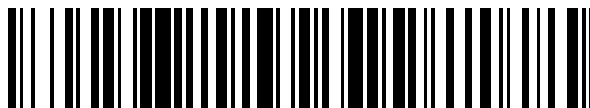


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 498 540**

21 Número de solicitud: 201330404

51 Int. Cl.:

B21C 23/00

(2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

20.03.2013

43 Fecha de publicación de la solicitud:

24.09.2014

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA (100.0%)
CAMPUS DE ARROSADIA, s/nº
31006 PAMPLONA (Navarra) ES**

72 Inventor/es:

**LUIS PÉREZ, Carmelo Javier;
SALCEDO PÉREZ, Daniel;
LEÓN IRIARTE, Javier;
LUIRI IRIGOYEN, Rodrigo;
PUERTAS ARBIZU, Ignacio y
FUERTES BONEL, Juan Pablo**

74 Agente/Representante:

ILLESCAS TABOADA, Manuel

54 Título: **PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN DE ELEMENTOS MECÁNICOS DE GEOMETRÍA HUECA CON ESTRUCTURA SUBMICROMÉTRICA O NANOMÉTRICA**

57 Resumen:

Procedimiento de fabricación de elementos mecánicos de geometría hueca con estructura submicrométrica o nanométrica.

La presente invención se refiere a un procedimiento de fabricación de elementos mecánicos de estructura de grano submicrométrica y/o nanométrica, que tienen geometría interior hueca, y denominados de forma genérica como anillos. Dicho procedimiento comprende, preferentemente, el procesado de preformas de un material de partida mediante deformación plástica severa (SPD) por extrusión en canal angular (ECAE), y el posterior forjado isotérmico de dicha preforma procesada, mediante la aplicación de una matriz de estampación de forjado configurada para aplicar una geometría hueca a la preforma mediante su forjado. Los elementos mecánicos obtenidos mediante el procedimiento de la invención presentan propiedades mecánicas mejoradas en cuanto a mayor resistencia, dureza o tenacidad, así como propiedades funcionales mejoradas, derivadas de su estructura submicrométrica y/o nanométrica.

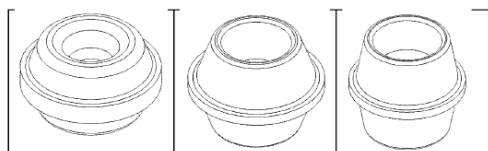


Fig. 2

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de fabricación de elementos mecánicos de geometría hueca con estructura submicrométrica o nanométrica.

5

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere al sector técnico de la industria metalmecánica. Más concretamente, la invención se enmarca dentro de las técnicas de formación de piezas mecánicas mediante forjado industrial isotérmico, a partir de materiales de partida sometidos a deformación plástica severa.

10

ESTADO DE LA TÉCNICA ANTERIOR

En la actualidad existe un alto interés por el desarrollo de materiales de estructuras de grano submicrométricas y/o nanométricas, ya que dichas estructuras presentan propiedades físicas y funcionales (como por ejemplo, su resistencia mecánica, su límite elástico y su dureza) que resultan atractivas para su aplicación industrial. Es por ello que, en los últimos años, ha existido un interés creciente en el desarrollo de estos materiales, que ha llevado a la propuesta de diversos procedimientos para su obtención. Entre estos procedimientos caben destacarse las técnicas de extrusión en canal angular (en inglés, Equal Channel Angular Extrusion/Presing, ECAE/ECAP). El proceso de extrusión en canal angular (ECAE) fue propuesto inicialmente por V.M. Segal (*V.M. Segal et al., Russian Metallurgy, Vol. 1, 1981, pp. 99-105*) y se ha aplicado a un gran número de materiales, con objeto de obtener materiales procesados de estructura submicrométrica y/o nanométrica. Algunos ejemplos relevantes de estas técnicas pueden consultarse en los siguientes trabajos: (R.Z Valiev et al., *Progress in Materials Science, Vol. 45 (2)2, 2000, pp. 103-189*); (A. Azushima et al., *CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 57, Issue 2, 2008, pp. 716-735*) y (R. Z. Valiev et al., *Progress in Materials Science, Volume 51, Issue 7, pp. 881-981*).

15

Sin embargo, a pesar del gran número de trabajos científicos que existen en relación con la mejora de propiedades de los materiales que han sido procesados mediante deformación plástica severa (en inglés, "Severe Plastic Deformation", o SPD) las aplicaciones industriales de dichos materiales son mucho más reducidas.

20

Aunque existen en la literatura diferentes trabajos relativos a la forja de diversas aleaciones de metales, existen pocos intentos recogidos en la bibliografía sobre piezas o tochos de materiales de partida que hayan sido deformados mediante procesos de SPD y, posteriormente, sometidos a algún tipo de proceso de forjado. Al respecto cabe señalar los siguientes: (P.K. Chaudhury et al., *Materials Science and Engineering: A, 410-411, 2005, pp. 316-318*, donde se fabrica una pieza maciza a partir de material previamente deformado por SPD), (J.H. Lee et al. *CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 57 (1), 2008, pp. 261-264*, en el que se aborda la fabricación de un rodete macizo), (W.J. Kim et al., *Materials Science and Engineering: A, 487 (1-2), 2008, pp. 360-368*, en el que se aborda la fabricación de un micro-engranaje de aproximadamente un milímetro de radio, también macizo, empleando en este caso un proceso de extrusión).

35

40

A diferencia de todos los trabajos anteriores, que están destinados a la obtención de elementos macizos, la presente invención está específicamente orientada a la obtención de elementos mecánicos o piezas que tengan geometría interior hueca (denominados dichos elementos, de forma genérica, como "anillos"), preferentemente con simetría de revolución respecto a su eje longitudinal, que presenten propiedades físicas y funcionales mejoradas frente a otros elementos con geometría interior hueca del estado de la técnica. Como se verá a continuación,

45

50

la obtención de dichos elementos mediante el procedimiento descrito en la presente invención mejora, además de las propiedades de las piezas finales, también las condiciones del propio proceso de forjado frente a otros métodos del estado de la técnica.

5 DESCRIPCIÓN BREVE DE LA INVENCION

El objeto de la presente invención es la obtención de elementos mecánicos mejorados, mediante la aplicación de materiales obtenidos a través de SPD por ECAE a técnicas industriales de producción de elementos mecánicos, empleándose estos materiales como material de partida para procesos de forjado isotérmico que posibiliten la obtención de elementos finales con geometría interior hueca, y que presenten estructura de grano submicrométrica y/o nanométrica. Dentro de estos elementos mecánicos se engloban, entre otros, a los siguientes: anillos, carcasas interiores y exteriores para rodamientos, cojinetes lisos, anillos de guiado, acoplamientos rígidos, bridas, anillas de elevación o anillos de rozamiento, así como cualesquiera otros elementos mecánicos que presentan sección interior hueca y a los que se les quiere dotar de estructura submicrométrica y/o nanométrica.

El objeto de la presente invención se alcanza mediante un procedimiento de fabricación de elementos mecánicos de geometría hueca, que comprende los siguientes pasos:

- procesar una preforma de un material de partida mediante SPD por ECAE;
- someter dicha preforma procesada a un forjado isotérmico, mediante la aplicación de una matriz de estampación de forjado, configurada para aplicar una geometría hueca a la preforma mediante su forjado.

Con dicho método se consiguen elementos mecánicos huecos mejorados, como consecuencia de su estructura de grano submicrométrica y/o nanométrica, que hacen además más sencilla su obtención, dado de que el propio forjado de estos materiales se realiza con mayor facilidad, dada la mejora en la fluencia de las preformas procesadas, lo que posibilita su forjado incluso a temperatura ambiente.

En una realización preferente de la invención, la preforma comprende una selección de los siguientes materiales o de aleaciones de los mismos, individualmente o en combinación: aluminio, acero, magnesio, titanio. Dichos materiales son aptos tanto para su procesado por ECAE, como para su posterior forjado, siendo además materiales de una alta aplicación industrial, cuyas propiedades mejoran notablemente gracias al procedimiento de la invención. En distintas realizaciones de la invención, las preformas pueden poseer una sección transversal maciza o hueca.

Preferentemente, el procesado por ECAE y/o el forjado isotérmico se pueden realizar tanto a temperatura ambiente, como a una temperatura distinta a la temperatura ambiente. Para este último caso, dicho procesado por ECAE y/o dicho forjado se realiza a una temperatura preferentemente comprendida entre 100 °C y 600 °C, siendo este rango de temperaturas apto para la obtención de anillos, carcasas interiores y exteriores para rodamientos, cojinetes lisos, anillos de guiado, acoplamientos rígidos, bridas, anillas de elevación o anillos de rozamiento.

En otra realización preferente de la invención, el procesado por ECAE se realiza mediante la aplicación de entre dos y ocho pasadas de extrusión. La aplicación de una pluralidad de pasadas resulta eficaz para la homogenización del material procesado en el grano submicrométrico o nanométrico obtenido. Dichas pasadas se pueden aplicar mediante diferentes rutas de ECAE en función del material procesado, tales como una ruta de extrusión de tipo B (consistente en rotar 90° a la preforma en relación al eje longitudinal de la misma tras cada etapa de extrusión en canal angular), C (que comprende la rotación de la preforma 180° sobre su eje de extrusión entre cada pasada) o Bc (que comprende cuatro pasadas, con un

giro de 180° sobre su eje longitudinal, tras la primera pasada, seguido de otro giro de 90° sobre dicho eje longitudinal, tras la segunda pasada, y un último giro de 180° sobre el eje longitudinal, tras la tercera pasada). Más preferentemente, el procesado de la preforma se realiza a una velocidad comprendida entre 10 y 100 mm/min.

En diferentes realizaciones de la invención, la preforma o el elemento mecánico obtenido pueden ser sometidos a mecanizado, así como a una selección de los siguientes tratamientos térmicos, individualmente o en combinación: alivio de tensiones, recristalización, endurecimiento por precipitación. Ello mejora las propiedades físicas estructurales y superficiales de los materiales obtenidos en los diferentes pasos del procedimiento, lo que redundará en la mejora de las propiedades del elemento mecánico final. Dicho elemento final también puede ser sometido a tratamientos superficiales, como por ejemplo tratamientos anti-corrosión o anti-desgaste.

Por su parte, las matrices de estampación empleadas en el presente procedimiento pueden utilizarse bien solas o bien alojadas en portamatrices, en función de las características específicas del proceso aplicado, o de la prensa de estampación utilizada, pudiendo ser ésta, por ejemplo, hidráulica o mecánica. Asimismo, las matrices de estampación pueden comprender uno o más expulsos para la extracción de elementos mecánicos, así como estar configuradas para la forja simultánea de dos o más elementos mecánicos en cada etapa de forjado.

Para el calentamiento de las matrices de estampación, es posible utilizar medios tales como sistemas basados en resistencia eléctrica o sistemas basados en inducción eléctrica, pudiendo también calentarse las preformas de forma externa, para ser posteriormente introducidas en la matriz de estampación.

Para la mejora en el paso de forjado isotérmico, es posible también aplicar a la preforma procesada un lubricante, tal como teflón en spray, o grafito.

Finalmente, otro objeto adicional de la invención son los elementos mecánicos de geometría hueca obtenibles a partir de un procedimiento según cualquiera de las realizaciones descritas en la presente solicitud, que presentan estructura de grano submicrométrica o nanométrica, y que preferentemente poseen una deformación plástica acumulada (ϵ) comprendida entre 0,5 y 100 y, más preferentemente, entre 1 y 20.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 muestra un esquema de la matriz de estampación y de posibles geometrías de anillos que se van a obtener, a partir de preformas de material que hayan sido previamente procesadas mediante procesos de deformación plástica severa, como por ejemplo, extrusión en canal angular.

La Figura 2 muestra tres ejemplos de anillos que pueden obtenerse con la geometría mostrada.

La Figura 3(a) muestra una micrografía con la microestructura de la AA5083 antes de ser procesada por ECAE (tamaño inicial de grano de aproximadamente 200 μm). La Figura 3(b) muestra a dicha aleación tras ser procesada dos veces por extrusión en canal angular (ECAE), donde puede observarse la acumulación de deformación que ha sido impartida al material.

La Figura 4 muestra una simulación por elementos finitos de la deformación plástica (ϵ) acumulada en el interior de los anillos, teniendo en consideración que se parte de material que

presenta una deformación inicial de ($\epsilon=2$), y que corresponde aproximadamente a la que se obtendría tras dos pasadas de ECAE (4a, 4b).

La Figura 5 muestra la microestructura obtenida en los anillos forjados a partir del material previamente procesado por ECAE. Como puede observarse, se han tomado dos micrografías a 2500 aumentos (Figura 5a) y a 10000 aumentos (Figura 5b). Los anillos corresponden a la forma que se muestra en la Figura 4, una vez ha sido cortada, empastillada y pulida. Se puede observar que existen granos de tamaño submicrométrico en el material obtenido mediante forjado isotérmico.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un procedimiento que comprende la aplicación de deformación plástica severa y, específicamente, de la extrusión en canal angular, para la obtención de materiales de partida altamente deformados, con el objetivo de ser empleados posteriormente en procesos de forjado isotérmico para la producción de piezas con geometría interna hueca. Dicho procedimiento emplea el forjado isotérmico como medio para la conformación de materiales que han sido previamente procesados mediante SPD por ECAE, con objeto de obtener elementos mecánicos de estructura submicrométrica y/o nanométrica que tienen geometría interior hueca, denominados de forma genérica como "anillos". Dichos elementos mecánicos presentan, gracias a su obtención mediante el procedimiento descrito, propiedades mecánicas superiores a las obtenidas mediante métodos convencionales de forja, como son, por ejemplo, mayor resistencia mecánica, mayor límite elástico y mayor dureza. Asimismo, con el procedimiento propuesto se obtienen elementos mecánicos que presentan un afinamiento de grano significativo, siendo éste submicrométrico y/o nanométrico, con la consiguiente mejora en las propiedades funcionales de los mismos. Asimismo, este procedimiento resulta especialmente indicado para la obtención de piezas huecas, dado que el preprocesado por ECAE al que se someten los materiales de partida mejora notablemente la fluencia de los mismos, lo cual resulta especialmente ventajoso para la obtención de piezas con simetría de revolución, como ocurre en la mayoría de las piezas huecas utilizadas en la industria.

Preferentemente, para llevar a cabo el forjado isoterma de los materiales se emplea una prensa en la que se alojan matrices de estampación como las mostradas, a modo de ejemplo, en la Fig. 1, donde se aprecia una pluralidad de estampados diferentes en la matriz, que puede dar lugar a piezas de distinta geometría (como las mostradas en la Figura 2). Cabe destacar, no obstante, que es posible emplear cualquier otro tipo de geometría en las matrices de estampación para la fabricación de los anillos, según ser requiera para el procedimiento específico de formación.

El material de partida puede provenir de una extrusión en canal angular en la que ha sido sometido a una o a varias pasadas de ECAE, realizadas tanto a temperatura ambiente como a temperatura distinta de la temperatura ambiente. Dicho material podrá ser mecanizado, con objeto de disponer de preformas que encajen dentro de las cavidades de las matrices de estampación para la realización del forjado isotérmico.

Como se ha indicado, cuando el material que se emplea para la fabricación de los anillos no ha sido previamente procesado mediante procesos de SPD, se parte de un material que presenta una gran deformación inicial, siendo muy difícil, si no imposible, su empleo para la forja de anillos a temperatura ambiente (25 °C). La 3(a) muestra el material de partida sin ser deformado por ECAE. Por su parte, en la Fig. 3(b) se observa la gran acumulación de bandas de deformación en el material tras ser procesado dos veces mediante extrusión en canal

angular al material de partida de aleación de aluminio AA5083. Por ello, se plantea en la presente patente forjado isotérmico de dichos materiales.

Una vez que dicho material de partida es procesado por SPD/ECAE, se hará la estampación de los anillos mediante forjado isotérmico, empleando matrices especialmente diseñadas para ello, similares a las que se muestran en la Fig. 1, pudiendo variar la geometría de dichas matrices para la fabricación de distintas geometrías de anillos. La fabricación de los anillos podrá consistir en una o varias etapas de forjado, en función de la complejidad del anillo que se pretenda fabricar así como de las propiedades mecánicas del material que va a ser forjado.

En la Fig. 4 se muestra una simulación por elementos finitos de la forja de un anillo, empleando dos etapas de forjado. Se ha considerado en la simulación por elementos finitos que el material presenta una deformación inicial de partida de $\epsilon=2$, que es aproximadamente equivalente a la que se tiene tras dos pasadas de ECAE. Como se ha indicado, es posible emplear un mayor o menor número de pasadas de ECAE así como de emplear rutas diferentes de procesado en dicho proceso de SPD. El objetivo es disponer de un material que presente gran acumulación de deformación plástica el cual será empleado como materia prima para la fabricación de los anillos.

Una vez que los anillos se han fabricado, puede ser necesario realizar operaciones de mecanizado y/o de acabado sobre los mismos con objeto de obtener la geometría final deseada.

Las temperaturas a las que se realiza la forja isotérmica podrán variar, en función de las características del material de partida y de la geometría de los elementos mecánicos. Asimismo, podrán impartirse tratamientos térmicos a los materiales que van a ser forjados con objeto de facilitar la conformación de los mismos.

Como se ha indicado anteriormente, mediante el empleo de forjado isotérmico sobre material que ha sido previamente procesado mediante SPD por ECAE, los anillos obtenidos presentan propiedades mecánicas mejoradas, a la vez que a menor temperatura que la que sería necesario emplear para fabricar dichos anillos con materiales de partida sin haber sido procesados previamente mediante SPD, pudiendo incluso no ser posible la conformación de materiales que no hayan sido previamente deformados mediante SPD. En la Tabla 1 del presente documento se muestran datos comparativos de los valores de microdureza obtenidos sobre anillos fabricados con la aleación de aluminio AA5083, previamente deformados por ECAE a temperatura ambiente. Antes de la forja de dichos materiales ("Ensayos previos", en la tabla), se les ha impartido dos tipos de tratamientos térmicos: el primero de ellos consistente en disponer los materiales (preformas de la aleación AA5083, previamente procesadas por ECAE y mecanizadas, en un horno de tratamientos y aumentar la temperatura desde la temperatura ambiente hasta 320 °C, con una rampa de calentamiento de 12 °C/min, seguido de un enfriamiento rápido en agua. En el segundo caso se han dispuesto las preformas de la AA5083, previamente procesadas por ECAE y mecanizadas, y se ha aumentado la temperatura desde temperatura ambiente hasta 340 °C con la misma rampa de calentamiento de 12 °C/min.

Posteriormente, se han procesado dichas preformas ("Ensayos anillos", en la tabla) mediante forjado isotérmico a 200°C, 250 °C y 300 °C, en dos etapas de conformación, según se muestra en la Fig. 4. Asimismo, en la Fig. 5 se muestra la microestructura que presentan los anillos forjados a 250 °C. Como puede observarse, existe un afinamiento significativo del tamaño de grano, el cual es inferior a 1 μm . Cabe destacar que el material de partida (AA5083) presenta un tamaño de grano inicial de aproximadamente 200 μm .

Para ejercer la fuerza de compresión necesaria para procesar al material, se puede emplear una prensa hidráulica en la que se alojarán las matrices de forja, según se muestra en la Fig. 1, aunque también sería posible el empleo de otro tipo de prensas. Las matrices de estampación empleadas pueden ser como las mostradas en la Fig. 1, las cuales poseen varias cavidades para la fabricación de diferentes tipos de anillos o podrían presentar un número diferente de cavidades en función de la capacidad de la prensa y del tipo de geometría que se quiera fabricar. Dichas matrices podrán, o no, estar alojadas en portamatrices. Como medio de calentamiento se podrá emplear resistencias calefactoras o inductores, entre otros sistemas de calentamiento, con objeto de que a partir de una temperatura de consigna sean capaces de aumentar la temperatura para realizar el forjado isotérmico. Una vez que ha terminado cada etapa del proceso de forjado de los anillos, será necesaria la extracción del material. Para ello, podrán emplearse matrices que dispongan de expulsores o bien directamente mediante medios mecánicos podrán extraerse las piezas fabricadas (anillos) sin necesidad de que existan expulsores. Asimismo, el proceso objeto de la presente invención, puede realizarse a temperatura ambiente.

Ensayos PREVIOS: (Medida Microdurezas 300 g HV)

AA5083 (5 microdurezas aleatorias)							
N0		N2		N2 TT 320 °C		N2 TT 340 °C	
(0,0)	87.3	(0,0)	123.7	(0,0)	106.6	(0,0)	106.2
(0,3)	83.2	(0,3)	140.6	(0,3)	115.0	(0,3)	98.2
(0,-3)	86.3	(0,-3)	142.4	(0,-3)	110.0	(0,-3)	112.7
(3,0)	76.0	(3,0)	154.8	(3,0)	115.4	(3,0)	103.0
(-3,0)	87.4	(-3,0)	140.4	(-3,0)	117.7	(-3,0)	103.7

Ensayos ANILLOS (Medida Microdurezas 300 g HV)

AA5083 N2Rc T200 50mm/min TT 340 °C, r= 12 °C/min, th=0			
zona central		zona superior	
1	131.5	1	124.1
2	131.1	2	129.2
3	137.7	3	128.9
4	132.2	4	126.0
5	136.6	5	127.4

AA5083 N2Rc T250 50mm/min TT 340 °C, r= 12 °C/min, th=0			
zona central		zona superior	
1	109.3	1	107.8
2	110.1	2	119.8
3	110.2	3	113.3
4	112.3	4	107.2
5	112.8	5	110.0

AA5083 N2Rc T300 50mm/min TT 340 °C, r= 12 °C/min, th=0			
zona central		zona superior	
1	95.6	1	108.3
2	105.0	2	106.9
3	105.7	3	105.5
4	105.2	4	101.0
5	111.5	5	108.7

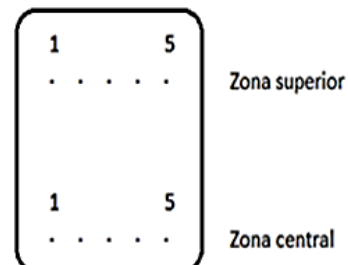


Tabla 1.

Además, pueden emplearse operaciones posteriores de mecanizado (taladrado, torneado, fresado, etc.) y/u operaciones de acabado posteriores, tales como pulido y rectificado, entre otros. Asimismo, es posible someter a los materiales obtenidos mediante forjado isotérmico a tratamientos térmicos posteriores, como por ejemplo: de alivio de tensiones, de recristalización o de precipitación, entre otros.

EJEMPLOS DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION

Ejemplo 1: Forjado isotérmico a 250 °C de la aleación AA5083, previamente procesada por extrusión en canal angular, para la fabricación de carcasas interior y exterior de rodamientos.

Se parte de preformas de la aleación de aluminio AA5083 que han sido previamente deformadas mediante dos pasadas de extrusión en canal angular (ECAE), según una ruta C (que comprende la rotación de la preforma 180° sobre su eje de extrusión entre cada pasada), a velocidad de 20 mm/min y a temperatura ambiente, empleando matrices en canal angular de 20 mm de diámetro, con 90° de ángulo de intersección entre canales y 3 mm para los radios de acuerdo entre canales. Las preformas (o probetas) se tornean hasta dejarlas con un diámetro de 19 mm y una longitud de 43 mm. Posteriormente, se les da un tratamiento térmico consistente en mantener las preformas en un horno de tratamientos térmicos hasta alcanzar la temperatura de 340 °C, con una rampa de calentamiento de 12 °C/min. Una vez alcanzada la temperatura se enfrían en agua. El material así obtenido se empleará para la fabricación de carcasas (interior y exterior) de rodamientos mediante forjado isotérmico a 250 °C, empleando dos etapas de forjado isotérmico. En la primera de ellas se obtiene una preforma que se volverá a estampar a la misma temperatura y en forjado isotérmico para la obtención de las carcasas exterior e interior de rodamientos. Como lubricante en la operación se emplea teflón en spray. Posteriormente, tras operaciones de acabado en las piezas forjadas (eliminación de la rebaba, taladrado, torneado y rectificado) se obtendrán las carcasas interior y exterior de los rodamientos que tendrán estructura submicrométrica y/o nanométrica.

Ejemplo 2: Forjado isotérmico a 275 °C de la aleación AA5083, previamente procesada mediante extrusión en canal angular a 275 °C, para la fabricación de bridas.

Se parte de preformas de la aleación de aluminio AA5083 que ha sido previamente deformada mediante cuatro pasadas de extrusión en canal angular (ECAE), según ruta B (consistente en rotar 90° a la preforma en relación al eje longitudinal de la misma tras cada etapa de extrusión en canal angular), a velocidad de 30 mm/min y a temperatura de 275 °C, empleando matrices en canal angular de 50 mm de diámetro y 5 mm para los radios de acuerdo entre canales. Las probetas se tornean hasta dejarlas con un diámetro de 45 mm y una longitud de 20 mm. El material así obtenido se empleará para la fabricación de bridas mediante forjado isotérmico a 275 °C, empleando dos etapas de forja. En la primera de ellas se hace un preformado, obteniendo una preforma que se volverá a estampar a la misma temperatura y en forjado isotérmico para la obtención de las bridas. Como lubricante en la operación se emplea teflón en spray. Posteriormente, tras operaciones de acabado en las piezas forjadas (eliminación de la rebaba, taladrado, torneado y rectificado) se obtendrán las bridas que tendrán estructura submicrométrica y/o nanométrica.

Ejemplo 3: Forjado isotérmico a 100 °C de la aleación AA6063, previamente procesada mediante extrusión en canal angular a temperatura de 100 °C, para la fabricación de un cojinete liso.

Se parte de preformas de la aleación de aluminio AA6063 que ha sido previamente deformada mediante ocho pasadas de extrusión en canal angular (ECAE), según ruta B, a velocidad de 50

mm/min y a temperatura de 100 °C, empleando matrices en canal angular de 22 mm de diámetro, con 90° de ángulo de intersección entre canales y 2,5 mm para los radios de acuerdo entre canales. Las probetas se tornean hasta dejarlas con un diámetro de 20 mm y una longitud de 80 mm. El material así obtenido se empleará para la fabricación de cojinetes mediante forjado isotérmico a 100 °C, empleando dos etapas. En la primera de ellas, se hace un preformado, obteniendo una preforma que se volverá a estampar a la misma temperatura y en forjado isotérmico para la obtención del cojinete. Como lubricante en la operación se emplea teflón en spray. Posteriormente, tras operaciones de acabado en las piezas forjadas (eliminación de la rebaba, taladrado, torneado y rectificado) se obtendrán los cojinetes que tendrán estructura submicrométrica y/o nanométrica.

Ejemplo 4: Forjado isotérmico a 400 °C de un acero de bajo contenido en carbono, previamente procesado mediante extrusión en canal angular a 425 °C, para la fabricación de un chavetero.

Se parte de preformas de un acero de bajo contenido en carbono que ha sido previamente deformado mediante dos pasadas de extrusión en canal angular (ECAE), según ruta C, a velocidad de 30 mm/min y a temperatura de 425 °C, empleando matrices en canal angular de 40 mm de diámetro y 6 mm para los radios de acuerdo entre canales. Las probetas se tornean hasta dejarlas con un diámetro de 36 mm y una longitud de 40 mm. El material así obtenido se empleará para la fabricación de chaveteros mediante forjado isotérmico a 400 °C, empleando tres etapas. En las dos primeras etapas se hace un preformado de aproximación, obteniendo una preforma que se volverá a estampar a la misma temperatura y en forjado isotérmico para la obtención del chavetero. Como lubricante se emplea grafito. Posteriormente, tras operaciones de acabado en las piezas forjadas se obtendrán los chaveteros que tendrán estructura submicrométrica y/o nanométrica. Finalmente, se aplicará un tratamiento térmico consistente en mantener a los chaveteros durante 3 horas a la temperatura de 300 °C.

Ejemplo 5: Forjado isotérmico de anillos a 550 °C de un acero inoxidable (Fe/Cr18/Ni8), previamente procesado mediante extrusión en canal angular a 600 °C, para la fabricación de acoplamientos rígidos.

Se parte de preformas de un acero inoxidable (Fe/Cr18/Ni8) que ha sido previamente deformado mediante dos pasadas de extrusión en canal angular (ECAE), según ruta C, a velocidad de 10 mm/min y a temperatura de 600 °C, empleando matrices en canal angular de 20 mm de diámetro y 2,5 mm para los radios de acuerdo entre canales, con 115 ° de ángulo de intersección entre canales. Las probetas se tornean hasta dejarlas con un diámetro de 18 mm y una longitud de 40 mm. El material así obtenido se empleará para la fabricación de acoplamientos rígidos mediante forjado isotérmico a 550 °C, empleando tres etapas. En las dos primeras etapas se obtiene una aproximación a la forma final del acoplamiento rígido que se volverá a estampar a la misma temperatura y en forjado isotérmico para la obtención del mismo. Se empleará como lubricante grafito. Posteriormente, tras operaciones de acabado en las piezas forjadas se obtendrán los acoplamientos rígidos que tendrán estructura submicrométrica y/o nanométrica.

Ejemplo 6: Forjado isotérmico a 150 °C de la AA6026, previamente procesada mediante extrusión en canal angular a 150 °C, para la fabricación de una anilla de elevación.

Se parte de preformas de la aleación de aluminio AA6026 que ha sido previamente deformada mediante dos pasadas de extrusión en canal angular (ECAE), según ruta C, a velocidad de 100 mm/min y a temperatura de 150 °C, empleando matrices en canal angular de 20 mm de diámetro, con 85° de ángulo de intersección entre canales y 3 mm y 4 mm para los radios de acuerdo interior y exterior entre canales, respectivamente. Las probetas se tornean hasta dejarlas con un diámetro de 18 mm y una longitud de 20 mm. El material así obtenido se

empleará para la fabricación de anillas mediante forjado isotérmico a 150 °C, en una única etapa de forjado. Como lubricante en la operación se emplea teflón en spray. Posteriormente, tras operaciones de acabado en las piezas forjadas (eliminación de la rebaba, taladrado, torneado y rectificado), se aplicará un tratamiento térmico de envejecimiento consistente en mantener la anilla 8 horas a la temperatura de 125 °C. Con ello, se obtendrán anillas de elevación que tendrán estructura submicrométrica y/o nanométrica.

Ejemplo 7: Forjado isotérmico a 230 °C de la AA7075, previamente procesada mediante extrusión en canal angular a 270 °C, para la fabricación de la carcasa exterior de anillos de guiado.

Se parte de preformas de la aleación de aluminio AA7075 que ha sido previamente deformada mediante cuatro pasadas de extrusión en canal angular (ECAE), según ruta B_C, a velocidad de 60 mm/min y a temperatura de 270 °C, empleando matrices en canal angular de 40 mm de diámetro, con 100° de ángulo de intersección entre canales y 4 mm y 3mm para los radios de acuerdo interior y exterior entre canales, respectivamente. Las probetas se tornean hasta dejarlas con un diámetro de 18 mm y una longitud de 20 mm. El material así obtenido se empleará para la fabricación de anillos mediante forjado isotérmico a 230 °C, empleando dos etapas. En la primera de ellas se hace un preformado, obteniendo una preforma que se volverá a estampar a la misma temperatura y en forjado isotérmico para la obtención del anillo de guiado. Como lubricante en la operación se emplea teflón en spray. Posteriormente, tras operaciones de acabado en las piezas forjadas (eliminación de la rebaba, taladrado, torneado y rectificado) se obtendrán los anillos de guiado que tendrán estructura submicrométrica y/o nanométrica. Posteriormente, se le aplicará un tratamiento térmico consistente en mantener a los anillos durante 12 horas a la temperatura de 150 °C.

REIVINDICACIONES

- 1.- Procedimiento de fabricación de un elemento mecánico de geometría hueca, que comprende los siguientes pasos:
- 5 - procesar una preforma de un material de partida mediante deformación plástica severa (SPD) por extrusión en canal angular (ECAE);
- 10 - someter dicha preforma procesada a un forjado isotérmico, mediante la aplicación de una matriz de estampación de forjado, configurada para aplicar una geometría hueca a la preforma mediante su forjado.
- 15 2.- Procedimiento según la reivindicación 1, donde la preforma comprende una selección de los siguientes materiales o de aleaciones de los mismos, individualmente o en combinación: aluminio, acero, magnesio, titanio.
- 3.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-2, donde el procesado por ECAE y/o el forjado isotérmico se realiza a temperatura ambiente.
- 20 4.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-2, donde el procesado por ECAE y/o el forjado isotérmico se realiza a una temperatura distinta a la temperatura ambiente.
- 5.- Procedimiento según la reivindicación 4, donde el procesado por ECAE se realiza a una temperatura comprendida entre 100 °C y 600 °C.
- 25 6.- Procedimiento según la reivindicación 4, donde el forjado isotérmico se realiza a una temperatura comprendida entre 100 °C y 600 °C.
- 7.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-6, donde el procesado por ECAE se realiza mediante la aplicación de entre dos y ocho pasadas de extrusión.
- 30 8.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-7, donde el procesado por ECAE se realiza mediante, al menos, una ruta de extrusión de tipo B, de tipo C o de tipo Bc.
- 9.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-8, donde el procesado por ECAE de la preforma se realiza a una velocidad comprendida entre 10 y 100 mm/min.
- 35 10.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-9, donde el elemento mecánico con geometría hueca presenta simetría de revolución respecto a un eje longitudinal.
- 40 11.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-10, donde la preforma posee una sección transversal maciza.
- 12.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-10, donde la preforma posee una sección transversal hueca.
- 45 13.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-12, donde el elemento mecánico obtenido es sometido a una selección de los siguientes tratamientos térmicos, individualmente o en combinación: alivio de tensiones, recristalización, endurecimiento por precipitación.
- 50 14.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-13, donde la preforma o el elemento mecánico es sometido a mecanizado.

- 15.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-14, donde el elemento mecánico es sometido a un tratamiento superficial para evitar corrosión o a un tratamiento de recubrimiento anti-desgaste.
- 5 16.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-15, donde la matriz de estampación está alojada en un portamatriz.
- 17.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-16, donde la matriz de estampación comprende uno o más expulsores para la extracción de elementos mecánicos.
- 10 18.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-17, donde el forjado isotérmico se realiza mediante una prensa hidráulica o mediante una prensa mecánica.
- 19.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-18, donde el forjado isotérmico comprende el calentamiento de la matriz de estampación, empleando un sistema basado en resistencia eléctrica o un sistema basado en inducción eléctrica.
- 15 20.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-18, donde el forjado isotérmico comprende el calentamiento de la preforma procesada de forma externa, y su posterior introducción en la matriz de estampación.
- 20 21.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-20, donde el forjado isotérmico comprende la aplicación de un lubricante a la preforma procesada.
- 25 22.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-21, donde la matriz de estampación está configurada para la forja simultánea de dos o más elementos mecánicos en cada etapa de forjado.
- 30 23.- Elemento mecánico de geometría hueca obtenible mediante un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-22, que presenta una estructura de grano submicrométrica o nanométrica.
- 24.- Elemento mecánico según la reivindicación 23, donde la deformación plástica acumulada (ϵ) en dicho elemento está comprendida en el rango $0,5 < \epsilon < 100$.
- 35 25.- Elemento mecánico según la reivindicación 24, donde la deformación plástica acumulada (ϵ) en dicho elemento está comprendida en el rango $1 < \epsilon < 20$.
- 40 26.- Elemento mecánico según cualquiera las reivindicaciones 23-25, siendo dicho elemento un anillo, una carcasa interior o exterior para rodamientos, un cojinete liso, un anillo de guiado, un acoplamiento rígido, una brida, una anilla de elevación o un anillo de rozamiento.

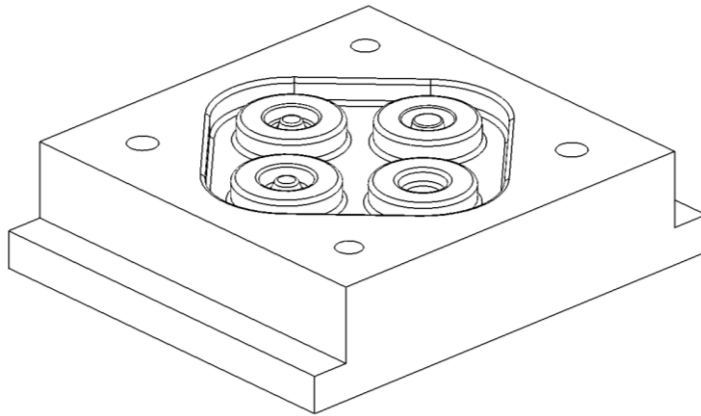


Fig. 1

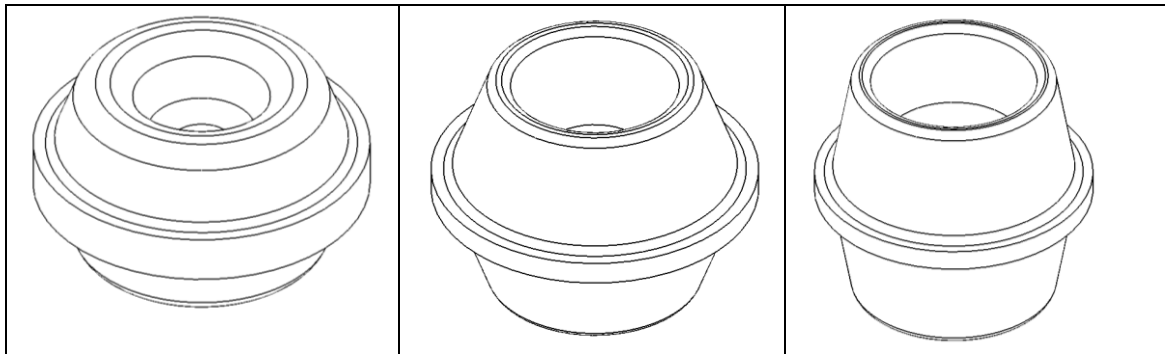
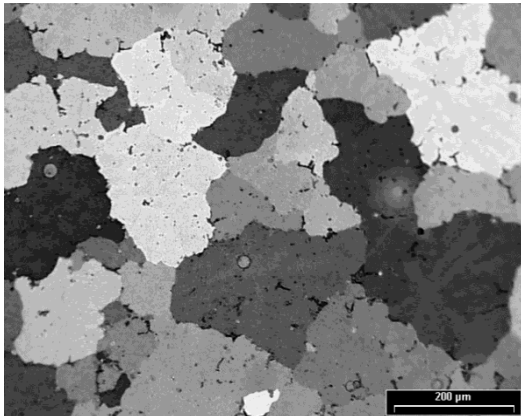
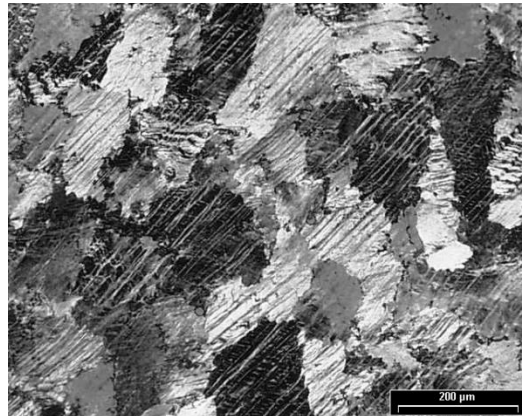


Fig. 2

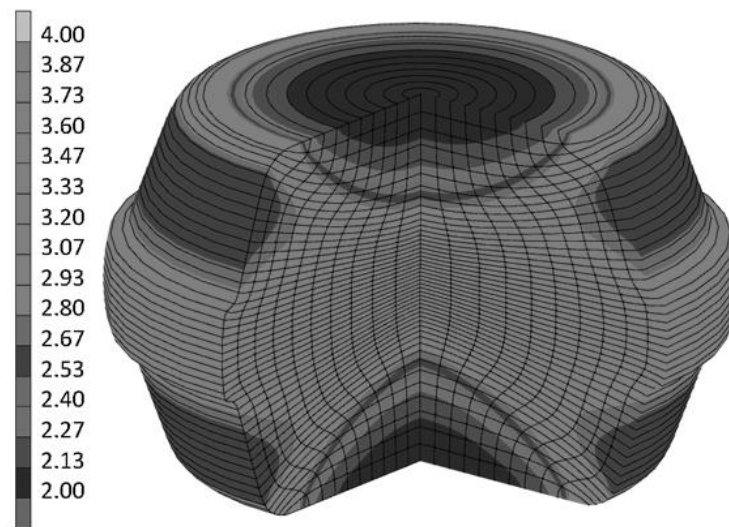


3(a)

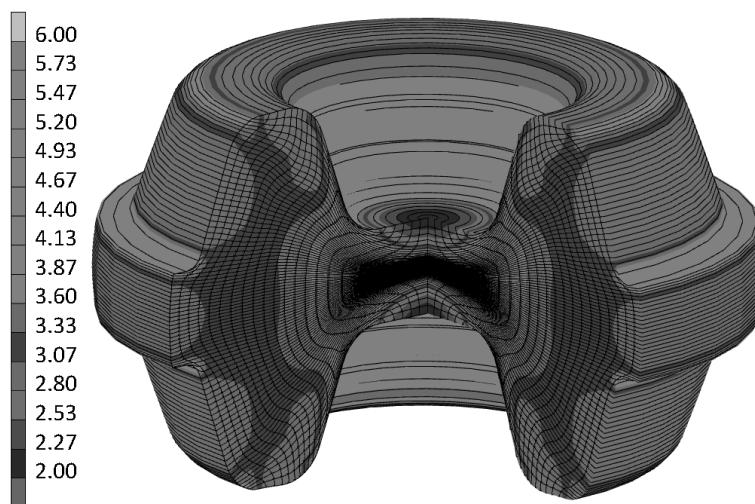


3(b)

Fig. 3

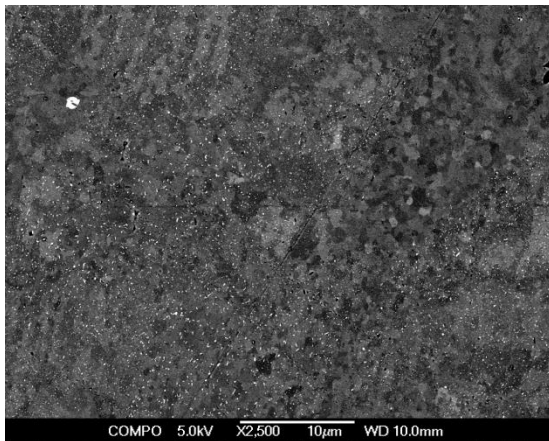


4(a)

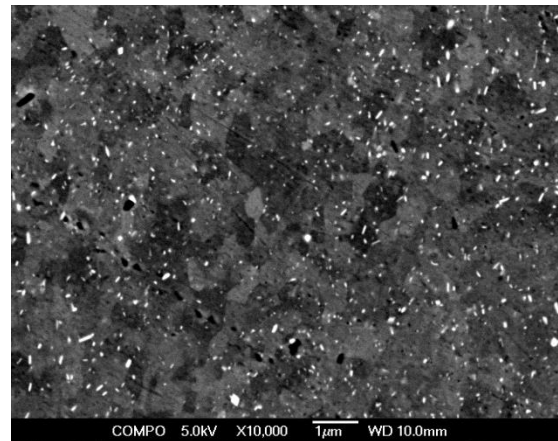


4(b)

Fig. 4



5(a)



5(b)

Fig. 5