

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 764 206**

51 Int. Cl.:

C22F 1/053 (2006.01)

C22C 21/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.12.2015** **PCT/US2015/064597**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.06.2016** **WO16094464**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.12.2015** **E 15812925 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.12.2019** **EP 3230484**

54 Título: **Tiempo de envejecimiento reducido de aleación de la serie 7xxx**

30 Prioridad:

09.12.2014 US 201462089288 P

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

02.06.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

KAMAT, RAJEEV G.;
MOUSAVI-ANIJDAN, HASHEM;
KULKARNI, RAHUL y
SALGADO-ORDORICA, MARIO A.

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 764 206 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

Tiempo de envejecimiento reducido de aleación de la serie 7xxx

5 Campo de la invención

La presente invención proporciona métodos para reducir el tiempo de envejecimiento artificial de aleaciones de la serie 7xxx. Actualmente, los tiempos de envejecimiento artificial para aleaciones típicas de la serie 7xxx pueden ser de hasta 24 horas. La invención actual permite una reducción significativa de los tiempos de envejecimiento y aumento de la productividad para lograr las propiedades deseadas de resistencia y elongación, ahorrando así energía, tiempo y dinero.

Antecedentes

Tradicionalmente, las estructuras de carrocería de automóvil se han hecho predominantemente de lámina de acero. Sin embargo, más recientemente ha habido una tendencia en la industria automovilística a reemplazar las láminas de acero más pesadas por láminas de aluminio más ligeras.

Sin embargo, para ser aceptable para la lámina de carrocería de automóvil, una aleación de aluminio no solo posee características de resistencia y resistencia a la corrosión, por ejemplo, sino que también debe mostrar buena ductilidad y tenacidad.

La mayoría de las aleaciones de aluminio utilizadas en la industria automovilística han sido las aleaciones de aluminio-magnesio, o de la serie 5xxx, y las aleaciones de aluminio-magnesio-silicio, o de la serie 6xxx. Mientras que la industria automovilística ha visto la aparición de aceros de alta resistencia y ultra alta resistencia utilizados para la construcción de automóviles, las aleaciones de las series 5xxx y 6xxx han alcanzado su potencial de resistencia. Sin embargo, las aleaciones de aluminio-zinc, o de la serie 7xxx, ofrecen resistencias significativamente mayores que las aleaciones 5xxx o 6xxx, por tanto, haciendo a las mismas excelentes candidatas para reemplazar aceros de alta resistencia. Una de las desventajas de las aleaciones de la serie 7xxx es el tiempo de envejecimiento artificial excesivamente largo (hasta 24 horas o más) necesario para alcanzar las resistencias máximas. Por el contrario, la industria automovilística está familiarizada con los tiempos de horneado de pintura que son normalmente inferiores a 30 minutos. Para implementar con éxito las aleaciones de la serie 7xxx en la industria automovilística es necesario reducir los tiempos de envejecimiento artificial.

Por tanto, existe una necesidad de métodos mejorados para realizar aleaciones 7xxx que logren propiedades deseadas de resistencia y ductilidad a la vez que reduzcan el tiempo de envejecimiento, la energía y el coste.

El documento de T. Marlaud *et al.*, Acta Materialia 58, 2010, 4814-4826 se refiere a la evolución de microestructuras de precipitado durante el tratamiento térmico de retrogresión y reenvjecimiento de una aleación de Al-Zn-Mg-Cu. En el documento, se describe el uso de una combinación de técnicas experimentales para evaluar sistemáticamente la evolución de microestructuras de precipitado durante las diferentes etapas de tratamientos térmicos de retrogresión y reenvjecimiento (RRA) de una aleación de Al-Zn-Mg-Cu.

El documento de Chen *et al.*, Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 21, No. 11, 2012, págs. 2345-2353 se refiere a resistencia a la propagación de grietas por fatiga potenciada en una aleación de Al-Zn-Mg-Cu mediante tratamiento de retrogresión y reenvjecimiento. Las microestructuras y el comportamiento de propagación de grietas por fatiga (FCP) de una aleación de Al-Zn-Mg-Cu en T761 y condiciones de retrogresión y reenvjecimiento (RRA) se caracterizaron empleando calorimetría de barrido diferencial, microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido, microscopía electrónica de transmisión y difracción de electrones por retrodispersión. Los resultados sugirieron que los precipitados η' gruesos estaban presentes en muestras tratadas con T761, mientras que los precipitados η' finos dispersos y las zonas GP se distribuyeron uniformemente en las tratadas por RRA. Además, se encontró que la anchura de las zonas libres de precipitados (PFZ) en muestras tratadas con T761 era mucho mayor que la de las tratadas con RRA. En comparación con las muestras tratadas con T761, la resistencia a la FCP potenciada de las muestras tratadas con RRA se atribuyó a las partículas cizallables en matriz y a las PFZ estrechas.

El documento US 2004/0089378 A1 da a conocer una composición de aleación de aluminio que comprende de aproximadamente 6,0 % en peso a aproximadamente 12,0 % en peso de Zn, aproximadamente de 2,0 % en peso a aproximadamente 3,5 % en peso de Mg, aproximadamente de 0,01 % en peso a aproximadamente de 0,5 % en peso de Sc, aproximadamente de 0,05 % en peso a aproximadamente de 0,20 % en peso de Zr, aproximadamente de 0,5% en peso a aproximadamente 3,0% en peso de Cu, aproximadamente de 0,10 % en peso a aproximadamente 0,45 % en peso de Mn, aproximadamente de 0,02 % en peso a aproximadamente 0,35 % en peso de Fe, aproximadamente de 0,02 % en peso a aproximadamente 0,20 % en peso de Si, y aluminio, en la que la composición tiene una resistencia a la tracción de al menos 650 MPa con una elongación de al menos el 7% a temperatura ambiente.

Sumario de la invención

Las realizaciones cubiertas de la invención se definen por las reivindicaciones, no por este sumario. Este sumario es una visión general de alto nivel de diversos aspectos de la invención e introduce algunos de los conceptos que se describen adicionalmente en la sección Descripción detallada a continuación. Este sumario no pretende identificar rasgos clave o esenciales de la materia objeto reivindicada, ni pretende que se utilice aisladamente para determinar el alcance de la materia objeto reivindicada. La materia objeto debe entenderse por referencia a partes apropiadas de toda la memoria descriptiva, cualquiera o todos los dibujos y cada reivindicación.

La presente invención resuelve los problemas de la técnica anterior y proporciona métodos para reducir el tiempo de envejecimiento artificial de aleaciones de la serie 7xxx. Actualmente, los tiempos de envejecimiento artificial para una aleación típica de la serie 7xxx pueden ser de hasta 24 horas. La invención actual permite una reducción significativa de tiempos de envejecimiento y ahorra energía, tiempo, dinero y espacio de almacenamiento en fábrica y almacén para bobinas de aleaciones 7xxx o las partes conformadas.

La presente invención también proporciona el beneficio de lograr la resistencia deseada manteniendo la elongación deseada después de someter la lámina a condiciones de horneado de pintura de aproximadamente 180° C durante aproximadamente 30 minutos.

La presente invención proporciona temperaturas y tiempos óptimos para reducir la duración del envejecimiento artificial de aleaciones de la serie 7xxx. Diferentes temperaturas, duraciones de exposición a estas temperaturas y números de etapas de calentamiento se presentan para lograr un tiempo de envejecimiento artificial reducido mientras que se alcanzan las propiedades mecánicas deseadas de resistencia y ductilidad.

Según la invención, se utiliza un proceso de envejecimiento de dos etapas para alcanzar las propiedades mecánicas deseadas con tiempos de envejecimiento cortos.

En otra realización se utiliza un proceso de envejecimiento de tres etapas para alcanzar las propiedades mecánicas deseadas con tiempos de envejecimiento cortos.

La presente invención reduce el tiempo de envejecimiento de aproximadamente 24 h, que se emplea actualmente, a menos de 4 h o menos de 2 h para aleaciones de la serie 7xxx. Los tiempos de envejecimiento artificial excesivamente largos actualmente utilizados reducen la eficiencia y el rendimiento en la producción de aleaciones de la serie 7xxx, aumentan el consumo de energía requerida para producir las aleaciones de la serie 7xxx, y requieren más espacio de suelo para ocuparse por bobinas o piezas estampadas automovilísticas de aleaciones de la serie 7xxx de envejecimiento natural. Además, las prácticas típicas de envejecimiento previo conducen a un aumento notable en el límite elástico. La presente invención da como resultado una resistencia significativamente aumentada después del envejecimiento previo, particularmente dentro de la primera semana después del tratamiento térmico de solución, junto con las operaciones de horneado de pintura comúnmente utilizadas en la cadena de procesos automovilísticos.

En realizaciones, en aplicaciones automovilísticas, la etapa de horneado de pintura puede incorporarse como segunda o tercera etapa de envejecimiento artificial para reducir el tiempo del ciclo de envejecimiento global.

La invención puede reducir significativamente el tiempo del ciclo de envejecimiento para una lámina 7xxx. Esto se traduce en una mayor productividad y un menor uso de energía durante la fabricación. La invención también puede utilizarse por clientes para reducir los tiempos del ciclo de envejecimiento, lo que es de especial interés para fabricantes en diversos aspectos de la industria del transporte, incluyendo, pero no limitado, a fabricantes de automóviles, camiones, motocicletas, aviones, aeronaves, bicicletas, vagones de ferrocarril y barcos. La presente invención tiene particular aplicabilidad a la industria automovilística.

Breve descripción de las figuras

La figura 1 muestra el efecto de una sola etapa de calentamiento (no según la invención) a duraciones y temperaturas definidas, seguida del envejecimiento natural a temperatura ambiente sobre el límite elástico (L.E. en MPa) y la elongación (EL%).

La figura 2 muestra la respuesta de envejecimiento doble sobre el límite elástico (L.E. en MPa) y la elongación (EL%) después de un calentamiento de dos etapas a duraciones y temperaturas definidas.

La figura 3 es una representación esquemática de un proceso de envejecimiento de dos etapas con la primera etapa de calentamiento de 70° C durante 6 h seguida de una segunda etapa de calentamiento de 150° C durante 1 h o 6 h o 175° C durante 1 h o 6 h (no según la invención). Se muestran los efectos sobre el límite elástico y la elongación.

La figura 4 es una representación esquemática de un proceso de envejecimiento de dos etapas con la primera etapa de calentamiento de 100° C durante 1 h seguida de una segunda etapa de calentamiento de 150° C durante 1 h o 6

h o 175° C durante 1 h o 6 h. Se muestran los efectos sobre el límite elástico y la elongación.

La figura 5 es una representación esquemática de un proceso de envejecimiento de dos etapas con la primera etapa de calentamiento de 100° C durante 6 h seguida de una segunda etapa de calentamiento de 150° C durante 1 h o 6 h o 175° C durante 1 h o 6 h (no según la invención). Se muestran los efectos sobre el límite elástico y la elongación.

La figura 6 es una representación esquemática de un proceso de envejecimiento de dos etapas con la primera etapa de calentamiento de 120° C durante 1 h seguida de una segunda etapa de calentamiento de 150° C durante 1 h o 6 h o 175° C durante 1 h o 6 h. Se muestran los efectos sobre el límite elástico y la elongación.

La figura 7 es una representación esquemática de un proceso de envejecimiento de dos etapas con la primera etapa de calentamiento de 100° C durante 1 h seguida de una segunda etapa de calentamiento de 180° C durante 30 min que es una condición convencional de horneado de pintura. Se muestran los efectos sobre el límite elástico y la elongación.

La figura 8 es una representación esquemática de un proceso de envejecimiento de dos etapas con la primera etapa de calentamiento de 120° C durante 1 h seguida de una segunda etapa de calentamiento de 180° C durante 30 min que es una condición convencional de horneado de pintura. Se muestran los efectos sobre el límite elástico y la elongación.

La figura 9 es una representación esquemática de un proceso de envejecimiento de dos etapas con la primera etapa de calentamiento de 70° C durante 6 h seguida de una segunda etapa de calentamiento de 180° C durante 30 min que es una condición convencional de horneado de pintura (no según la invención). Se muestran los efectos sobre el límite elástico y la elongación.

La figura 10 es una representación esquemática de un proceso de envejecimiento de dos etapas con la primera etapa de calentamiento de 110° C durante 6 h seguida de una segunda etapa de calentamiento de 180° C durante 30 min que es una condición convencional de horneado de pintura (no según la invención). Se muestran los efectos sobre el límite elástico y la elongación.

La figura 11 es una representación esquemática de un proceso de envejecimiento de dos etapas con la primera etapa de calentamiento de 125° C durante 6 h seguida de una segunda etapa de calentamiento de 180° C durante 30 min que es una condición convencional de horneado de pintura (no según la invención). Se muestran los efectos sobre el límite elástico y la elongación.

La figura 12 es una representación esquemática de un proceso de envejecimiento de dos etapas con la primera etapa de calentamiento de 125° C durante 24 h (la condición T6) seguida de una segunda etapa de calentamiento de 180° C durante 30 min que es una condición convencional de horneado de pintura. La segunda etapa de calentamiento ocurrió justo después de la primera etapa o 3 h más tarde (no según la invención). Se muestran los efectos sobre el límite elástico y la elongación. Las propiedades se midieron a temperatura ambiente.

La figura 13 es una representación esquemática de un proceso de envejecimiento en tres etapas con la primera etapa de calentamiento de 100° C durante 1 h, seguida de una segunda etapa de calentamiento de 150° C durante 1 h, y una tercera etapa de calentamiento de 180° C durante 30 min que es una condición convencional de horneado de pintura. Se muestran los efectos sobre el límite elástico y la elongación.

La figura 14 es una representación esquemática de un proceso de envejecimiento en tres etapas con la primera etapa de calentamiento de 120° C durante 1 h, seguida de una segunda etapa de calentamiento de 150° C durante 1 h, y una tercera etapa de calentamiento de 180° C durante 30 min que es una condición convencional de horneado de pintura. Se muestran los efectos sobre el límite elástico y la elongación.

La figura 15 es una representación esquemática de un proceso de envejecimiento en una sola etapa con la primera etapa de calentamiento de 110° C durante 6 h, seguida de enfriamiento por aire a temperatura ambiente (líneas - - -) o enfriamiento a una velocidad de 3° C por hora a una temperatura objetivo de 50° C (líneas — · — · —) (no según la invención). Se muestran los efectos sobre el límite elástico y la elongación en la condición T4.

La figura 16 es una representación esquemática de un proceso de envejecimiento en una sola etapa con la primera etapa de calentamiento de 125° C durante 6 h, seguida de enfriamiento por aire a temperatura ambiente (líneas - - -) o enfriamiento a una velocidad de 3° C por hora a una temperatura objetivo de 50° C (líneas — · — · —) (no según la invención). Se muestran los efectos sobre el límite elástico y la elongación en la condición T4.

Descripción detallada de la invención

Definiciones y descripciones:

Como se utilizan en el presente documento, los términos “invención”, “la invención”, “esta invención” y “la presente

invención" se pretende que se refieran ampliamente a toda la materia objeto de esta solicitud de patente y las reivindicaciones a continuación. Las declaraciones que contengan estos términos no deben entenderse como limitantes de la materia objeto descrita en el presente documento o limitantes del significado o alcance de las reivindicaciones de patente a continuación.

En esta descripción, se hace referencia a aleaciones identificadas por números AA y otras designaciones relacionadas, como "series". Para un entendimiento del sistema de designación de números más comúnmente utilizado para nombrar e identificar el aluminio y sus aleaciones, véanse los documentos "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 usa en el presente documento, el significado de "un", "una" y "el/la" incluye referencias singulares y plurales a menos que el contexto lo indique claramente de otra manera.

La presente invención proporciona un proceso para tratar aleaciones 7xxx para acelerar el envejecimiento y alcanzar la resistencia y la ductilidad deseadas como se reivindica en la reivindicación 1. En algunas realizaciones, a continuación de la primera etapa de calentamiento, las láminas de aleación se someten a una temperatura de horneado de pintura de 180° C durante 30 minutos. En realizaciones adicionales, a continuación del tratamiento térmico de solución (SHT), las placas de aleación 7xxx se calientan en tres etapas consecutivas de envejecimiento con la primera etapa de envejecimiento a una temperatura de 100° C a 120° C durante una duración de 1h, la segunda a 150° C durante una duración de 1 h, y la tercera a una temperatura de 180° C durante 30 min.

Debe entenderse que todas las temperaturas e intervalos de temperatura enumerados en esta solicitud pueden incluir +5° C en el límite superior e inferior del intervalo. Por consiguiente, por ejemplo, el intervalo de 70° C a 120° C enumerado anteriormente en la primera etapa de envejecimiento incluye también 65° C a 125° C, 70° C a 125° C, 75° C a 125° C, 65° C a 120° C, 75° C a 120° C, 65° C a 115° C, 70° C a 115° C y 75° C a 115° C.

Aproximadamente se requirieron dos minutos para alcanzar las temperaturas enumeradas con hornos en el laboratorio. El uso de este concepto en una etapa de envejecimiento previo justo después del tratamiento térmico de solución (CASH) en un entorno industrial significa calentar la lámina relativamente rápido a medida que pasa a través del horno de envejecimiento previo. El tiempo de calentamiento a la temperatura deseada en ese caso es más rápido y por debajo de un minuto. Sin embargo, si el proceso de envejecimiento de dos etapas se empleará por separado en una bobina, entonces probablemente requiere aproximadamente 6 h para que la bobina se caliente a la temperatura deseada dependiendo de la configuración del horno y su temperatura inicial establecida.

Diversas aleaciones 7xxx pueden emplearse en este proceso, incluyendo, pero no limitadas, a 7075, 7010, 7040, 7050, 7055, 7150, 7085, 7016, 7020, 7021, 7022, 7029 y 7039. Las muestras de aleación 7075 sometidas a prueba y presentadas en esta solicitud fueron todas lámina laminada de calibre de 2 mm. Los métodos de prueba empleados se conocen por un experto habitual en la técnica siguiendo la norma ASTM B557-10: TYS, UTS, n, r, UE, Total Elongation, Stress-strain curves (<http://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/B557-10.htm>).

En algunos ejemplos proporcionados en el presente documento, las aleaciones 7xxx se calientan desde temperatura ambiente hasta una temperatura de tratamiento térmico de solución (SHT) de 480° C en 50 segundos, se mantienen a 480° C durante 90 segundos, luego se enfrían a 450° C y luego se enfrían rápidamente a temperatura ambiente a una velocidad de enfriamiento de más de 150° C por segundo. A continuación, se produce la primera etapa de envejecimiento. La lámina se calienta a una temperatura elegida en aproximadamente 2 min. Téngase en cuenta que esta etapa de calentamiento de 2 minutos se aplica a muestras a escala de laboratorio y el calentamiento a escala industrial requerirá tiempo adicional como se conoce comúnmente por un experto habitual en la técnica.

Para la etapa de envejecimiento único, las temperaturas de 130° C y 150° C se sometieron a prueba durante una duración de 1 o 5 horas.

Para realizaciones de dos etapas de envejecimiento, se sometieron a prueba temperaturas de la primera etapa de 100° C, 110° C y 120° C. La mayoría de estas temperaturas se sometieron a prueba durante una duración de 1 h. En algunas realizaciones, después de la duración de 1 h para la primera etapa, las muestras se calentaron entonces a temperaturas objetivo de 150° C o 175° C y se mantuvieron durante 1 o 6 h de duración. En otras realizaciones, después de la duración de 1 h para la primera etapa, las muestras se calentaron entonces a una temperatura de 180° C durante aproximadamente 30 min como se hace normalmente para las condiciones de horneado de pintura en la industria automovilística. Las condiciones de temperatura de horneado de pintura, tal como se describe en el presente documento, significan calentamiento a una temperatura de 180° C durante aproximadamente 30 min.

Para realizaciones de tres etapas de envejecimiento, se sometieron a prueba temperaturas de la primera etapa de 100° C y 120° C durante una duración de 1 h, seguidas de una temperatura de la segunda etapa de 150° C durante 1 h, seguida de una temperatura de la tercera etapa de 180° C durante 30 minutos.

El método de la presente invención, para lograr la elongación y el límite elástico deseados en una lámina de aluminio 7xxx, comprende:

- a) calentar rápidamente la lámina a una temperatura de 450° C a 510° C;
- b) mantener la lámina a 450° C hasta 510° C durante hasta 20 minutos;
- c) enfriar rápidamente la lámina a temperatura ambiente a más de 50° C por segundo;
- d) calentar la lámina a una temperatura entre 100° C y 120° C;
- e) mantener la lámina a una temperatura entre 100° C y 120° C durante una duración de 1 h;
- f) calentar la lámina a una temperatura entre 150° C y 200° C; y,
- g) mantener la lámina a una temperatura entre 150° C y 200° C durante una duración de 0,5 a 6 h.

En otra realización de la presente invención, el método para lograr la elongación y el límite elástico deseados en una lámina de aleación de aluminio 7xxx comprende:

- a) calentar rápidamente la lámina a una temperatura de aproximadamente de 450° C a aproximadamente de 510° C;
- b) mantener la lámina a 450° C hasta 510° C durante hasta 20 min;
- c) enfriar rápidamente la lámina a temperatura ambiente a más de 50° C por segundo;
- d) calentar la lámina a una temperatura de aproximadamente desde 100° C a aproximadamente 120° C;
- e) mantener la lámina a la temperatura de aproximadamente 100° C a aproximadamente 120° C durante una duración de aproximadamente de 1 h;
- f) calentar la lámina a una temperatura de aproximadamente 150° C;
- g) mantener la lámina a la temperatura de aproximadamente 150° C durante aproximadamente 1 h;
- h) calentar la lámina a una temperatura de aproximadamente 180° C; y,
- g) mantener la lámina a la temperatura de aproximadamente 180° C durante una duración de aproximadamente 0,5 horas.

Se colaron lingotes con la siguiente composición 5,68 % en peso de Zn, 2,45 % en peso de Mg, 1,63 % en peso de Cu, 0,21 % en peso de Cr, 0,08 % en peso de Si, 0,12 % en peso de Fe y 0,04 % en peso de Mn, el resto de Al. Se colaron dos lingotes por gota. Los tamaños de lingote fueron tal como sigue: 380 x 1650 x 4100 mm. Los lingotes se descostraron con la profundidad de 2 x 10 mm. Los lingotes se homogeneizaron en el siguiente proceso de dos etapas. Primero se calentaron hasta 465° C en 8 horas, luego se compensaron en temperatura a 480° C durante 10 h.

Los procesos de laminación se realizaron tal como sigue a escala industrial. El lingote se calentó a 420° C +/- 10° C (temperatura del metal (MT)) durante una duración de 0 a 6 h. La laminación en caliente sucesiva se realizó en el intervalo de temperaturas de 350- 400° C. El calibre de salida de la lámina laminada en caliente fue de 10,5 mm. A continuación, la laminación en frío se siguió en cuatro pasos de 10,5 mm a 6,3 mm a 4 mm a 2,9 mm y finalmente a 2 mm como calibre final sin realizar recocido intermedio entre los mismos. Las dos bobinas de los dos lingotes mostraron propiedades idénticas. Por tanto, las pruebas se realizaron en una de las láminas. Se tomaron muestras de tracción de esta lámina laminada de 2 mm para realizar tratamientos térmicos de solución y prácticas de envejecimiento que se presentan en el presente documento.

Las aleaciones AA7045 se sometieron a una sola etapa de envejecimiento después de un tratamiento térmico de solución a 470° C durante 20 min y temple por agua. La etapa de envejecimiento única está a una temperatura que oscila desde 130° C hasta 150° C durante una duración de 1 a 5 h. Se alcanzaron límites elásticos de al menos 400 MPa, o se alcanzaron límites elásticos de al menos 470. Se alcanzó una elongación de al menos 5%. La tabla 1 muestra el efecto de la etapa de envejecimiento única sobre el límite elástico (L.E. en MPa), resistencia máxima a la tracción (Rm en MPa), elongación uniforme (Ag en %) y elongación total (A80 en %).

TABLA 1

	T41 + 130° C 1 h	T41 + 130° C 5 h	T41 + 130° C 12 h	T41 + 130° C 24 h	T41 + 150° C 1 h	T41 + 150° C 5h	T41 + 150° C 12 h	T41 + 150° C 24 h
L.E.	412,9	485,1	479,9	494	470	499,5	473,1	468,5
Rm	512,6	549,5	528,3	537,2	532,8	544,5	524,7	525,5
Ag	15,5	10,8	9	8,2	10,2	8,6	7,7	7,7
A80	18,3	13,6	11,4	10,7	12,9	12,1	10,1	10,3

	T41 + 95° C - 1 1 h	T41 + 95° C - 5 1 h	T41 + 95° C 12 h	T41 + 95° C 24 h	T41 + 220° C 1 h	T41 + 220° C 5h	T41 + 220° C 12 h	T41 + 220° C 24 h
L.E.	349,4	392,7	420	447	358,9	256	238,7	194,3
Rm	493	520,2	535,3	551,6	444	363,4	371,6	311,4
Ag	18,6	17,6	16,3	15,4	8,4	8,4	9,2	9,3
A80	19,7	19,9	18,8	18,5	11,3	10,7	10,9	11,3

Las aleaciones AA7022 se sometieron a una etapa de envejecimiento única después de un tratamiento térmico de solución a 470° C durante 20 min y temple por agua. La etapa de envejecimiento única está a una temperatura que oscila desde 130° C hasta 150° C durante una duración de 1 a 5 h (se muestran duraciones de 12 y 24 horas para la comparación). Se alcanzaron límites elásticos de al menos 400 MPa, o se alcanzaron límites elásticos de al menos 470. Se alcanzó una elongación de al menos el 5%. La tabla 1 muestra el efecto de la etapa de envejecimiento única sobre el límite elástico (L.E. en MPa), resistencia máxima a la tracción (Rm en MPa), elongación uniforme (Ag en %) y elongación total (A80 en %).

TABLA 2

	T41 + 130° C 1 h	T41 + 130° C 5 h	T41 + 130° C 12 h	T41 + 130° C 24 h	T41 + 150° C 1 h	T41 + 150° C 5h	T41 + 150° C 12 h	T41 + 150° C 24 h
L.E.	358,7	441,6	482	493,1	407,9	464,5	473,1	466,6
Rm	468,9	504,9	530,1	537,2	482	514,6	524,8	523,5
Ag	15	11,4	8,6	8	10,5	7,8	7,6	7,8
A80	17,2	13,2	10,9	10,4	12,9	10,2	10,1	10,5

	T41 + 95° C - 1 1 h	T41 + 95° C - 5 1 h	T41 + 95° C 12 h	T41 + 95° C 24 h	T41 + 220° C 1 h	T41 + 220° C 5h	T41 + 220° C 12 h	T41 + 220° C 24 h
L.E.	312,3	346,5	378,3	407	349,7	283,1	240	194,8
Rm	461,9	477,2	498,5	514,8	457,3	409,9	374	334,6
Ag	18,6	19,7	16,3	16,2	8,6	8,4	9,2	9,8
A80	19,2	21	17,6	17,5	11,1	11,2	10,7	11,6

La figura 1 muestra el efecto de una etapa de calentamiento única seguida del envejecimiento natural a temperatura ambiente sobre el límite elástico (L.E. en MPa) y elongación (EL%). T6 es un proceso de tratamiento térmico después del tratamiento térmico de solución que se realiza durante 24 h a 125° C. Después del tratamiento térmico de solución y el temple, la condición se denomina revenido W. El retraso entre el temple y el tratamiento térmico subsecuente T6 se denomina período de “envejecimiento natural”. La figura 2 muestra la respuesta de doble envejecimiento sobre el límite elástico (L.E. en MPa) y la elongación (EL%) después de un calentamiento en dos etapas a temperaturas y duraciones definidas.

En un experimento, a continuación de la primera etapa de calentamiento a 120° C durante 1 h, las muestras se enfriaron a temperatura ambiente después de lo cual ocurrió una segunda etapa de calentamiento a 150° C o 175° C durante duraciones de 6 o 1 h, respectivamente. Esto resultó en un límite elástico final de 510 MPa y 479 MPa, respectivamente, con valores de elongación de 13,4% o 12,8% respectivamente. Por consiguiente, no parece haber un efecto discernible de enfriamiento a temperatura ambiente después de la primera etapa de calentamiento antes de comenzar el calentamiento para la segunda etapa.

Por tanto, parece que pasar de las condiciones de calentamiento de la primera etapa directamente a las condiciones de calentamiento de la segunda etapa, a una temperatura objetivo particular durante 1 h o 6 h, o alguna duración entre las mismas, es adecuada para alcanzar los valores de resistencia y elongación deseados (figuras 2-6).

5 Los resultados también demuestran que pasar de las condiciones de calentamiento de la primera etapa directamente a la temperatura de horneado de pintura de 180° C durante 30 min también es adecuado para alcanzar los valores de resistencia y elongación deseados (figuras 7-11).

10 En aún otra realización, una primera etapa de 100° C durante 1 h fue seguida por una segunda etapa de 150° durante 1 h y finalmente condiciones de horneado de pintura de 180° durante 30 min, lo que resultó en una resistencia de 496 MPa con un valor de elongación del 12,6% (figura 13). En aún otra realización, una primera etapa de 120° C durante 1 h fue seguida por una segunda etapa de 150° durante 1 h y finalmente condiciones de horneado de pintura de 180° durante 30 min, lo que resultó en una resistencia de 493 MPa con un valor de elongación del 12,6% (figura 14).

15 En una realización, combinando envejecimiento previo y un ciclo de horneado de pintura, pueden alcanzarse niveles de resistencia para aleaciones 7xxx por encima de 400 MPa. En otra realización, combinando envejecimiento previo y un ciclo de horneado de pintura, pueden alcanzarse niveles de resistencia para aleaciones 7xxx por encima de 470 MPa. En otra realización, combinando envejecimiento previo y un ciclo de horneado de pintura, pueden alcanzarse niveles de resistencia para aleaciones 7xxx por encima de 500 MPa.

20 En una realización, un proceso de envejecimiento de dos etapas con un envejecimiento de primera etapa corta a una temperatura más baja, seguido por el envejecimiento de una segunda etapa a una temperatura más alta da como resultado un límite elástico por encima de 500 MPa.

25 En otra realización, en un envejecimiento de una primera etapa a baja temperatura, se necesita más tiempo para lograr una alta resistencia en la segunda etapa. En una realización, combinando envejecimiento previo y ciclo de horneado de pintura, pueden alcanzarse niveles de resistencia para aleaciones 7xxx por encima de 470 MPa o 500 MPa. Por ejemplo, una primera etapa de 1 h a 70° C requiere una segunda etapa de 6 h a 175° C. En contraste, un envejecimiento de primera etapa a 100° C o 120° C solo requirió un envejecimiento de segunda etapa a 175° C de 1 h. Una duración más larga para la primera etapa no cambió la resistencia significativamente.

30 En otra realización, a 100° C o más para el envejecimiento de primera etapa, es posible alcanzar niveles de resistencia por encima de 500 MPa si una de las dos etapas se realiza durante una duración más larga (por ejemplo, 6 h a 120° C y luego 1 h a 175° C (no según la invención), o 1 h a 120° C luego 6 h a 150° C, o 6 h a 100° C y luego 1 h a 175° C (no según la invención), o 1 h a 100° C luego 6 h a 150° C).

35 En una realización, si el envejecimiento de primera etapa se realiza a 100° C o más, una duración más larga para el envejecimiento de segunda etapa a 175° C puede reducir la resistencia debido al sobre-envejecimiento.

40 La mayor resistencia (límite elástico de 517 MPa) se logró mediante una primera etapa de 6 h de envejecimiento a 100° C y una segunda etapa de 6 h a 150° C (figura 5). Reducir el tiempo para el envejecimiento de primera etapa a 1 h seguido de una segunda etapa de 6 h a 150° C produjo un límite elástico de 509 MPa (figura 4).

45 En aún otra realización, pueden alcanzarse niveles de resistencia cercanos a 500 MPa siguiendo el proceso de envejecimiento corto de dos etapas con el tratamiento de horneado de pintura de 180° C durante aproximadamente 30 min (un proceso de 3 etapas, figuras 13, 14).

50 Las primeras dos semanas de envejecimiento natural mostraron el mayor efecto sobre la resistencia. El envejecimiento natural, durante una semana o más, parecía reducir ligeramente el nivel de resistencia máxima (en menos de 10 MPa).

55 El envejecimiento previo a 70° C, 100° C, 110° C y 125° C da como resultado la estabilización de la respuesta de envejecimiento natural. Este efecto es más pronunciado en duraciones más largas de envejecimiento previo, es decir, 6 h (figura 1).

Envejecimiento previo a 70° C, 100° C y 125° C durante 6 h dio como resultado niveles de resistencia T6 por encima de 520 MPa con una elongación total de aproximadamente el 14% (figura 1).

60 Envejecimiento previo durante 6 h a 110° C y 125° C, lo cual es bastante práctico en la configuración actual de la línea de calor de solución de recocido continuo (CASH), aumentó el nivel de resistencia del envejecimiento natural a por encima de 450 MPa.

65 Realización de un procedimiento de horneado de pintura durante 30 min a 180° C después de 6 h de envejecimiento previo a 110° C o 6 h a 125° C produjo un nivel de resistencia por encima de 500 MPa (figuras 10, 11). Una temperatura de envejecimiento previo de 110° C parece producir muy buenos resultados. El proceso puede

incorporarse en la práctica de la línea CASH ajustando la temperatura del horno de recalentamiento alrededor de 10° C más alta que este valor, siempre que el enfriamiento de la bobina adicional lleve aproximadamente 8 h. Este proceso esencialmente elimina un largo ciclo de envejecimiento artificial separado en un horno necesario para producir una lámina de revenido T6 o T7 en forma de bobina. El envejecimiento artificial de escala industrial típico de las bobinas requiere cantidades significativas de tiempo, tanto para el calentamiento (hasta 12 horas) como para los tiempos de envejecimiento convencionales (hasta 24 horas) a una temperatura en el intervalo de 120° C-125° C para alcanzar los niveles de resistencia T6. La temperatura de las bobinas es necesario que sea precisa y puede ser difícil controlar la temperatura de las bobinas individuales en un horno de envejecimiento de múltiples bobinas. Esta realización de la presente invención permite producir bobinas de revenido y propiedades deseadas eligiendo la práctica de envejecimiento previo o recalentamiento y acortando la trayectoria de flujo, y también ahorrar tiempo, energía y dinero.

Los siguientes ejemplos servirán para ilustrar además la presente invención sin, al mismo tiempo, sin embargo, constituir ninguna limitación de la misma. Por el contrario, debe entenderse claramente que puede recurrirse a diversas realizaciones, modificaciones y equivalentes de las mismas que, tras leer la descripción en el presente documento, pueden sugerir a los expertos en la técnica sin alejarse del espíritu de la invención. Durante los estudios descritos en los siguientes ejemplos, se siguieron procedimientos convencionales, a menos que se indique de otro modo. Algunos de los procedimientos se describen a continuación con fines ilustrativos.

Ejemplo 1 (no según la invención)

Un proceso de envejecimiento de una sola etapa se sometió a prueba usando láminas de aleación AA7075 y AA7022 en diversas temperaturas y duraciones de calentamiento. Los resultados se muestran en las tablas 1 y 2. Los altos niveles de resistencia y los porcentajes de elongación deseados se lograron mucho más rápido que las técnicas convencionales, que pueden llevar 24 horas o más.

Ejemplo 2

Un proceso de envejecimiento de dos etapas se sometió a prueba usando una lámina de aleación AA7075 en diversas temperaturas y duración de calentamiento. Los resultados se muestran en las figuras 2 a 6. Los niveles de alta resistencia y los porcentajes de elongación deseados se lograron mucho más rápido que las técnicas convencionales, que pueden llevar 24 horas o más.

Ejemplo 3

Un proceso de envejecimiento de dos etapas se sometió a prueba usando una lámina de aleación AA7075 en diversas temperaturas de primera etapa y duraciones de calentamiento seguido por una segunda etapa a 180° C durante 30 minutos que es la condición de rotura de pintura. Los resultados se muestran en las figuras 2 y 7 a 11. Los niveles de alta resistencia y los porcentajes de elongación deseados se lograron mucho más rápido que las técnicas convencionales, que pueden llevar 24 horas o más.

Ejemplo 4 (no según la invención)

En este ejemplo, una primera etapa de calentamiento de 125° C durante 24 h (la condición T6) fue seguida por una segunda etapa de calentamiento de 180° C durante 30 min que es una condición convencional de horneado de pintura. La segunda etapa de calentamiento ocurrió tras la primera etapa o 3 h más tarde. Los resultados sobre resistencia y elongación fueron similares y no hubo efecto de un retraso de tres horas antes de la condición de horneado de pintura, lo que implica que un retraso de este tipo no tiene ningún efecto sobre las propiedades de pintura posterior. El resultado se muestra en la figura 12. Cabe destacar que cuando los resultados presentados en la figura 12 se comparan con los resultados de las figuras 3 a 11, pueden emplearse tiempos de envejecimiento mucho más cortos para alcanzar los niveles deseados de resistencia y ductilidad, ahorrando así energía, gasto y tiempo de fabricación y almacenamiento, aumentando, por tanto, significativamente la productividad.

Ejemplo 5

En este ejemplo se empleó un enfoque de envejecimiento en tres etapas. La tercera etapa constituyó una condición de horneado de pintura tras la exposición a una hora a 100° C o 120° C seguida por una hora a 150° C. Los resultados demuestran que, usando tres etapas de calentamiento de una duración total de 2,5 h, se alcanzan niveles muy altos de resistencia y ductilidad. Los resultados se muestran en las figuras 13 y 14.

Ejemplo 6 (no según la invención)

Este ejemplo muestra un proceso de envejecimiento de una etapa con la primera etapa de calentamiento de 110° C durante 6 h, seguida por enfriamiento por aire a temperatura ambiente (líneas - - -) o enfriamiento a una velocidad de 3° C por hora a una temperatura objetivo de 50° C (líneas — · — · —). Los resultados se muestran en las figuras 15 y 16 y demuestran que esta única etapa de calentamiento puede producir altos niveles de resistencia, valores de

elongación indeseables con resultados superiores obtenidos a 125° C durante seis horas como se muestra en la figura 16. Se obtuvieron niveles de resistencia muy altos tras el enfriamiento gradual a 50° C a una velocidad de 3° C por hora, que es similar a un proceso de enfriamiento de bobinas en la fabricación automática de láminas de aleaciones de aluminio.

5 Diversas realizaciones de la invención se han descrito en cumplimiento de los diversos objetivos de la invención. Debe reconocerse que estas realizaciones son meramente ilustrativas de los principios de la presente invención. Numerosas modificaciones y adaptaciones de las mismas serán fácilmente evidentes para los expertos en la técnica sin alejarse del alcance de la presente invención, tal como se define en las siguientes reivindicaciones.

10

REIVINDICACIONES

1. Método para lograr la elongación y límite elástico deseados en una lámina de aleación de aluminio 7xxx que comprende:
5
a) calentar rápidamente la lámina a una temperatura de 450° C a 510° C;
b) mantener la lámina a la temperatura de 450° C a 510° C durante hasta 20 minutos;
10
c) enfriar rápidamente la lámina a temperatura ambiente a más de 50° C por segundo;
d) calentar la lámina a una temperatura entre 100° C y 120° C;
15
e) mantener la lámina a la temperatura entre 100° C y 120° C durante 1 hora;
f) calentar la lámina a una temperatura entre 150° C y 200° C; y
g) mantener la lámina a una temperatura entre 150° C y 200° C durante una duración de 0,5 a 6 h.
20
2. Método según la reivindicación 1, que comprende, además, enfriar la lámina a temperatura ambiente después de la etapa g.
3. Método según la reivindicación 2, que comprende, además, medir el límite elástico y la elongación de la lámina para determinar si la lámina alcanza la elongación y límite elástico deseados.
25
4. Método según la reivindicación 3, en el que el límite elástico es de al menos 400 MPa o en el que la elongación es al menos el 5%.
5. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en el que la aleación 7xxx es 7075, 7010, 7040, 7050, 7055, 7150, 7085, 7016, 7020, 7021, 7022, 7029 o 7039.
30
6. Método según la reivindicación 1, en el que calentar la lámina a una temperatura entre 150° C y 200° C comprende calentar la lámina a una temperatura entre 150° C y 175° C, y en el que mantener la lámina a la temperatura entre 150° C y 200° C durante una duración de 0,5 a 6 h comprende mantener la lámina a la temperatura entre 150° C y 175° C durante una duración de 1 a 6 horas o en el que calentar la lámina a una temperatura entre 150° C y 200° C comprende calentar la lámina a una temperatura de 180° C, y en el que mantener la lámina a la temperatura entre 150° C y 200° C durante una duración de 0,5 a 6 h comprende mantener la lámina a la temperatura de 180° C durante una duración de 0,5 h.
35
7. Método según la reivindicación 1, en el que calentar la lámina a una temperatura entre 150° C y 200° C comprende calentar la lámina a una temperatura de 150° C, y en el que mantener la lámina a la temperatura entre 150° C y 200° C durante una duración de 0,5 a 6 h comprende mantener la lámina a una temperatura de 150° C durante una duración de 1 hora y preferiblemente, que comprende además calentar la lámina a una temperatura de 180° C y mantener la lámina a la temperatura de 180° C durante una duración de 0,5 h.
40
8. Método según la reivindicación 1, que comprende además formar la aleación para dar un producto acabado, productos semiacabados, lámina, placa o parte conformada.
45

	Tiempo (h)	Inmediatamente en revenido W	Un día de envejecimiento natural en T6	Dos días de envejecimiento natural en T4	Una semana de envejecimiento natural		Dos semanas de envejecimiento natural en T4
					en T4	en T6	
70° C	1	L.E. = 325,7 EL=23,7		L.E. = 340,1 EL=26,3	L.E. = 354,9 EL=23,4		L.E. = 359,5 EL=22,6
	6	N/A	L.E. = 520,5 EL=15,8	L.E. = 364,4 EL=22,2	L.E. = 373,8 EL=25,1	L.E. = 519,2 EL=15,3	L.E. = 374,9 EL=22,9
100° C	1	L.E. = 360,4 EL=23,6		L.E. = 364,9 EL=22,6	L.E. = 372,3 EL=19,9		L.E. = 378 EL=22,2
	6	N/A	L.E. = 525,2 EL=15	L.E. = 425,6 EL=19,9	L.E. = 431,2 EL=20,3	L.E. = 524,5 EL=14,9	L.E. = 431,9 EL=20,5
110° C	1	L.E. = 372,3 EL=21,9		L.E. = 380,9 EL=22,6	L.E. = 384,3 EL=22,8		L.E. = 389,9 EL=20,8
	6	N/A		L.E. = 448,6 EL=18,7	L.E. = 450,2 EL=19,1		L.E. = 449,9 EL=18,6
125° C	1	L.E. = 396 EL=21,1		L.E. = 402,4 EL=19	L.E. = 408,4 EL=19,7		L.E. = 409,9 EL=19,4
	6	N/A	L.E. = 528,2 EL=14,4	L.E. = 487,8 EL=16,3	L.E. = 489,5 EL=16,2	L.E. = 524,9 EL=14,6	L.E. = 490,8 EL=15,6

FIGURA 1

	Temp. de segunda etapa	150° C		175° C		180° C (Horneado de pintura)
Temp. de primera etapa	Tiempo (h)	1	6	1	6	30 min
70° C*	1	L.E. = 467	L.E. = 471	L.E. = 460	L.E. = 497	
	6*	L.E. = 476 EL = 16,3	L.E. = 504 EL = 13	L.E. = 497 EL = 12,4	L.E. = 477 EL = 11,6	L.E. = 487 EL = 13,3
100° C	1	L.E. = 470 EL = 15,5	L.E. = 509 EL = 12,3	L.E. = 497 EL = 12,7	L.E. = 472 EL = 11,3	L.E. = 493 EL = 12,4
	6*	L.E. = 475	L.E. = 517 EL = 13,3	L.E. = 505 EL = 12,3	L.E. = 486 EL = 11,7	
110° C	6*					L.E. = 507 13,8
120° C	1	L.E. = 476 EL = 14,7	L.E. = 511 EL = 12,6	L.E. = 496 EL = 12,8	L.E. = 481 EL = 11,7	L.E. = 498 EL = 12,5
	6*	L.E. = 485	L.E. = 513	L.E. = 502	L.E. = 494	
125° C*	6*					L.E. = 503 EL = 12,8

* no según la invención

FIGURA 2

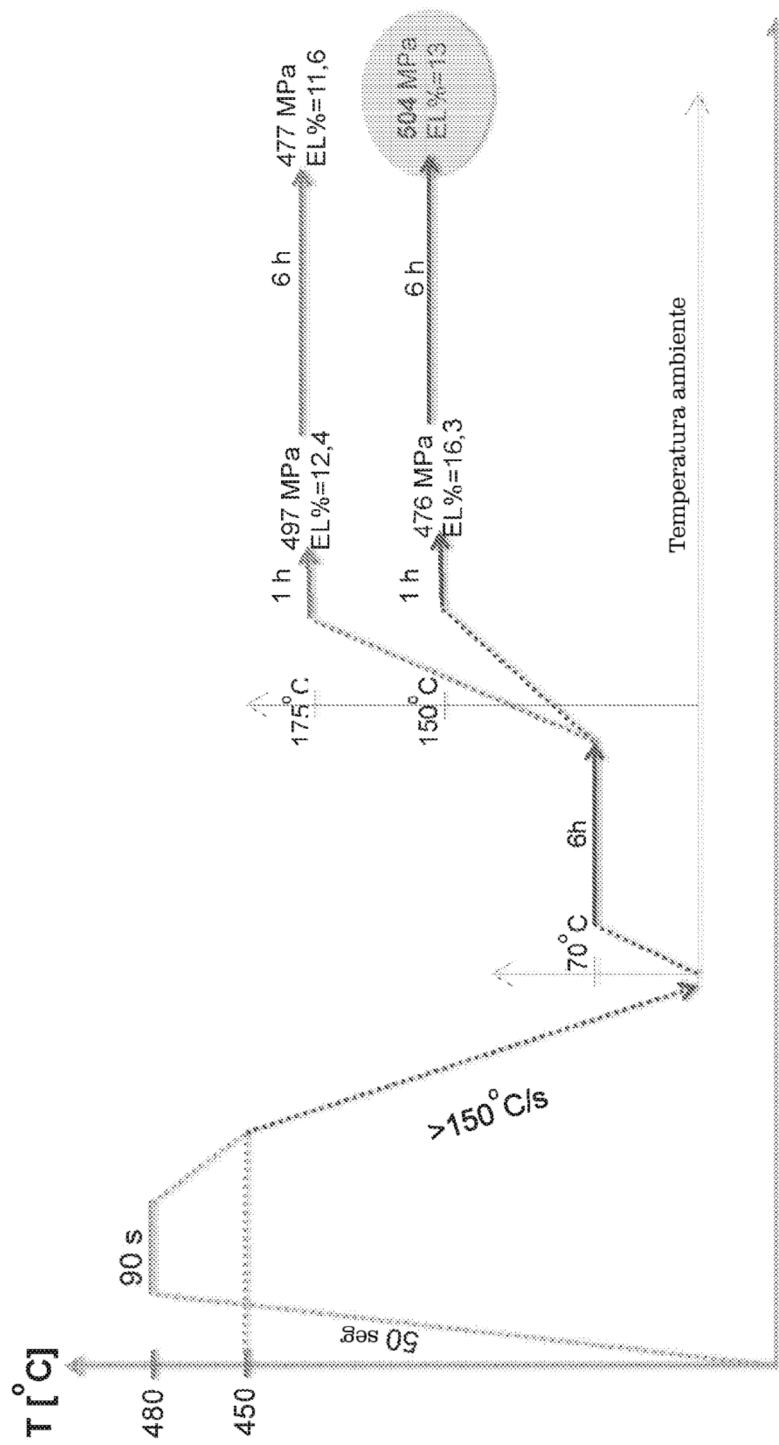


FIGURA 3

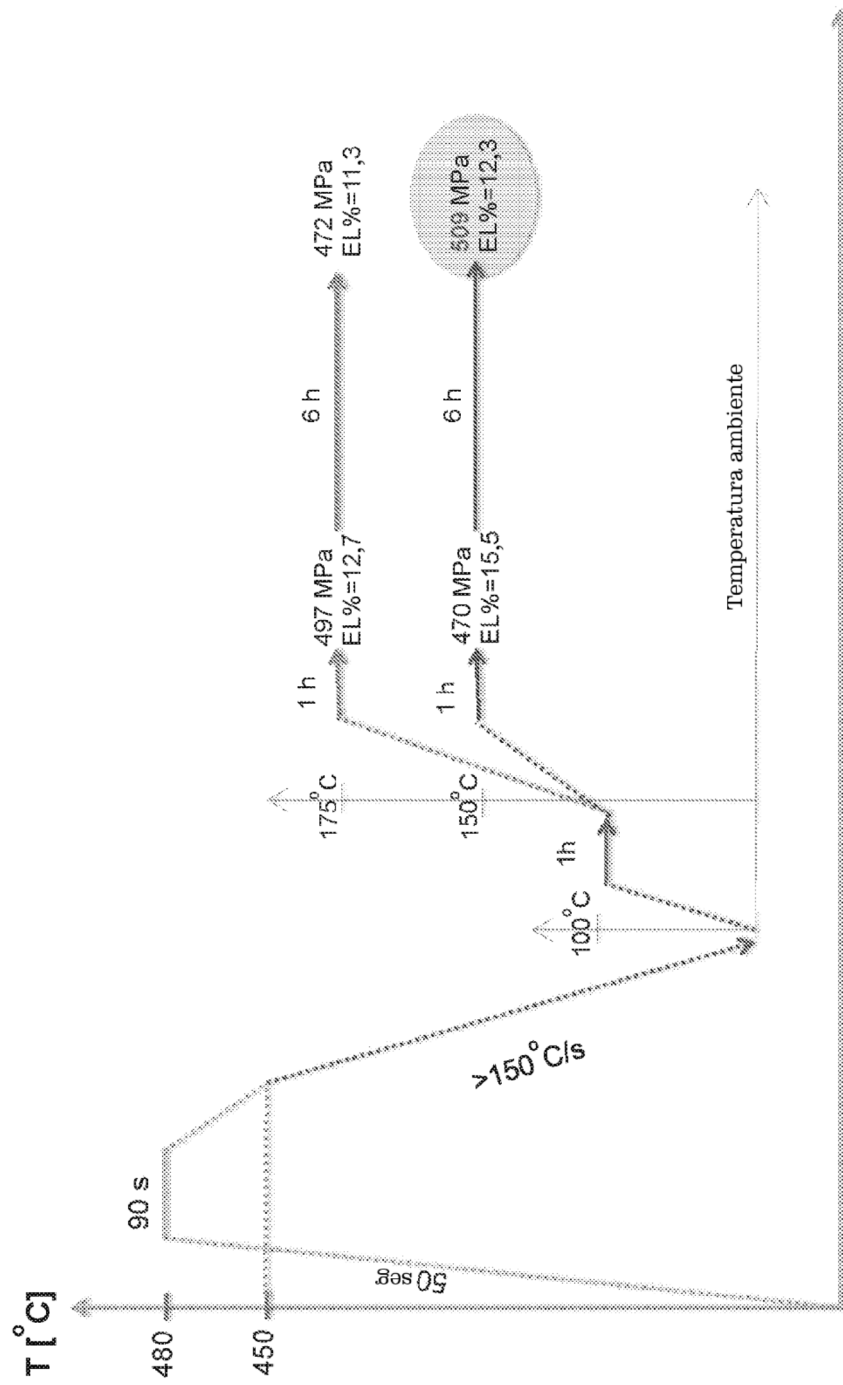


FIGURA 4

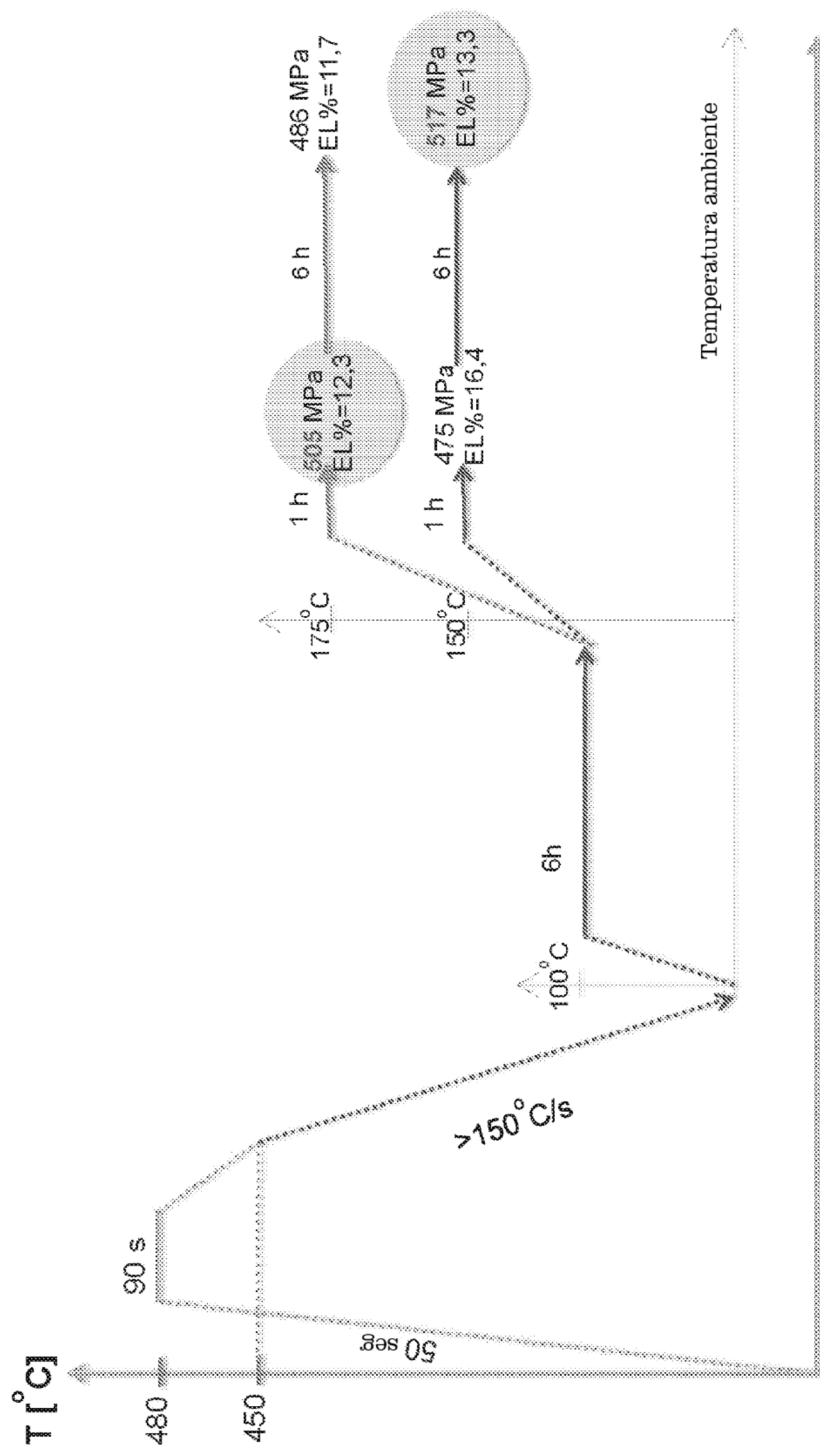


FIGURA 5

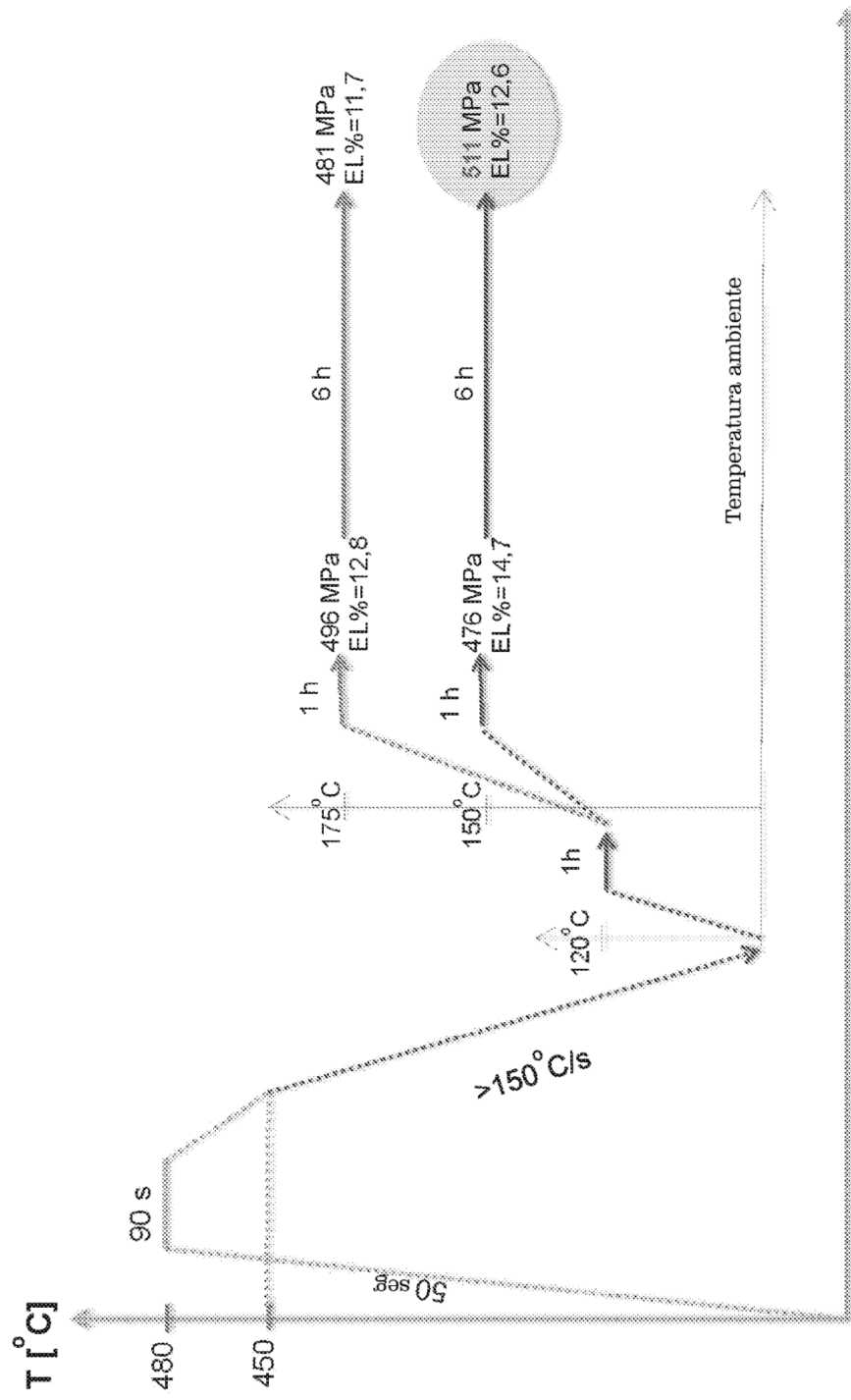


FIGURA 6

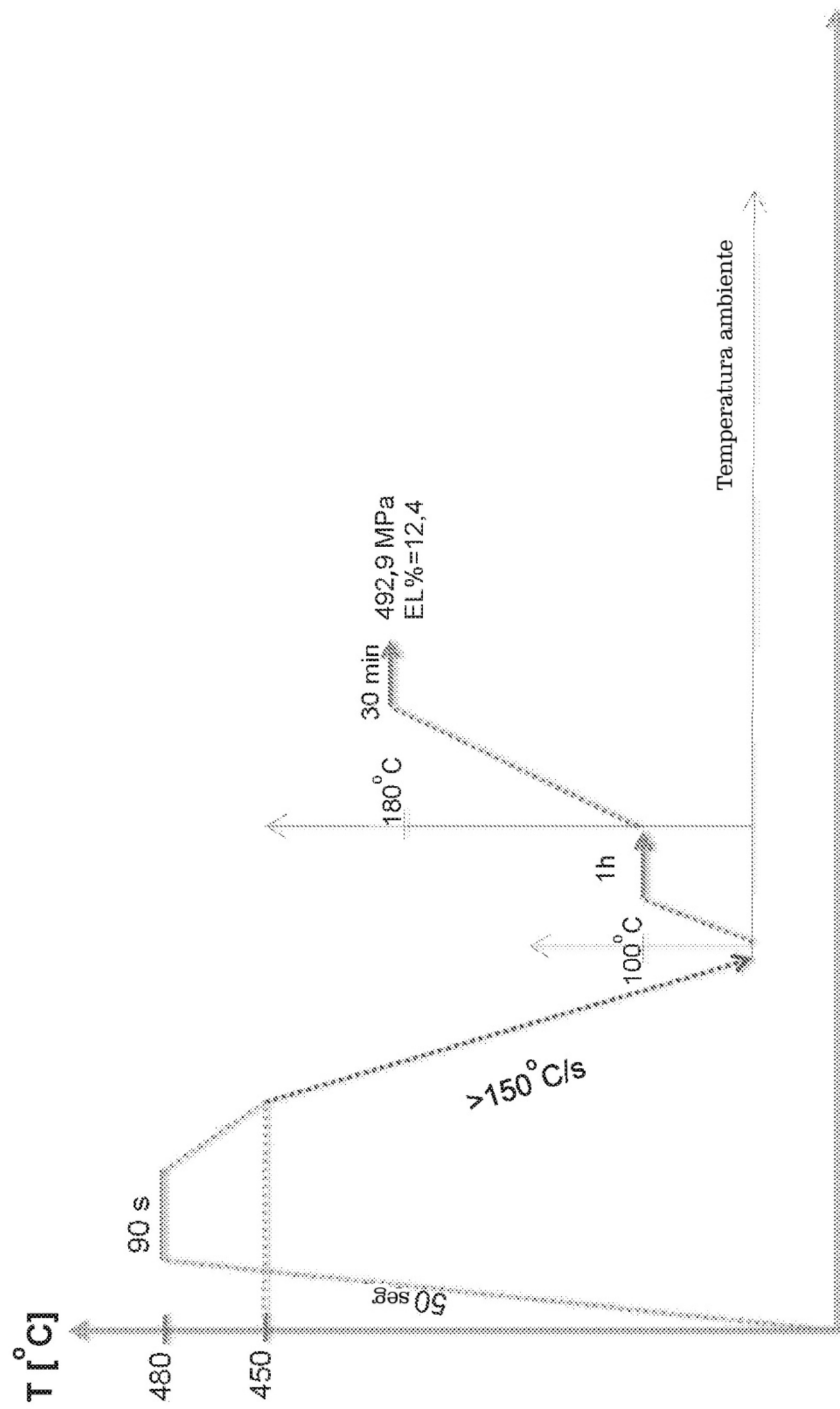


FIGURA 7

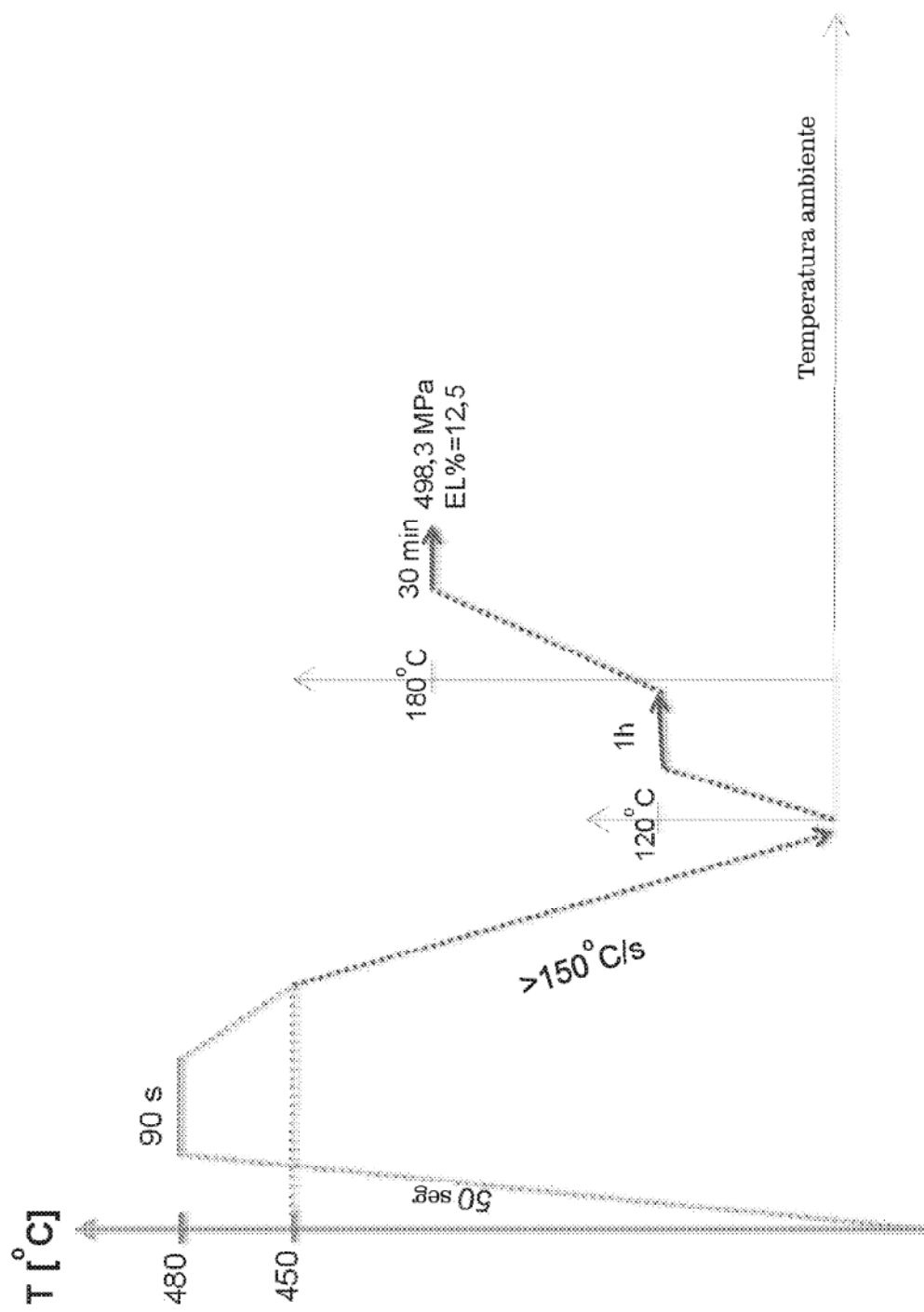


FIGURA 8

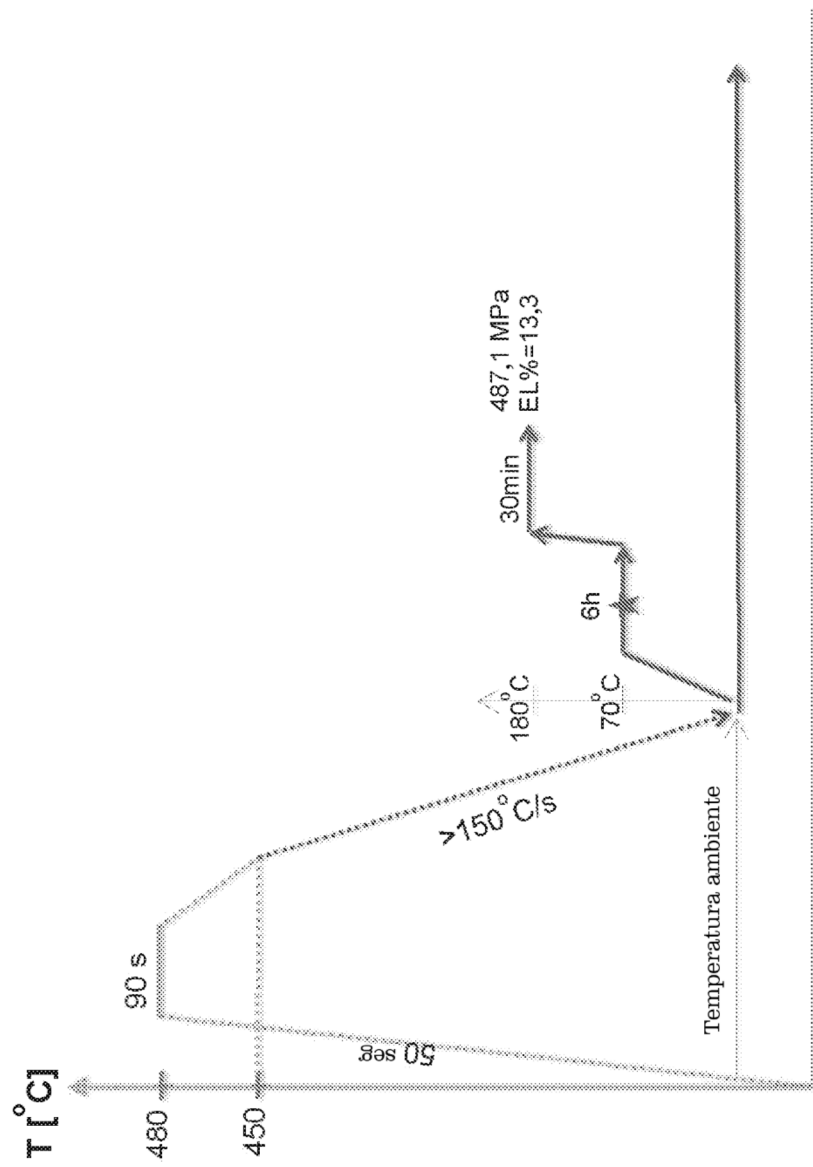


FIGURA 9

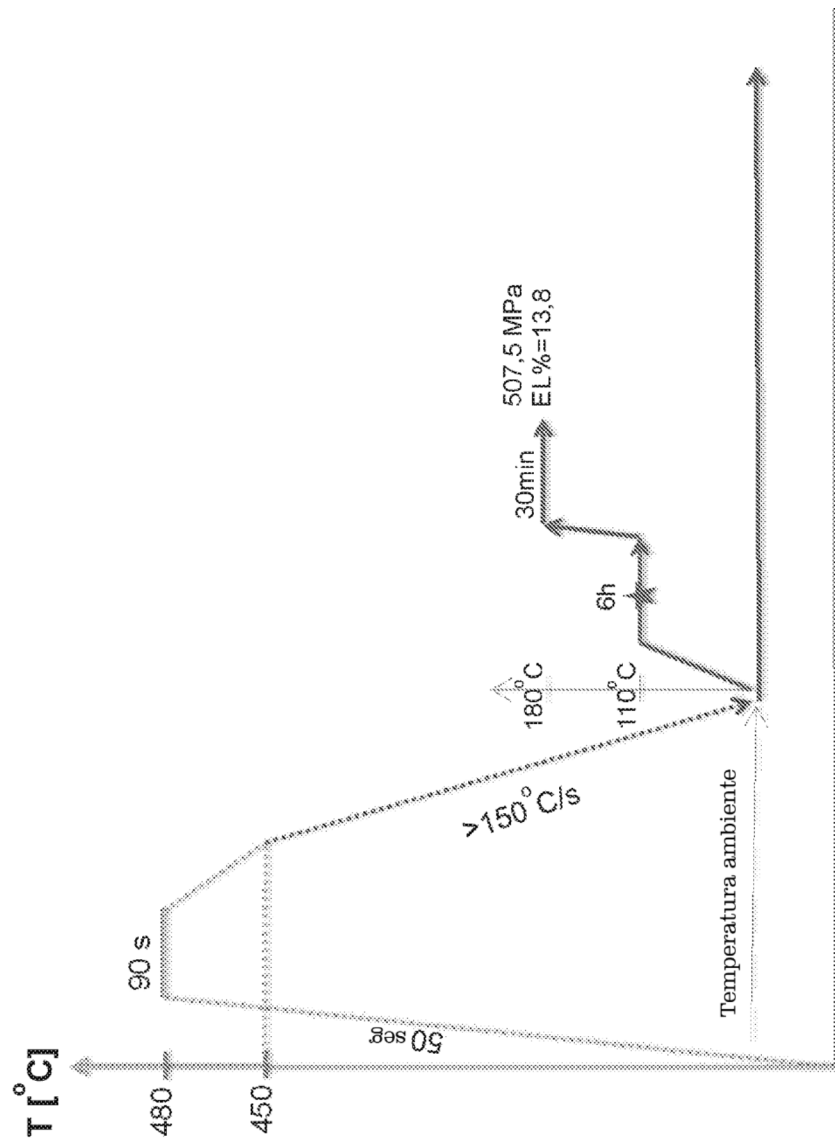


FIGURA 10

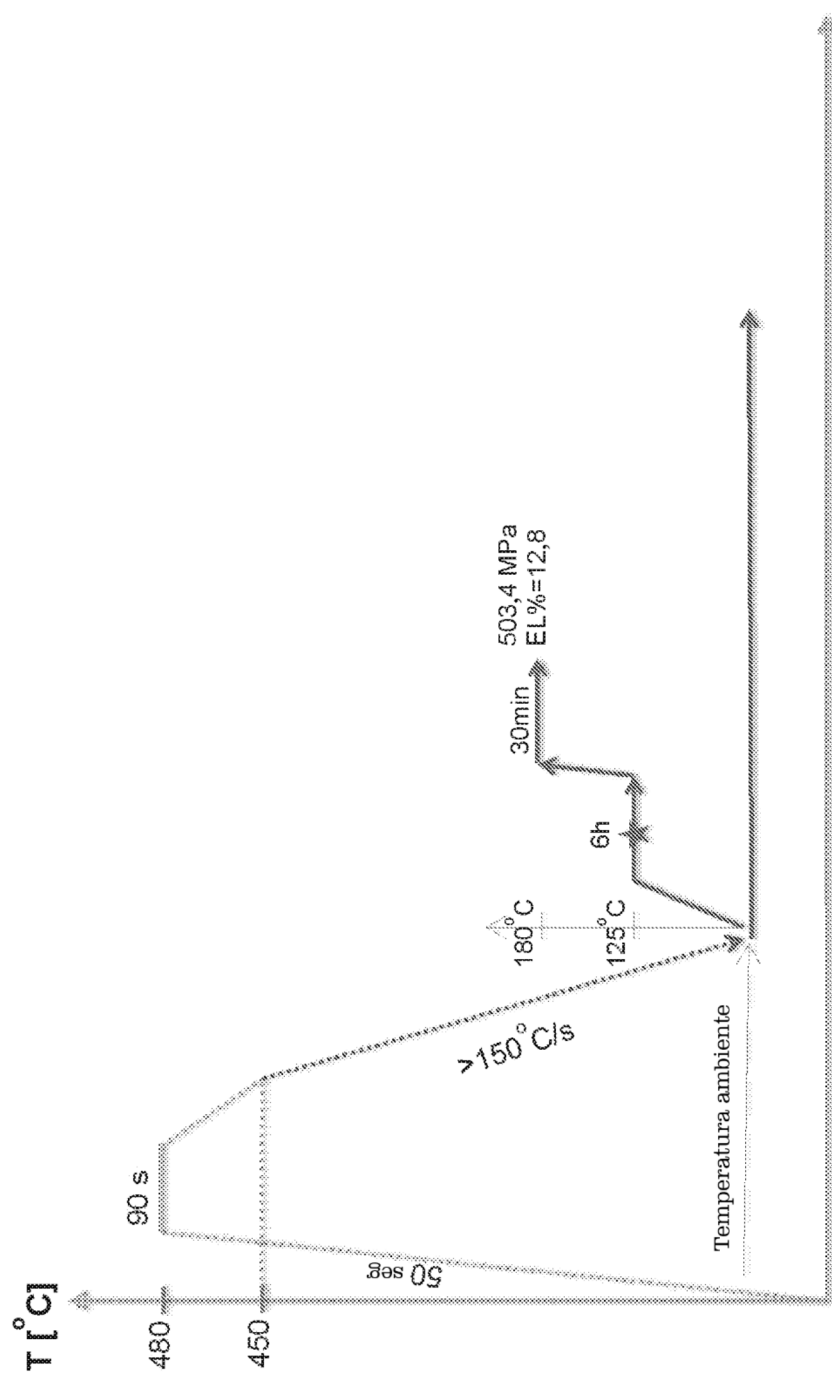


FIGURA 11

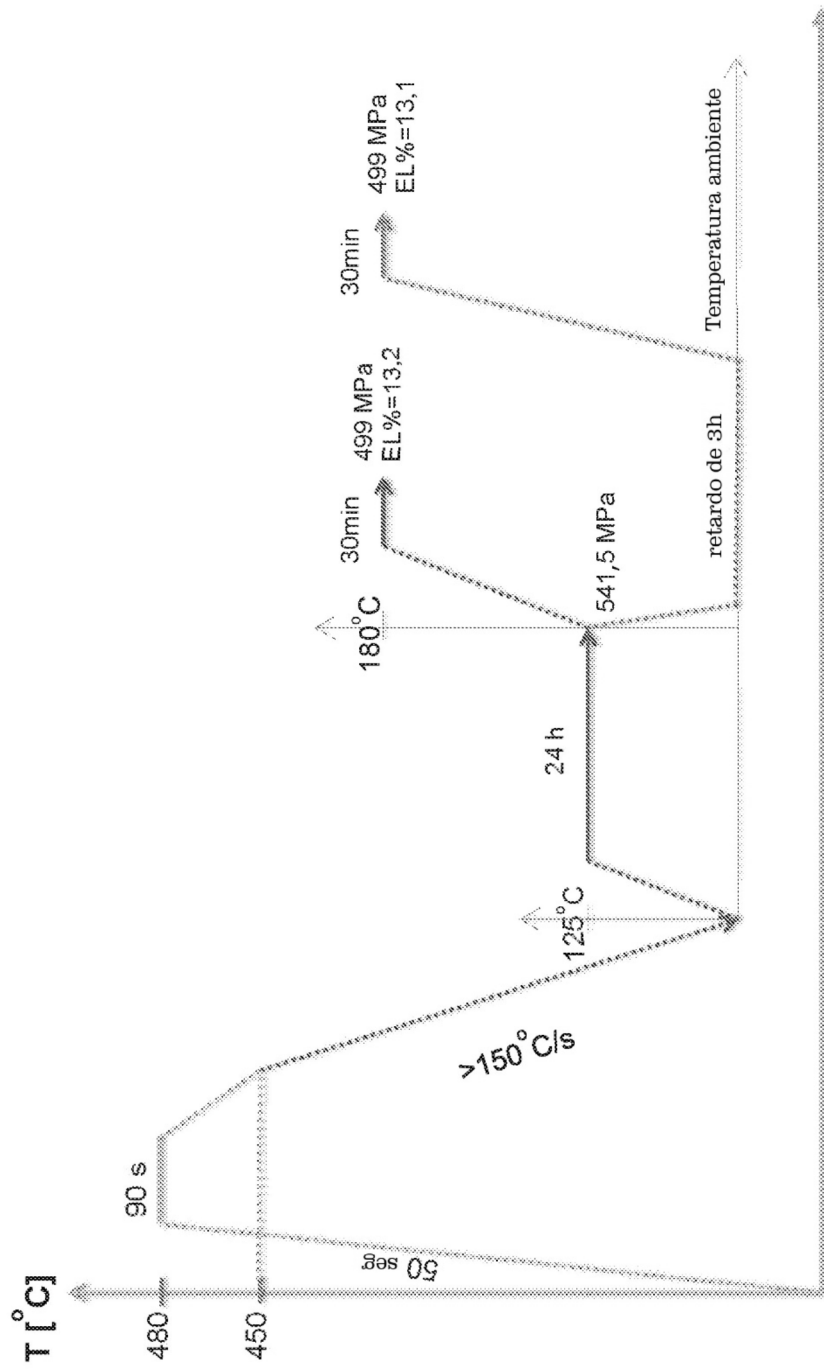


FIGURA 12

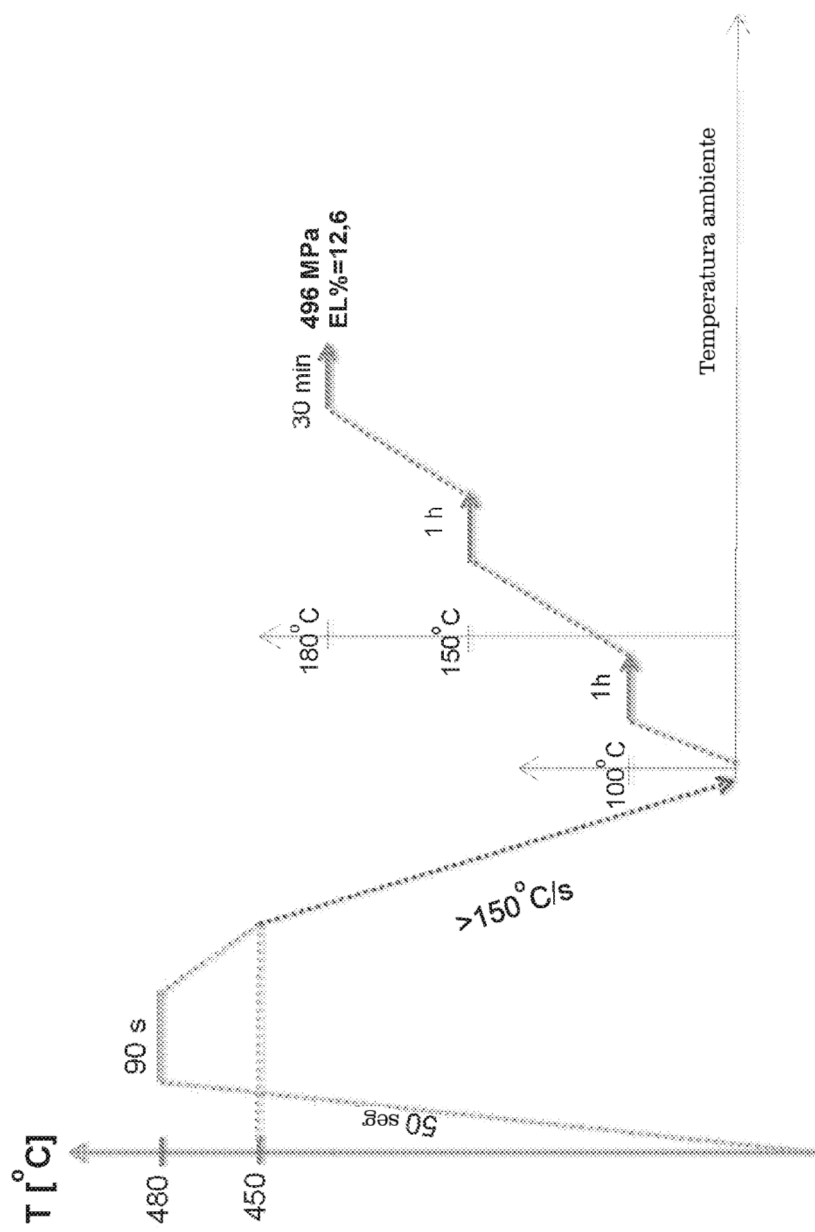


FIGURA 13

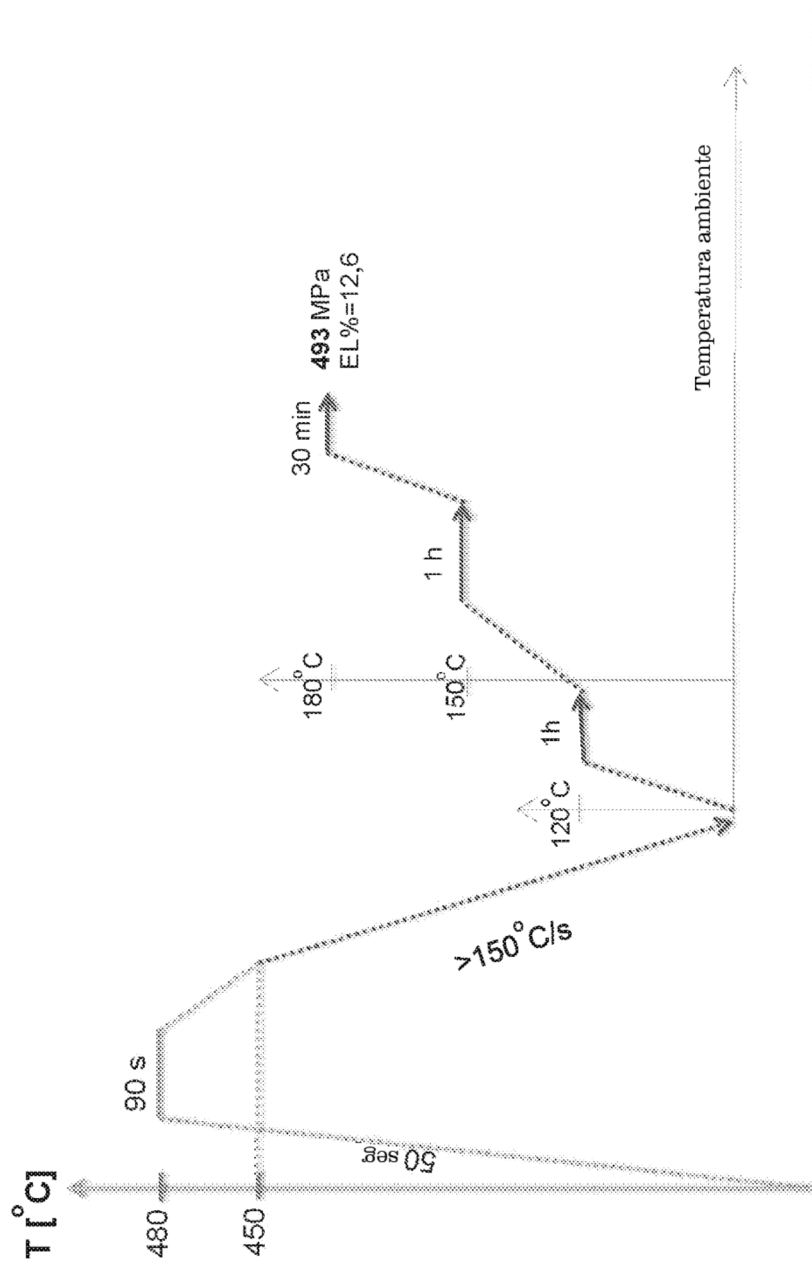


FIGURA 14

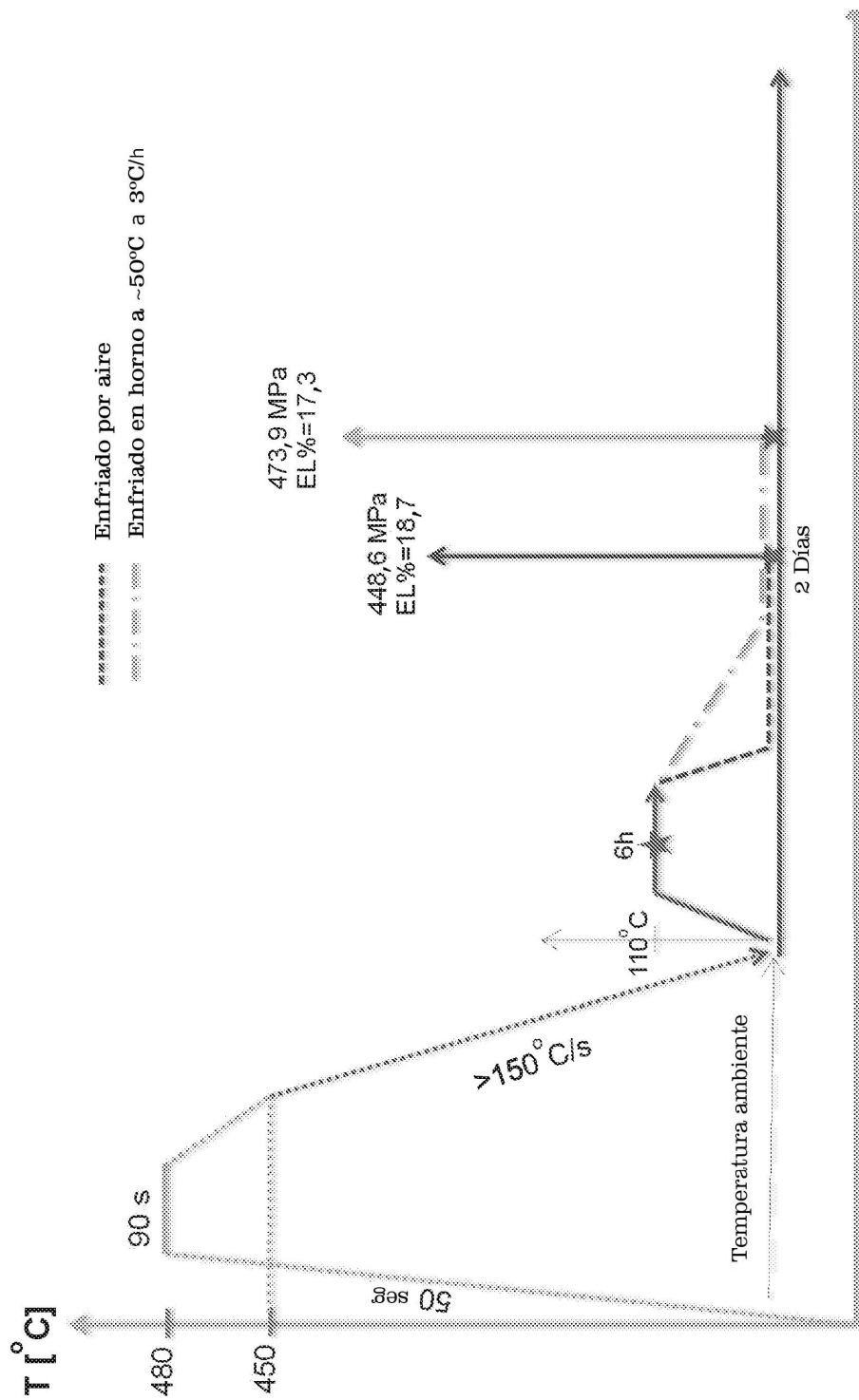


FIGURA 15

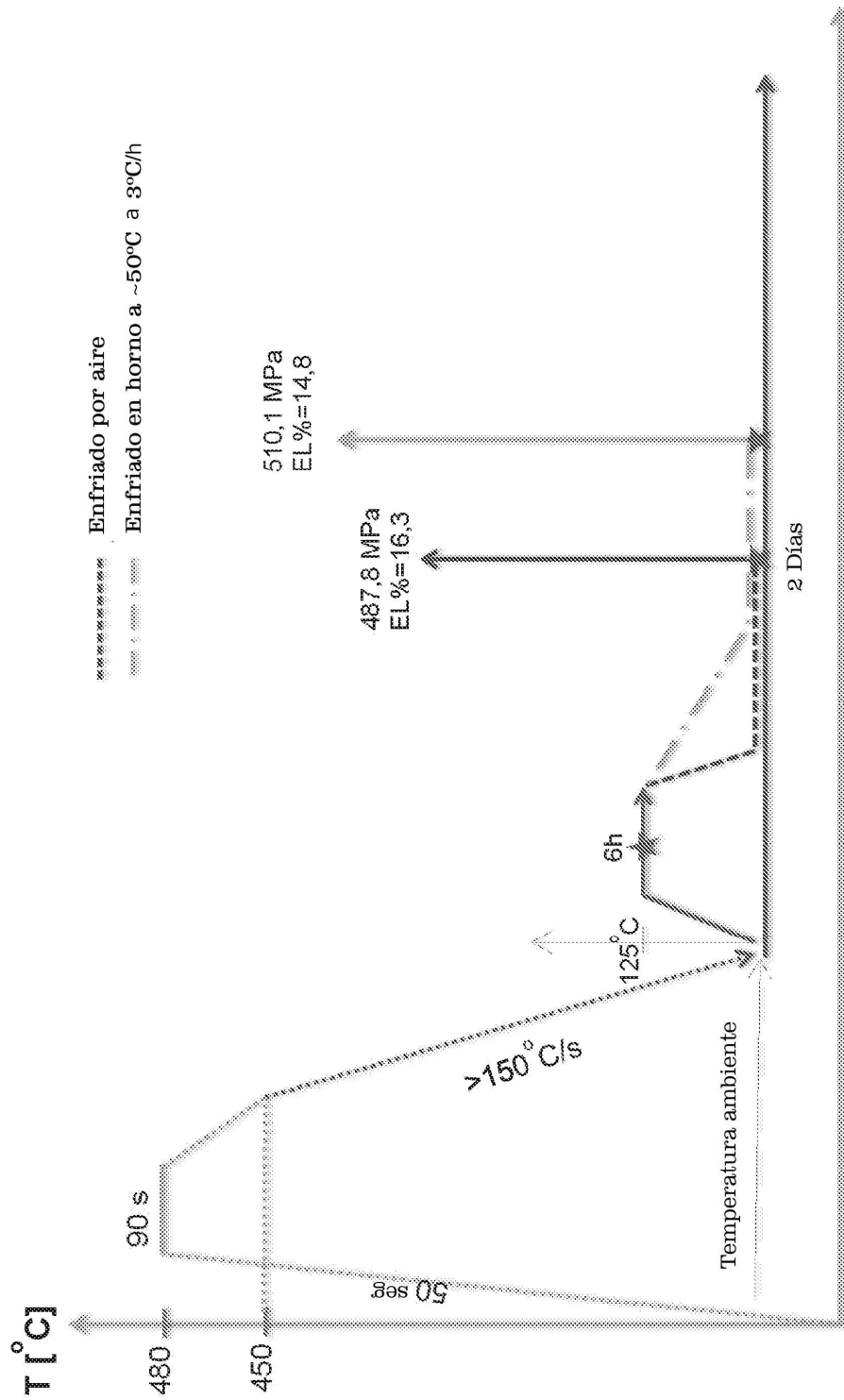


FIGURA 16