soplado y el cálculo de la adición de la aleación forman parte de este sistema. Esta rutina garantiza los contenidos bajos en fósforo y azufre necesarios para el producto.

- Luego, el acero puede someterse a un refinamiento secundario, y se realizan ajustes en la composición química, así como en el tratamiento metalúrgico con calcio-silicio. Este refinamiento secundario se lleva a cabo preferiblemente en un horno de cuchara. La adición de aleaciones, el tratamiento con silicio cálcico, el burbujeo de argón y la recolección de muestras deben realizarse en este equipo, preferiblemente, de manera totalmente automatizada. A través de este procedimiento, se garantiza la producción de acero en una gama de composición estrecha con el objetivo de alcanzar la calidad del producto. Como resultado del burbujeo de gas inerte y el uso de escoria sintética, el contenido de azufre puede alcanzar niveles bastante bajos. El refinamiento secundario en un horno de cuchara también mejora la micro limpieza, es decir, un menor número y tamaño de inclusiones, permite una mejor distribución de los elementos de aleación y un mejor ajuste de la temperatura del acero líquido.
- Después del refinamiento secundario en un horno de cuchara, el material puede desgasificarse a vacío con el fin de minimizar los contenidos de gases como oxígeno, nitrógeno e hidrógeno. En este equipo, es posible alcanzar una presión de 0,2 kPa (2 mbar), además de permitir la inyección de argón incluso bajo vacío profundo. Por lo tanto, pueden alcanzarse fácilmente niveles muy bajos de hidrógeno y oxígeno.
- El procedimiento comprende además una etapa de colada del material fundido, produciendo un producto con forma de lingote. La colada puede ser continua o convencional.
- Si se realiza la colada continua, el acero se conduce a una máquina de colada continua, que se efectuará preferiblemente con agitación electromagnética. En una realización preferida de la invención, esta máquina está equipada con bobinas de agitación electromagnéticas dobles, que proporcionan una mejor calidad del material con forma de lingote con respecto a la segregación de elementos y la porosidad central, lo que también contribuye a la resistencia a la fatiga del material.
- En el caso de que la colada se lleve a cabo de manera convencional, puede ser necesario transformar los lingotes en barras con forma de lingote de perfil redondo, antes de someter el material a perforación, el siguiente paso de producción.
- Los productos de lingote en forma de barras, producidos después de la colada continua o convencional, se someten preferiblemente a una etapa de recalentamiento auxiliar a una temperatura entre 880° C y 1300° C durante un tiempo entre 1 hora y 48 horas.
- Las barras con forma de lingote mediante colada continua o convencional también se cortan en palanquillas con una longitud adecuada antes de ser empleadas en las plantas de perforación de palanquilla.
- Después de este recalentamiento auxiliar, las barras o palanquillas que aún no tienen un perfil redondeado pueden pasar por una etapa de rodadura para formar barras de perfil redondeado.
- Antes de perforar las palanquillas, el producto con forma de lingote y, según sea el caso, también enrollado, se somete a una etapa de recalentamiento para la perforación, en la que el producto se calienta preferiblemente a una temperatura entre 1000 y 1300° C en un horno de recalentamiento adecuado.
- Luego, la perforación puede llevarse a cabo utilizando un molino de perforación de palanquilla caliente con rodillos inclinados, a través de una prensa de perforación o un procedimiento o equipo compuesto por una prensa de perforación y un molino de perforación.
- Después de este paso de perforación, se lleva a cabo el alargamiento de las palanquillas perforadas, que se puede realizar a través de un molino tipo Pilger o con un molino de mandriles (molino Plug), o un molino tipo MPM, o un molino tipo PQF, o molino tipo Assel, o a través de una prensa de extrusión. Alternativamente, puede llevarse a cabo el alargamiento de la palanquilla perforada y transformarla en una impresión hueca utilizando una forja, o cualquier otro tipo de equipo adecuado disponible en el mercado.
- Después del alargamiento, dependiendo del diseño de las instalaciones industriales, puede ser necesaria una etapa para recalentar los huecos a temperaturas entre 880 y 980° C antes de la etapa de terminar los huecos, transformándolos en tubos sin soldadura.
- Este paso de acabado hueco se puede llevar a cabo utilizando equipos del tipo de molino de acabado, por ejemplo, un molino de calibrado en caliente del tipo molino de dimensionado, un rodillo reductor de calor del tipo molino reductor, o un molino reductor de estiramiento, o un rodillo de alisado del molino tipo Reeler, este último en el caso de que se haya usado un molino tipo mandril para hacer el alargamiento de las palanquillas perforadas. Después de las etapas de alargamiento del laminado en caliente, los tubos sin soldadura se someten a un enfriamiento intermedio, preferiblemente a temperatura ambiente.
- En una realización preferida de la invención, las palanquillas se enrollan mediante laminación automática (molino Plug), para tubos con un diámetro exterior de 168,3 y 365,1 mm (6 a 14 pulgadas).

- 5 En una realización preferida de la invención, en laminación automática, la palanquilla se recalienta en un horno de vigas a temperaturas entre 1100 y 1300° C, o incluso entre 1000 y 1200° C. Luego, la palanquilla inicia una etapa de laminado en caliente, en el que se perfora en un molino de rodillos inclinado. Después de la perforación, la palanquilla perforada se denomina impresión hueca, que se transporta a una etapa de alargamiento a través de laminado en caliente, preferiblemente por medio de un molino con mandriles (molino Plug), cuando un grosor de pared es lo bastante cercano al especificado para el producto final, controlando las aberturas del cilindro, las aberturas de guía y la posición del mandril.
- 10 Luego, el hueco resultante de este procedimiento pasa a través del laminado en caliente una vez más, preferiblemente con un molino de acabado de alisado (molino Reeler), que realiza el alisado interno y externo del tubo sin soldadura con la expansión del diámetro exterior.
- 15 El hueco se lleva a un enfriamiento intermedio, se recalienta y se somete a un laminado final en un molino de acabado.
- 20 Al final del procedimiento de producción de los tubos sin soldadura, se conducen a lechos de enfriamiento y pueden seguir diferentes formas, según el estado de la materia prima requerida para el forjado: laminado, normalizado o enfriamiento y templado, o incluso una combinación de los mismos.
- 25 Los tubos sin soldadura, cuando todavía están en estado enrollado para ser forjados más tarde, preferiblemente se enderezan en caliente en una máquina enderezadora rotativa con tres pares de rodillos y luego siguen hasta un lecho de enfriamiento. La posterior forjado se puede realizar en frío, en templado o en caliente.
- 30 Los tubos sin soldadura que siguen el curso de normalización permanecen en el lecho para enfriarse hasta su transformación completa antes de ser recalentados, preferiblemente en un horno de vigas a una temperatura que oscila entre 880 y 950° C durante al menos 10 minutos de remojo. Luego, las piezas de tubo del eje se someten a un enfriamiento por aire.
- 35 Los tubos sin soldadura que siguen el curso de enfriamiento se recalientan hasta una temperatura que oscila entre 880 y 950° C durante al menos 10 minutos de tiempo de remojo. Luego, las piezas de tubo del eje se someten a un enfriamiento por agua o aceite.
- 40 Los tubos sin soldadura previamente enrollados, o los tubos normalizados o enfriados que siguen el curso de revenido se someten a un enfriamiento rápido, preferiblemente hecho con agua o aceite.
- 45 Los tubos sin soldadura que siguen el curso de templado se calientan en un horno de recalentamiento, donde se mantienen a temperaturas entre 400 y 700° C durante al menos 10 minutos de remojo, y luego se someten a enfriamiento por aire.
- 50 Después de los tratamientos térmicos y antes del forjado, los tubos se enderezan en caliente, por ejemplo, en una máquina de enderezado rotativa.
- 55 Después de enfriar y enderezar, los huecos o tubos sin soldadura se envían a pruebas de inspección no destructivas en cuanto a dimensiones y discontinuidades. Cada pieza se mide y los resultados se registran con respecto al grosor de la pared, el diámetro exterior y la longitud. También se analizan las discontinuidades externas e internas, longitudinales, transversales y posiblemente oblicuas. Las piezas que muestran desviaciones de las tolerancias se marcan automáticamente para la segregación de los segmentos con indicación de desviación. Las pruebas de inspección no destructivas pueden realizarse por medio de ultrasonido con haz sónico de ángulo fijo, o incluso por medio de ultrasonido con un haz sónico de ángulo variable, o por medio de corrientes de Foucault, o incluso por medio de partículas magnéticas.
- 60 En el siguiente paso de la inspección visual y dimensional, las piezas que muestran discontinuidades o desviaciones fuera de los límites de tolerancia se marcan para la segregación de los segmentos con las desviaciones respectivas. Luego, las piezas se cortan para obtener submúltiplos y eliminar los segmentos marcados previamente para la segregación. Un sistema de rastreo supervisa y registra los diversos parámetros de operación necesarios para garantizar la calidad del producto a lo largo del curso entre el recalentamiento de la palanquilla y su corte final en submúltiplos.
- 65 Dependiendo de las especificaciones de diseño del eje para cumplir determinadas aplicaciones, con el fin de eliminar posibles imperfecciones geométricas generadas en el procedimiento de fabricación del tubo sin soldadura y mejorar la rugosidad interna, también puede ser necesario realizar el acabado en los huecos antes del forjado. Este acabado se realiza preferiblemente mediante mecanizado en una parte o sobre toda la superficie interior del tubo, y/o rectificado de la superficie interna del tubo, y/o pulido de la superficie interna del tubo con el equipo apropiado, antes de la reducción de los extremos por forjado. Pueden llevarse a cabo estas etapas de forma aislada o mediante cualquier combinación de estas etapas de acabado, o incluso todos estos pasos sucesivamente en el mismo tubo.

Los tubos sin soldadura o huecos producidos en la laminación en caliente, tratados térmicamente o no, con acabado interno o no, se conducen a forjado. En una realización preferida de la invención, ilustrada en la figura 7, la etapa de forjado se hace en caliente y se puede llevar a cabo a temperaturas en el rango entre 800° C y 1300° C por medio de dos o más matrices abiertas 14, que oscilan radialmente y que presentan un curso variable, una herramienta auxiliar de recalco 15 y un elemento de manipulación (no mostrado) para la traslación y rotación del tubo sin soldadura, que puede ser controlado por un control numérico asistido por ordenador. De esta manera, se obtiene el tubo forjado de partida 17 como se muestra en la figura 10, con los dos extremos forjados, o como se muestra en la figura 9 con solo un extremo forjado.

Alternativamente, y según la figura 8, el forjado se realiza mediante una o más matrices semiabiertas 16, que comprimen axial y radialmente al menos uno de los extremos del tubo, reduciendo el diámetro del mismo y transformándolo en un eje forjado de partida, como se muestra en las figuras 9 y 10. Durante esta etapa, el eje preferiblemente permanece suspendido por un soporte, como por ejemplo, un gancho. Este soporte no actúa en la conformación del eje tubular y solo sirve para mantenerlo mientras las matrices comprimen los extremos del mismo, para impartir la forma deseada al eje tubular. Este modo de forjado se puede llevar a cabo frío, templado o caliente, según se considere más apropiado. El forjado en frío o el forjado en caliente se realizan en un rango de temperatura entre la temperatura ambiente y 800° C y el forjado en caliente se realiza en temperaturas entre 800° C y 1300° C.

El procedimiento de forjado se puede realizar con otro tipo de equipo, sin los medios descritos anteriormente, pero el acabado de la superficie y las tolerancias de dimensiones pueden no ser adecuados para el producto. En los casos en los que se hace forjado en caliente, el calentamiento del extremo de la pieza de tubo o el hueco que va a forjarse se realiza preferiblemente a través de un horno de inducción eléctrica, pero puede hacerse en un horno de combustión. Cuando se alcanza la temperatura deseada, el hueco se coloca en un elemento de manipulación, que lleva a cabo las operaciones de avance y rotación con el mismo, mientras que las matrices de forjado abiertas 14, también llamadas martillos, oscilan radialmente a una alta frecuencia, con un curso variable, como se muestra en figura 7. La combinación de estos movimientos permite la formación del extremo hueco según el perfil dimensional especificado en el diseño, como se muestra en la figura 9. El procedimiento se repite para el extremo opuesto de cada hueco, definiendo así un eje forjado de partida a partir de un tubo sin soldadura, como se muestra en la figura 10.

Dependiendo de las especificaciones de diseño del eje para cumplir con determinadas aplicaciones, puede ser necesario un aumento localizado del grosor, además del resultado de la operación de forjado citada anteriormente. En este caso, antes de forjar, se realiza una operación de recalco, que consiste en el calentamiento localizado del tubo sin soldadura 11 en un rango de temperatura entre 800° C y 1300° C con un horno de inducción en la región donde se desea aumentar el grosor, seguido por la aplicación de una fuerza longitudinal de compresión a través del avance de la herramienta de recalco 12 sobre el tubo sin soldadura 11, como se muestra en la figura 5. Después de esta etapa, se obtiene el tubo recalco 13, como se muestra en la figura 6.

Si el forjado del eje tubular se realiza en caliente, después del forjado, los ejes aún se ven sometidos a una etapa de enfriamiento, que puede realizarse con aire, aire forzado, agua o aceite.

Las vigas del eje pueden seguir vías diferentes, según el estado de suministro requerido para la obtención de beneficios, por ejemplo, forjado o tratado térmicamente, para el ajuste de la microestructura y de las propiedades mecánicas según las especificaciones. El tratamiento térmico puede ser integral, es decir, sobre toda la viga, o parcial, ubicado solo en una región específica, por ejemplo, los extremos forjados. En este último caso, el cuerpo del eje permanece con las propiedades mecánicas y la microestructura de los huecos.

Las vigas que obtendrán beneficios en el estado forjado continúan directamente a la operación de mecanizado. Las vigas que se someterán a un tratamiento térmico se dirigen a los hornos respectivos: tratamiento en regiones localizadas (hornos de inducción u hornos especialmente diseñados para este fin) y tratamiento en toda la pieza (hornos de inducción, hornos continuos o en lotes).

Las operaciones de tratamiento en ambos casos (parcial o integral) son las mismas.

En el tratamiento térmico normalizado sobre todo el eje o una parte del mismo, la reaustenitización se realiza a una temperatura entre 880° C y 950° C sobre todo el eje tubular o solo una parte del mismo. El tiempo dentro del horno depende del grosor de la pared y se define para garantizar que toda la sección transversal supere la temperatura de austenitización. Preferiblemente, el tiempo de remojo en el rango de temperatura especificado es de al menos 10 minutos. El enfriamiento se realiza con aire inmediatamente después de la zona de calentamiento.

El templado se realiza en todo el eje tubular o solo en una parte del mismo, en un rango de temperatura entre 400° C y 700° C. El tiempo de residencia del horno depende del grosor de la pared y se define para garantizar que toda la sección transversal alcance la temperatura de templado. Preferiblemente, el tiempo de remojo en el rango de temperatura especificado es de al menos 10 minutos. El enfriamiento se realiza con aire inmediatamente después de la zona de calentamiento.

Las vigas que se someten a un tratamiento de normalización y templado en una región localizada o en toda su longitud, se someten a los dos tratamientos mencionados anteriormente, en esta secuencia, mientras que los que se someten a normalización o templado reciben solo uno de los tratamientos respectivos.

5 Las vigas que se someten a revenido en todo el eje tubular, o solo en una parte del mismo, después del forjado, se someten inicialmente a un tratamiento térmico de reaustenitización a una temperatura que oscila entre 880° C y 950° C, durante un período de remojo de menos 10 minutos. Después de la reaustenitización, la región del eje sometida al tratamiento térmico (parcial o integral) se descalcifica y se enfría con agua o aceite (fluido de revenido).

10 Después del revenido, el eje tubular también puede templarse según el nivel de resistencia requerido, mediante una etapa de templado, como se describió anteriormente, un tiempo de remojo mayor o igual a 10 minutos. El templado también se puede realizar después de la normalización.

15 En realizaciones alternativas de la invención, para beneficiar al eje tubular, se puede someter a una combinación cualquiera de las etapas de normalización, revenido y templado.

20 La microestructura para la composición química desarrollada y para las velocidades de enfriamiento típicas, excepto cuando se somete a revenido, está constituida predominantemente por bainita, además de ferrita, perlita y posiblemente una fracción menor de martensita.

25 Para el material templado y templado, la microestructura prevista está compuesta predominantemente por martensita templada y puede contener pequeñas cantidades de bainita, ferrita y perlita, dependiendo del grosor de la pared.

Después de ser sometidos a un tratamiento térmico, las vigas se someten a las operaciones de acabado.

30 Dependiendo de las especificaciones de diseño del eje para cumplir con determinadas aplicaciones, y alternativamente en los diferentes acabados mecanizados interiores aplicables antes del forjado, se puede realizar un granallado en las superficies internas 9 y 10 del eje que se muestra en la figura 3, después del forjado. Además de la eliminación de la capa de óxido formada en los posibles tratamientos térmicos, el granallado forma una capa superficial delgada de un material endurecido en frío sometido a tensiones de compresión residuales. Esta capa inhibe la nucleación y la propagación de defectos de superficie, tales como grietas, lo que contribuye a la resistencia a la fatiga del eje.

35 Como pasos de acabado, también se puede realizar el enderezamiento del eje tubular, el mecanizado interior de los orificios de inspección en los extremos del eje tubular, el mecanizado de un chaflán 7 en el borde del diámetro interior de los orificios de inspección del tubular eje, y el mecanizado de al menos dos orificios roscados y rebajados suavemente 6, en cada extremo. Según la presente invención, pueden llevarse a cabo todas estas etapas de acabado, o incluso una combinación sucesiva de cualquiera de estas etapas, dependiendo de la forma del eje y de las características de la superficie interna del eje que desean fabricarse.

40 El enderezamiento se realiza en equipos manuales o automáticos para evitar problemas de falta de material en el mecanizado, la excentricidad entre los diámetros exterior e interior y el consiguiente desequilibrio.

45 El material se elimina mecanizando toda la superficie exterior para obtener las dimensiones especificadas en el diseño.

50 En la superficie interior de los extremos forjados, se elimina el material mediante mecanizado, según las dimensiones especificadas en el diseño. Esta región puede alojar una cubierta y permite el acoplamiento de cabezales de ultrasonido para inspeccionar el gorrón del eje 1 debajo del asiento de cojinete y el radio de transición a la sección de la protección contra el polvo 2 en la figura 1. La inspección por la superficie interna proporciona una incidencia directa (sin reflexión) y un recorrido corto del haz sónico, principalmente en la región del gorrón del eje, a menudo sometido a daños relacionados con el soporte de sus accesorios. Esto facilita la detección de discontinuidades en las etapas iniciales, que no se detectarían con los métodos habituales.

55 Además de estas regiones, se pueden inspeccionar otras partes del eje desde la superficie interna, como el asiento de la rueda y el cuerpo del eje; simplemente retirando la cubierta e introduciendo una sonda con un cabezal de inspección reducido y medios de acoplamiento apropiados (agua, gel, láser, etc.).

60 Habitualmente, se requieren tres orificios roscados 5, circunferencialmente equidistantes en cada extremo, para la fijación de los tornillos de las cubiertas de cojinete, la posición y el diámetro de estos orificios están normalizados.

65 Para permitir la fijación y la centralización del eje entre las puntas de un torno, se ha creado un chaflán 7 en el borde del diámetro interior del extremo, cuyo ángulo total es el mismo que el del soporte del torno. Sin embargo, es necesario que el diámetro de la contra-punta sea compatible con el diámetro interior del extremo del eje tubular, ya que este diámetro es mayor que el establecido normalmente en las normas para el eje macizo equivalente, como en las normas de la Asociación Americana de Ferrocarriles (AAR).

- 5 Como en algunos casos el diámetro interior del orificio del extremo del eje no es suficiente para evitar la interferencia del chaflán 7 con los orificios roscados 5, se ha introducido un rebaje liso opcional 6 al principio de cada orificio roscado 5. Esto garantiza la aplicación de las cubiertas normalizadas existentes garantiza la intercambiabilidad de estos ejes.
- 10 El acabado especificado en algunas superficies se cumple en estado bruto o mecanizado, pero hay regiones que deben ser rectificadas, como el radio de transición del gorrón del eje y de la protección contra el polvo, para atenuar la concentración de tensión, reducir el tamaño y la frecuencia de las discontinuidades y para mejorar la resistencia a la fatiga.
- 15 Estas y otras regiones del eje pueden someterse a técnicas que introducen tensiones residuales de compresión, como el efecto de ruleta o granallado, ya que estas tensiones contribuyen a aumentar la resistencia a la fatiga.
- 20 Después de las etapas de acabado del eje, el procedimiento según la invención puede comprender además, cuando sea necesario, una etapa de tratamiento térmico, que puede llevarse a cabo antes de una inspección final del producto. El tratamiento térmico comprende preferiblemente revenido y templado de al menos una parte del eje tubular, es decir, se puede llevar a cabo, por ejemplo, solo en los extremos mecanizados del eje o incluso sobre todo el eje.
- 25 El gorrón del eje y/o el asiento de la rueda se pueden revenir localmente con la ayuda de un horno de inducción para el calentamiento y se pulverizan con agua para un enfriamiento rápido. Esta técnica (ya utilizada en el gorrón de ejes de carretera) aumenta significativamente la dureza y la resistencia de una zona de superficie al cambiar la microestructura del acero, que se vuelve predominantemente martensítica. Estas propiedades elevan la resistencia a la fatiga y la resistencia a la fricción, fenómenos presentes en estas regiones y generalmente asociados con fallas en los ejes del ferrocarril. Debido al revenido, es necesario atemperar la región revenida.
- 30 La inspección final mediante pruebas no destructivas de discontinuidades puede realizarse por medio de ultrasonido con un haz sónico de ángulo fijo, o incluso por ultrasonido con un haz sónico de ángulo variable, o por medio de corrientes de Foucault, o incluso por medios de partículas magnéticas.
- 35 El procedimiento descrito en la presente memoria es capaz de minimizar el desperdicio de materia prima, reduciendo aún más los costes de fabricación del eje tubular de la presente invención.
- 40 El procedimiento según la presente invención es capaz de producir ejes de ferrocarril con un peso de aproximadamente 40% menos con respecto a los ejes macizos. Al mismo tiempo, en virtud de las ventajas aportadas por la composición específica de la aleación metálica utilizada para la fabricación de este eje, que se potencian aún más por las particularidades del procedimiento de fabricación de estos ejes, la presente invención proporciona un eje tubular con mayor resistencia y resistencia a la fatiga, que presenta un bajo peso y, como resultado, una eficiencia energética optimizada.
- 45 El uso de herramientas para inspeccionar la calidad del eje y detectar irregularidades en la superficie del eje permite un control mucho más preciso sobre la calidad de las piezas producidas, lo que permite reducir considerablemente el margen de error y la producción de tubos defectuosos, y corregir y eliminar determinados defectos formados en algunos ejes a lo largo de este procedimiento de fabricación. Este efecto también se logra mediante el control estadístico asistido por ordenador en algunas etapas del procedimiento, lo que también imparte mayor precisión al procedimiento, reduciendo el número de defectos en los tubos y la variabilidad de la variabilidad mecánica y microestructural del producto.
- 50 En vista de las diferentes etapas alternativas del procedimiento según la presente invención, por ejemplo, antes del forjado, o en las etapas de acabado del eje, es posible producir, por medio del procedimiento según la presente invención, ejes con diferentes propiedades físicas, que pueden ser más adecuados para diferentes condiciones de aplicación en el transporte ferroviario. Combinando las ventajas proporcionadas por el material utilizado en la formación de los ejes tubulares con las ventajas proporcionadas por el procedimiento de fabricación, la presente invención es capaz de lograr todos los objetivos deseados, produciendo ejes de bajo coste, que, sin embargo, tienen una mejor resistencia y resistencia a la fatiga, y con poco desperdicio de material.
- 55

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para fabricar un eje que tiene un grosor variable forjado a partir de un tubo de acero sin soldadura para vehículos ferroviarios, caracterizado por que comprende las siguientes etapas:

- fundir un material de aleación de metal, generando el material de aleación de acero metálico, teniendo el material de aleación de acero metálico generado la siguiente composición:

del 0,32 al 0,42% en peso de carbono;  
del 1,40 al 1,70% en peso de manganeso,

opcionalmente  
hasta el 0,020% en peso de azufre,  
hasta el 0,020% en peso de fósforo,  
del 0,10 al 0,45% en peso de aluminio,  
del 0,10 al 0,35% en peso de silicio,  
del 0,10 al 0,30% en peso de molibdeno,  
del 0,010 al 0,050% en peso de niobio,  
del 0,05 al 0,27% en peso de vanadio,  
siendo el equilibrio hierro;

- la colada del material fundido, lo que forma productos con forma de lingotes;  
- el recalentamiento para la perforación de los productos con forma de lingotes en un horno de recalentamiento;  
- el perforado de los productos con forma de lingotes;  
- el alargamiento de los productos perforados, lo que forma impresiones huecas;  
- el acabado de los huecos, transformándolos en tubos sin soldadura;  
- el forjado de los tubos sin soldadura, transformándolos en ejes forjados a partir de tubos sin soldadura para vehículos ferroviarios,

en el que el eje tubular fabricado tiene las propiedades de: un límite de elasticidad mínimo de 520 MPa, una resistencia a la tracción mínima de 750 MPa y un alargamiento mínimo del 16%.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por que** comprende, después de la etapa de fusión, una etapa de refinamiento secundario en un horno de pote, en el que se realizan ajustes en la composición química de la aleación de metal y se lleva a cabo un tratamiento metalúrgico con silicio de calcio, y/o después de la etapa de refinamiento secundario, se realiza una etapa de desgasificación al vacío y/o la etapa de colada bajo agitación electromagnética, y/o después de la etapa de colada, el producto con forma de lingote se somete a una etapa de recalentamiento auxiliar a una temperatura de 880° C a 1300° C durante un tiempo entre 1 y 48 horas, y/o después de la etapa de recalentamiento auxiliar, se lleva a cabo una etapa de laminación y/o la etapa de recalentamiento para la perforación de los productos con forma de lingotes en un horno de recalentamiento a temperaturas entre 1000° C y 1300° C, y/o se lleva a cabo una etapa de recalentamiento del hueco entre 820° C y 980° C antes de la etapa de acabado de los huecos y/o después de la etapa de acabado, los tubos sin soldadura se someten a un lecho de enfriamiento y/o tubos sin soldadura se templan en un horno de recalentamiento, donde se mantienen a temperaturas entre 400° C y 700° C durante al menos 10 minutos de tiempo de remojo, y luego se someten a enfriamiento por aire.

3. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, **caracterizado por que** antes de la etapa de forjado, los tubos sin soldadura se normalizan, en donde se mantienen a temperaturas entre 880° C y 950° C durante al menos 10 minutos de tiempo de remojo y luego se someten a enfriamiento por aire.

4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, **caracterizado por que** antes de la etapa de forjado, los tubos sin soldadura se someten a revenido, en donde los tubos sin soldadura se mantienen a temperaturas entre 880° C y 950° C durante al menos 10 minutos de tiempo de remojo, y luego se lleva a cabo el temple de los tubos del eje por un medio seleccionado de agua y aceite.

5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que**, antes de la etapa de forjado, los tubos sin soldadura se enderezan en caliente y siguen a un lecho de enfriamiento y/o comprenden, antes de la etapa de forjado, una etapa de inspección de los tubos mediante pruebas no destructivas para determinar las dimensiones y discontinuidades de la superficie y/o que comprende, después de la etapa de inspección, una etapa de acabado que comprende el mecanizado de toda la superficie interior de los tubos sin soldadura y/o antes de la etapa de forjado, se realiza una etapa de recalado, en la que los tubos sin soldadura (11) se calientan entre 800° C y 1300° C en la región donde se incrementará el grosor, y luego se aplica una fuerza longitudinal de compresión en la dirección axial de los tubos sin soldadura (11) al avanzar una herramienta de recalado (12) y/o se lleva a cabo la etapa de forjado a temperaturas en el rango entre 800° C y 1300° C por medio de al menos dos matrices abiertas (14) que oscilan radialmente y tienen un curso variable, una herramienta auxiliar de recalado (15) y un elemento de manipulación para la traslación y rotación del tubo sin soldadura (13), que pueden controlarse mediante un control

- numérico asistido por ordenador, o la etapa de forjado se realiza en un rango de temperatura de temperatura ambiente a 1300° C por medio de una matriz (16) que comprime axial y radialmente al menos uno de los extremos (13) del tubo, reduciendo su diámetro y transformándolo en un eje forjado, y/o si el forjado se hace en caliente, el procedimiento comprende además una etapa de enfriamiento después de la forja, en la cual el enfriamiento se realiza en un medio seleccionado de los siguientes medios: aire, aire forzado, agua y aceite, y/o que comprende una etapa para normalizar al menos una parte del tubo del eje, utilizando un horno para calentar hasta temperaturas entre 880° C y 950° C durante al menos 10 minutos de tiempo de remojo y enfriamiento en aire, y/o que comprende una etapa para revenir al menos una parte del tubo del eje, utilizando, para la austenitización, un horno para calentar hasta temperaturas entre 880° C y 950° C para Menos de 10 minutos de tiempo de remojo y, para el revenido, un enfriamiento rápido en agua. y/o que comprende una etapa para atemperar al menos una parte del tubo del eje, utilizando un horno para recalentar hasta temperaturas entre 400° C y 700° C, durante al menos 10 minutos de tiempo de remojo y enfriamiento en aire, y/o la etapa de acabado comprende al menos una de las siguientes etapas: granallar la superficie interna del tubo, enderezar el tubo, mecanizar internamente los orificios de inspección en los dos extremos del tubo, mecanizar el chaflán (7) en el borde del diámetro interior de los orificios de inspección del tubo, y mecanizar al menos dos orificios roscados y rebajados suavemente (6) en cada extremo.
- 5
- 10
- 15
6. Procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado por que** después del mecanizado, se realiza un rectificado de la superficie interna de los tubos sin soldadura.
- 20
7. Procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado por que** después del mecanizado, se realiza el pulido de la superficie interna de los tubos sin soldadura.
- 25
8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado por que** comprende, después de la etapa de acabado, una etapa de tratamiento térmico de revenido y temple, aplicada a al menos una parte del eje forjado.
- 30
9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado por que** comprende, después de la etapa de acabado, una etapa de inspección no destructiva para detectar defectos superficiales en el eje forjado.
- 35
10. Eje forjado a partir de un tubo de acero sin soldadura para vehículos ferroviarios, **caracterizado por que** se produce mediante un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.
11. Eje según reivindicación 10, **caracterizado por que** muestra un límite mínimo de fatiga de 120 MPa.
12. Eje según cualquiera de las reivindicaciones 10 u 11, **caracterizado por que** muestra un límite mínimo de fatiga de 170 MPa.

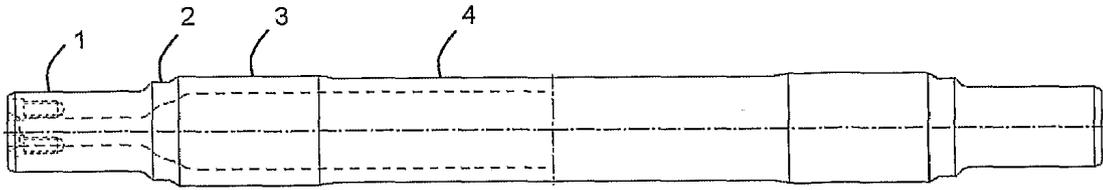


Fig. 1

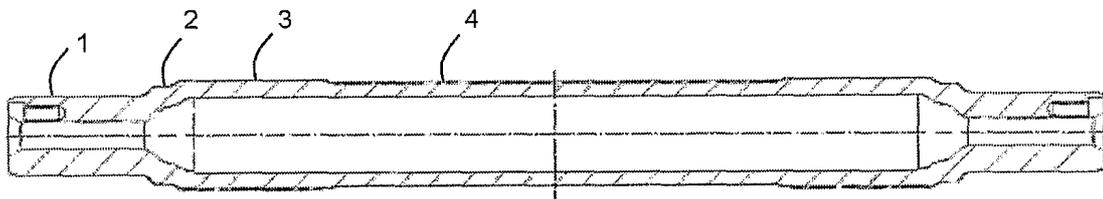


Fig. 2

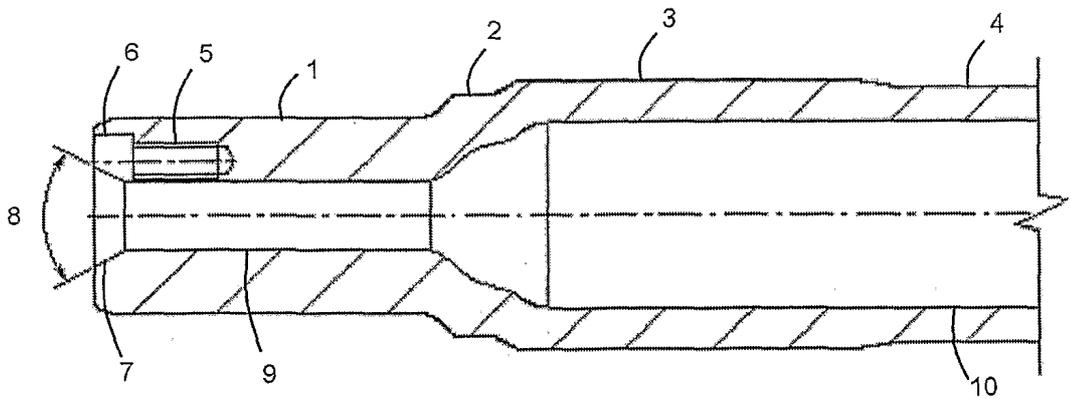


Fig. 3

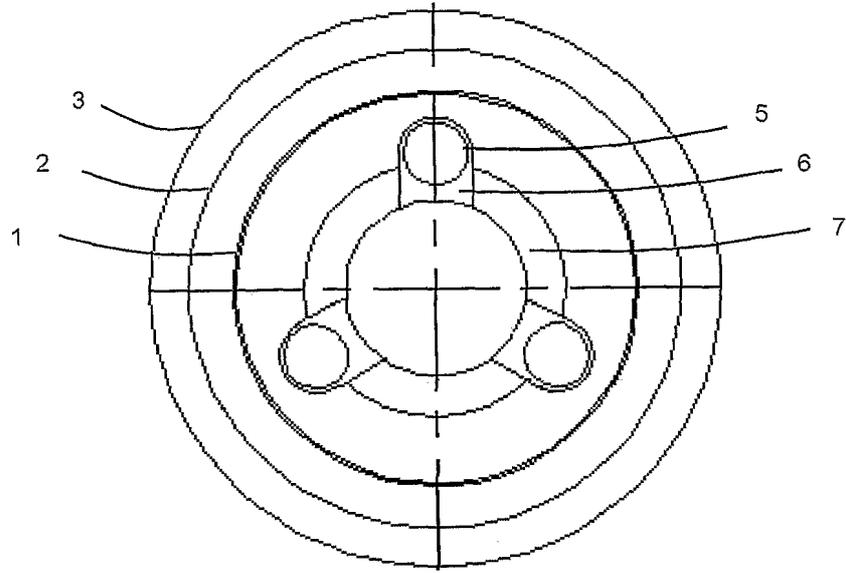


Fig. 4

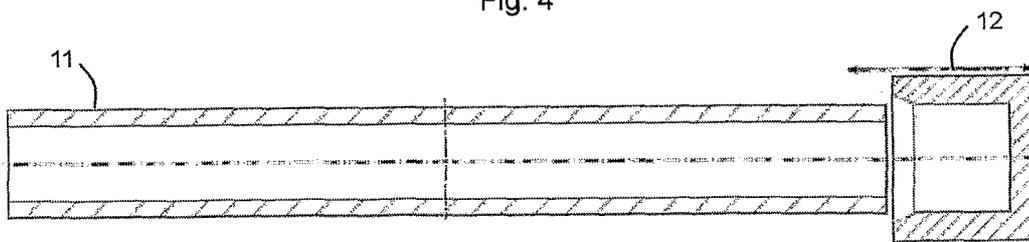


Fig. 5

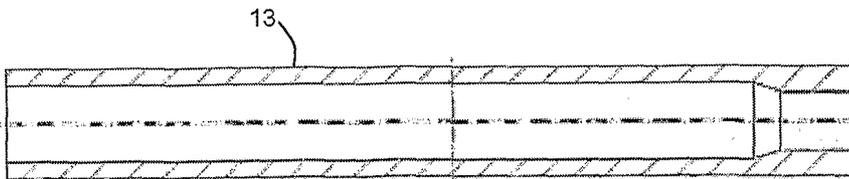


Fig. 6

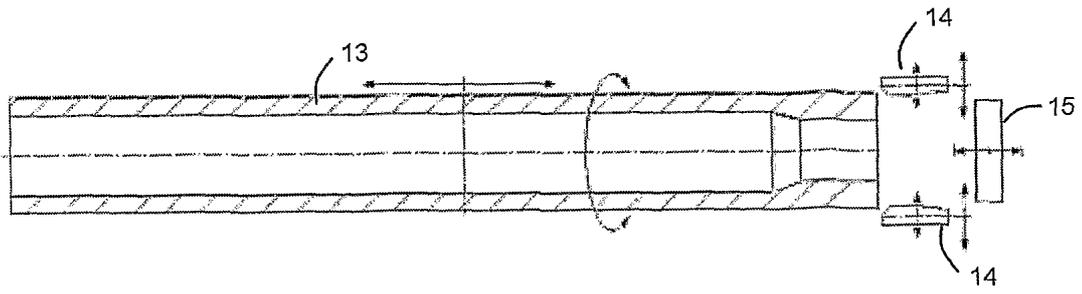


Fig. 7

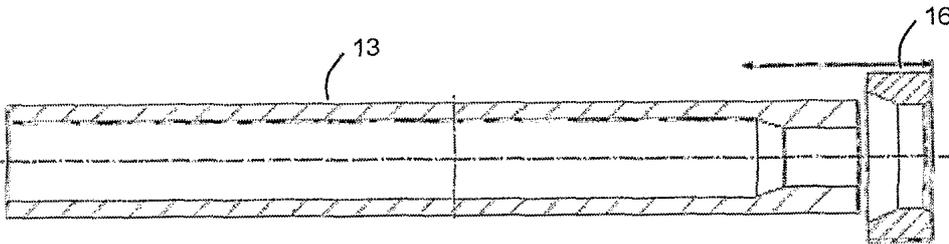


Fig. 8

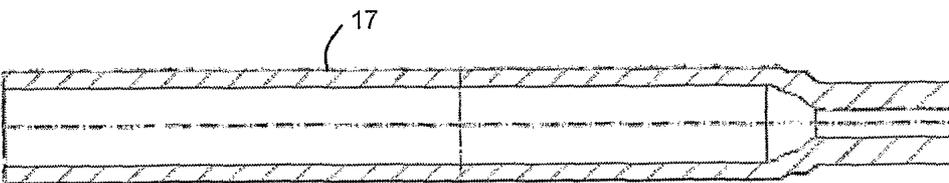


Fig. 9

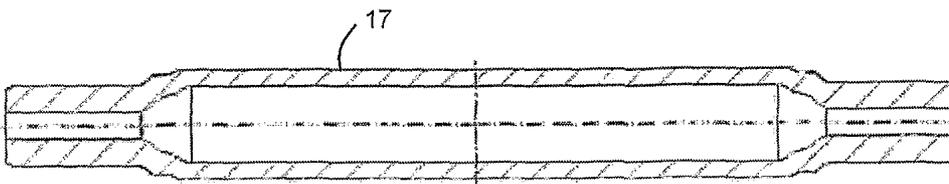


Fig. 10

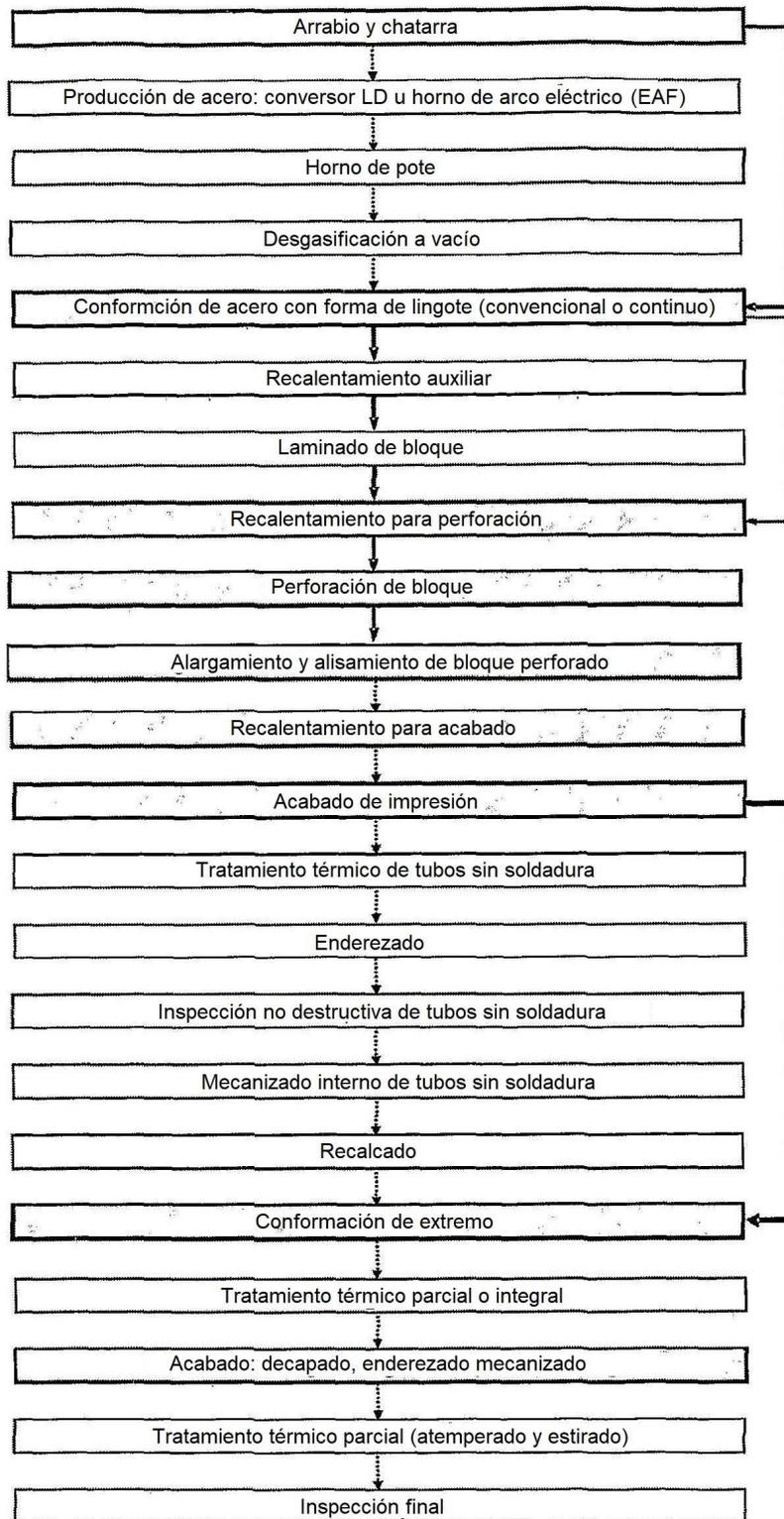


Fig. 11