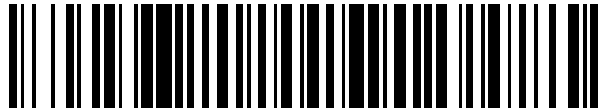


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 819 151**

51 Int. Cl.:

C22C 21/00	(2006.01)
C22C 21/06	(2006.01)
C22C 21/08	(2006.01)
C22C 21/10	(2006.01)
C22F 1/043	(2006.01)
C22F 1/047	(2006.01)
C22F 1/05	(2006.01)
C22F 1/053	(2006.01)
C22F 1/057	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.10.2016 PCT/US2016/055405**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **13.04.2017 WO17062398**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.10.2016 E 16784337 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.08.2020 EP 3359699**

54 Título: **Un procedimiento de conformado en caliente de una aleación de aluminio endurecible por envejecimiento en temple T4**

30 Prioridad:

08.10.2015 US 201562239014 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
15.04.2021

73 Titular/es:

**NOVELIS, INC. (100.0%)
3560 Lenox Road, Suite 2000
Atlanta, GA 30326, US**

72 Inventor/es:

**BASSI, CORRADO;
COMBAZ, ETIENNE;
DESPOIS, AUDE;
ROMAIN, PASQUIER;
FUMEAUX, MAUDE y
RICHARD, JULIE**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 819 151 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 procedimiento de conformado en caliente de una aleación de aluminio endurecible por envejecimiento en temple T4

5

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere al campo de las aleaciones de aluminio y campos relacionados.

10 ANTECEDENTES

Las aleaciones de aluminio combinan baja densidad con resistencia estructural y resistencia a choques, lo que las hace atractivas para la producción de piezas estructurales y de carrocería en la industria del automóvil. Sin embargo, las aleaciones de aluminio tienen menor conformabilidad en comparación con el acero con calidad de estirado. En algunos casos, la conformabilidad relativamente baja de las aleaciones de aluminio puede conducir a dificultades para obtener buenos diseños de piezas y pueden crear problemas de falla debido a la fractura o arrugamiento. El conformado en caliente de chapas de aleación de aluminio se utiliza en la industria del automóvil para superar estos desafíos, ya que las aleaciones de aluminio presentan una mayor conformabilidad a temperaturas elevadas. Generalmente, el conformado en caliente es el procedimiento de deformar metal a una temperatura elevada. El conformado en caliente puede maximizar la maleabilidad del metal, pero crea sus propios desafíos. En algunos casos, el calentamiento puede afectar negativamente las propiedades mecánicas de una chapa de aleación de aluminio. Las chapas de aleación de aluminio calentadas pueden presentar una resistencia disminuida durante las operaciones de estampado, y las características de resistencia disminuida pueden persistir después del enfriamiento de la chapa de aleación. El calentamiento de las chapas de aleación de aluminio también puede conducir a un mayor adelgazamiento de las piezas de aleación de aluminio durante las operaciones de estampado. La chapa o pieza de aleación de aluminio también puede experimentar un cambio indeseable en su estado metalúrgico.

Las aleaciones de aluminio endurecibles por envejecimiento y tratables térmicamente, como las aleaciones de aluminio 2XXX, 6XXX y 7XXX, que se utilizan a menudo para la producción de paneles en vehículos de motor, se proporcionan típicamente al fabricante en forma de una chapa de aluminio en un temple dúctil T4, con el fin de permitir al fabricante producir los paneles de automoción deseados mediante estampado o prensado. Para producir piezas funcionales de vehículos de motor que cumplan con las especificaciones de resistencia requeridas, las piezas producidas a partir de una aleación de aluminio en temple T4 se someten típicamente a un tratamiento térmico posterior a la producción y posteriormente se endurecen por envejecimiento, lo que da como resultado una pieza o chapa en temple T6. Elevar la temperatura de una aleación de aluminio endurecible por envejecimiento y tratable térmicamente durante una etapa de conformado en caliente puede convertir prematuramente la pieza o chapa de aleación de aluminio en un temple T6, lo que no solo conduce a una menor conformabilidad que podría afectar negativamente a las etapas de conformado posteriores, sino que también afecta negativamente a la capacidad del fabricante para endurecer las piezas durante el tratamiento térmico de postproducción y/o envejecimiento. La solicitud internacional WO 2014/135367 A1 describe un procedimiento para la producción de una aleación de la serie 6XXX que tiene una excelente conformabilidad para su uso en la producción de productos laminados para la industria del automóvil.

En consecuencia, los fabricantes de piezas de aleación de aluminio necesitan procedimientos mejorados de conformado en caliente para producir el aluminio que utilizan para fabricar piezas.

45

RESUMEN

Las realizaciones abarcadas de la invención están definidas por las reivindicaciones, no por este resumen. Este resumen es una descripción general de alto nivel de diversos aspectos de la invención e introduce algunos de los conceptos que se describen con más detalle en la sección Descripción detallada a continuación. Este resumen no pretende identificar las características claves o esenciales de la materia reivindicada, ni se pretende que se utilice aisladamente para limitar el alcance de la materia reivindicada. La materia objeto debe entenderse como referencia a las partes apropiadas de la memoria descriptiva completa, cualquiera o todos los dibujos y a cada reivindicación.

Se describen los procedimientos para dar forma a las aleaciones de aluminio endurecibles por envejecimiento. Los procedimientos descritos permiten el conformado en caliente de aleaciones de aluminio endurecibles por envejecimiento en condiciones que aumentan la conformabilidad de las aleaciones mientras se mantienen las características de resistencia apropiadas de las aleaciones. Los procedimientos descritos en esta invención también pueden limitar el adelgazamiento de las piezas de aleación durante el estampado y conservar el estado metalúrgico y la capacidad de endurecimiento de las piezas de aleación. Estos novedosos procedimientos producen piezas de aleación de aluminio que sorprendentemente pueden competir con el acero en alargamiento por tracción, al tiempo que retienen las propiedades de T4 como resistencia, alargamiento y capacidad de envejecimiento, proporcionando

60

así la capacidad de reemplazar piezas de acero en algunas aplicaciones y disminuir el peso de los vehículos. Estas piezas de aleación de aluminio pueden acomodar aluminio reciclado como metal de entrada y aumentar la eficiencia de combustible de los vehículos.

- 5 El procedimiento de conformado de un artículo fabricado a partir de una aleación de aluminio endurecible por envejecimiento y tratable térmicamente, donde el artículo está hecho de una aleación de la serie 6XXX incluye calentar el artículo a una temperatura de 100 °C a 600 °C a una velocidad de calentamiento de 3 a 90 °C/s, donde el artículo está en temple T4 antes y después de la etapa de calentamiento, y dar forma al artículo, donde dar forma al artículo comprende cortar, estampar, prensar, conformar a presión o estirar. El calentamiento de la aleación de aluminio puede ser antes y/o simultáneamente con una etapa de conformado. En algunos casos, el calentamiento del artículo a una temperatura puede incluir el calentamiento a una temperatura de 150 a 450 °C, 250 a 450 °C y/o 350 a 500 °C.

En algunos casos, el artículo es una chapa.

- 15 En los procedimientos de conformado en caliente descritos, un artículo hecho de una aleación de aluminio, como una chapa de aleación de aluminio, se calienta a una temperatura especificada en el intervalo de 100 °C a 600 °C (por ejemplo, 150 a 450 °C, 250 a 450 °C y/o 350 a 500 °C) a una velocidad de calentamiento especificada dentro del intervalo de 3 °C/s a 600 °C/s, por ejemplo 3 °C/s a 200 °C/s o 3 °C/s a 90 °C/s. Dicha combinación de la temperatura y la velocidad de calentamiento pueden dar como resultado una combinación ventajosa de las propiedades de la chapa de aleación de aluminio. En algunos casos, el tratamiento térmico realizado con los parámetros de calentamiento descritos en esta invención puede mejorar la conformabilidad de la aleación de aluminio, mientras mantiene su resistencia dentro de límites aceptables y limita el adelgazamiento de las piezas de aleación de aluminio durante el estampado. En algunos casos, el alargamiento puede servir como indicador de conformabilidad; las chapas y los artículos con mayor alargamiento pueden tener una buena conformabilidad. En algunos casos, la deformación de ingeniería del artículo calentado es del 40-90 %. En algunos casos, según los procedimientos descritos en esta invención, el alargamiento del artículo se puede aumentar en hasta aproximadamente el 30 % en comparación con el artículo antes del calentamiento. En algunos casos, el artículo calentado se puede caracterizar por un valor de adelgazamiento, por ejemplo, el adelgazamiento del artículo después de darle forma puede ser inferior a aproximadamente el 22 %. En algunos casos, las características de resistencia y la capacidad de envejecimiento de la chapa o artículo de aleación de aluminio calentado pueden conservarse después del tratamiento térmico.

En algunos casos, el procedimiento de conformado de un artículo puede comprender opcionalmente una etapa de enfriamiento del artículo conformado. En algunos casos, el procedimiento de conformado de un artículo puede incluir opcionalmente una etapa de conformado adicional después de la etapa de enfriamiento.

- 35 En algunos ejemplos, el tratamiento térmico se logra mediante calentamiento por inducción, aunque se pueden emplear otros procedimientos de calentamiento, como se explica más adelante con más detalle. Los procedimientos descritos pueden incorporarse en las líneas de producción y los procedimientos empleados en las industrias de transporte y del automóvil, por ejemplo, la industria del transporte para la fabricación de piezas de aluminio, tales como paneles de carrocería de automóviles, o piezas de trenes, aviones, barcos, embarcaciones y vehículos espaciales. Los procedimientos descritos no se limitan a la industria automotriz o, de manera más general, a la industria del automóvil, y pueden emplearse ventajosamente en otras áreas que implican la fabricación de artículos de aluminio.

- 45 En esta invención también se describen artículos de aleación de aluminio conformados producidos según los procedimientos descritos. En algunos casos, la aleación de aluminio conformada es un panel de vehículo de motor. En algunos casos, el artículo de aleación de aluminio conformado puede tener una resistencia máxima a la tracción de al menos aproximadamente 150 MPa. En algunos casos, el artículo de aleación de aluminio conformado puede tener una resistencia máxima a la tracción de aproximadamente 10 a 150 MPa.

- 50 Otros objetivos y ventajas de la invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

- 55 La figura 1 es una fotografía de una muestra de una aleación de aluminio de muestra utilizada para la prueba de tracción. La figura 2 es un gráfico de líneas que muestra las curvas de calentamiento de muestras de aleación AA6016 calentadas a diversas temperaturas (como se indica) mediante calentamiento por inducción a una velocidad de 90 °C/s. Las flechas indican el inicio de la prueba de tracción. La figura 3 es un gráfico de líneas que muestra las curvas de tensión-deformación de muestras de aleación AA6016 calentadas a diversas temperaturas (como se indica) mediante calentamiento por inducción a 90 °C/s. También se muestran las curvas de tensión-deformación de AA6016 y muestras de acero a temperatura ambiente ("TA" y "acero frío", respectivamente). La muestra de acero es DX56D, un acero con bajo contenido de carbono de

Voestalpine (Linz, Austria). La línea de puntos vertical representa el alargamiento total de la muestra de acero a temperatura ambiente.

La figura 4 es un diagrama de líneas que muestra las curvas de tensión-deformación de muestras de aleación AA6016 calentadas a diversas temperaturas (como se indica) mediante calentamiento por inducción a 90 °C/s, enfriado con agua y envejecido durante 1 semana a temperatura ambiente. También se muestra la curva de tensión-deformación de la muestra de aleación AA6016 mantenida a temperatura ambiente ("REF T4").

La figura 5 es un gráfico de líneas que muestra una curva de tensión-deformación representativa de la figura 4 (conjunto inferior de curvas; "T4") y, a modo de comparación, una curva representativa de tensión-deformación (conjunto superior de curvas; "T6") de muestras de aleación AA6016 calentadas a diversas temperaturas por inducción a una velocidad de 90 °C/s, enfriado con agua, envejecido durante 1 semana a temperatura ambiente, tratado térmicamente a 180 °C durante 10 horas, a continuación enfriado a temperatura ambiente. Las diversas temperaturas de conformado en caliente representadas en la curva ejemplar mostrada incluyen 150 °C, 200 °C, 250 °C, 300 °C, 350 °C, 400 °C, 450 °C y 500 °C. En el conjunto superior de curvas, la curva de tensión-deformación de una muestra de AA6016 que no ha sido sometida a conformado en caliente se muestra como la línea de puntos superior.

La figura 6 es un gráfico de barras que muestra los resultados de las mediciones de conductividad eléctrica comparativas de muestras de aleación AA6016. Antes de una medición de conductividad, las muestras "T4" (barra de histograma izquierda de cada par) se calentaron a diversas temperaturas mediante calentamiento por inducción a una velocidad de 90 °C/s, se enfrió con agua y posteriormente se envejeció durante 1 semana a temperatura ambiente. Las muestras "T6" (barra de histograma derecha de cada par) se calentaron a diversas temperaturas mediante calentamiento por inducción a una velocidad de 90 °C/s, se enfrió con agua, se envejeció durante 1 semana a temperatura ambiente, se trató térmicamente a 180 °C durante 10 horas, a continuación, se enfrió a temperatura ambiente. La línea horizontal indica el nivel de conductividad esperado de las muestras de AA6016 en temple T4.

La figura 7 es un gráfico de líneas que muestra las curvas de tensión-deformación de las muestras de aleación AA6016 de la figura 4 calentadas a diversas temperaturas (como se indica) mediante calentamiento por inducción a velocidades de 90 °C/s (conjunto superior de curvas) y 3 °C/s (conjunto inferior de curvas), enfriado con agua, envejecido durante 1 semana a temperatura ambiente, tratado térmicamente a 180 °C durante 10 horas, a continuación enfriado a temperatura ambiente. También se muestran las curvas de tensión-deformación de las muestras de aleación AA6016 mantenidas a temperatura ambiente ("TA").

La figura 8 es un gráfico de barras que muestra los resultados de mediciones comparativas de conductividad eléctrica de muestras de aleación AA6016 calentadas a diversas temperaturas (como se indica) mediante calentamiento por inducción a velocidades de 90 °C/s (barra de histograma derecha de cada par) y 3 °C/s (barra de histograma izquierda de cada par), enfriado con agua, envejecido durante 1 semana a temperatura ambiente, tratado térmicamente a 180 °C durante 10 horas, a continuación enfriado a temperatura ambiente. Las barras de histograma izquierdas de 3 °C/s (indicadas en negro) a 400 °C, 450 °C y 500 °C indican un exceso de envejecimiento.

La figura 9 es un gráfico de líneas que muestra las curvas de tensión-deformación de las muestras de aleación AA6016 utilizadas en la prueba de adelgazamiento. Las muestras se calentaron a diversas temperaturas (como se indica) mediante calentamiento por inducción a 90 °C/s. Se realizaron predeformaciones del 45 %, 65 % y 85 % a las temperaturas indicadas.

La figura 10 es una fotografía de una vista lateral de una muestra de aleación de aluminio ejemplar utilizada para las mediciones de adelgazamiento. Las líneas horizontales ilustran las posiciones de las mediciones de adelgazamiento.

La figura 11 es un gráfico de puntos que ilustra "un mapa de adelgazamiento" de muestras de aleación AA6120 predeformadas (las curvas de tensión-deformación se muestran en la figura 7) calentadas a diversas temperaturas (como se indica) mediante calentamiento por inducción a una velocidad de calentamiento de 90 °C/s. El intervalo típico de adelgazamiento deseado depende de la aplicación final y varía entre el 15 % y el 20 %.

La figura 12 es un gráfico de puntos que ilustra "un mapa de adelgazamiento" de muestras de aleación AA6111 predeformadas (las curvas de tensión-deformación se muestran en la figura 7) calentadas a diversas temperaturas (como se indica) mediante calentamiento por inducción a una velocidad de calentamiento de 90 °C/s. El intervalo típico de adelgazamiento deseado depende de la aplicación final y varía entre el 15 % y el 20 %.

La figura 13 es un gráfico de puntos que ilustra "un mapa de adelgazamiento" de muestras de aleación AA6170 predeformadas (las curvas de tensión-deformación se muestran en la figura 7) calentadas a diversas temperaturas (como se indica) mediante calentamiento por inducción a una velocidad de calentamiento de 90 °C/s. El intervalo típico de adelgazamiento deseado depende de la aplicación final y varía entre el 15 % y el 20 %.

La figura 14 es una fotografía de una aleación AA6170 estampada utilizada para la prueba que no se sometió a precalentamiento.

La figura 15 es una fotografía de una aleación AA6170 estampada utilizada para la prueba que no se sometió a precalentamiento.

La figura 16 es una fotografía de una aleación AA6170 estampada utilizada para la prueba que se precalentó a 200 °C antes del estampado.

La figura 17 es una fotografía de AA6170 estampada utilizada para la prueba que era aleación precalentada a 350 °C antes del estampado.

La figura 18 es un gráfico de líneas que muestra las curvas de tensión-deformación de una aleación AA6170 utilizada en los experimentos de estampado descritos en el ejemplo 5 (a temperaturas de precalentamiento de temperatura ambiente, 200 °C, 350 °C).

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Los términos "invención", "la invención", "esta invención" y "la presente invención" utilizados en esta invención pretenden referirse ampliamente a toda la materia objeto de esta solicitud de patente y a las reivindicaciones a continuación. Debe entenderse que las declaraciones que contienen estos términos no limitan la materia objeto descrita en esta invención ni limitan el significado o el alcance de las reivindicaciones de la patente a continuación.

En esta descripción, se hace referencia a las aleaciones identificadas por números AA y otras designaciones relacionadas, como "series" o "7xxx". Para comprender el sistema de designación de números más comúnmente utilizado para nombrar e identificar aluminio y sus aleaciones, véase "International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminum and Wrought Aluminum Alloys" o "Registration Record of Aluminum Association Alloy Designations and Chemical Compositions Limits for Aluminum Alloys in the Form of Castings and Ingot", ambos publicados por The Aluminum Association.

Como se usan en esta invención, el significado de "un", "una" y "el/la" incluyen las referencias en singular y plural, a menos que el contexto dicte claramente lo contrario.

En los siguientes ejemplos, las aleaciones de aluminio se describen en términos de su composición elemental en porcentaje en peso (% en peso). En cada aleación, el resto es aluminio, con un % en peso máximo del 0,15 % para la suma de todas las impurezas.

A menos que se especifique lo contrario en esta invención, temperatura ambiente se refiere a una temperatura entre aproximadamente 20 °C y aproximadamente 25 °C, incluidos 20 °C, 21 °C, 22 °C, 23 °C, 24 °C o 25 °C.

A menos que se especifique lo contrario, el tratamiento térmico generalmente se refiere a calentar una chapa o artículo de aleación a una temperatura suficiente para conformar en caliente la chapa o artículo de aleación. El tratamiento térmico para el conformado en caliente se puede realizar antes de y/o simultáneamente con la etapa de conformado, de modo que el conformado se realiza sobre la chapa o artículo de aleación de aluminio calentado.

Aleaciones y artículos de aluminio

Los procedimientos descritos se llevan a cabo con aleaciones de aluminio de la serie 6XXX endurecibles por envejecimiento y tratables térmicamente (por ejemplo, aleaciones que pueden reforzarse mediante tratamiento térmico y/o envejecimiento). Los ejemplos no limitativos incluyen, AA6010, AA6013, AA6056, AA6111, AA6016, AA6014, AA6008, AA6005, AA6005A, AA6120 y AA6170.

Las aleaciones de aluminio ejemplares pueden comprender los siguientes constituyentes además del aluminio (todos expresados en porcentaje en peso (% en peso)): Si: 0,4-1,5 % en peso, Mg: 0,3-1,5 % en peso, Cu: 0-1,5 % en peso, Mn: 0-0,40 % en peso y Cr: 0-0,30 % en peso. En otro ejemplo, las aleaciones de aluminio pueden comprender los siguientes constituyentes además del aluminio: Si: 0,5-1,4 % en peso, Mg: 0,4-1,4 % en peso, Cu: 0-1,4 % en peso, Mn: 0-0,35 % en peso y Cr: 0-0,25 % en peso. En otro ejemplo más, las aleaciones de aluminio pueden comprender los siguientes constituyentes además del aluminio: Si: 0,6-1,3 % en peso, Mg: 0,5-1,3 % en peso, Cu: 0-1,3 % en peso, Mn: 0-0,30 % en peso y Cr: 0-0,2 % en peso. En otro ejemplo más, las aleaciones de aluminio pueden comprender los siguientes constituyentes además del aluminio: Si: 0,7-1,2 % en peso, Mg: 0,6-1,2 % en peso, Cu: 0-1,2 % en peso, Mn: 0-0,25 % en peso y Cr: 0-0,15 % en peso.

La composición de una aleación de aluminio puede afectar su respuesta al tratamiento térmico. Por ejemplo, la resistencia durante o después del tratamiento térmico puede verse afectada por una cantidad de Mg o de precipitados de Cu-Si-Mg presentes en la aleación. Las aleaciones de aluminio adecuadas para su uso en los procedimientos descritos en esta invención se proporcionan en un temple T4. La designación temple "T4" significa que una aleación de aluminio se trató térmicamente en solución y a continuación se envejeció naturalmente hasta una condición sustancialmente estable (pero no se envejeció artificialmente). En los procedimientos descritos en esta invención, la aleación de aluminio permanece en el mismo estado (es decir, en el temple T4) después de la etapa de conformado en caliente que antes de la etapa de conformado en caliente. En comparación, otros procedimientos de conformado en caliente pueden convertir una aleación de aluminio de temple T4 a T6; la designación "T6" significa que la aleación de aluminio se trató térmicamente en solución y posteriormente se envejeció artificialmente.

- Los artículos de aleación de aluminio que pueden someterse a los procedimientos de conformado en caliente descritos pueden denominarse "artículo de partida" o "material de partida" e incluyen chapas, placas, tubos, tuberías, perfiles y otros siempre que se alcance la velocidad de calentamiento. Los términos "artículo", "material" y "pieza" pueden usarse indistintamente en esta invención. Una chapa de aleación de aluminio que puede usarse como material de partida en los procedimientos descritos se puede producir en forma de chapa con un espesor deseado (calibre), por ejemplo, en un espesor adecuado para la producción de piezas de vehículos de motor. Una chapa de aleación de aluminio puede ser una chapa de aluminio laminada producida a partir de lingotes, palanquillas, planchas, tiras o similares.
- 10 Pueden emplearse diferentes procedimientos para fabricar la chapa o placa de aluminio siempre que esté en el estado T4, antes del procedimiento de conformado en caliente. Por ejemplo, la chapa de aleación de aluminio se puede producir mediante un procedimiento que comprende: colada en frío directo de la aleación de aluminio en un lingote; laminado en caliente del lingote para hacer una chapa; y laminado en frío de la chapa hasta un calibre final. Puede emplearse colada continua o colada en plancha en lugar de colada en frío directo para hacer el material de partida que se procesa en una chapa. El procedimiento de producción de chapas de aleación de aluminio también puede incluir recocido o tratamiento térmico en solución, es decir, un procedimiento de calentamiento de la aleación a una temperatura adecuada y mantenerla a esa temperatura el tiempo suficiente para hacer que uno o más constituyentes entren en una solución sólida y a continuación enfriar lo suficientemente rápido para mantener estos constituyentes en solución. En algunos casos, la chapa y/o placa de aleación de aluminio puede tener un espesor de aproximadamente 0,4 mm a aproximadamente 10 mm, o de aproximadamente 0,4 mm a aproximadamente 5 mm.

La chapa de aleación de aluminio se puede desenrollar o aplanar antes de realizar los procedimientos descritos. Los artículos de aleación de aluminio incluyen artículos de aleación de aluminio de forma bidimensional y tridimensional. Un ejemplo del artículo de aleación es una chapa aplanada o desenrollada, otro ejemplo es un artículo plano cortado de una chapa, sin darle más forma. Otro ejemplo es un artículo de aleación de aluminio no plano producido mediante un procedimiento que implica una o más etapas de conformado tridimensional, como estampar, prensar, conformar a presión o estirar. Tal artículo de aleación de aluminio no plano puede denominarse "estampado", "prensado", "conformado a presión", "estirado", "conformado en tres dimensiones" u otros términos similares. Antes de ser conformado según los procedimientos de conformado en caliente descritos, un artículo de aleación de aluminio se puede preformar mediante otro procedimiento, etapa o combinación de etapas de "conformado en caliente" o "conformado en frío". Los artículos de aleación de aluminio producidos utilizando los procedimientos descritos, que pueden denominarse artículos o productos conformados, se incluyen dentro del alcance de la invención.

Los procedimientos descritos se pueden emplear ventajosamente en las industrias de transporte y del automóvil, que incluyen, pero no se limitan a, fabricación de automóviles, fabricación de camiones, fabricación de barcos y embarcaciones, fabricación de trenes, aviones y fabricación de vehículos espaciales. Algunos ejemplos no limitativos de piezas de vehículos de motor incluyen paneles de piso, paredes traseras, balancines, capós de motor, guardabarros, techos, paneles de puertas, pilares B, largueros, costados de la carrocería, balancines o miembros de choque. El término "vehículo de motor" y los términos relacionados tal como se usan en esta invención no se limitan a automóviles e incluyen diversas clases de vehículos, tales como automóviles, coches, autobuses, motocicletas, vehículos marinos, vehículos todo terreno, camiones ligeros, camiones o camionetas. Sin embargo, los artículos de aleación de aluminio no se limitan a piezas de vehículos de motor; se prevén otros tipos de artículos de aluminio fabricados según los procedimientos descritos en esta solicitud. Por ejemplo, los procedimientos descritos pueden emplearse ventajosamente en la fabricación de diversas piezas de dispositivos o maquinaria mecánicos y de otro tipo, incluidas armas, herramientas, cuerpos de dispositivos electrónicos *etc.*

Los artículos de aleación de aluminio pueden estar compuestos o ensamblados a partir de múltiples piezas. Por ejemplo, las piezas de un vehículo de motor pueden ensamblarse a partir de más de una pieza (como el capó de un automóvil, que tiene un panel interior y uno exterior, o una puerta de automóvil, que tiene un panel interior y uno exterior, o una carrocería de vehículo de motor al menos parcialmente ensamblada que tiene varios paneles). Además, dichos artículos de aleación de aluminio compuestos o ensamblados a partir de múltiples piezas pueden ser adecuados para los procedimientos de conformado en caliente descritos después de que se ensamblen o ensamblen parcialmente. Además, en algunos casos, los artículos de aleación de aluminio pueden contener piezas o secciones que no sean de aluminio, como piezas o secciones que contengan o estén fabricadas a partir de otros metales o aleaciones metálicas (por ejemplo, aleaciones de acero o titanio). En algunos ejemplos, los artículos de aleación de aluminio pueden tener un núcleo y una estructura revestida, con una capa revestida en uno o ambos lados de la capa central.

Calentamiento

Los procedimientos descritos de conformado de chapas de aluminio o artículos fabricados a partir de dichas chapas implican calentar las aleaciones, las chapas o los artículos. El calentamiento de las aleaciones, las chapas o los

artículos se realiza a una temperatura especificada o a una temperatura dentro de un intervalo especificado y a una velocidad de calentamiento especificada o a una velocidad de calentamiento dentro de un intervalo especificado. Las temperaturas, las velocidades de calentamiento o sus intervalos, o combinaciones de ellos, pueden denominarse "parámetros de calentamiento". En los procedimientos descritos en esta invención, la chapa o el artículo se calienta a una temperatura de 450-600 °C, 400-600 °C, 350-600 °C, 300-600 °C, 250-600 °C, 200-600 °C, 150-600 °C, 100-600 °C, 450-550 °C, 400-550 °C, 350-550 °C, 300-550 °C, 250-550 °C, 200-550 °C, 150-550 °C, 100-550 °C, 450-500 °C, 400-500 °C, 350-500 °C, 300-500 °C, 250-500 °C, 200-500 °C, 150-500 °C, 100-500 °C, 400-450 °C, 350-450 °C, 300-450 °C, 250-450 °C, 200-450 °C, 150-450 °C, 100-450 °C, 350-400 °C, 300-400 °C, 250-400 °C, 200-400 °C, 150-400 °C, 100-400 °C, 300-350 °C, 250-350 °C, 200-350 °C, 150-350 °C, 100-350 °C, 250-300 °C, 200-300 °C, 150-300 °C o 100-300 °C, por ejemplo, hasta 100 °C, 125 °C, 150 °C, 175 °C, 200 °C, 225 °C, 250 °C, 275 °C, 300 °C, 325 °C, 350 °C, 375 °C, 400 °C, 425 °C, 450 °C, 475 °C, 500 °C, 525 °C, 550 °C, 575 °C o 600 °C.

Se utiliza una velocidad de calentamiento de 3-90 °C/s, opcionalmente- se puede utilizar una velocidad de calentamiento de 10-90 °C/s, 20-90 °C/s, 30-90 °C/s, 40-90 °C/s, 50-90 °C/s, 60-90 °C/s, 70-90 °C/s u 80-90 °C/s. En algunos ejemplos, se emplea una velocidad de calentamiento de aproximadamente 90 °C/s. Un experto en la materia puede ajustar la velocidad de calentamiento con el equipo disponible dependiendo de las propiedades deseadas de la chapa o artículo.

Se pueden emplear diversos parámetros de calentamiento en los procedimientos de calentamiento. En un ejemplo, se emplea una velocidad de calentamiento de aproximadamente 90 °C/s a una temperatura de 100-600 °C. En otro ejemplo, se emplea una velocidad de calentamiento de aproximadamente 90 °C/s a una temperatura de 100-450 °C. En otro ejemplo más, se emplea una velocidad de calentamiento de aproximadamente 90 °C/s a una temperatura de 250-350 °C. En un ejemplo más, se emplea una velocidad de calentamiento de aproximadamente 90 °C/s a una temperatura de 250-450 °C. Los parámetros de calentamiento se seleccionan basándose en una diversidad de factores, tales como una combinación deseada de las propiedades del artículo de aleación de aluminio o aleación de aluminio.

Las temperaturas y los intervalos de temperatura anteriores se utilizan para indicar la temperatura de "calentamiento deseada". En los procedimientos descritos, el procedimiento de calentamiento se aplica a una chapa o artículo hasta que se alcanza la temperatura de "calentamiento deseada". En otras palabras, la temperatura de "calentamiento deseada" es la temperatura a la que se calienta la chapa o el artículo antes de la etapa de conformado. La temperatura de "calentamiento deseada" puede mantenerse durante la etapa de conformado mediante un procedimiento de calentamiento apropiado, o el procedimiento de calentamiento puede detenerse antes de la etapa de conformado, en cuyo caso la temperatura de la chapa o artículo durante la etapa de conformado puede ser más baja que la temperatura de "calentamiento deseada" especificada. La temperatura de la chapa o artículo puede o no monitorearse mediante procedimientos e instrumentos apropiados. Por ejemplo, si no se monitorea la temperatura, la temperatura de "calentamiento deseada" puede ser una temperatura calculada y/o una temperatura deducida experimentalmente.

La velocidad de calentamiento se puede lograr eligiendo un tratamiento térmico, procedimiento de calentamiento o sistema apropiado para calentar la chapa de aleación de aluminio. Generalmente, el procedimiento o sistema de calentamiento empleado debe proporcionar suficiente energía para lograr las velocidades de calentamiento especificadas anteriormente. Por ejemplo, el calentamiento se puede realizar mediante calentamiento por inducción. Algunos ejemplos no limitativos de procedimientos de calentamiento que pueden emplearse son el calentamiento por contacto, el calentamiento por inducción, el calentamiento por resistencia, el calentamiento por radiación infrarroja, el calentamiento por quemador de gas y el calentamiento resistivo directo. Generalmente, el diseño y la optimización del sistema de calentamiento y el protocolo se pueden realizar para administrar el flujo de calor y/o para lograr las características deseadas de la chapa o artículo.

Propiedades

El calentamiento de la chapa o artículo en el procedimiento descrito en esta invención da como resultado una combinación ventajosa de propiedades. Por ejemplo, se consigue una combinación ventajosa de propiedades de conformabilidad y resistencia de la chapa o artículo. En algunos otros casos, la chapa también puede presentar ventajosamente bajo adelgazamiento durante el conformado. Además, la chapa o artículo permanece en el mismo estado metalúrgico antes y después del calentamiento y conserva determinadas propiedades y comportamientos, una vez enfriado, en comparación con las propiedades que posee la chapa o artículo antes del calentamiento.

Los procedimientos descritos mejoran la conformabilidad de la chapa o artículo. La conformabilidad de una chapa o artículo es una medida de la cantidad de deformación que puede soportar antes de la fractura o adelgazamiento excesivo. El alargamiento puede servir como indicador de conformabilidad; las chapas y los artículos con mayor alargamiento tienen buena conformabilidad. Generalmente, el alargamiento se refiere al grado en que un material puede doblarse, estirarse o comprimirse antes de romperse. El alargamiento de una chapa o artículo y otras propiedades que influyen en la conformabilidad, el resultado del procedimiento de conformado y la calidad de los

productos resultantes pueden determinarse mediante pruebas de tracción.

La prueba de tracción de las muestras se lleva a cabo según los procedimientos estándar conocidos en el área de la ciencia de los materiales descritos en las publicaciones pertinentes, como las proporcionadas por la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés). La norma ASTM E8/EM8 (DOI:10.1520/E0008 E0008M-15A) titulada "Procedimientos de prueba estándar para pruebas de tensión de materiales metálicos" especifica los procedimientos de prueba de tracción para materiales metálicos. Brevemente, la prueba de tracción se realiza en una máquina de prueba de tracción estándar conocida por un experto en la materia. Una muestra es típicamente una muestra plana de forma estándar que tiene dos hombros (que la máquina puede agarrar fácilmente) y un área de calibre de sección transversal más pequeña. Durante la prueba, la muestra se coloca en la máquina de prueba y se extiende uniaxialmente hasta que se fractura, mientras que el alargamiento de la sección de calibre de la muestra de aleación se registra contra la fuerza aplicada. El alargamiento es la cantidad de estiramiento permanente de una muestra y se mide como el aumento en la longitud del calibre de una muestra de prueba. La longitud del calibre de la muestra de prueba se especifica porque influye en el valor de alargamiento. Algunas propiedades medidas durante las pruebas de tracción y utilizadas para caracterizar la aleación de aluminio son la tensión de ingeniería, la deformación de ingeniería y el alargamiento en la fractura. La medida de alargamiento se puede utilizar para calcular la "deformación de ingeniería" o la relación entre el cambio de longitud del calibre y la longitud original. La deformación de ingeniería se puede informar en porcentaje (%). El alargamiento en la fractura, que también se puede informar como alargamiento total, es la cantidad de deformación de ingeniería en el momento de la fractura de la muestra. La tensión de ingeniería se calcula dividiendo la carga aplicada a la muestra por el área de la sección transversal original de la muestra de prueba. Los puntos de datos de deformación de ingeniería y de tensión de ingeniería se pueden representar gráficamente en una curva de tensión-deformación.

La etapa de calentamiento empleada en los procedimientos de conformado en caliente descritos mejora el alargamiento de la chapa o artículo, en comparación con la misma chapa o artículo a temperatura ambiente. Por ejemplo, la etapa de calentamiento puede mejorar el alargamiento de la chapa o artículo en hasta aproximadamente un 30 %, en hasta aproximadamente un 20 %, en hasta aproximadamente un 15 %, en al menos un 15 %, en al menos un 5 %, en aproximadamente un 5-15 %, en aproximadamente un 5-20 %, o en aproximadamente un 5-30 %, en comparación con la condición antes de calentar. En algunos casos, el alargamiento de se mejora en aproximadamente un 5 %, 6 %, 7 %, 8 %, 9 %, 10 %, 11 %, 12 %, 13 %, 14 %, 15 %, 16 %, 17 %, 18 %, 19 %, 20 %, 21 %, 22 %, 23 %, 24 %, 25 %, 26 %, 27 %, 28 %, 29 % o 30 %. En algunos casos, el calentamiento de la chapa o artículo da como resultado un alargamiento (medido como deformación de ingeniería) de al menos aproximadamente el 40 %, al menos aproximadamente el 45 %, al menos aproximadamente el 50 %, al menos aproximadamente el 55 %, al menos aproximadamente el 60 %, al menos aproximadamente el 70 %, al menos aproximadamente el 75 %, al menos aproximadamente el 80 %, al menos aproximadamente el 85 %, o de aproximadamente el 35-85 %, 35-80 %, 35-75 %, 35-70 %, 35-65 %, 35-60 %, 40-85 %, 40-80 %, 40-75 %, 40-70 %, 40-65 %, 40-60 %, 45-85 %, 45-80 %, 45-75 %, 45-70 %, 45-65 %, 45-60 %, 50-85 %, 50-80 %, 50-75 %, 50-70 %, 50-65 % o 50-60 %. En algunos ejemplos, se consiguen valores de alargamiento de la chapa o artículo de aluminio comparables a los del acero tomados a temperatura ambiente (aproximadamente el 53 %).

La etapa de calentamiento empleada en los procedimientos descritos mejora el alargamiento de la chapa o artículo calentado mientras conserva las propiedades de resistencia (por ejemplo, resistencia a la tracción, medida como tensión de ingeniería) dentro de un intervalo adecuado para procedimientos de conformado industrial. Por ejemplo, la chapa o artículo de aluminio calentado puede tener una resistencia máxima a la tracción (medida como deformación de ingeniería durante la prueba de tracción) de al menos aproximadamente 10 MPa, al menos aproximadamente 20 MPa, al menos aproximadamente 30 MPa, al menos aproximadamente 40 MPa, como mínimo al menos aproximadamente 50 MPa, al menos aproximadamente 60 MPa, al menos aproximadamente 70 MPa, al menos aproximadamente 80 MPa, al menos aproximadamente 90 MPa, al menos aproximadamente 100 MPa, al menos aproximadamente 110 MPa, al menos aproximadamente 120 MPa, al menos aproximadamente 130 MPa, al menos aproximadamente 140 MPa, al menos aproximadamente 150 MPa, aproximadamente 10-150 MPa, aproximadamente 10-140 MPa, aproximadamente 10-130 MPa, aproximadamente 10-120 MPa, aproximadamente 10-110 MPa, aproximadamente 10-100 MPa, aproximadamente 10-90 MPa, aproximadamente 10-80 MPa, aproximadamente 10-70 MPa, aproximadamente 10-60 MPa, aproximadamente 10-50 MPa, aproximadamente 20-150 MPa, aproximadamente 20-140 MPa, aproximadamente 20-130 MPa, aproximadamente 20-120 MPa, aproximadamente 20-110 MPa, aproximadamente 20-100 MPa, aproximadamente 20-90 MPa, aproximadamente 20-80 MPa, aproximadamente 20-70 MPa, aproximadamente 20-60 MPa, aproximadamente 20-50 MPa, aproximadamente 30-150 MPa, aproximadamente 30-140 MPa, aproximadamente 30-130 MPa, aproximadamente 30-120 MPa, aproximadamente 30-110 MPa, aproximadamente 30-100 MPa, aproximadamente 30-90 MPa, aproximadamente 30-80 MPa, aproximadamente 30-70 MPa, aproximadamente 30-60 MPa, aproximadamente 30-50 MPa, aproximadamente 40-150 MPa, aproximadamente 40-140 MPa, aproximadamente 40-130 MPa, aproximadamente 40-120 MPa, aproximadamente 40-110 MPa, aproximadamente 40-100 MPa, aproximadamente 40-90 MPa, aproximadamente 40-80 MPa, aproximadamente 40-70 MPa, aproximadamente 30-60 MPa o aproximadamente 30-

50 MPa.

Se pueden seleccionar condiciones de tratamiento térmico para mejorar la conformabilidad mientras se limita el adelgazamiento de la chapa o artículo. Uno de los desafíos de un procedimiento de conformado en caliente es que las altas temperaturas típicamente aumentan el adelgazamiento de la pieza de aluminio, a veces dramáticamente, durante la etapa de conformado debido a la localización de la deformación. Para ilustrar, un valor de adelgazamiento superior al 15 % (medido por protocolos de prueba estándar) puede no ser aceptable en un procedimiento de fabricación, sin embargo, una etapa de conformado en caliente puede crear valores de adelgazamiento del 40-50 %. Los parámetros de calentamiento usados en los procedimientos descritos conducen a valores de adelgazamiento observados menores o iguales al 40 %, 35 %, 30 %, 25 %, 20 %, 15 % o 10 %, por ejemplo, 5-10 %, 5-15 %, 5-20 %, 5-25 %, 5-30 %, 5-35 %, 5-40 %, 10-15 %, 10-20 %, 10-25 %, 10-30 %, 10-35 %, 10-40 %, 15-20 %, 15-25 %, 15-30 %, 15-35 %, 15-40 %, 20-25 %, 20-30 %, 20-35 % o 20-40 %. Los valores de adelgazamiento se observan en combinación con una deformación previa especificada de una muestra de prueba durante la prueba. Por ejemplo, se puede observar aproximadamente un 15 % de adelgazamiento a aproximadamente un 55 % de predeformación, o aproximadamente un 22 % de adelgazamiento a aproximadamente un 65 % de predeformación. Para caracterizar las características de adelgazamiento, las muestras de aleación de aluminio se prueban según los procedimientos estándar conocidos en el área de la ciencia de los materiales descritos en los materiales pertinentes, como los proporcionadas por la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés). La norma ASTM E797, titulada "Práctica estándar para medir el espesor mediante el procedimiento manual de contacto ultrasónico de pulso eco", especifica los procedimientos de prueba relevantes para materiales metálicos. Estos procedimientos se ilustran en el ejemplo 4 titulado "Prueba de adelgazamiento" a continuación.

Las condiciones de tratamiento térmico que se pueden usar en los procedimientos de conformado en caliente descritos se seleccionan de modo que se conserven el estado metalúrgico y el comportamiento y las propiedades de envejecimiento de la chapa o artículo de aluminio. La competencia de los procedimientos de precipitación y disolución en una aleación de aluminio durante el calentamiento a menudo conduce a la transición de la aleación en temple T4 a un temple diferente, como T6, el sobre-envejecimiento con la consiguiente pérdida de resistencia y la pérdida de las propiedades de endurecimiento por envejecimiento, debido a los constituyentes de endurecimiento de la aleación precipitados durante la etapa de calentamiento. En esta situación, las etapas del procedimiento posteriores al calentamiento y destinadas al endurecimiento no tendrán el efecto deseado. Por ejemplo, se sabe que los efectos anteriores se producen cuando se emplean velocidades de calentamiento relativamente bajas, como 0,1 °C/s, durante las etapas de conformado en caliente. Los procedimientos descritos evitan estas desventajas al emplear velocidades de calentamiento más altas.

La etapa de calentamiento empleada antes o durante los procedimientos de conformado en caliente descritos conserva las propiedades de resistencia (por ejemplo, resistencia a la tracción, medida como tensión de ingeniería) de la chapa o artículo después del enfriamiento, seguido opcionalmente por el endurecimiento por envejecimiento y/o tratamiento térmico, dentro de un intervalo adecuado para las prácticas de fabricación. Por ejemplo, en algunos ejemplos, la chapa o artículo tiene una resistencia máxima a la tracción, medida como deformación de ingeniería durante la prueba de tracción, después de enfriar por enfriamiento con agua, seguido de una semana de endurecimiento por envejecimiento a temperatura ambiente y, opcionalmente, tratamiento térmico a 180 °C durante 10 horas, de al menos aproximadamente 10 MPa, al menos aproximadamente 20 MPa, al menos aproximadamente 30 MPa, al menos aproximadamente 40 MPa, al menos aproximadamente 50 MPa, al menos aproximadamente 60 MPa, al menos aproximadamente 70 MPa, al menos aproximadamente 80 MPa, al menos aproximadamente 90 MPa, al menos aproximadamente 100 MPa, al menos aproximadamente 110 MPa, al menos aproximadamente 120 MPa, al menos aproximadamente 130 MPa, al menos aproximadamente 140 MPa, aproximadamente 10-150 MPa, aproximadamente 10-140 MPa, aproximadamente 10-130 MPa, aproximadamente 10-120 MPa, aproximadamente 10-110 MPa, aproximadamente 10-100 MPa, aproximadamente 10-90 MPa, aproximadamente 10-80 MPa, aproximadamente 10-70 MPa, aproximadamente 10-60 MPa, aproximadamente 10-50 MPa, aproximadamente 20-150 MPa, aproximadamente 20-140 MPa, aproximadamente 20-130 MPa, aproximadamente 20-120 MPa, aproximadamente 20-110 MPa, aproximadamente 20-100 MPa, aproximadamente 20-90 MPa, aproximadamente 20-80 MPa, aproximadamente 20-70 MPa, aproximadamente 20-60 MPa, aproximadamente 20-50 MPa, aproximadamente 30-150 MPa, aproximadamente 30-140 MPa, aproximadamente 30-130 MPa, aproximadamente 30-120 MPa, aproximadamente 30-110 MPa, aproximadamente 30-100 MPa, aproximadamente 30-90 MPa, aproximadamente 30-80 MPa, aproximadamente 30-70 MPa, aproximadamente 30-60 MPa, aproximadamente 30-50 MPa, aproximadamente 40-150 MPa, aproximadamente 40-140 MPa, aproximadamente 40-130 MPa, aproximadamente 40-120 MPa, aproximadamente 40-110 MPa, aproximadamente 40-100 MPa, aproximadamente 40-90 MPa, aproximadamente 40-80 MPa, aproximadamente 40-70 MPa, aproximadamente 30-60 MPa o aproximadamente 30-50 MPa.

La etapa de calentamiento empleada en los procedimientos de conformado en caliente descritos conserva el estado metalúrgico de la aleación después del enfriamiento, seguido opcionalmente por el endurecimiento por envejecimiento

- y/o tratamiento térmico, dentro de un intervalo adecuado para las prácticas de fabricación. El estado metalúrgico se puede caracterizar por la conductividad eléctrica, medida según los protocolos estándar. La norma ASTM E1004, titulada "Procedimiento de prueba estándar para determinar la conductividad eléctrica utilizando el procedimiento electromagnético (corrientes de Foucault)", especifica los procedimientos de prueba relevantes para materiales metálicos. Por ejemplo, en algunos ejemplos, una chapa de aleación de aluminio 6XXX tiene una conductividad eléctrica de 26-27,5 milisiemens por metro (MS/m), después de enfriar por enfriamiento con agua, seguido de una semana de endurecimiento por envejecimiento a temperatura ambiente y, opcionalmente, tratamiento térmico a 180 °C durante 10 horas.
- 10 Los artículos conformados según los procedimientos de conformado en caliente descritos pueden combinar las propiedades explicadas anteriormente de diversas formas. Por ejemplo, una chapa o un artículo pueden tener uno o más de: alargamiento del 57 % a 350 °C, resistencia máxima a la tracción de 51 MPa a 350 °C, resistencia máxima a la tracción de 197 MPa después de someterse a tratamiento térmico a 350 °C, seguido de enfriamiento con agua y envejecimiento durante una semana a temperatura ambiente, y conductividad de 27 mS/m después de someterse a
- 15 tratamiento térmico a 350 °C, seguido de enfriamiento con agua y envejecimiento durante una semana a temperatura ambiente. La chapa o el artículo pueden mostrar otros valores o intervalos de valores, como los enumerados anteriormente en esta sección.

Conformado

- 20 Los procedimientos descritos incluyen al menos una etapa de conformado durante o después de la etapa de calentamiento. El término "conformado", como se usa en esta invención, incluye cortar, estampar, prensar, conformar a presión o estirar. Se calienta un artículo hecho de una aleación de aluminio tratable térmicamente y endurecible por envejecimiento, como se explicó anteriormente en este documento, y se le da forma al artículo calentado. La etapa de
- 25 conformado anterior se puede incluir dentro de un procedimiento de conformado en caliente. El conformado en caliente se puede realizar mediante estampado o prensado. En la etapa del procedimiento de estampado o prensado, que se describe en general, se da forma a un artículo presionándolo entre dos troqueles de forma complementaria. El conformado en caliente se puede realizar en condiciones isotérmicas o no isotérmicas. En condiciones isotérmicas, la pieza en bruto de aleación de aluminio y todos los componentes de las herramientas, como los troqueles, se calientan a la misma temperatura. En condiciones no isotérmicas, los componentes de las herramientas pueden tener
- 30 temperaturas diferentes a las de la pieza en bruto.
- Además de la etapa de conformado en caliente anterior, los procedimientos descritos pueden incluir etapas de conformado adicionales. Por ejemplo, antes del conformado en caliente, un artículo de aleación de aluminio se puede
- 35 conformar mediante una combinación de uno o más procedimientos o etapas de conformado en caliente o conformado en frío. Por ejemplo, una chapa puede seccionarse antes de someterse a conformado en caliente, por ejemplo, cortándola en artículos precursores o formas denominadas "piezas en bruto", tales como "piezas en bruto de estampado", que significa precursores del estampado. En consecuencia, se puede utilizar una etapa de cortar una chapa de aluminio en "piezas en bruto de estampado" para darle forma adicional en una prensa de estampado.
- 40 También se puede dar forma a una chapa o una pieza en bruto mediante estampado antes del conformado en caliente.

Procedimientos industriales

- Los procedimientos descritos pueden incorporarse a los procedimientos y líneas existentes para la producción de
- 45 artículos de aleación de aluminio, como artículos de aluminio estampados (por ejemplo, paneles de automoción estampados), mejorando así los procedimientos y los artículos resultantes de una forma simplificada económica. Los aparatos y sistemas para realizar los procedimientos y producir los artículos descritos en este documento están incluidos dentro del alcance de la presente invención.
- 50 Un procedimiento ejemplar para producir un artículo de aleación de aluminio estampado, como un panel de vehículo de motor, incluye varias (dos o más, como dos, tres, cuatro, cinco, seis o más) etapas de estampado del artículo en una secuencia de prensas de estampado ("línea de prensa"). El procedimiento incluye una o más etapas de tratamiento térmico realizadas en diferentes puntos del procedimiento antes o durante una o más de las etapas de estampado. Se proporciona una pieza en bruto de estampado antes de la primera etapa de estampado. Se puede realizar una etapa
- 55 de calentamiento en una pieza en bruto de estampado antes de la primera etapa de estampado (es decir, en la entrada de la línea de prensa). También se puede incluir una etapa de calentamiento después de una o más de las etapas de prensado primera o intermedia. Por ejemplo, si la línea de prensado incluye cinco prensas de estampado y las etapas correspondientes, dicha etapa de calentamiento puede incluirse antes de una o más de las etapas intermedias de estampado primera, segunda, tercera, cuarta y quinta.
- 60 Las etapas de calentamiento pueden incluirse en un procedimiento de producción en diversas combinaciones, y se pueden tener en cuenta diversas consideraciones al decidir sobre una combinación específica y la ubicación de las

etapas de calentamiento en un procedimiento de producción. Por ejemplo, puede producirse una etapa de calentamiento antes de una o más etapas de estampado en las que es deseable una mayor conformabilidad. El procedimiento puede incluir una o más etapas de conformado en caliente y una o más etapas de conformado en frío. Por ejemplo, en un procedimiento de dos etapas, se puede dar forma a una chapa de aluminio en una etapa de conformado en caliente, seguida de una etapa de conformado en frío. Alternativamente, una etapa de conformado en frío puede preceder a una etapa de conformado en caliente.

También se describen sistemas para llevar a cabo los procedimientos para producir o fabricar artículos de aleación de aluminio que incorporan equipos para practicar los procedimientos descritos. Un sistema ejemplar es una línea de prensado para producir artículos estampados, como paneles, que incorpora estaciones o sistemas de conformado en caliente en diversos puntos de la línea.

Los procedimientos descritos pueden incluir etapas adicionales empleadas en la producción de artículos de aluminio, tales como corte, dobladillo, unión, otras etapas de tratamiento térmico realizadas de forma simultánea o posterior al conformado, enfriamiento, endurecimiento por envejecimiento o etapas de revestimiento o pintura de un artículo con pintura o revestimiento adecuados. Los procedimientos pueden incluir una etapa de horneado de pintura, que puede denominarse "horneado de pintura", "horneado de pintura", "ciclo de horneado de pintura" u otros términos relacionados. Algunas de las etapas empleadas en los procedimientos de producción o fabricación de un artículo de aluminio, como las etapas de tratamiento térmico posterior al conformado y un ciclo de horneado de pintura, pueden afectar el envejecimiento de una aleación de aluminio a partir de la cual se fabrica el artículo y, por lo tanto, afectar sus propiedades mecánicas, como la resistencia. El artículo resultante puede tener un temple diferente al temple T4, por ejemplo, un temple T6.

Un procedimiento ejemplar de producción o fabricación de un artículo de aluminio puede incluir las etapas de calentar una pieza en bruto de aleación de aluminio a una temperatura de 100-600 °C a una velocidad de calentamiento de 3-90 °C/s., transferir rápidamente la pieza en bruto a una herramienta de estampado, dar forma a la pieza en bruto mediante estampado en la herramienta de estampado, después de estampar una o más etapas de corte, dobladillo y unión, seguido de una etapa de tratamiento térmico. Otro procedimiento ejemplar de producción o fabricación de un artículo de aluminio puede incluir las etapas de calentar una pieza en bruto de aleación de aluminio a una temperatura de 100-500 °C a una velocidad de calentamiento de 3-90 °C/s, transferir rápidamente la pieza en bruto a una herramienta de estampado, dar forma a la pieza en bruto mediante estampado en la herramienta de estampado, después de estampar una o más etapas de corte, dobladillo y unión, seguido de una etapa de tratamiento térmico.

Los siguientes ejemplos servirán para ilustrar adicionalmente la presente invención sin que, al mismo tiempo, constituyan ninguna limitación de la misma. Por el contrario, puede recurrirse a diversas realizaciones, modificaciones y equivalentes de la misma que, después de leer la descripción en esta invención, pueden sugerirse a los expertos en la materia sin apartarse del espíritu de la invención.

EJEMPLO 1

Prueba de tracción a temperatura elevada

Se realizó una prueba de tracción a temperatura elevada de muestras de aleación AA6016. Las muestras de prueba fueron las muestras de aleación AA6016 con la forma que se ilustra en la figura 1. Las muestras tenían un espesor de 1,2 mm. Para la prueba de temperatura elevada, las muestras se calentaron a diversas temperaturas mediante calentamiento por inducción a una velocidad de calentamiento de 90 °C/s. Se utilizó un pirómetro para medir la temperatura de cada muestra. La temperatura de prueba especificada de cada muestra se mantuvo durante la prueba de tracción. La figura 2 muestra las curvas de calentamiento de las muestras de AA6016 antes y durante la prueba de tracción, con flechas que indican el inicio de la prueba de tracción una vez que las muestras alcanzaron la temperatura diana. También se probaron una muestra de AA6016 y una muestra de acero (DX56D (acero con bajo contenido de carbono) de Voestalpine (Linz, Austria)) a temperatura ambiente. La muestra de acero probada a temperatura ambiente se denomina "acero frío" en la figura 3, mientras que la muestra de AA6016 probada a temperatura ambiente se denomina "TA" en la figura 3.

La figura 3 muestra las curvas de tensión-deformación de las muestras de AA6016 probadas y de la muestra de acero. La línea de puntos vertical representa el alargamiento total de la muestra de acero. La prueba de tracción mostró que calentar las muestras de AA6016 a una temperatura de 250 °C o más dio como resultado un alargamiento total aumentado, en comparación con el alargamiento total mostrado por la muestra de AA6016 en a temperatura ambiente. Calentar las muestras de AA6016 a 300 °C dio como resultado una ganancia de aproximadamente un 15 % en el alargamiento total. Sorprendentemente, las muestras de AA6016 calentadas a 350 °C presentaron aproximadamente el mismo alargamiento total que la muestra de acero a temperatura ambiente. Estos resultados indican que las muestras de aluminio tratadas con los procedimientos de la presente invención pueden reemplazar al acero en algunas

aplicaciones. Las temperaturas superiores a 350 °C produjeron un alargamiento mayor que las muestras de acero, aunque el adelgazamiento puede aumentar en algunas de estas temperaturas más altas. Los niveles de tensión de ingeniería medidos durante la prueba indicaron que, a medida que aumenta la temperatura, se necesitarían aplicar fuerzas cada vez más pequeñas durante el conformado en caliente de la aleación AA6016.

5

EJEMPLO 2

Prueba de tracción posterior al tratamiento térmico

- 10 Se realizó una prueba de tracción posterior al tratamiento térmico de muestras de aleación AA6016. Las muestras de prueba fueron las muestras aleación AA6016 con la forma que se ilustra en la figura 1. Las muestras tenían un espesor de 1,2 mm. Para la prueba posterior al tratamiento térmico, las muestras se calentaron a diversas temperaturas mediante calentamiento por inducción a una velocidad de 90 °C/s, se enfrió en agua ("enfriado con agua") y, después del enfriamiento con agua, se envejeció durante 1 semana a temperatura ambiente. También se probó una muestra de AA6016 mantenida a temperatura ambiente ("muestra a temperatura ambiente") con fines comparativos. La figura 15 4 muestra las curvas de tensión-deformación de muestras de AA6016 post-tratamiento térmico. Las curvas de tensión-deformación post-tratamiento térmico que se muestran en la figura 4 son de forma y magnitud sustancialmente similares, y también son similares a la curva de tensión-deformación de la muestra a temperatura ambiente (ref T4). Las curvas de tensión-deformación que se muestran en la figura 4 demuestran que el tratamiento térmico usado en el experimento no alteró las propiedades mecánicas o el estado metalúrgico de la muestra de AA6016.

- La figura 5 muestra las curvas de tensión-deformación relacionadas con la figura 4 (conjunto inferior de curvas; REF T4, una muestra TA formada a temperatura ambiente, y una curva de tensión-deformación representativa para la muestra ejemplar, T4) y, con fines comparativos, las curvas de tensión-deformación de las muestras de aleación AA6016 calentadas a diversas temperaturas mediante calentamiento por inducción a una velocidad de calentamiento de 90 °C/s, enfriado con agua, envejecido naturalmente durante 1 semana a temperatura ambiente, tratado 25 térmicamente a 180 °C durante 10 horas, a continuación enfriado a temperatura ambiente (conjunto superior de curvas; aleación AA6016 no sometida a conformado en caliente (línea de puntos superior) y una curva de tensión-deformación representativa para la muestra ejemplar, T6). La figura 6 es un gráfico de barras que muestra los resultados de las mediciones de conductividad eléctrica comparativas de muestras de aleación AA6016 tratadas de la misma manera que para los experimentos de prueba de tracción utilizados para generar la figura 5. La línea horizontal indica el valor de conductividad mínimo demostrado por las aleaciones AA6xxx en temple T4. Las muestras de aleación AA6016 se calentaron a diversas temperaturas mediante calentamiento por inducción a 90 °C/s, se enfrió con agua y se envejeció naturalmente durante 1 semana a temperatura ambiente, lo que dio como resultado un temple T4. Se midieron las 35 conductividades de las muestras de T4 y se ilustran como el histograma de la izquierda en cada conjunto. A continuación, las muestras se trataron térmicamente a 180 °C durante 10 horas, a continuación, se enfriaron a temperatura ambiente, lo que dio como resultado un temple T6. Después de enfriar, se midieron las conductividades de las muestras de ahora T6 y se ilustran como el histograma de la derecha en cada conjunto. Según los datos de conductividad, todas las muestras de AA6016 permanecieron en temple T4 después del tratamiento térmico cuando se mantuvieron a temperatura ambiente durante 1 semana. En comparación, las muestras de AA6016 posteriormente 40 tratadas térmicamente a 180 °C durante 10 horas presentaron un endurecimiento relacionado con el envejecimiento y una transición al temple T6. Los datos anteriores indicaron que era posible mantener el temple T4 y evitar el endurecimiento por envejecimiento de la aleación de aluminio AA6016 durante un período de tiempo después del conformado en caliente. Este fenómeno apuntó a una conformabilidad duradera de la chapa de aleación de aluminio formada en caliente, que puede permitir la realización de etapas de estampado adicionales después del conformado 45 en caliente. Los datos anteriores también indicaron que las muestras de aleación AA6016 tratadas térmicamente conservaron su potencial de endurecimiento por envejecimiento y, por lo tanto, pueden endurecerse por envejecimiento después del conformado en caliente (por ejemplo, mediante tratamiento térmico durante el horneado de la pintura o tratamiento térmico posterior al conformado).

50

EJEMPLO 3

Prueba de tracción posterior al tratamiento térmico de muestras calentadas a diferentes velocidades de calentamiento

- 55 Se realizó una prueba de tracción posterior al tratamiento térmico de muestras de aleación AA6016 calentadas a diferentes velocidades de calentamiento. Las muestras de prueba fueron las muestras de aleación AA6016 ilustradas en la figura 1. Las muestras tenían un espesor de 1,2 mm. Para la prueba posterior al tratamiento térmico, las muestras se calentaron (denominadas "HT" en las figuras 7-8) a diversas temperaturas mediante calentamiento por inducción a una velocidad de calentamiento de 90 °C/s (conjunto superior de curvas en la figura 7 e histograma izquierdo en cada conjunto en la figura 8) o una velocidad de calentamiento de 3 °C/s (conjunto inferior de curvas en la figura 7 e histograma derecho en cada conjunto en la figura 8), se enfrió en agua (es decir, "WQ" se refiere a enfriado con agua), se envejeció naturalmente durante 1 semana a temperatura ambiente, se trató térmicamente a 180 °C durante 10 60

horas, a continuación se enfrió a temperatura ambiente. También se probó AA6016 mantenida a temperatura ambiente con fines comparativos y se denomina "TA" en las figuras 7-8. La figura 7 muestra las curvas de tensión-deformación de las muestras de AA6016 probadas. La figura 8 es un gráfico de barras que muestra los resultados de las mediciones comparativas de conductividad eléctrica de muestras de aleación AA6016 tratadas de la misma manera que las 5 muestras en los experimentos utilizados para generar la figura 7.

Los datos experimentales ilustrados en las figuras 7 y 8 demostraron que se produjo un sobrevejecimiento de AA6016, con la consiguiente pérdida de resistencia, cuando la aleación se calentó a una velocidad de calentamiento de 3 °C/s a temperaturas de 400 °C y superiores (véase el grupo inferior de curvas en la figura 7 y las barras del 10 histograma de la izquierda de los pares de barras del histograma en la figura 8 a 400 °C, 450 °C y 500 °C). Las mediciones de conductividad confirmaron que AA6016 estaba sobrevejecida cuando se trató térmicamente en las condiciones anteriores, como lo indican los valores de conductividad por encima de 30 MS/m. Los datos anteriores también indicaron que se debe tener cuidado al seleccionar los parámetros de calentamiento y conformado en caliente para evitar promediar. Una velocidad de calentamiento más alta (90 °C/s) proporcionó un intervalo más amplio de 15 temperaturas de calentamiento en las que no se produjo un sobrevejecimiento.

EJEMPLO 4

Prueba de adelgazamiento

20 Se realizaron predeformaciones por tracción de muestras de aleación AA6016 y sus mediciones de adelgazamiento. Las muestras de prueba fueron las muestras aleación AA6016 con la forma que se ilustra en la figura 1. Las muestras tenían un espesor de 1,2 mm. Las muestras fueron previamente deformadas al 45 %, 65 % y 85 % a cada temperatura indicada mediante calentamiento por inducción a 90 °C/s. Las muestras de AA6016 también se probaron a temperatura 25 ambiente (denominada "TA" en la figura 9). El adelgazamiento de cada muestra se midió después de la predeformación a temperatura ambiente en los lugares ilustrados en la figura 10, que es una fotografía de la vista lateral longitudinal de una muestra de aleación de aluminio ejemplar utilizada para las mediciones de adelgazamiento. Las líneas horizontales ilustran las posiciones donde se tomaron las mediciones de adelgazamiento; se utilizaron las mediciones de espesor más pequeñas para calcular el valor de adelgazamiento. Para las mediciones de adelgazamiento, las 30 muestras se conformaron en caliente y se predeformaron al 45 %, 65 % u 85 % a cada temperatura, o se conformaron en caliente y no se predeformaron (se indica como "WF" en la figura 9) a cada temperatura. La figura 9 muestra las curvas de tensión-deformación de las muestras de AA6016 durante la prueba de tracción a temperaturas hasta la falla, con las curvas de tensión-deformación medidas durante las etapas de predeformación a las temperaturas indicadas. La línea de puntos vertical representa el alargamiento total de la muestra de acero medida previamente. La prueba 35 mostró qué tan lejos estaban las muestras de la falla con la predeformación.

Las figuras 11, 12 y 13 muestran un "mapa de adelgazamiento" de las muestras a diversos valores de predeformación y temperatura. Los datos utilizados en las figuras 11, 12 y 13 demuestran que existe un intervalo de temperatura entre 40 150 °C y 450 °C, por ejemplo, 250-350 °C, en el que las aleaciones probadas presentaron simultáneamente una ganancia en el alargamiento total de hasta un 30 %, por ejemplo, un 5-15 % y adelgazamiento limitado (por ejemplo, aproximadamente un 20 % o menos). Una comparación de mapas de adelgazamiento para diferentes aleaciones (AA6120 (figura 11), AA6111 (figura 12) y AA6170 (figura 13) también demostró que el fenómeno de adelgazamiento se puede modular ajustando las composiciones de la aleación.

45 EJEMPLO 5

Estampado a escala de laboratorio

Se cortaron chapas de aleación de aluminio AA6170 (1 mm de espesor) en piezas en bruto de 270 cm x 270 cm y se 50 realizó el estampado. Las piezas rectangulares se calentaron opcionalmente según los procedimientos descritos en esta invención. Se utilizaron cuatro muestras para el experimento de estampado. Las muestras 1 y 2 no se calentaron ni se estamparon a temperatura ambiente (aproximadamente 25 °C). La muestra 3 se calentó a una temperatura de estampado de 200 °C. La muestra 4 se calentó a una temperatura de estampado de 350 °C. Los parámetros de prueba y los resultados se presentan en la tabla 1.

55

Tabla 1

N.º de muestra	Temperatura de precalentamiento °C	Profundidad del estirado mm	Resultado
1	N/A	40	No presentó falla
2	N/A	43	Falla

ES 2 819 151 T3

N.º de muestra	Temperatura de precalentamiento °C	Profundidad del estirado mm	Resultado
3	200	40	Falla
4	350	70	No presentó falla

La muestra 1 se estiró a una profundidad de 40 mm y no presentó agrietamiento que indique falla del material, como se muestra en la figura 14. La muestra 2 se estiró a una profundidad de 43 mm y el agrietamiento es evidente, como se muestra en la figura 15. Estos resultados sugieren que 40 mm es la profundidad máxima de estirado que se puede alcanzar al estampar piezas a temperatura ambiente.

10 Cuando se precalentó a 200 °C, la muestra 3 se agrietó y presentó fallas a una profundidad de estirado de 40 mm, como se muestra en la figura 16. Cuando se precalentó a 350 °C, la muestra 4 no presentó agrietamiento a una profundidad de estirado de 70 mm, como se muestra en la figura 17, lo que sugiere que el estampado con una profundidad de estirado de 75 mm se puede lograr sin fallas cuando se precalienta a 350 °C.

15 Los resultados de estampado descritos en el ejemplo 5 y mostrados en las figuras 14-17 son consistentes con el alargamiento medido a partir de las curvas de tracción presentadas en la figura 18. Por ejemplo, la curva de tracción para la muestra 4 (350 °C) muestra un valor de deformación de ingeniería más alto (eje x) en comparación con las curvas de tracción para la muestra 1 y la muestra 2 (temperatura ambiente, denominada "TA" en la figura 18) y la muestra 3 (200 °C), que tienen un valor de deformación de ingeniería más bajo. Los valores de deformación de ingeniería tanto para la temperatura ambiente como para las curvas de tracción de 200 °C son similares, lo que es consistente con los resultados experimentales de observar el agrietamiento en la muestra 2 a una profundidad de 43 mm y el agrietamiento en la muestra 3 a una profundidad de 40 mm. La conformabilidad de las chapas se puede caracterizar por la profundidad de estirado alcanzable sin agrietamiento de la pieza estampada. Una mayor profundidad de estirado puede indicar una mayor conformabilidad.

20

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de conformado de un artículo fabricado a partir de una aleación de aluminio endurecible por envejecimiento y tratable térmicamente, donde el artículo está hecho de una aleación de la serie 6XXX que comprende:
- 5
- calentar el artículo a una temperatura de 100 °C a 600 °C a una velocidad de calentamiento de 3 °C/segundo a 90 °C/segundo, donde el artículo está en temple T4 antes y después de la etapa de calentamiento; y, dar forma al artículo, donde dar forma al artículo comprende cortar, estampar, prensar, conformar a presión o estirar.
- 10
2. El procedimiento de la reivindicación 1, donde el artículo es una chapa.
3. El procedimiento de la reivindicación 1 o 2, que comprende además enfriar el artículo conformado y que opcionalmente comprende además una segunda etapa de conformado después de la etapa de enfriamiento.
- 15
4. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde la temperatura es de 150 °C a 450 °C y en particular donde la temperatura es de 250 °C a 450 °C o
- 20 donde la temperatura es de 350 °C a 500 °C.
5. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde el adelgazamiento del artículo después de la primera etapa de conformado es inferior al 22 %.
- 25
6. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1-5, donde el calentamiento comprende calentamiento por inducción.
7. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1-6, donde el procedimiento produce un panel de
- 30 vehículo de motor.

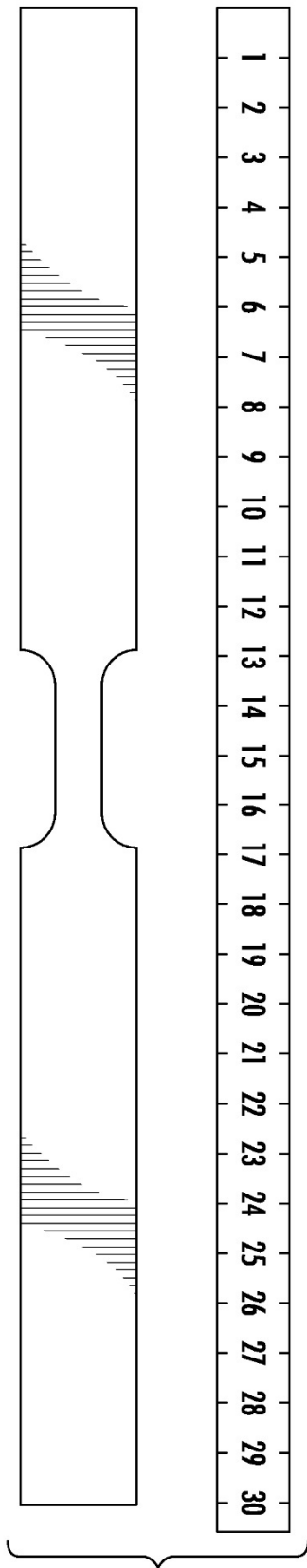


FIG. 1

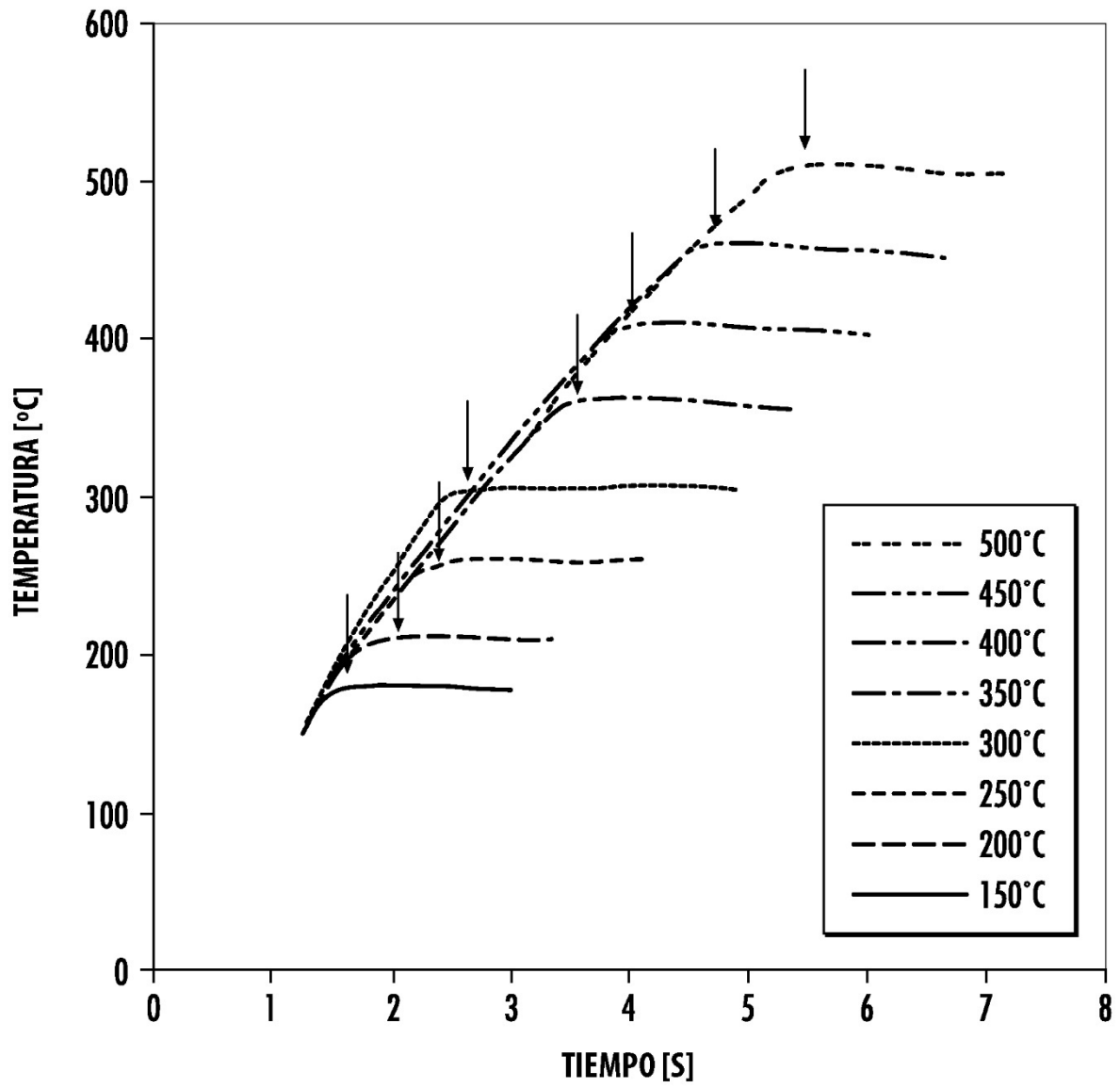


FIG. 2

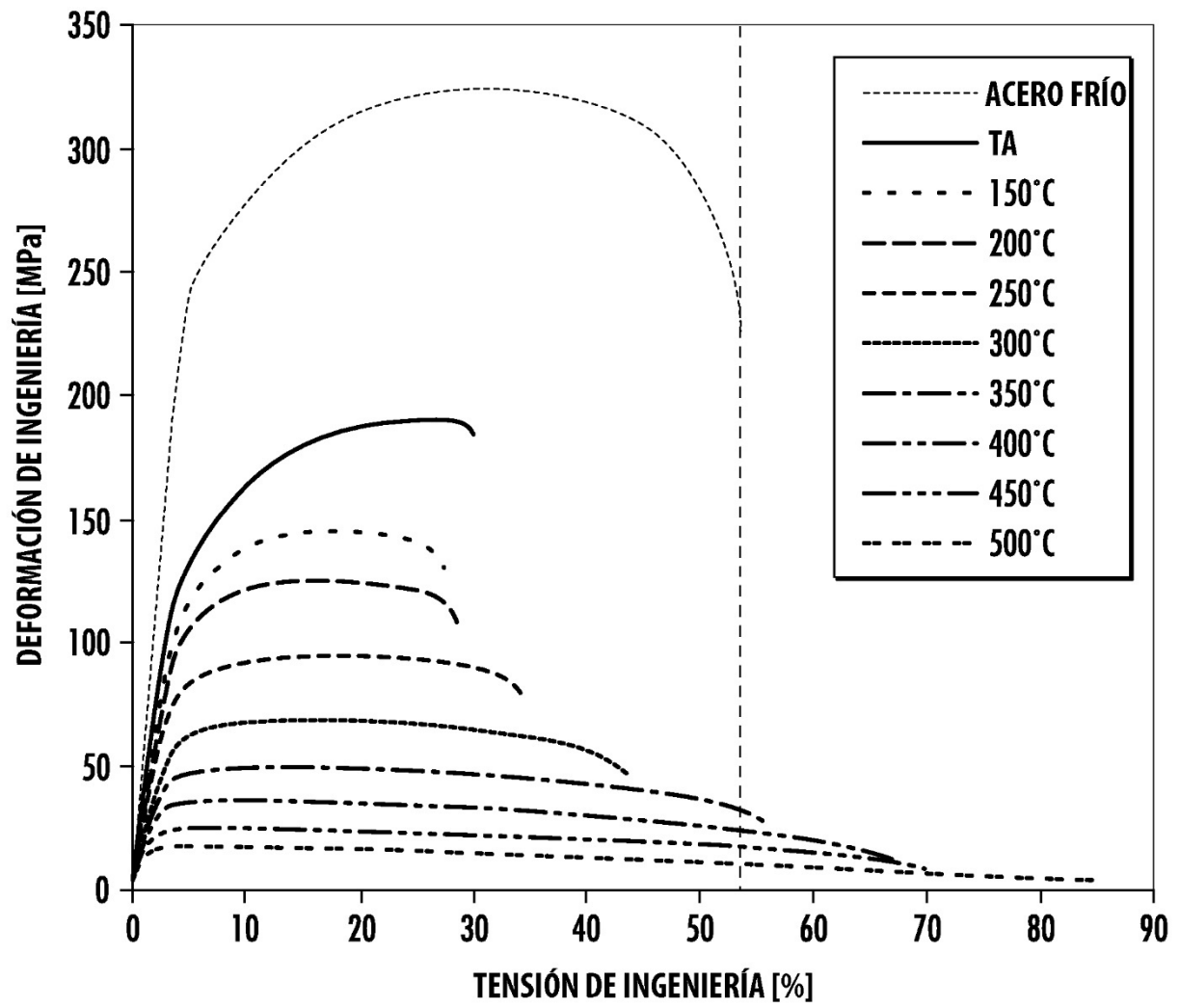


FIG. 3

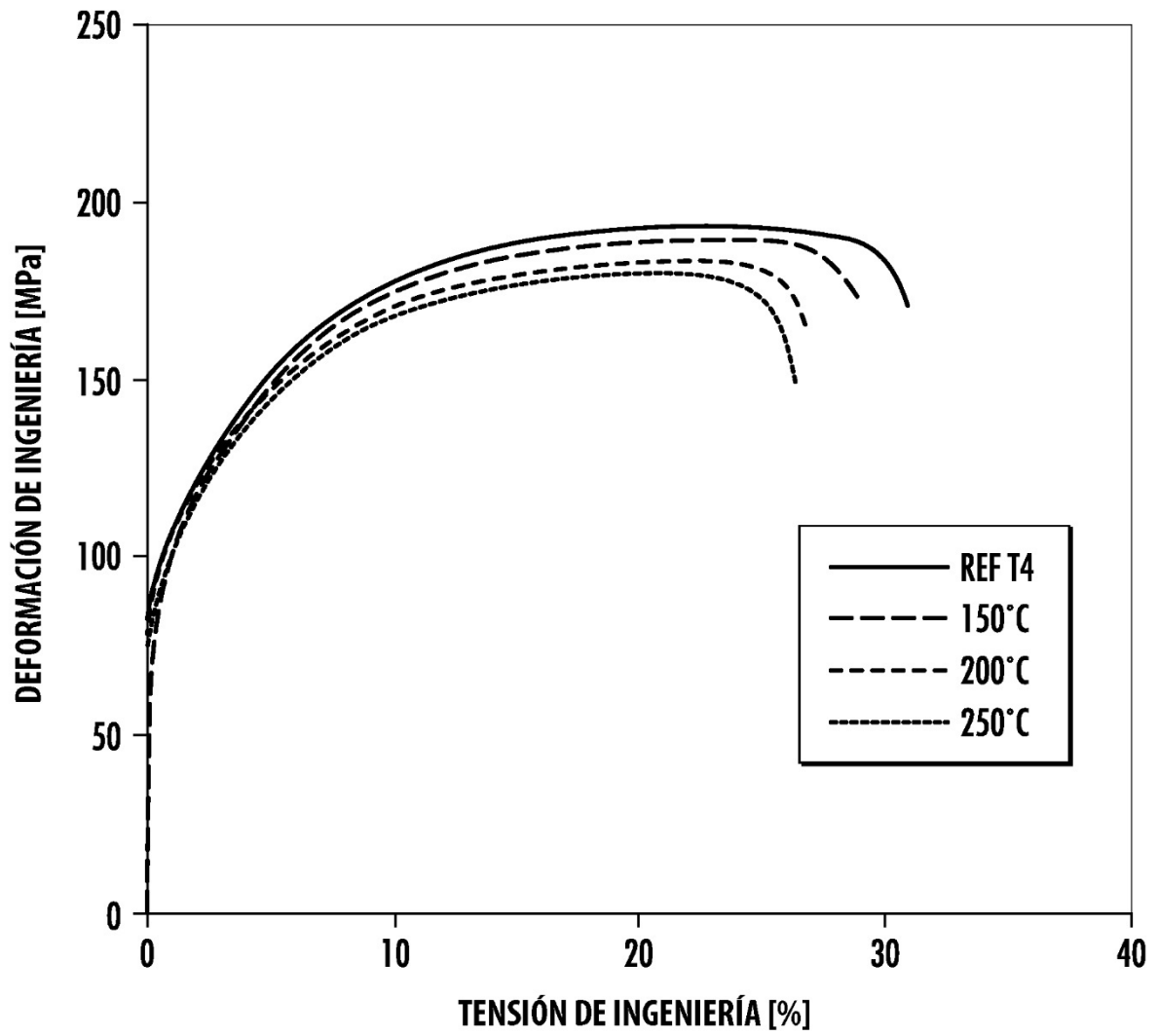


FIG. 4

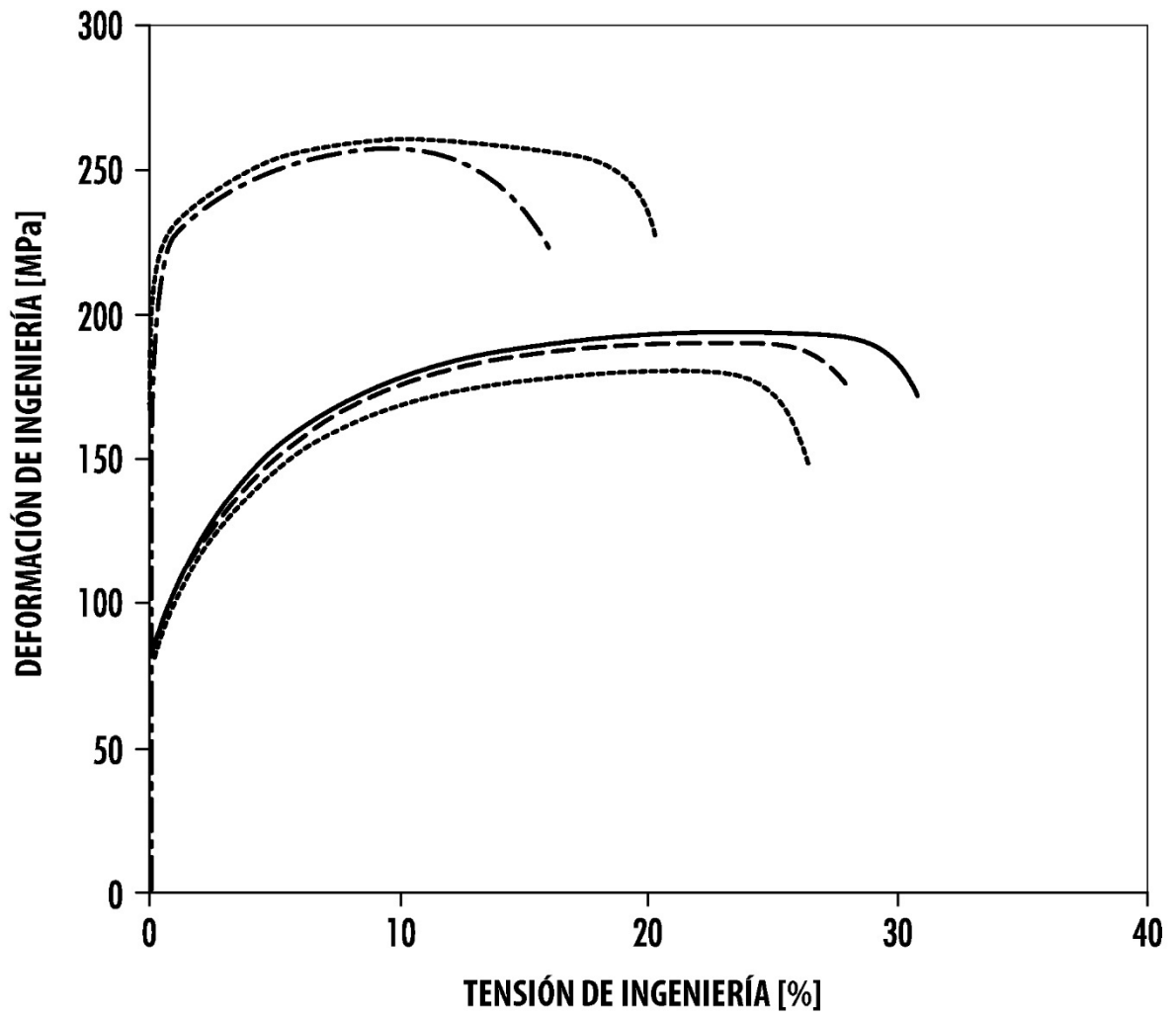


FIG. 5

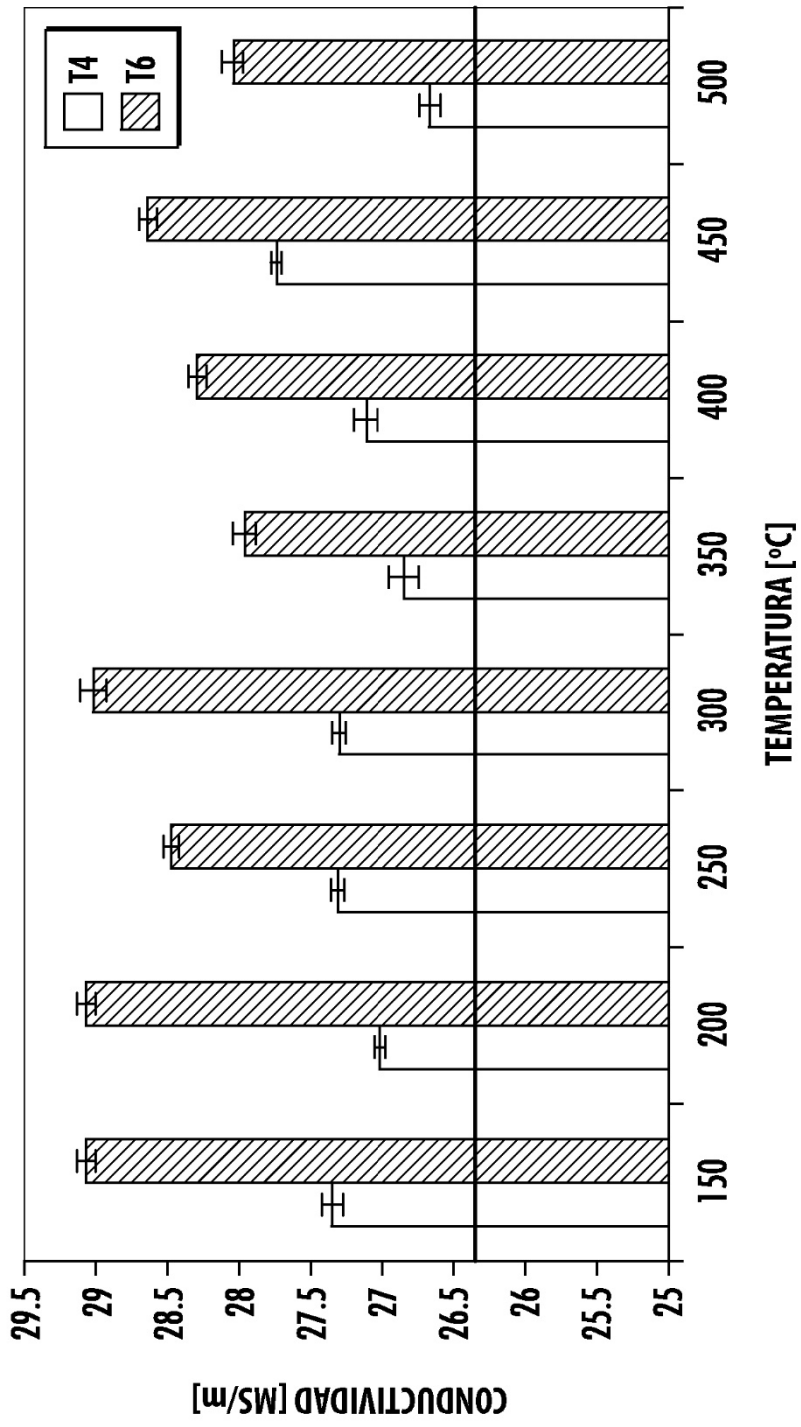


FIG. 6

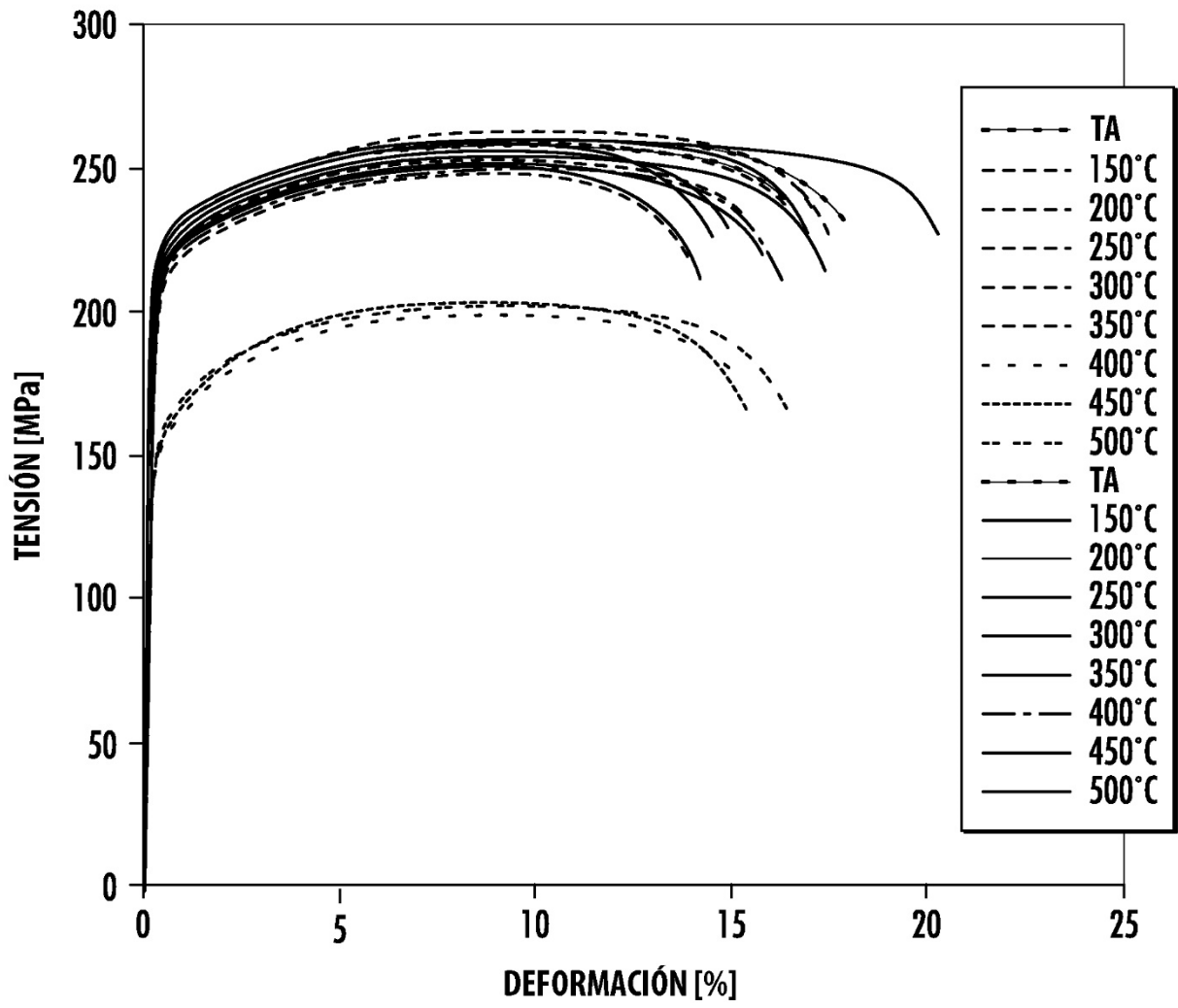


FIG. 7

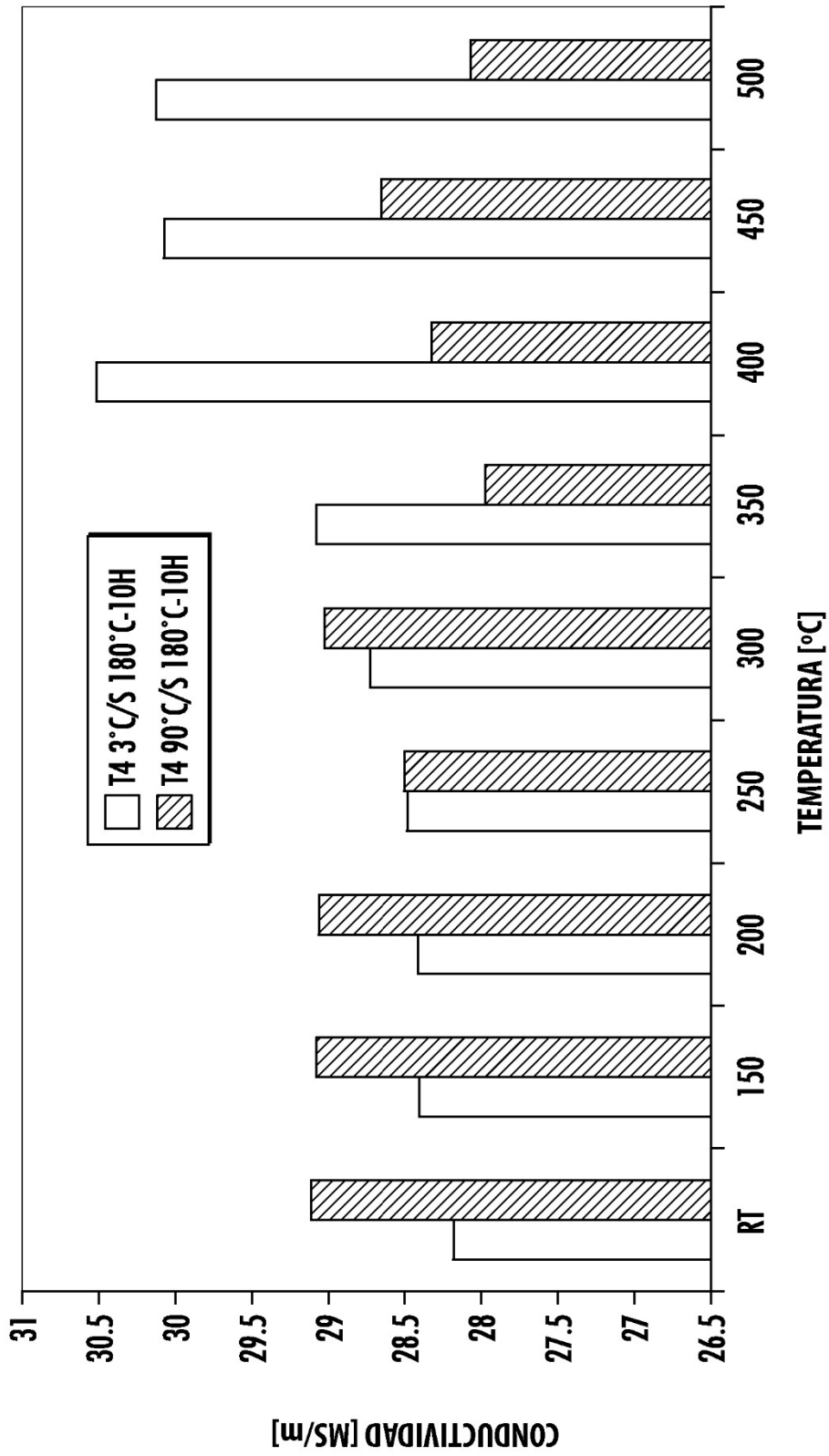


FIG. 8

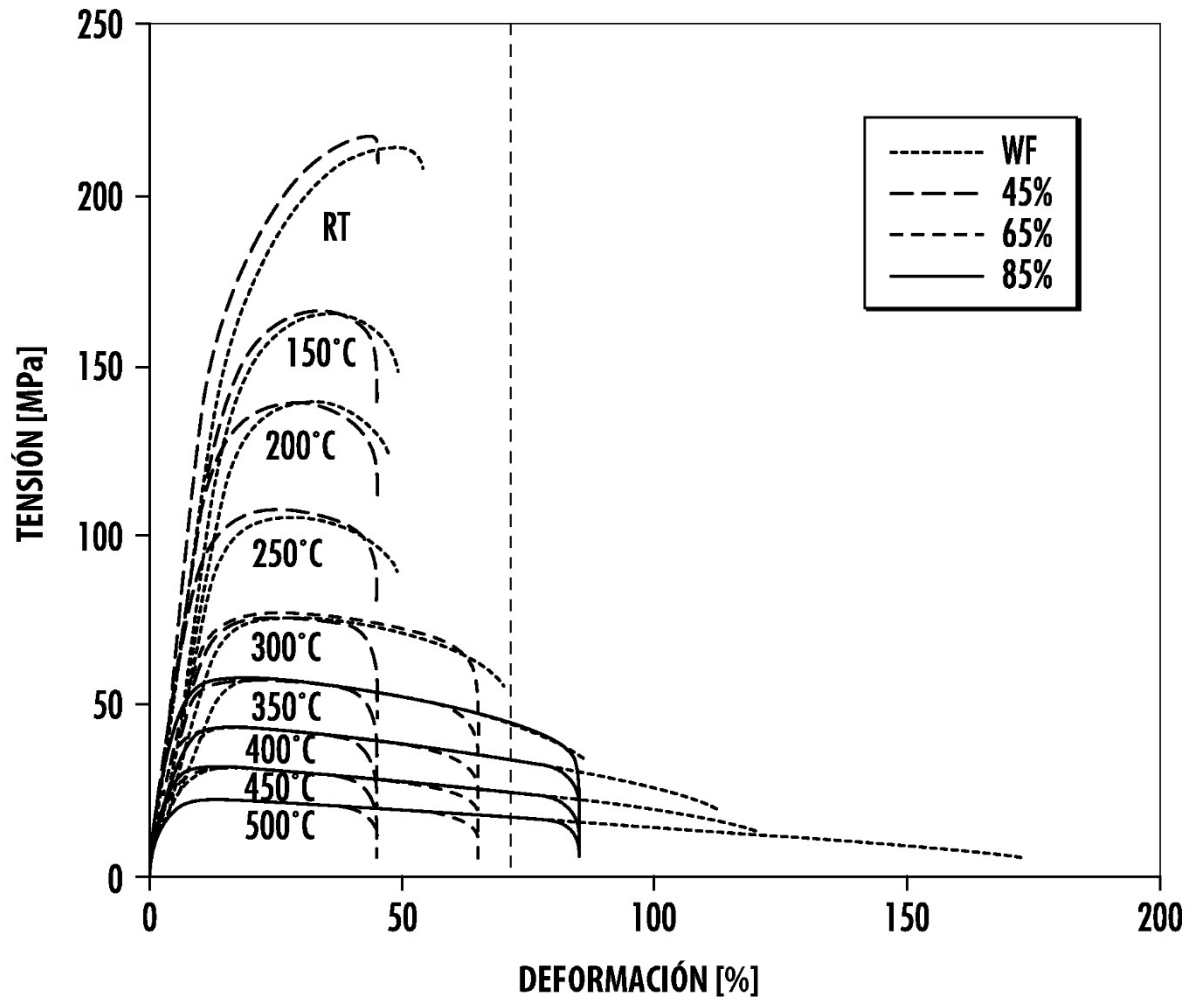


FIG. 9

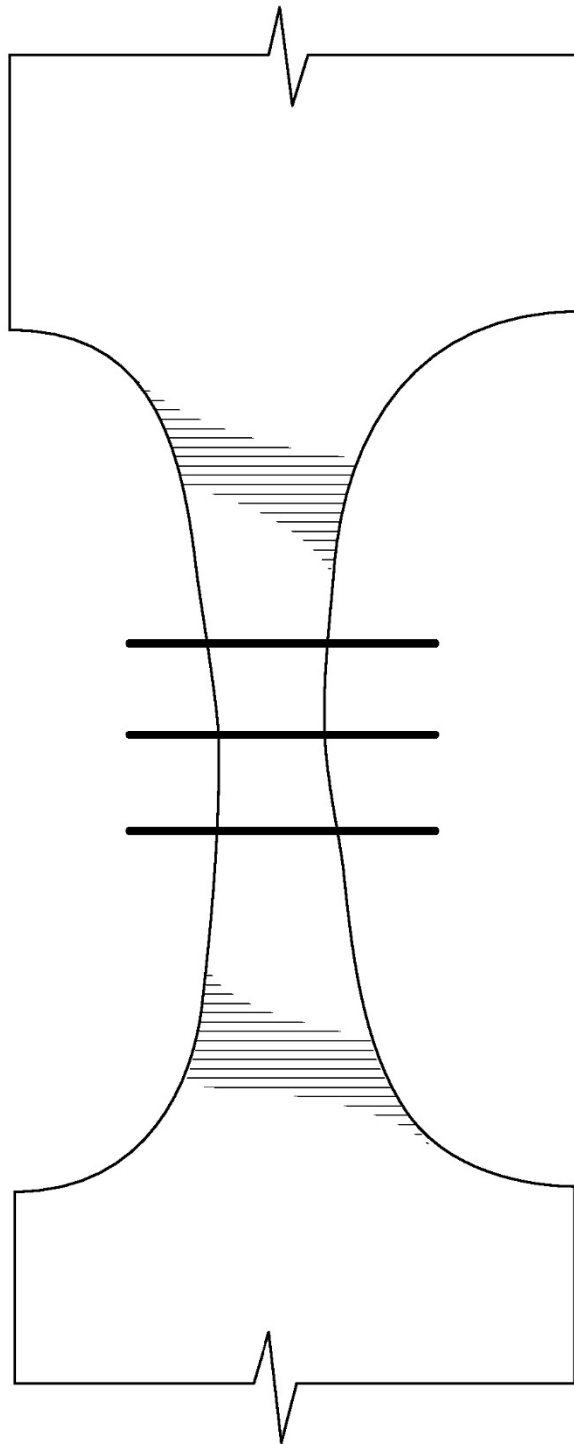


FIG. 10

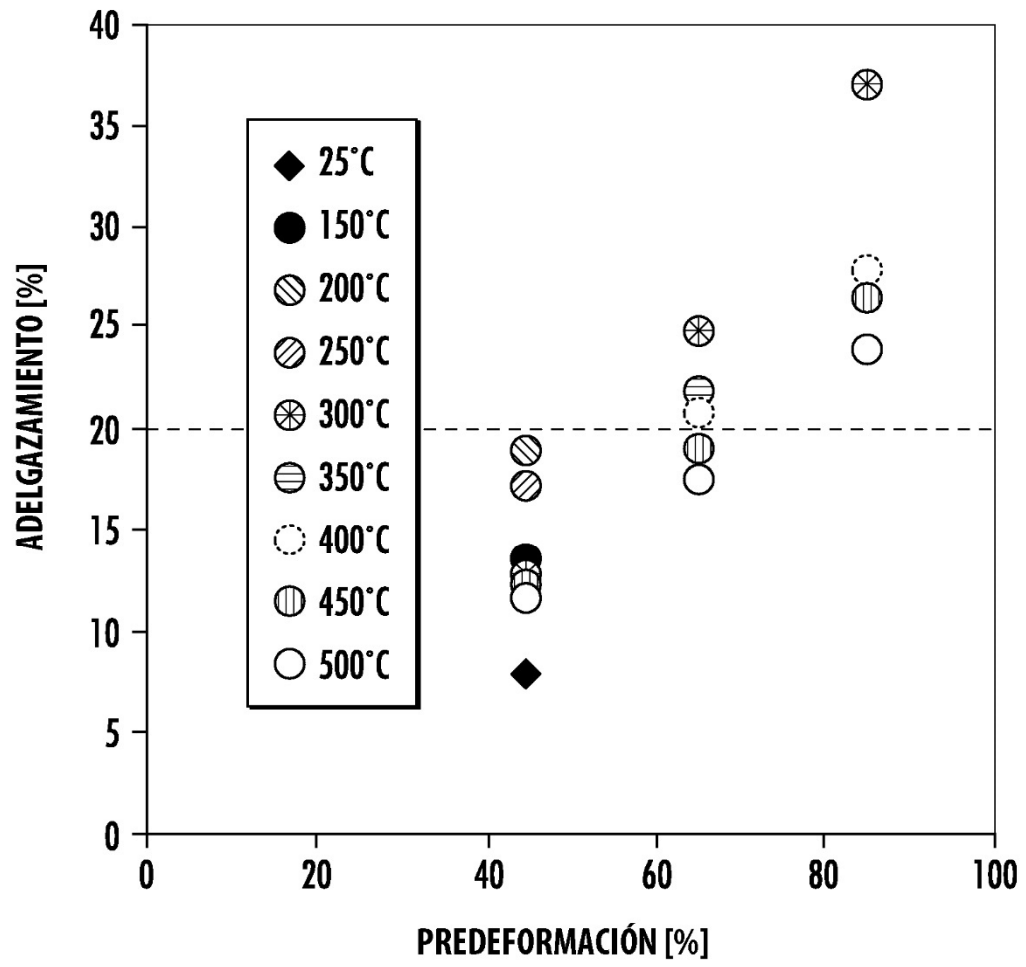


FIG. 11

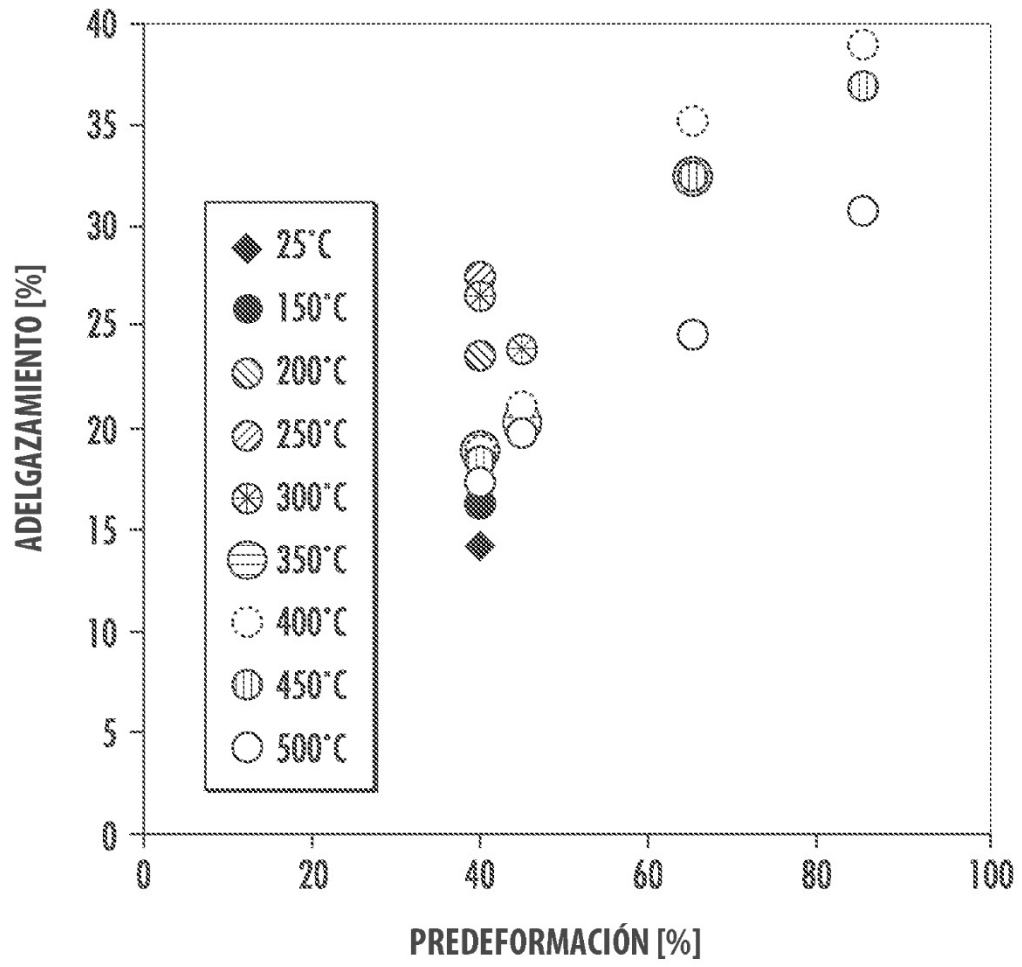


FIG. 12

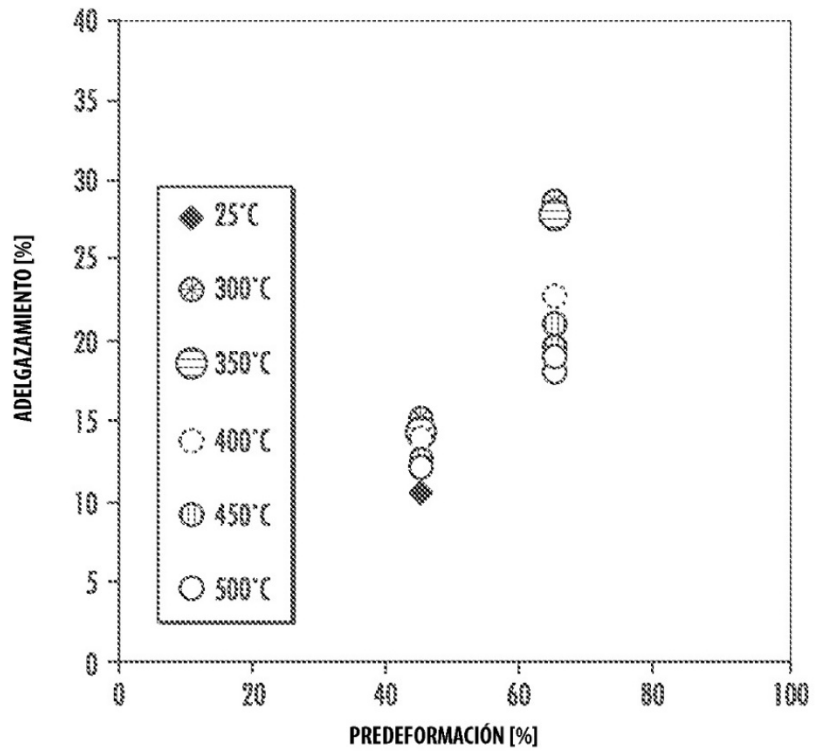


FIG. 13

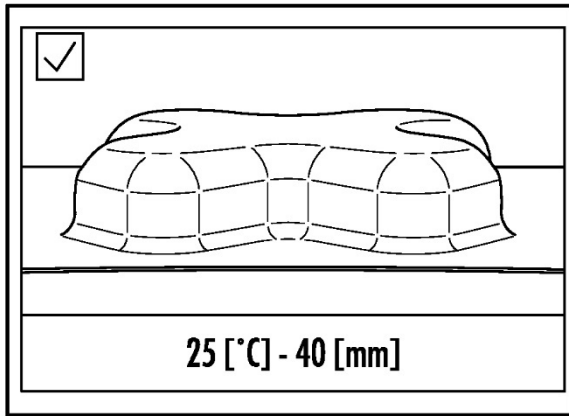


FIG. 14

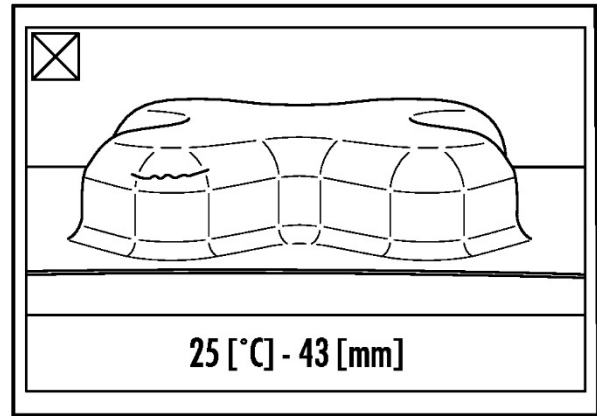


FIG. 15

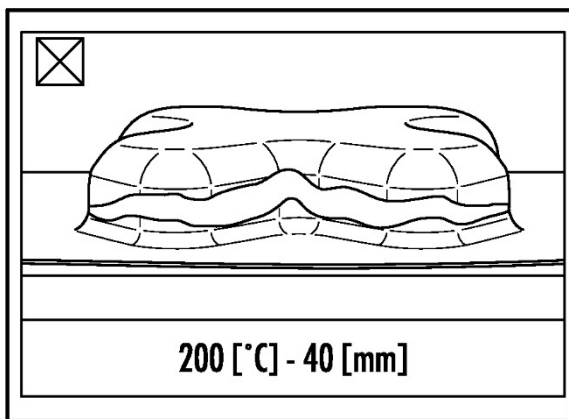


FIG. 16

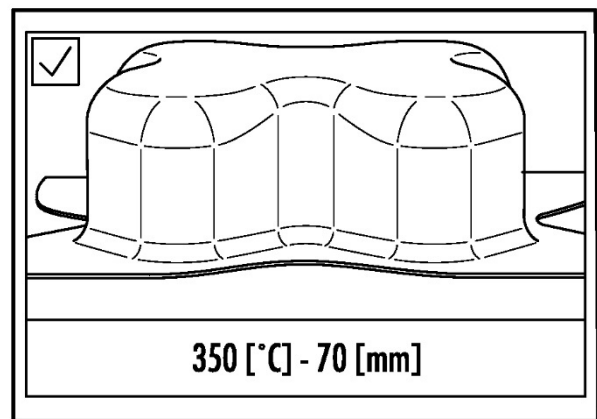


FIG. 17

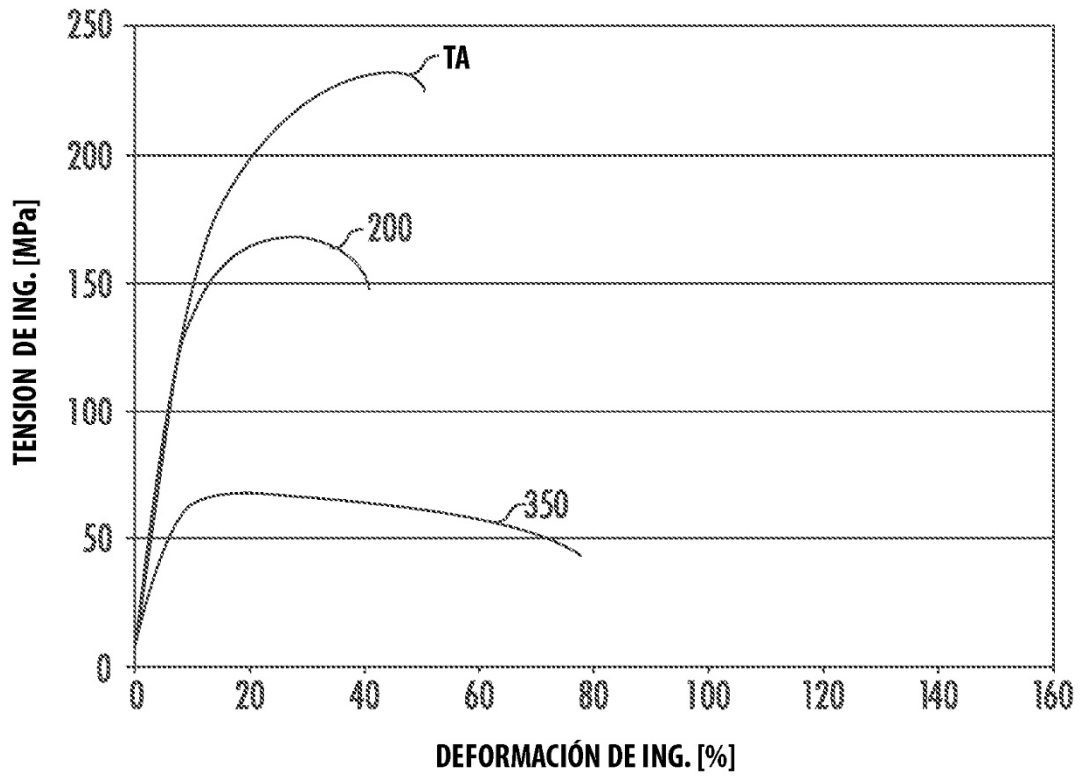


FIG. 18