

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 605 354**

51 Int. Cl.:

**C22C 9/06** (2006.01)

**C22F 1/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.07.2003 PCT/US2003/020664**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.01.2004 WO04005560**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.07.2003 E 03763072 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.10.2016 EP 1520054**

54 Título: **Aleación de cobre que contiene cobalto, níquel y silicio**

30 Prioridad:

**05.07.2002 US 393765 P**

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

**14.03.2017**

73 Titular/es:

**OLIN CORPORATION (50.0%)  
190 Carondelet Plaza, Suite 1530 Clayton  
Missouri 63105-3443, US y  
WIELAND-WERKE AG (50.0%)**

72 Inventor/es:

**MANDIGO, FRANK, N.;  
ROBINSON, PETER, W.;  
TYLER, DEREK, E.;  
BOEGEL, ANDREAS;  
KUHN, HANS-ACHIM;  
KEPPELER, FRANK, M. y  
SEEGER, JOERG**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

ES 2 605 354 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

Aleación de cobre que contiene cobalto, níquel y silicio

**Antecedentes de la invención**

## 1. Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere a una aleación de cobre con adiciones controladas de cobalto, níquel y silicio. La aleación de la invención es particularmente adecuada para formar conectores eléctricos, bastidores de conectores y otros componentes portadores de corriente eléctrica.

10 La invención se describe adicionalmente por un método para procesar tanto la aleación de la invención como otras aleaciones de cobre que contienen níquel y silicio. Más particularmente, este proceso incluye trabajar en caliente una aleación de cobre-níquel-silicio seguido por múltiples etapas de recocido.

## 2. Breve descripción de la técnica

15 Existe una necesidad en el mercado de aleaciones metálicas que tengan una combinación de (1) buena formabilidad; (2) alta resistencia; (3) conductividad eléctrica moderadamente alta y (4) buena resistencia al alivio de tensiones. Esta combinación de propiedades es particularmente importante para las partes con las que se forman varias interconexiones eléctricas para su uso en conectores para el sector automotriz, conectores eléctricos multimedia (por ejemplo, computadoras y aparatos electrónicos de consumo), aplicaciones térmicas, láminas, cable y polvos, así como otros productos. Varias aleaciones de cobre comerciales están disponibles para su uso en estas aplicaciones, pero carecen de la combinación requerida de propiedades.

20 La primera propiedad indicada, formabilidad, se evalúa típicamente mediante una prueba de doblado. Una tira de la aleación de cobre a un calibre y templado especificados, se dobla 90° alrededor de un mandril de radio conocido. El radio mínimo de doblado (mbr) en función del espesor (t) de la tira se indica entonces como mbr/t. El radio mínimo de doblado es el mandril de radio más pequeño alrededor de cual una tira puede doblarse sin roturas visibles a un aumento de 15x. En general, el mbr/t se indica para doblados de buena manera, definidos por un eje de doblado perpendicular a la dirección de laminado, y para doblados de mala manera, definidos por un eje de doblado paralelo a la dirección de laminado. Se considera que un mbr/t de hasta 4t para doblados de buena manera y doblados de mala manera constituye una buena formabilidad. Más preferido es un mbr/t de hasta 2.

25 La segunda propiedad indicada, conductividad eléctrica moderada, es típicamente considerada como una conductividad eléctrica superior a 40% del IACS. Más preferiblemente, la conductividad eléctrica supera el 50% del IACS. IACS se refiere al Estándar de Cobre Recocido Internacional que asigna al cobre "puro" un valor de conductividad de 100% del IACS a 20°C. En toda la solicitud de patente, todas las evaluaciones eléctricas y mecánicas se realizan a temperatura ambiente, nominalmente 20°C, a menos que se especifique de otro modo. La expresión calificadora "aproximadamente" indica que la exactitud no es requerida y debe interpretarse como ±10% de un valor indicado.

35 La tercera propiedad indicada, alta resistencia, es considerada como un límite elástico superior a 95 ksi (655,1 MPa) y preferiblemente superior a 110 ksi (758,5 MPa). A medida que el calibre del cobre formado en componentes disminuye y la miniaturización de estos componentes continúa, una combinación de resistencia y conductividad para un templado dado será más importante que la resistencia o la conductividad observada sola.

40 La cuarta propiedad indicada, buena resistencia al alivio de tensiones, es considerada como al menos 70% de una tensión impartida que permanece después de exponer una muestra de prueba a una temperatura de 150°C durante 3000 horas y al menos 90% de una tensión impartida que permanece después de exponer una muestra de prueba a una temperatura de 105°C durante 1000 horas.

45 El alivio de tensiones puede medirse por un método de levantamiento como se describe en el Estándar de ASTM (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales) E328-86. Esta prueba mide la reducción de tensión en una muestra de aleación de cobre mantenida a esfuerzo fijo durante hasta 3000 horas. La técnica consiste en restringir el extremo libre de una viga en voladizo a una deflexión fijada y medir la carga ejercida por la viga en la restricción en función del tiempo a temperatura. Esto se logra al asegurar la muestra de prueba de viga en voladizo en un bastidor de prueba designado especialmente. La condición de prueba estándar es para cargar la viga en voladizo a 80% de la temperatura ambiente, límite elástico con una desviación del 0,2%. Si la deflexión calculada excede aproximadamente 5,08 mm (0,2 pulgadas), la tensión inicial se reduce hasta que la deflexión es menor que 5,08 mm (0,2 pulgadas) y la carga se recalcula. El procedimiento de prueba consiste en cargar la viga en voladizo al valor de carga calculado, ajustar un tornillo roscado en el bastidor de prueba para mantener la deflexión y asegurar el tornillo roscado en el lugar con una tuerca. La carga requerida para levantar la viga en voladizo del tornillo roscado es la carga inicial. El bastidor de prueba se coloca en un horno configurado a una temperatura de prueba deseada. El bastidor de prueba se retira periódicamente, se deja que se enfríe hasta la temperatura ambiente y se mide la carga requerida para levantar la viga en voladizo del tornillo roscado. Se calcula la tensión porcentual que permanece en los tiempos logarítmicos seleccionados y los datos se representan en un papel semilogarítmico con tensión que permanece en el tiempo ordenado (vertical) y logarítmico en la abscisa (horizontal). Una línea recta se ajusta a

través de los datos utilizando una técnica de regresión lineal. La interpolación y extrapolación se utilizan para producir valores restantes de tensión a 1, 1000, 3000 y 100.000 horas.

La resistencia al alivio de tensiones es sensible a la orientación y puede indicarse en la dirección longitudinal (L) donde la evaluación a 0° se lleva a cabo con la dimensión larga de la muestra de prueba en la dirección de laminado de la tira y la deflexión de la muestra de prueba está paralela a la dirección de laminado de la tira. La resistencia al alivio de tensiones puede informarse en la dirección transversal (T) donde la evaluación a 90° se lleva a cabo con la dimensión larga de la muestra de prueba perpendicular a la dirección de laminado de la tira y la deflexión de la muestra de prueba está perpendicular a la dirección de laminado de la tira.

Un grupo de aleaciones de cobre comercialmente disponibles comúnmente utilizadas para conectores eléctricos son aleaciones de cobre-níquel-silicio. Las aleaciones pueden endurecerse por precipitación y alcanzar alta resistencia a través de la presencia de siliciuros de níquel como una segunda fase. Una aleación de cobre-níquel-silicio, designada aleación de cobre C7025 tiene una composición de 2,2%-4,2% de níquel, 0,25%-1,2% de silicio, 0,05%-0,30% de magnesio y el resto de cobre. Las designaciones de las aleaciones se realizan de acuerdo con la Asociación de Desarrollo de Cobre (CDA) de Nueva York, NY. La aleación de cobre C7025 se divulga en mayor detalle en las patentes de los Estados Unidos número 4.594.221 y 4.728.372.

La Patente de los Estados Unidos No. 6.506.269 divulga aleaciones de cobre que tienen adiciones controladas de níquel, cobalto, silicio y bien magnesio o fósforo. La patente divulga procesar la aleación de cobre mediante un abordaje de alta temperatura o un abordaje de baja temperatura. El abordaje de alta temperatura proporciona propiedades que no alcanzan la combinación objetivo de resistencia y conductividad indicada anteriormente. Cuando se procesa por el abordaje de alta temperatura, se informa que la Aleación Ejemplar 1 tiene una conductividad eléctrica de 51,9% del IACS y una resistencia a la tracción de 709 MPa (102,9 ksi). Cuando se procesa por el abordaje de baja temperatura, se informa que la Aleación Ejemplar 1 tiene una conductividad eléctrica de 51,5% del IACS y una resistencia a la tracción de 905 MPa (131,3 ksi). Sin embargo el abordaje de baja temperatura imparte trabajo en frío excesivo en la aleación de cobre que se espera resulte en mala formabilidad y mala resistencia al alivio de tensiones.

La aleación de cobre C7027 tiene una composición de 0,28%-1,0% hierro, 1,0%-3,0% níquel, 0,10%-1,0% estaño, 0,20%-1,0% silicio y el resto de cobre. La aleación de cobre C7027 se divulga en mayor detalle en la Patente de los Estados Unidos No. 6.251.199.

El documento japonés de Kokai Hei 11(1999)-222,641 divulga aleaciones de cobre que tienen adiciones controladas de níquel, silicio, magnesio y estaño. Adiciones opcionales incluyen cobalto y plata.

Las propiedades eléctricas y mecánicas de aleaciones de cobre que pueden endurecerse por precipitación están fuertemente influenciadas por el método de fabricación de la aleación de cobre. Un proceso para una aleación de cobre-níquel, silicio, indio-estaño se divulga en la Patente de los Estados Unidos No. 5.124.124 e incluye la secuencia de procesamiento de fundición continua, formación de solución, aplacado, laminado en frío, recocido por precipitación.

Un proceso diferente para una aleación de cobre-cobalto-fósforo que puede contener opcionalmente hasta 0,5% en combinación de níquel y silicio se divulga en la Patente de los Estados Unidos No. 5.147.469. Este proceso incluye las etapas del proceso de fundición, laminado en caliente, aplacado, laminado en frío, formación de solución, aplacado, recocido por precipitación, aplacado, laminado en frío, recocido y aplacado.

Siguen siendo necesarias aleaciones de cobre y procesos para fabricar dichas aleaciones de cobre para tener una combinación mejorada de propiedades para cumplir con las necesidades de las industrias automovilística y multimedia, así como otras donde la miniaturización provoca imponer requisitos más rigurosos de resistencia y de conductividad.

### Breve compendio de la invención

La presente invención está dirigida a una aleación de cobre forjada que consiste esencialmente, en peso, en de 1% a 2,5% de níquel, de 0,5% a 2,0% de cobalto, con un contenido de níquel más cobalto total de 1,7% a 4,3% y una relación porcentual ponderal entre níquel y cobalto que es de 1,01 : 1 a 2,6 : 1; de 0,5% a 1,5% de silicio; con una relación (Ni+Co)/Si de entre 3,5 : 1 y 6 : 1; un contenido de zinc máximo de 0,25%; un contenido de cromo máximo de 0,08%; un contenido de estaño máximo de 0,04%; un contenido de fósforo máximo de 0,04%; un contenido de magnesio máximo de 0,15%; y opcionalmente una cantidad de hasta 1,0% de plata, titanio, zirconio y combinaciones de los mismos; y el resto de cobre e impurezas inevitables; en donde dicha aleación de cobre forjada tiene una conductividad eléctrica superior al 40% del IACS, un límite elástico superior a 758,5 MPa (110 ksi).

La invención se describe adicionalmente por un proceso para la fabricación de una aleación en base a cobre que tiene una combinación de alta conductividad eléctrica, alta resistencia y buena formabilidad. El proceso incluye las etapas secuenciales de (a), fundir la aleación en base a cobre; (b) trabajar en caliente la aleación en base a cobre moldeada para efectuar una primera reducción en el área transversal; (c) formar la solución de la aleación en base a cobre moldeada a una temperatura y durante un tiempo efectivos para formar básicamente una aleación de única

fase; (d) sin ningún trabajo en frío de intervención después de la formación de la solución, recocer por envejecimiento una primera vez la aleación de única fase a una temperatura y durante un tiempo efectivos para precipitar una cantidad de una segunda fase efectiva para formar una aleación de múltiples fases que tienen siliciuros; (e) trabajar en frío la aleación de múltiples fases para efectuar una segunda reducción en el área transversal; y (f) recocer en segunda etapa la aleación de múltiples fases a una temperatura y durante un tiempo efectivos para aumentar la fracción de volumen de partículas precipitadas aumentando así la conductividad, en donde la temperatura de recocido de segunda etapa es menor que la temperatura de recocido de la primera etapa. Este proceso es abordable para la aleación de cobre de la invención así como otras aleaciones de cobre seleccionadas.

## 10 Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 ilustra gráficamente la temperatura de solvus en función de la relación ponderal entre níquel y cobalto.

La Figura 2 muestra en una representación de gráfica de flujo un primer proceso para la fabricación de las aleaciones de la invención y otras aleaciones que contienen cobre-níquel-silicio.

15 La Figura 3 muestra en una representación de gráfica de flujo un proceso alternativo para la fabricación de las aleaciones de la invención.

La Figura 4 muestra en una representación transversal un montaje de conector eléctrico fabricado a partir de aleaciones de cobre de la invención.

La Figura 5 ilustra gráficamente que la conductividad eléctrica más alta se logra cuando (Ni+Co)/Si se encuentra entre 3,5 y 6,0.

20 La Figura 6 ilustra el efecto de la temperatura de envejecimiento en la combinación de conductividad eléctrica y límite elástico de las aleaciones de cobre de la invención procesadas de acuerdo con un primer proceso de la técnica anterior.

25 La Figura 7 ilustra el efecto de la temperatura de envejecimiento en la combinación de conductividad eléctrica y límite elástico de las aleaciones de cobre de la invención procesadas de acuerdo con un segundo proceso de la técnica anterior.

La Figura 8 ilustra el efecto de la temperatura de envejecimiento en la combinación de conductividad eléctrica y límite elástico de las aleaciones de cobre de la invención procesadas de acuerdo con un tercer proceso de la técnica anterior.

30 La Figura 9 ilustra el efecto de la temperatura de envejecimiento en la combinación de conductividad eléctrica y límite elástico de las aleaciones de cobre de la invención procesadas de acuerdo con un proceso tal como se divulga.

## Descripción detallada de la invención

35 De acuerdo con la invención, la aleación de cobre de la invención es una aleación forjada que contiene cantidades controladas de níquel, cobalto y silicio y una relación entre níquel y cobalto controlada. Además, se controlan los niveles de impureza, particularmente de zinc, cromo, magnesio, estaño y fósforo. La aleación de cobre tiene una conductividad eléctrica superior a 40% del IACS y es adecuada para formar conectores eléctricos para aplicaciones tales como automotrices y multimedia.

### Níquel y cobalto

40 El níquel y el cobalto se combinan con silicio para formar siliciuros que son efectivos para el endurecimiento por envejecimiento, para restringir el crecimiento del grano y aumentar la resistencia al ablandamiento. El níquel está presente en una cantidad de 1% a 2,5%. Cuando el contenido de níquel es menor que 1%, la aleación tiene insuficiente resistencia. Cuando el contenido de níquel excede 2,5%, la conductividad y capacidad de trabajo en caliente se ven reducidas. En una realización preferida, el contenido de níquel es de 1,3% a 1,9% y en una realización más preferida, el contenido de níquel es de 1,3% a 1,5%.

45 El cobalto está presente en una cantidad de 0,5% a 2,0%. Cuando el contenido de cobalto es menor que 0,5%, existe insuficiente precipitación de una segunda fase de siliciuro que contiene cobalto. Además, cuando hay un mínimo contenido de cobalto de 0,5% combinado con un contenido de silicio mínimo de 0,5%, el tamaño del grano de la aleación después de la formación de la solución se mantiene a 20 micrones o menos. Cuando el contenido de cobalto excede 2,5%, partículas de la segunda fase excesivas se precipitan conduciendo a una reducción en la formabilidad y la aleación de cobre puede impartirse con propiedades ferromagnéticas no deseables. Preferiblemente, el contenido de cobalto es de entre aproximadamente 0,5% y aproximadamente 1,5% y en una realización más preferida, el contenido de cobalto es de aproximadamente 0,7% a aproximadamente 1,2%.

Durante el envejecimiento por precipitación, se cree que un contenido de cobalto de 1,0% o mayor suprime la

precipitación celular en favor de precipitación continua. La precipitación celular forma un arreglo irregular de lamelas ricas en Cu y Ni<sub>2</sub>Si paralelas que se forman detrás de un límite de grano móvil durante un tratamiento de envejecimiento. Las lamelas de siliciuro son a menudo demasiado grandes para proporcionar un endurecimiento de edad efectivo y el componente de cobre se recristaliza o ablanda. Más preferida es la precipitación continua que proporciona partículas coherentes/semicoherentes submicrónicas que contribuyen a una respuesta fuerte al endurecimiento por envejecimiento.

La suma de la combinación de níquel y cobalto se mantiene entre 1,7 y 4,3 por ciento en peso. Preferiblemente, la suma es de 2 a 4 por ciento en peso y más preferiblemente, la suma es de entre 2,3 y 2,7 por ciento en peso. Fuera de estos rangos, es difícil procesar la aleación para lograr la combinación deseada de propiedades.

La relación ponderal entre níquel y cobalto se mantiene entre (Ni:Co) = 1,01:1 y 2,6:1 y más preferiblemente, la relación ponderal entre níquel y cobalto es de entre 1,05:1 y 1,5:1.

La interacción de níquel y cobalto en una aleación de cobre que contiene silicio se demuestra con referencia a la Figura 1, durante la formación de la solución, es difícil disolver grandes cantidades de siliciuro de cobalto en cobre debido a que las temperaturas de solvus de una aleación cobre-cobalto-silicio son relativamente altas, mayores que 1050°C cuando cobalto+silicio es igual a 2,5% (punto de referencia 2). De manera similar, la temperatura de solvus de una aleación de cobre-níquel-silicio también es relativamente alta, mayor que 850°C cuando el níquel+silicio es igual a 4,0% (punto de referencia 4). Cuando está presente una mezcla de níquel y cobalto, la relación entre níquel y cobalto repercute en el solvus. Cuando la cantidad de cobalto+níquel+silicio es igual a 3,0%, el solvus es aproximadamente 1000°C cuando la relación ponderal entre níquel y cobalto es 1:1 (punto de referencia 6). El solvus es aproximadamente 915°C cuando la relación ponderal entre níquel y cobalto es 2:1 (punto de referencia 7) y el solvus aproximadamente 905°C cuando la relación ponderal entre el níquel y el cobalto es 4:1 (punto de referencia 8). Las composiciones con un solvus más bajo facilitan la disolución del estado sólido de cobalto, níquel y silicio en cobre.

Después que se ha procesado la aleación como se describe más adelante por lo cual los siliciuros de segunda fase producen que se precipiten, el análisis de microscopía electrónica de partículas de segunda fase de diámetro de aproximadamente 20 nm (200 Å) indica que el níquel sustituye directamente al cobalto; con relaciones entre níquel y cobalto en las partículas de la segunda fase a una relación que se aproxima a la de la aleación a granel.

#### Silicio

El silicio es efectivo para aumentar la resistencia por la formación de siliciuros de segunda fase cuando se encuentra en presencia de formadores de siliciuros tales como níquel y cobalto. Cuando el contenido de silicio es menor que 0,5%, se forma una fracción de volumen insuficiente de precipitado para aumentar la resistencia y es difícil controlar el tamaño del grano en la solución. Cuando el contenido de silicio excede 1,5%, se forma un número excesivo de partículas gruesas. Preferiblemente, el contenido de silicio es de 0,5% > a 0,8% y más preferiblemente, de 0,55% a 0,65%.

Las conductividades eléctricas de la aleación de cobre de la invención son más altas cuando la relación ponderal de la relación de (Ni+Co):Si es de entre 3,5:1 y 6:1. La conductividad eléctrica se degrada si los elementos de aleación de níquel, cobalto y silicio están presentes en la aleación de cobre en cantidades fuera de aquellas definidas por las relaciones anteriores.

#### Plata, titanio y zirconio

Las pequeñas adiciones, menos de 1% en total, de plata, titanio, zirconio y combinaciones de estas aleaciones mejoran la combinación límite elástico / conductividad. Las adiciones de plata también mejoran la resistencia al alivio de tensiones.

Opcionalmente, la aleación de cobre de la invención incluye además hasta 1% de plata, titanio, zirconio y combinaciones de los mismos. En realizaciones preferidas, la adición de uno de plata de 0,2% a 0,7%, titanio de 0,15% a 0,3% o zirconio de 0,2% a 0,5%.

#### Otros elementos

La aleación de cobre de la invención puede contener otros elementos no especificados en cantidades no efectivas para cambiar materialmente una propiedad básica de la aleación y aun así estar dentro del alcance de las reivindicaciones que aparecen más adelante. Además, las aleaciones de cobre contendrán probablemente ciertas impurezas inevitables. Sin embargo, los niveles de impurezas y adiciones no especificados están limitados de la siguiente manera.

Zinc - el contenido de zinc se mantiene a un máximo de 0,5% y preferiblemente por debajo de 0,25%. Cuando el contenido de zinc excede esta cantidad máxima, la conductividad eléctrica disminuye. Más preferiblemente el contenido de zinc máximo es menor que 0,1%.

Cromo - el contenido de cromo se mantiene a un máximo de 0,08%. Cuando el contenido de cromo excede esta

cantidad máxima, la probabilidad de formar siliciuros gruesos que contienen cromo aumenta. Preferiblemente, el contenido de cromo es menor que 0,02%.

5 Estaño - el contenido de estaño se mantiene a un máximo de 0,3% y preferiblemente menor que 0,04%. Cuando el contenido de estaño excede esta cantidad máxima, la conductividad eléctrica disminuye. Más preferiblemente, el contenido de estaño es menor que 0,02%.

Fósforo - el contenido de fósforo es preferiblemente menor que 0,04%. Cuando el fósforo excede este nivel, los fosfuros de cobalto y fosfuros de níquel pueden precipitarse reduciendo la cantidad de cobalto y níquel disponible para la formación de siliciuros. Preferiblemente, el contenido de fósforo es menor que 0,02%.

10 Una pequeña pero efectiva cantidad de un elemento para la desoxidación, desulfurización y descarburación también puede estar presente. Típicamente estos elementos estarán presentes en una cantidad de menos de 0,15% y preferiblemente en una cantidad de 0,005% hasta 0,04%. Dichos elementos incluyen magnesio, calcio y metal de Misch. El magnesio también aumenta la resistencia al alivio de tensiones y resistencia al ablandamiento durante tratamientos en caliente de recocido por envejecimiento en el proceso y es más preferido.

15 Otros elementos, que podrían estar presentes en una cantidad de menos de 0,1% de cualquier elemento y 0,5%, en total, incluyen hierro, manganeso, aluminio, plomo, bismuto, azufre, telurio, selenio, berilio, arsénico, antimonio y boro.

20 Si bien esta divulgación es particularmente dirigida a un proceso para la fabricación de una tira de aleación de cobre, la aleación de la invención y el proceso para la fabricación son igualmente abordables para la fabricación de otros productos de aleación de cobre, tales como una lámina, cable, barra y tubo. Además, los procesos que no sean fundición convencional, tales como fundición de láminas, metalurgia en polvo y fundición por rociado también pueden aplicarse.

25 Con referencia a la Figura 2, la aleación de cobre se forma en tiras u otra forma útil. Se agrega una mezcla de los componentes de aleación en las proporciones apropiadas al cobre fundido. El metal fundido se vierte en un molde adecuado para una fundición continua (DC) y fundición 10 para formar un lingote. Otros procesos, tales como fundición por rociado, fundición de tira fina y fundición continua o semicontinua pueden utilizarse para presentar la aleación en una forma adecuada para laminado en caliente 12 o laminado en frío.

30 La aleación se trabaja en caliente 12 a una temperatura de entre 750°C y 1.050°C. Una temperatura de trabajo en caliente preferida es de entre 850°C y 1000°C. Para la tira, el trabajo en caliente típicamente es laminado en caliente, mientras que para la vara y cable puede emplearse extrusión. Después del trabajo en caliente la aleación se trabaja típicamente en frío 13 hasta alcanzar un calibre conveniente para la formación de la solución. Cuando se encuentra en la forma de tira, un espesor ejemplar para la formación de la solución se encuentra entre aproximadamente 0,05 mm (0,002 pulgadas) y aproximadamente 2,54 mm (0,10 pulgadas). La superficie puede acondicionarse, tal como mediante fresado o cepillado para obtener las características de superficie deseadas.

35 La aleación de cobre es recocida en solución entonces 14 a una primera temperatura y un primer tiempo, siendo la combinación de temperatura y tiempo efectiva para formar básicamente una aleación de fase única. Una temperatura de formación de solución adecuada es de entre aproximadamente 750°C y aproximadamente 1.050°C y un tiempo adecuado es de aproximadamente 10 segundos a aproximadamente una hora en una atmósfera neutral o reductora. En general, cuánto más níquel presente, más baja la temperatura de formación de solución para reducir la formación de granos gruesos, ver Línea de Referencia 4 de la Figura 1. Cuánto más cobalto presente, más alta la temperatura de formación de solución para promover la disolución del estado sólido, ver Línea de Referencia 2 de la Figura 1. Haciendo referencia nuevamente a la Figura 2, para la tira, un recocido de la solución preferido 14 se encuentra a la temperatura entre aproximadamente 800°C y aproximadamente 1000°C durante un tiempo de entre aproximadamente 10 segundos y aproximadamente 5 minutos. Una temperatura de formación de solución más preferida es de entre 900°C y 975°C.

45 El recocido de la solución 14 es seguido por un aplacado o enfriamiento rápido 16 a temperatura ambiente (ambiente es nominalmente 20°C). Preferiblemente la velocidad de enfriamiento es superior a 100°C por minuto. Después del aplacado o enfriamiento rápido, la aleación de cobre tiene una conductividad eléctrica de menos de aproximadamente 25% del IACS (14,5 MS/m) y un tamaño de grano equiaxial que se encuentra preferiblemente entre aproximadamente 5 y 20 µm.

50 La secuencia de recocido de la solución seguida por aplacado puede repetirse múltiples veces, típicamente, se inserta una etapa de laminado en frío opcional entre dichos recocidos. La secuencia múltiple puede conducir a una distribución de partículas y textura más uniforme. En general, la temperatura de cada recocido de la solución excepto el último puede ser cualquiera dentro del rango ampliamente definido anteriormente. La temperatura de recocido de la solución final controla el tamaño de grano y de este modo se selecciona de manera más precisa para alcanzar un tamaño de grano preferido y/o alcanzar una fracción de volumen controlada de particulado de segunda fase con un diámetro preferido.

Después del aplacado 16, la aleación de cobre se somete a un primer recocido 18 a una temperatura y durante un

- tiempo efectivos para precipitar una cantidad de segunda fase efectiva para formar una aleación de múltiples fases que tiene siliciuros. Para la tira, un primer recocido ejemplar está a una temperatura de entre aproximadamente 350°C y aproximadamente 600°C durante un tiempo de 30 minutos a 30 horas en una atmósfera neutral o reductora. Más preferiblemente, el primer recocido 18 está a una temperatura de entre aproximadamente 475°C y
- 5 aproximadamente 550°C durante un tiempo de aproximadamente 30 minutos a aproximadamente 24 horas. Un rango de temperatura más preferido para el primer recocido por envejecimiento es de 490°C a 530°C. Una combinación óptima de propiedades eléctricas, propiedades mecánicas, formabilidad y resistencia al alivio de tensiones se logra en el producto final cuando el primer recocido 18 inmediatamente sigue la secuencia de formación de solución → aplacado, sin ningún trabajo en frío de intervención.
- 10 Un proceso alternativo incluye una etapa de laminado en frío entre el aplacado y el primer recocido por envejecimiento, sujeto a la advertencia de que la segunda temperatura de envejecimiento sea menor que la primera temperatura de envejecimiento.
- Cualquier otro recocido divulgado en la presente puede ser un proceso de recocido presentado en etapas. Típicamente, en un recocido en etapas, la primera etapa será a una temperatura más alta que la segunda etapa. Los
- 15 recocidos en etapas pueden resultar en mejores combinaciones de resistencia y conductividad que un recocido a temperatura constante. La aleación se trabaja en frío entonces 20 a una reducción de 5% a 50% en espesor y se somete a un segundo recocido 22 a una temperatura y tiempo efectivos para aumentar la conductividad. Preferiblemente, la temperatura del segundo recocido 22 es menor que la temperatura del primer recocido 18. Para la tira, una segunda temperatura de recocido ejemplar es de aproximadamente 350°C a aproximadamente 600°C
- 20 durante un tiempo de aproximadamente 10 segundos a 30 horas en una atmósfera neutral o reductora. Más preferiblemente, el segundo recocido 26 está a una temperatura de entre aproximadamente 350°C y aproximadamente 500°C durante un tiempo de aproximadamente 1 hora a aproximadamente 24 horas. La secuencia de trabajo en frío 20 seguida por un segundo recocido 22 puede repetirse múltiples veces hasta que se alcance el calibre y propiedades deseadas.
- 25 Mientras el proceso anterior es particularmente adecuado para las aleaciones de cobre de la invención, el proceso también es abordable para otras aleaciones de cobre de endurecimiento por precipitación. En particular las aleaciones de cobre-M-silicio donde M es un formador de siliciuro que es preferiblemente níquel, cobalto o una mezcla de los mismos, tal como aquellos que contienen de 0,5% a 5% de M y 0,2% a 1,5% de silicio pueden beneficiarse del proceso.
- 30 Otro sistema de aleación en base a cobre que se cree que también se beneficia de este proceso es Cu-X-Ti donde X es un formador de titanato. Composiciones preferidas contienen 0,35% a 5% de titanio y 0,001% a 5% de X, donde X se selecciona de Ni, Fe, Sn, P, Al, Zn, Si, Pb, Be, Mn, Mg, Bi, S, Te, Se, Ag, As, Sb, Zr, B, Cr y Co y combinaciones de los mismos y el resto de cobre e impurezas inevitables. En una realización preferida, esta aleación contiene 0,5% a 5% de níquel y 0,35% a 2,5% de titanio como se divulga en la solicitud de patente
- 35 provisional de los Estados Unidos, en trámite conjuntamente con la presente, número de serie 60/410,592, presentada el 13 de setiembre de 2002.
- De acuerdo con un proceso alternativo, como se ilustra en la Fig. 3, la aleación de cobre puede procesarse al calibre final sin utilizar un tratamiento en caliente de formación de solución en el proceso. Las etapas de fundición 10, laminado en caliente 12 y primer trabajo en frío 13 son como los anteriores. Después del primer trabajo en frío 13, la
- 40 aleación se somete a un primer recocido por envejecimiento 18 a una temperatura de entre aproximadamente 350°C y aproximadamente 600°C durante un tiempo de aproximadamente 30 minutos a aproximadamente 30 horas en una atmósfera neutral o reductora. Más preferiblemente, el primer recocido por envejecimiento 18 está a una temperatura de aproximadamente 450°C a aproximadamente 575°C durante un tiempo entre aproximadamente 30 minutos y aproximadamente 24 horas. Como en el proceso anterior, los recocidos por envejecimiento pueden
- 45 presentarse en etapas.
- El primer recocido por envejecimiento 18 es seguido por una segunda etapa de trabajo en frío 20 que preferiblemente reduce el espesor de la aleación de cobre de aproximadamente 10% a aproximadamente 50% en espesor y es más preferiblemente de 15% a 30%. La segunda etapa de trabajo en frío es seguida por un segundo
- 50 recocido por envejecimiento 22 que está a una temperatura más baja que el primer recocido por envejecimiento, tal como entre aproximadamente 350°C y aproximadamente 500°C durante un tiempo de entre aproximadamente 10 segundos y aproximadamente 30 horas en una atmósfera neutral o reductora. Más preferiblemente, el segundo recocido por envejecimiento 22 está a una temperatura de entre aproximadamente 375°C y aproximadamente 475°C durante un tiempo entre aproximadamente una hora y aproximadamente 24 horas. Un rango de temperatura más preferido para el segundo recocido por envejecimiento es de 400°C a 450°C.
- 55 Las etapas del segundo trabajo en frío 20 seguidos por el segundo recocido por envejecimiento 22 pueden repetirse múltiples veces hasta que la tira de aleación de cobre se encuentra en el calibre final. Este proceso alternativo es especialmente bueno para realizar un producto a una conductividad eléctrica más alta.
- Estas aleaciones así como otras aleaciones de cobre-níquel (y/o cobalto)-silicio realizadas de acuerdo con el proceso descrito son particularmente adecuadas para la fabricación de montajes de conectores electrónicos del tipo
- 60 ilustrado en la Figura 4. Este montaje de conectores 40 utiliza las aleaciones de cobre procesadas de acuerdo con el

proceso descrito. El montaje de conectores 40 incluye un enchufe hembra 42 y un enchufe macho 44. El toma corriente 42 está formado por una tira de aleación de cobre y doblado en una forma deseada, típicamente con una parte plana 46 para conectarse con el enchufe macho 44. Se mantiene contacto consistente con el enchufe macho 44 por la tensión generada en la tira de aleación al desplazar las partes planas 46 mediante inserción del enchufe macho 44. Cuando el montaje de conectores 40 se expone a temperaturas elevadas y más notablemente cuando la temperatura superior a 100°C, esta tensión interna gradualmente se disipa (alivio de tensiones) y se pone en contacto entre las partes planas 46 y el enchufe macho 44 se deteriora. Estas aleaciones y otras aleaciones de cobre procesadas como se describe mejor resisten a alivio de tensiones a temperatura elevada y producen un conector eléctrico mejorado.

10 La invención se describe adicionalmente en detalle por medio de los siguientes Ejemplos.

**Ejemplos**

Las aleaciones de cobre que tienen las composiciones, por ciento en peso, enumeradas en la Tabla 1 se prepararon como barras de producción (identificadas con el prefijo "RN") por fundición continua (DC) en barras de 0,15 m x 0,76 mm x 7,6 m (6 pulgadas x 30 pulgadas x 25 pies) o fundición como lingotes de laboratorio de 4,54 Kg (10 libras) (identificados con el prefijo "J"). A menos que se indique lo contrario en los Ejemplos, las barras de producción se procesaron a placas fresadas al remojar a aproximadamente 900°C y laminado en caliente a 15,2 mm (0,6 pulgadas). La bobina laminada en caliente se remojó a aproximadamente 600°C durante aproximadamente 5 a 15 horas y después se fresó para remover óxidos de la superficie desarrollados durante el laminado en caliente.

A menos que se indique de otro modo en los Ejemplos, los lingotes de laboratorio se procesaron a una placa fresada fusionando en un crisol de sílice y fundiendo el metal fundido en moldes de acero. Después de la colada, los lingotes eran de 10,2 cm x 10,2 cm x 4,45 cm (4 pulgadas x 4 pulgadas x 1,75 pulgadas). Los lingotes se remojaron durante aproximadamente 3 horas a aproximadamente 900°C y se laminaron en caliente hasta 2,79 cm (1,1 pulgadas). La placa laminada en caliente se recalentó hasta aproximadamente 900°C y se laminó en caliente adicionalmente hasta aproximadamente 1,27 cm (0,5 pulgadas). La placa de 1,27 cm (0,5 pulgadas) se recalentó hasta aproximadamente 900°C y se mantuvo a esta temperatura durante 5 minutos y después se aplacó en agua. Las placas aplacadas entonces se remojaron a aproximadamente 600°C durante aproximadamente 5 a 15 horas, se cortaron y después se fresaron para remover óxidos de la superficie desarrollados durante el laminado en caliente.

Tabla 1

Identificación del lingote	Cobalto	Silicio	Magnesio	Níquel	Ni:Co	(Ni+Co)/Si
J394	0,89	0,41	0,05	1,46	1,64	5,73
J395	-0-	0,62	0,08	2,72	-X-	4,39
J401	1,06	0,62	0,08	1,67	1,67	4,40
J620	2,26	1,02	0,11	2,39	1,06	4,56
J623	1,06	0,49	0,11	1,53	1,44	5,29
J624	1,59	0,78	0,11	2,32	1,45	5,01
J658	0,58	0,60	0,09	2,00	3,45	4,30
J659	1,04	0,60	0,09	1,45	1,39	4,15
J660	1,55	0,59	0,08	1,45	0,94	5,08
J661	2,02	0,60	0,09	1,50	0,74	5,87
J662	1,01	0,59	0,09	2,00	1,98	5,10
J663	1,42	0,59	0,08	1,97	1,39	5,75
J665	1,44	0,37	0,09	1,97	1,37	9,22

ES 2 605 354 T3

Identificación del lingote	Cobalto	Silicio	Magnesio	Níquel	Ni:Co	(Ni+Co)/Si
J666	1,86	0,80	0,09	1,46	0,78	4,15
J667	2,38	0,82	0,10	1,51	0,63	4,74
J668	1,95	0,77	0,09	1,95	1,04	4,97
J669	0,98	0,82	0,09	3,01	3,07	4,87
J671	2,92	1,00	0,10	1,52	0,52	4,44
J672	2,32	1,00	0,09	2,38	1,03	4,70
J673	1,55	1,07	0,08	2,88	1,86	4,14
J676	1,86	0,71	0,10	1,45	0,78	4,66
J684	2,02	0,72	0,10	1,53 +0,23 Ti	0,76	4,93
J686	1,92	0,71	0,11	1,50 +0,28 Ag	0,78	4,82
J687	1,82	0,69	0,11	1,46 +0,14 Zr	0,80	4,75
J716	1,73	0,74	0,10	1,72	0,99	4,60
J717	1,13	0,72	0,08	2,41	2,13	4,92
J718	0,51	0,73	0,09	3,08	6,04	4,92
J719	2,67	0,73	0,09	-0-	-0-	3,65
J720	1,83	0,73	0,09	0,96	0,52	3,82
J721	1,37	0,73	0,09	1,45	1,06	3,86
J722	0,89	0,73	0,09	1,93	2,17	3,86
J723	0,55	0,70	0,10	2,27	4,13	4,03
J724	-0-	0,69	0,07	2,82	-X-	4,09
J727	0,43	0,71	0,09	1,73	4,02	3,03
J728	0,70	0,72	0,10	1,52	2,17	3,08
J729	0,95	0,75	0,10	1,14	1,20	2,79
J730	0,66	0,73	0,10	0,68	1,03	1,84
J731	-0-	0,49	0,10	2,44	-X-	4,98
J737	1,14	0,38	0,10	0,55	0,48	4,45
J738	1,32	0,44	0,10	0,68	0,52	4,55

ES 2 605 354 T3

Identificación del lingote	Cobalto	Silicio	Magnesio	Níquel	Ni:Co	(Ni+Co)/Si
J739	1,60	0,56	0,10	0,82	0,51	4,32
J740	2,06	0,71	0,10	0,98	0,48	4,28
J741	2,23	0,81	0,11	1,10	0,49	4,11
J742	2,57	0,94	0,08	1,24	0,48	4,05
J743	2,92	1,13	0,09	1,40	0,48	3,82
J772	4,35	1,40	0,09	1,92	0,44	4,48
J824	1,80	0,60	0,12	0,77	0,43	4,28
J834	1,77	0,60	-0-	0,76 + 0,20 Ag	0,43	4,22
J835	1,88	0,64	-0-	0,75	0,40	4,11
J836	1,86	0,63	0,10	0,75 + 0,21 Ag	0,40	4,14
J910	0,64	0,56	0,09	1,79	2,80	3,86
J954	1,17	0,60	-0-	1,22 + 0,052 Ag	1,04	3,98
J955	1,18	0,59	-0-	1,21 + 0,099 Ag	1,03	4,05
J956	1,17	0,59	-0-	1,22 + 0,19 Ag	1,04	4,05
J969	1,04	0,61	0,001	1,37	1,32	3,95
J970	1,05	0,62	0,01	1,37	1,30	3,90
J971	1,04	0,62	0,021	1,38	1,33	3,90
J972	1,05	0,63	0,033	1,38	1,31	3,86
J973	1,05	0,62	0,044	1,39	1,32	3,94
J981	1,05	0,63	0,016	1,40 + 0,053 Ag	1,33	3,78
J982	1,06	0,62	0,025	1,39 + 0,099 Ag	1,31	3,95
J983	1,07	0,63	0,23	1,40+ 0,195 Ag	1,31	4,05
J984	1,06	0,63	0,017	1,39 + 0,39 Ag	1,31	3,89
J989	0,66	0,61	0,08	1,83	2,77	4,08
RN503014	1,97	0,74	0,09	1,48	0,75	4,60

Ejemplo 1

Este ejemplo ilustra por qué las aleaciones tienen contenidos de silicio y cobalto que superan ambos el 0,5 por ciento en peso.

## ES 2 605 354 T3

La placa fresada de las aleaciones enumeradas en la Tabla 2 se laminó en frío hasta 0,41 mm (0,016 pulgadas) y se formó una solución a temperaturas de 800°C a 1.000°C durante 60 segundos, seguido por un apacado en agua 18. El tamaño del grano se midió mediante microscopía óptica y se indicó en la Tabla 2. Para la aleación J724, a temperaturas de formación de solución de 900°C y 950°C, el tamaño del grano se estimó en lugar de medirse.

5 Tabla 2

Identificación del lingote	Tratamiento en caliente en solución	Tamaño de grano promedio (micrones)
Aleaciones de la invención		
J401	850°C/60 segundos	6
	950°C/60 segundos	16
J667	925°C/60 segundos	5
	950°C/60 segundos	5
	975°C/60 segundos	5
J671	925°C/60 segundos	5
	950°C/60 segundos	5
	975°C/60 segundos	5
J719	900°C/60 segundos	7
	950°C/60 segundos	8
	1000°C/60 segundos	14
J720	900°C/60 segundos	6
	950°C/60 segundos	8
	1000°C/60 segundos	20
J721	900°C/60 segundos	8
	950°C/60 segundos	8
	1000°C/60 segundos	30
J722	900°C/60 segundos	9
	950°C/60 segundos	13
	1000°C/60 segundos	43
J723	900°C/60 segundos	9
	950°C/60 segundos	12
	1000°C/60 segundos	39

## ES 2 605 354 T3

Identificación del lingote	Tratamiento en caliente en solución	Tamaño de grano promedio (micrones)
Aleaciones de la invención		
RN503014	925°C/60 segundos	5
	950°C/60 segundos	6
	975°C/60 segundos	8
Ejemplos comparativos		
J724	800°C/60 segundos	7
Co=0	840°C/60 segundos	9
	900°C/60 segundos	60
	950°C/60 segundos	140
	1000°C/60 segundos	250
J394	850°C/60 segundos	9
Si=0,41%	880°C/60 segundos	11
	950°C/60 segundos	34

5 Los datos de la Tabla 2 ilustran que un tamaño de grano fino controlado de menos de aproximadamente 20 µm en diámetro se alcanza a temperaturas de formación de solución de hasta 950°C cuando las aleaciones tienen más de 0,5% de cobalto y silicio. Este control de tamaño de grano no se logra cuando el contenido de cobalto o de silicio es menor que 0,5%.

### Ejemplo 2

Este ejemplo ilustra el efecto de mantener un contenido de silicio superior a 0,5% y la cantidad total de níquel y cobalto entre 1,7% y 4,3% para una combinación de alto límite elástico y alta conductividad eléctrica.

10 Las placas fresadas se laminaron en frío hasta 0,41 mm (0,016 pulgadas) y se formó una solución a 950°C durante 60 segundos, seguido por un aplacado en agua. Estas aleaciones se envejecieron una primera vez a 525°C durante 3 horas, se laminaron en frío hasta una reducción de espesor de 25% a 0,30 mm (0,0120 pulgadas) de calibre y se envejecieron una segunda vez a 425°C durante 6 horas. Las combinaciones de límite elástico y conductividad eléctrica alcanzadas se enumeran en la Tabla 3 ya que son 90° formabilidad de doblado de buena manera y de mala manera.

15 Tabla 3

Aleación	Silicio (peso %)	Níquel + Cobalto (peso %)	Límite elástico		Conductividad eléctrica (% del IACS)	90 MBR/t	
			(ksi)	(MPa)		GW	BW
Aleaciones de la invención							
J739	0,56	2,42	110	758	52,7	2,2	2,2
J740	0,71	3,04	113	779	52,8	2,7	2,3

ES 2 605 354 T3

Aleación	Silicio (peso %)	Níquel + Cobalto (peso %)	Límite elástico		Conductividad eléctrica (% del IACS)	90 MBR/t	
J741	0,81	3,33	116	800	52,5	2,2	2,5
J742	0,94	3,81	118	814	51,7	2,3	3,9
J743	1,13	4,32	118	814	51,0	3,0	3,9
Ejemplos comparativos							
J737	0,38	1,69	104	717	56,5	N.D.	N.D.
J738	0,44	2,00	108	745	54,1	2,0	2,3
J772	1,40	6,27	121	834	47,0	3,9	3,9

5 Los datos de la Tabla 3 ilustran que 50% de la conductividad eléctrica del IACS se logra a niveles de silicio de 0,4% a 1,13% y niveles de (Ni+Co) de 1,7% a 4,3% cuando las relaciones Ni/Co y (Ni+Co)/Si se fijan a  $\approx 0,5$  y 3,8 a 4,6, respectivamente. Los datos indican que aleaciones con más de aproximadamente 0,5% de Si alcanzan la combinación de 758 MPa (110 ksi) y 50% del IACS. Estos datos también ilustran que aumentar los niveles de silicio y (Ni+Co) dentro de los rangos indicados aumenta el límite elástico sin un cambio significativo en la conductividad eléctrica.

Ejemplo 3

10 Este ejemplo ilustra que las relaciones de Ni/Co por encima de 2 proporcionan el máximo límite elástico mientras las relaciones de Ni/Co menores que 1 proporcionan una mejor conductividad eléctrica en el calibre final. Las placas fresadas de las aleaciones enumeradas en la Tabla 4 se laminaron en frío hasta 0,41 mm (0,016 pulgadas) y se formó una solución a temperaturas de 900°C a 1.000°C durante 60 segundos, seguido por un aplacado en agua. Estas aleaciones se recocieron por envejecimiento por primera vez a 525°C durante 3 horas, se laminaron en frío hasta una reducción de espesor de 25% a 0,30 mm (0,0120 pulgadas) de calibre y después se recocieron por envejecimiento por segunda vez a 425°C durante 6 horas.

15 Las propiedades mecánicas y eléctricas de las aleaciones en el calibre final se indican en la Tabla 4. Los datos muestran que una relación Ni/Co reducida aumenta la conductividad eléctrica y disminuye el límite elástico. La dependencia del límite elástico y la conductividad eléctrica en la relación Ni/Co es inesperada.

Tabla 4

Aleación	Relación Ni:Co	Propiedades de calibre final		
		Límite elástico		Conductividad eléctrica (% del IACS)
		(ksi)	(MPa)	
J719	-0-	104,8	722,6	54,0
J720	0,52	113,0	779,1	47,7
J721	1,06	115,3	795,0	46,8
J722	2,17	116,6	804,0	45,3
J723	4,13	114,9	792,2	45,6

20

## ES 2 605 354 T3

### Ejemplo 4

5 Este ejemplo ilustra que la combinación más alta de límite elástico y conductividad eléctrica se obtiene cuando la relación (Ni+Co)/Si es de entre 3,5 - 6,0. La placa fresada de las aleaciones enumeradas en la Tabla 5 se laminó en frío hasta 0,41 mm (0,016 pulgadas) y se formó una solución a 950°C durante 60 segundos, seguido por un  
 10 aplacado en agua. Estas aleaciones se envejecieron entonces una primera vez a 525°C durante 3 horas, se laminaron en frío hasta una reducción de espesor de 25% a 0,30 mm (0,0120 pulgadas) de calibre y después se envejecieron una segunda vez a 425°C durante 6 horas. Como se muestra en la Tabla 5 y la Figura 5, una combinación de un límite elástico superior a 758 MPa (110 ksi) y una conductividad eléctrica superior a 40% del IACS se logra cuando la relación (Ni+Co)/Si es de entre 3,5 (línea de referencia 50 en la Figura 5) y 6,0 (línea de referencia 52 en la Figura 5).

Tabla 5

Aleación	(Ni+Co)/Si	Propiedades de calibre final		
		Límite elástico		Conductividad eléctrica
		(MPa)	(ksi)	(% del IACS)
J730	1,84	648,1	94,0	29,6
J729	2,79	732,9	106,3	38,4
J727	3,03	708,1	102,7	36,7
J728	3,08	737,8	107,0	36,8
J722	3,86	804,0	116,6	45,3
J721	3,86	795,0	115,3	46,8
J723	4,03	792,2	114,9	45,6
J673	4,14	850,8	123,4	45,9
J659	4,15	790,9	114,7	49,2
J666	4,15	805,3	116,8	49,9
J716	4,60	805,3	116,8	47,7
J672	4,70	809,5	117,4	44,3
J669	4,87	852,2	123,6	43,0
J717	4,92	829,5	120,3	45,5
J718	4,92	854,3	123,9	45,8
J668	4,97	812,2	117,8	46,3
J660	5,08	772,9	112,1	47,7
J662	5,10	808,1	117,2	47,8
J663	5,75	790,1	114,7	41,7
J661	5,87	746,7	108,3	40,9

## ES 2 605 354 T3

Aleación	(Ni+Co)/Si	Propiedades de calibre final		
		Límite elástico		Conductividad eléctrica
		(MPa)	(ksi)	(% del IACS)
J665	9,22	673,6	97,7	33,3

### Ejemplo 5

5 Este ejemplo ilustra que adiciones pequeñas de plata, titanio y zirconio aumentan la combinación del límite elástico y la conductividad eléctrica. Las placas fresadas de las aleaciones enumeradas en la Tabla 6 se laminaron en frío hasta 0,41 mm (0,016 pulgadas) y se formó una solución a una temperatura de 900°C a 975°C durante 60 segundos, seguido por un aplacado en agua. Estas aleaciones se envejecieron una primera vez a 525°C durante 3 horas, se laminaron en frío hasta una reducción de espesor de 25% a 0,30 mm (0,0120 pulgadas) de calibre y se envejecieron una segunda vez a 425°C durante 6 horas. El límite elástico y la conductividad eléctrica en el calibre final se indican en la Tabla 6 e ilustran que las adiciones de aleaciones diluidas de plata, titanio y zirconio mejoran las combinaciones del límite elástico / conductividad eléctrica de las aleaciones.

Tabla 6

Aleación	Composición	Temperatura de recocido de la solución (°C)	Propiedades de calibre final		
			Límite elástico (ksi)	Límite elástico (MPa)	Conductividad eléctrica (% del IACS)
J676	1,86 - Co	900°C	110	758	49,6
	1,45 - Ni	950°C	113	779	47,5
	0,71 - Si	975°C	115	793	45,9
	0,10 - Mg				
J686	1,92 - Co	900°C	103	710	53,0
	1,50 - Ni	950°C	114	786	48,7
	0,71 - Si	975°C	117	807	47,8
	0,11 - Mg				
	0,28 - Ag				
J684	2,02 - Co	900°C	104	717	54,0
	1,53 - Ni	950°C	115	793	50,3
	0,72 - Si	975°C	116	800	47,7
	0,10 - Mg				
	0,23 - Ti				
J687	1,82 - Co	900°C	104	717	54,0
	1,46 - Ni	950°C	115	793	49,6
	0,69 - Si	975°C	119	821	48,8
	0,11 - Mg				

## ES 2 605 354 T3

Aleación	Composición	Temperatura de recocido de la solución (°C)	Propiedades de calibre final		
			Límite elástico (ksi)	Límite elástico (MPa)	Conductividad eléctrica (% del IACS)
	0,14 - Zr				

5 Las placas fresadas de las aleaciones enumeradas en la Tabla 7 se laminaron en frío hasta 0,41 mm (0,016 pulgadas) y se solubilizaron a una temperatura de 975°C durante 60 segundos, seguido por un aplacado en agua. Estas aleaciones se envejecieron una primera vez a 525°C durante 3 horas, se laminaron en frío hasta una reducción de espesor de 25% a 0,30 mm (0,0120 pulgadas) de calibre y se envejecieron una segunda vez a 400°C durante 16 horas. El límite elástico y la conductividad eléctrica en el calibre final se indican en la Tabla 7 y confirman que las adiciones de aleación diluidas de plata mejoran las combinaciones de límite elástico / conductividad eléctrica de las aleaciones incluso cuando el procesamiento se cambia levemente en comparación con las aleaciones de la Tabla 6.

10 Tabla 7

Aleación	Composición	Temperatura de recocido de la solución (°C)	Propiedades de calibre final		
			Límite elástico (ksi)	Límite elástico (MPa)	Conductividad eléctrica (% del IACS)
J835	1,88 - Co 0,75 - Ni 0,64 - Si	975°C	111	765	54,5
J834	1,77 - Co 0,76 - Ni 0,60 - Si 0,20 - Ag	975°C	116	800	53,5
J836	1,86 - Co 0,75 - Ni 0,63 - Si 0,21 - Ag 0,10 - Mg	975°C	114,5	789	52,8

### Ejemplo 6

15 Este ejemplo ilustra cómo las adiciones controladas de magnesio y/o plata mejoran la resistencia al alivio de tensiones de las aleaciones de la invención. El ejemplo ilustra además que las aleaciones que tienen una relación ponderal de Ni:Co más baja (más rica en Co) tienen una resistencia al alivio de tensiones mejor que aleaciones que tienen una relación ponderal de Ni:Co más alta (más rica en Ni). Este efecto se observa si la aleación incluye o no

## ES 2 605 354 T3

plata.

5 Las placas fresadas de las aleaciones enumeradas en la Tabla 8 se laminaron en frío hasta un espesor de 0,41 mm (0,016 pulgadas). Las aleaciones J824, J834, J835 y J836 formaron entonces una solución a 975°C durante 60 segundos, se realizó el primer envejecimiento a 525°C durante 3 horas, laminado en frío a una reducción de 25% y después el segundo recocido por envejecimiento a 400°C durante 16 horas.

Las otras aleaciones enumeradas en la Tabla 8 se formó una solución a 925°C durante 60 segundos, se envejecieron una primera vez a 500°C durante 8 horas, se laminaron en frío hasta una reducción de 25% y se recocieron por envejecimiento una segunda vez a 400°C durante 16 horas.

Tabla 8

Aleación	Tensión porcentual restante después de 3000 horas				
	105°C-L	150°C-L	150°C-T	175°C-L	200°C-L
J835	89,5	80,2	---	72,4	66,2
J824	96,3	90,0	---	82,1	78,1
J834	---	89,1	---	---	--
J836	97,1	91,2	---	83,5	79,4
J969	91,3	79,5	77,1	66,9	63,2
J970	93,1	82,9	80,4	73,9	66,4
J971	93,8	85,0	83,7	78,7	68,4
J972	94,3	84,8	83,8	75,9	70,7
J973	94,1	85,8	83,3	77,0	68,1
J981	93,9	85,8	83,4	76,7	68,4
J954	86,3	75,7	---	66,8	56,2
J982	95,6	87,2	85,0	77,1	70,6
J955	88,3	76,8	---	64,3	57,0
J983	95,8	88,6	87,8	78,3	72,6
J956	92,9	82,7	---	71,0	65,1
J984	97,3	90,0	88,7	76,3	72,0

10 La comparación de la tensión restante para las aleaciones J824 (0,12% de Mg) y J834 (0,20% de Ag) a la tensión restante para la aleación J835 (sin Mg ni Ag) muestra que las adiciones controladas de bien Mg o bien Ag mejoran la resistencia al alivio de tensiones. J836 muestra que las combinaciones de Mg y Ag también mejoran la resistencia a la resistencia al alivio de tensiones.

15 La comparación de la aleación J956 (0,19% de Ag) con las aleaciones J954 y J955 muestra que aproximadamente 0,2% de Ag es el mínimo efectivo para mejorar significativamente la resistencia al alivio de tensiones. La comparación adicional de la aleación J981 con la aleación J954 o la aleación J982 con la aleación J955 muestra que una adición de magnesio a una aleación que contiene plata de la invención mejora adicionalmente la resistencia al alivio de tensiones.

La comparación de la aleación J835 (Ni:Co=0,40) con la aleación J969 (Ni:Co=1,32) y la comparación de la aleación

## ES 2 605 354 T3

J834 (Ni:Co=0,43) con la aleación J956 (Ni:Co=1,04) muestran que las composiciones ricas en cobalto tienen una mejor resistencia al alivio de tensiones que la composición rica en níquel, tanto en presencia de plata como en ausencia de plata.

### Ejemplo 7

- 5 Este ejemplo demuestra resultados en una aleación de cobre-níquel-silicio con mayor conductividad eléctrica en comparación con aleaciones similares procesadas por vías de proceso convencionales. Cuando la aleación contiene además cobalto, este aumento en la conductividad eléctrica está acompañado por un aumento en el límite elástico.

10 La placa fresada de las aleaciones enumeradas en la Tabla 9 se laminó en frío hasta 0,41 mm (0,016 pulgadas) o 0,31 mm (0,0123 pulgadas) y se formó en solución entre 800°C y 950°C durante 60 segundos, seguido por un aplacado en agua. Después de la formación de la solución, de acuerdo con un procesamiento de la técnica anterior, las aleaciones aplacadas se laminaron en frío hasta 25% en espesor de 0,41 mm (0,016 pulgadas) a 0,30 mm (0,0120 pulgadas) o 35% en espesor de 0,31 mm (0,0123 pulgadas) a 0,20 mm (0,008 pulgadas) de calibre y se envejeció a 450°C durante 2 horas para la reducción de laminado en frío de 25% o 435°C durante 3 horas para la reducción de laminado en frío de 35%. Las propiedades mecánicas en el calibre final se enumeran en la Tabla 9.

15 Tabla 9

Aleación	Recocido de la solución	Límite elástico		Resistencia a la tracción final		% de alargamiento	% del IACS
		(MPa)	(ksi)	(MPa)	(ksi)		
J395 0,20 mm (0,008 pulgadas) de espesor y 35% de laminado en frío y envejecimiento	800°C/60 seg	738	107	779	113	9	39,7
	840°C/60 seg	758	110	807	117	6	36,8
	880°C/60 seg	758	110	807	117	4	36,9
J394 0,20 mm (0,008 pulgadas) de espesor y 35% de laminado en frío y envejecimiento	800°C/60 seg	579	84	607	88	6	47,6
	840°C/60 seg	586	85	621	90	6	45,0
	880°C/60 seg	607	88	648	94	6	41,7
J401 0,20 mm (0,008 pulgadas) de espesor y 35% de laminado en frío y envejecimiento	800°C/60 seg	641	93	676	98	8	43,0
	840°C/60 seg	648	94	683	99	8	41,6
	880°C/60 seg	676	98	717	104	7	39,9
RN503014 0,30 mm (0,012 pulgadas) de espesor y 25% de laminado en frío y envejecimiento	950°C/60 seg	696	101	738	107	3	35,6
J719 0,30 mm (0,012 pulgadas) de espesor y 25% de laminado en frío y envejecimiento	950°C/60 seg	634	92	669	97	6	43,7

20 La placa fresada de las aleaciones enumeradas se laminó en frío hasta 0,41 mm (0,016 pulgadas) y se solubilizó a temperaturas de 850°C y 975°C durante 60 segundos, seguido por un aplacado en agua. Sin ninguna intervención de trabajo en frío, las aleaciones se envejecieron una primera vez a 525°C durante 3 horas, se laminaron en frío hasta una reducción de espesor de 25% a 0,30 mm (0,0120 pulgadas) de calibre y se envejecieron una segunda vez a 400°C durante 3 horas. Las propiedades mecánicas en el calibre final se indican en la Tabla 10.

Tabla 10

Aleación	Recocido de la solución	Límite elástico (MPa) (ksi)	Resistencia a la tracción final (MPa) (ksi)	% de alargamiento	% del IACS
----------	-------------------------	-----------------------------	---	-------------------	------------

## ES 2 605 354 T3

J395 (Sin Co)	850°C/60 seg	696	101	758	110	7	46,1
	950°C/60 seg	703	102	758	110	7	46,5
J394	850°C/60 seg	641	93	676	98	6	50,3
	950°C/60 seg	745	108	779	113	5	46,9
J401	850°C/60 seg	683	99	717	101	4	49,2
	950°C/60 seg	807	117	841	122	5	45,7
RN503014 0,30 mm (0,012 pulgadas) de espesor	925°C/60 seg	710	103	745	108	6	49,8
	950°C/60 seg	765	111	800	116	5	48,8
	975°C/60 seg	827	120	869	126	6	46,1
J719 (Sin Ni)	900°C/60 seg	662	96	690	100	6	55,4
	950°C/60 seg	731	106	758	110	5	52,7

Una comparación de datos en la Tabla 9 a los de la Tabla 10 prueba que el proceso utilizando dos recocidos por envejecimiento con el primer recocido por envejecimiento después de la formación de solución sin intervenir trabajo en frío aumenta significativamente la conductividad eléctrica. Para las aleaciones que contienen cobalto, este aumento en la conductividad eléctrica se combina con un aumento de la resistencia.

### Ejemplo 8

Este ejemplo también ilustra que pueden obtenerse aleaciones que contienen cobalto con resistencias más altas y conductividades eléctricas más altas. Las placas fresadas de las aleaciones enumeradas en la Tabla 11 se laminaron en frío hasta 0,41 mm (0,016 pulgadas) y se formó una solución a 850°C o 950°C durante 60 segundos, seguido por un aplacado en agua. Estas aleaciones se envejecieron una primera vez a 525°C durante 3 horas y después se laminaron en frío hasta una reducción de espesor de 15% o 25% a 0,35 mm (0,0136 pulgadas) o 0,30 mm (0,0120 pulgadas) de calibre. Después del laminado en frío, las aleaciones se envejecieron una segunda vez a 400°C durante 3 horas o a 450°C durante 3 horas. Las propiedades mecánicas en el calibre final se indican en la Tabla 10 y demuestran que el límite elástico de las aleaciones aumenta aproximadamente 138- 207 MPa (20-30 ksi) si la tira en solución y envejecida una primera vez (525°C/3Hrs) se lamina en frío a 25% y después se envejece una segunda vez a 400-450°C durante 3-6 horas. Las aleaciones con las adiciones de cobalto muestran límites elásticos significativamente más altos que la aleación sin cobalto, J395, un hallazgo inesperado.

ES 2 605 354 T3

Tabla 11

Aleación	Temp. de formación de solución (°C)	% de reducción de laminado en frío	Temp. de segundo envejecimiento (°C)	Propiedades					
				Límite elástico				Conductividad eléctrica (% del IACS)	
				Después del 1 <sup>er</sup> envejecimiento (MPa) (ksi)		Después del 2 <sup>do</sup> envejecimiento (MPa) (ksi)		Después del 1 <sup>er</sup> envejecimiento	Después del 2 <sup>do</sup> envejecimiento
J395 0 cobalto	850°C	15%	450°C	575,0	83,4	633,0	91,8	40,8	48,3
		25%	400°C	575,0	83,4	658,5	95,5	40,8	46,2
	950°C	15%	450°C	604,0	87,6	659,2	95,6	40,9	50,0
		25%	400°C	604,0	87,6	678,5	98,4	40,9	45,8
J398 0,52 cobalto	850°C	15%	450°C	540,6	78,4	675,7	98,0	43,8	48,7
		25%	400°C	540,6	78,4	708,1	102,7	43,8	47,0
	950°C	15%	450°C	624,7	90,6	748,9	108,6	40,0	43,9
		25%	400°C	624,7	90,6	775,0	112,4	40,0	43,4
J394 0,89 cobalto	850°C	15%	450°C	446,8	64,8	625,4	90,7	47,2	52,8
		25%	400°C	446,8	64,8	655,7	95,1	47,2	51,1
	950°C	15%	450°C	544,0	78,9	699,1	101,4	43,2	48,4
		25%	400°C	544,0	78,9	708,1	102,7	43,2	47,4
J623 1,06 cobalto	850°C	15%	450°C	454,4	65,9	609,5	88,4	46,1	50,1
		25%	400°C	454,4	65,9	648,1	94,0	46,1	48,8
	950°C	15%	450°C	545,4	79,1	711,6	103,2	42,5	45,1
		25%	400°C	545,4	79,1	757,1	109,8	42,5	45,4
J401 1,06 cobalto	850°C	15%	450°C	490,2	71,1	644,0	93,4	44,1	51,0
		25%	400°C	490,2	71,1	665,4	96,5	44,1	47,9
	950°C	15%	450°C	603,3	87,5	749,5	108,7	40,4	46,5
		25%	400°C	603,3	87,5	777,8	112,8	40,4	44,6
J624 1,59 cobalto	850°C	15%	450°C	495,1	71,8	637,1	92,4	44,2	47,4
		25%	400°C	495,1	71,8	679,2	98,5	44,2	46,8
	950°C	15%	450°C	586,8	85,1	758,5	110,0	39,7	42,0
		25%	400°C	586,8	85,1	784,0	113,7	39,7	42,0

## ES 2 605 354 T3

Aleación	Temp. de formación de solución (°C)	% de reducción de laminado en frío	Temp. de segundo envejecimiento (°C)	Propiedades					
				Límite elástico				Conductividad eléctrica (% del IACS)	
				Después del 1 <sup>er</sup> envejecimiento (MPa) (ksi)		Después del 2 <sup>do</sup> envejecimiento (MPa) (ksi)		Después del 1 <sup>er</sup> envejecimiento	Después del 2 <sup>do</sup> envejecimiento
J620	850°C	15%	450°C	523,3	75,9	656,4	95,2	45,5	48,8
2,26 cobalto	950°C	25%	400°C	523,3	75,9	697,1	101,1	45,5	48,3
		15%	450°C	647,4	93,9	787,4	114,2	40,4	44,3
		25%	400°C	647,9	93,9	824,6	119,6	40,4	43,5

### Ejemplo 9

5 Este ejemplo ilustra que el proceso descrito resulta en aleaciones de cobre con una combinación más alta del límite elástico y la conductividad eléctrica cuando se compara con varios procesos de la técnica anterior. El ejemplo ilustra además que la combinación más alta de propiedades se logra cuando la temperatura del segundo recocido por envejecimiento es menor que la temperatura del primer recocido por envejecimiento.

10 La placa fresada de la aleación RN503014 se laminó en frío hasta 0,41 mm (0,016 pulgadas) y se formó una solución a 950°C durante 60 segundos, seguido por un aplacado en agua. Esta tira en solución se procesó entonces de acuerdo con las secuencias del proceso delineadas en la Tabla 12. El efecto de la temperatura de envejecimiento en el límite elástico y la conductividad eléctrica para el Proceso 1 se ilustra en la Figura 6. El efecto de la temperatura de envejecimiento en el límite elástico y la conductividad eléctrica para el Proceso 2 se ilustra en la Figura 7. El efecto de la temperatura de envejecimiento en el límite elástico y la conductividad eléctrica para el Proceso 3 se ilustra en la Figura 8. La temperatura del primer envejecimiento para el Proceso 4 fue de 525°C durante 3 horas. El efecto de la segunda temperatura de envejecimiento en el límite elástico y la conductividad eléctrica para el Proceso 1 se ilustra en la Figura 9.

Tabla 12

Proceso 1	Proceso 2	Proceso 3	Proceso 4
Envejecimiento	Laminado en frío 25%	Laminado en frío 50%	Primer envejecimiento
	Envejecimiento	Envejecimiento	Laminado en frío 25%
			Segundo envejecimiento

20 La Tabla 13 indica la conductividad en el límite elástico máximo y el límite elástico en la conductividad máxima para la aleación procesada por cada una de las cuatro vías del proceso. Solo el Proceso 4 logra la combinación más alta del límite elástico y la conductividad eléctrica altos.

Tabla 13

Proceso	A máximo límite elástico			A máxima conductividad		
	Límite elástico		Conductividad	Límite elástico		Conductividad
	(MPa)	(ksi)	(% del IACS)	(MPa)	(ksi)	(% del IACS)

## ES 2 605 354 T3

Proceso	A máximo límite elástico			A máxima conductividad		
	Límite elástico		Conductividad	Límite elástico		Conductividad
	(MPa)	(ksi)	(% del IACS)	(MPa)	(ksi)	(% del IACS)
1	586	85	45	496	72	49
2	738	107	42	579	84	49
3	758	110	41	545	79	50
4	827	120	45	758	110	50

5 La Figura 9 ilustra además que bajo un proceso con una primera temperatura de envejecimiento de aproximadamente 525°C, la combinación óptima del límite elástico y la conductividad eléctrica se logra cuando la segunda temperatura de envejecimiento está a una temperatura más baja y, preferiblemente, la segunda temperatura de envejecimiento está en el rango de 400°C y 450°C.

### Ejemplo 10

10 Este ejemplo ilustra que las combinaciones mejoradas de propiedades se obtienen utilizando el proceso descrito en comparación con el proceso de alta temperatura o de baja temperatura divulgado en la patente de los Estados Unidos 6.506.269. La placa fresada de la aleación J910 se laminó en frío hasta 0,41 mm (0,016 pulgadas) y se formó una solución a 925°C durante 60 segundos. La aleación se recoció por envejecimiento una primera vez a 500°C durante 8 horas, se laminó en frío en 25% a 0,30 mm (0,012 pulgadas) y se recoció por envejecimiento una segunda vez a 400°C durante 16 horas.

15 La placa fresada de la aleación J989 se dividió a la mitad (aleaciones J989-A y J989-B). La aleación J989-A se procesó de acuerdo con el proceso de alta temperatura del documento US 6.506.269, se laminó en frío hasta 0,76 mm (0,030 pulgadas), se formó una solución a 925°C durante 60 segundos, se laminó en frío 60% hasta 0,30 mm (0,012 pulgadas) y se recoció por envejecimiento a 525°C durante 6 horas.

20 La aleación J989-B se procesó de acuerdo con el proceso de baja temperatura del documento US 6,506.269, se laminó en frío hasta 3,0 mm (0,12 pulgadas), se recoció por envejecimiento una primera vez a 400°C durante 6 horas, se laminó en frío 60% hasta 1,2 mm (0,048 pulgadas), se recoció por envejecimiento una segunda vez a 400°C durante 6 horas, se laminó en frío 75% hasta 0,30 mm (0,012 pulgadas).

La Tabla 14 indica las propiedades medidas de las aleaciones.

Tabla 14

Proceso	Límite elástico		Conductividad eléctrica (% del IACS)	MBR/t	
	(MPa)	(ksi)		GW	BW
J910	789,5	114,5	51,8		
J989-A	650,9	94,4	45,5	2,2	3,9
J989-B	810,9	117,6	51,4	2,2	8,8

25 Aunque las propiedades de doblado de J910 no se midieron, en base a datos de aleaciones similares procesadas de acuerdo con la invención se espera un MBR/t de buena manera de 2,2 y un MBR t de mala manera de 2,5. Esto muestra que el proceso descrito resulta en una aleación de cobre que tiene doblados mejorados a una combinación similar de límite elástico y conductividad elástica cuando se compara con un proceso del documento US 6.506.269.

Ejemplo 11

Este ejemplo ilustra que la respuesta de la conductividad eléctrica en el calibre final depende tanto del primer como del segundo tratamiento de envejecimiento y que la conductividad eléctrica muestra un mayor aumento y valores más altos después del segundo recocido por envejecimiento cuando el primer recocido por envejecimiento es a 525°C.

La placa fresada de la aleación J648 se laminó en frío hasta 0,41 mm (0,016 pulgadas) y se trató en caliente en solución a temperaturas de 950°C durante 60 segundos, seguido por un aplacado en agua. La aleación después se envejeció por primera vez durante 3 horas a 475°C o a 525°C durante 3 horas. La placa fresada se laminó en frío entonces para una reducción de espesor de 25% a 0,30 mm (0,0120 pulgadas) y se envejeció una segunda vez a temperaturas de 400°C - 450°C durante 3 o 6 horas.

Como se muestra en la Tabla 15, la respuesta de la conductividad eléctrica en el calibre final depende tanto del primer como del segundo tratamiento de envejecimiento. Estos datos también indican que la conductividad eléctrica muestra un mayor aumento y valores más altos después del segundo recocido por envejecimiento cuando el primer recocido por envejecimiento es a 525°C. Esta respuesta al envejecimiento inesperada permite que las aleaciones se acerquen a la combinación deseada de alta resistencia y alta conductividad.

Tabla 15

Temperatura de primer envejecimiento (°C)	Temperatura de segundo envejecimiento (°C)	Tiempo del segundo envejecimiento (horas)	Propiedades de calibre final			
			Límite elástico (MPa) (ksi)	Conductividad (% del IACS)	Δ % del IACS	
475	Ninguna	Ninguna	768,1	111,4	36,8	---
475	400	3	778,4	112,9	40,7	3,9
475	400	6	792,2	114,9	40,9	4,1
475	425	6	777,8	112,8	40,7	3,9
475	450	3	779,8	113,1	39,8	3,0
525	Ninguna	Ninguna	766,7	111,2	41,2	---
525	400	3	771,6	111,9	46,9	5,7
525	400	6	755,0	109,5	49,4	8,2
525	425	6	763,3	110,7	50,1	8,9
525	450	3	757,1	109,8	48,2	7,0

Ejemplo 12

Este ejemplo ilustra que la conductividad eléctrica de aleación de cobre C7025 aumenta al procesarse de acuerdo con el proceso descrito.

Las placas fresadas de las aleaciones J724 y J731 se laminaron en frío hasta 0,41 mm (0,016 pulgadas) y se trataron en caliente en solución a una temperatura entre 780°C y 840°C y después se aplacó con agua para proporcionar una tira recristalizada. Sin intervención de trabajo en frío, las aleaciones se recocieron por envejecimiento entonces a 525°C durante 3 horas, se laminaron en frío hasta un calibre final de 0,030 mm (0,012 pulgadas) y se envejecieron a 400°C durante 3 horas o 425°C durante 6 horas.

Las propiedades mecánicas en el calibre final se indican en la Tabla 16. La combinación de resistencia y propiedades de doblado es comparable con la aleación de cobre procesada convencionalmente C7025 que en un templado similar tiene un límite elástico de entre 655 y 690 MPa (95 y 100 ksi) y una conductividad eléctrica entre

## ES 2 605 354 T3

40% y 45% del IACS. Entonces este proceso alcanzó una conductividad que excede la C7025 procesada convencionalmente sin una pérdida de límite elástico.

Tabla 16

Lingote	Segundo recocido por envejecimiento	Límite elástico (MPa) (ksi)	Resistencia a la tracción (MPa) (ksi)	Alargamiento (%)	Conductividad eléctrica (% del IACS)	90 MBR/t	
						GW	BW
J724	400°C / 3 horas	656,4 95,2	712,9 103,4	8	47,6	---	---
J724	425°C / 6 horas	655,8 95,1	716,4 103,9	8	52,5	1,5	0,9
J731	400°C / 3 horas	666,7 96,7	714,3 103,6	8	52,1	---	---
J731	425°C/ 6 horas	655,0 95,0	709,5 102,9	8	55,8	1,4	1,3

**REIVINDICACIONES**

1. Una aleación de cobre forjada que consiste, en peso, en:  
de 1% a 2,5% de níquel,  
de 0,5% a 2,0% de cobalto,
- 5 con un contenido de níquel más cobalto total de 1,7% a 4,3% y una relación porcentual ponderal entre níquel y cobalto que es de 1,01 : 1 a 2,6 : 1,  
de 0,5% a 1,5% de silicio,  
con una relación (Ni+Co)/Si de entre 3,5 : 1 y 6 : 1;  
un contenido de zinc máximo de 0,25%;
- 10 un contenido de cromo máximo de 0,08%;  
un contenido de estaño máximo de 0,04%;  
un contenido de fósforo máximo de 0,04%;  
un contenido de magnesio máximo de 0,15%;
- 15 y opcionalmente una cantidad de hasta 1,0% de plata, titanio, zirconio y combinaciones de los mismos;
- y el resto de cobre e impurezas inevitables  
en donde dicha aleación de cobre forjada tiene una conductividad eléctrica superior a 40% del IACS,  
un límite elástico superior a 758,5 MPa (110 ksi).
- 20 2. La aleación de cobre forjada de la reivindicación 1, en donde dicho contenido de níquel es de 1,3% a 1,9%, dicho contenido de cobalto es de 0,5% a 1,5% y dicho contenido de silicio es de 0,5% a 0,8%.
3. La aleación de cobre forjada de la reivindicación 2, en donde una relación porcentual ponderal entre níquel y cobalto es de 1,01 : 1 a 1,5 : 1.
4. La aleación de cobre forjada de la reivindicación 1, en donde el contenido de magnesio es de entre 0,005% y 0,04%.

25

SOLVUS PARA COMPOSICIONES DE ALEACIONES  
EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN Ni/Co

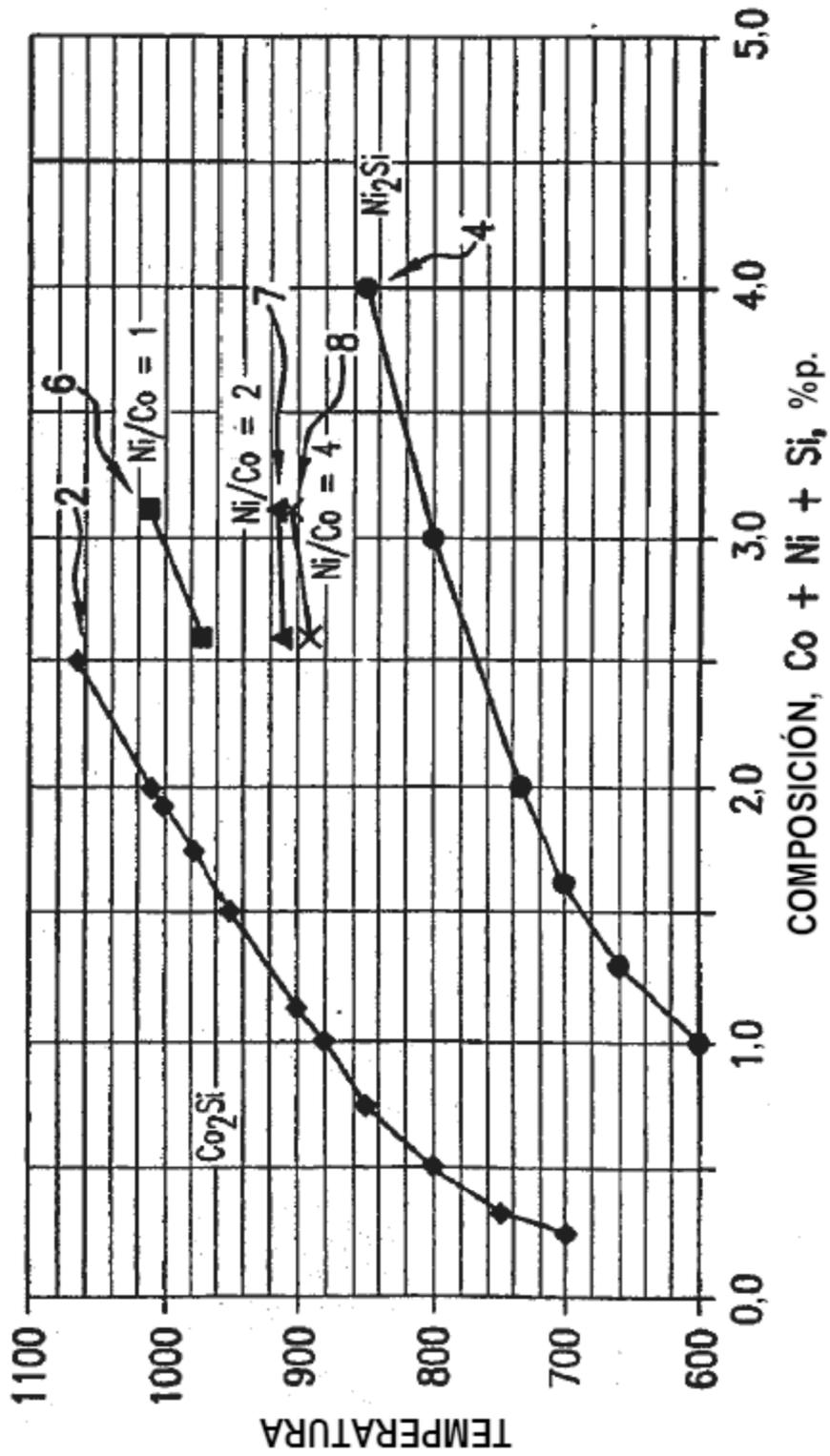


FIG.1

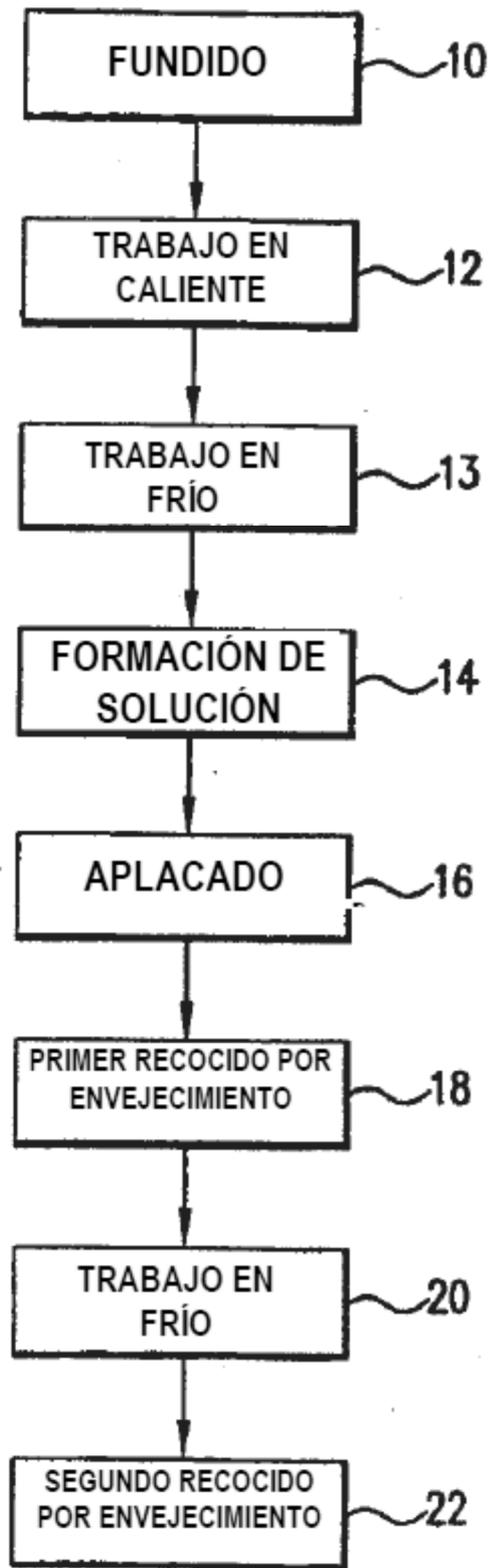


FIG.2

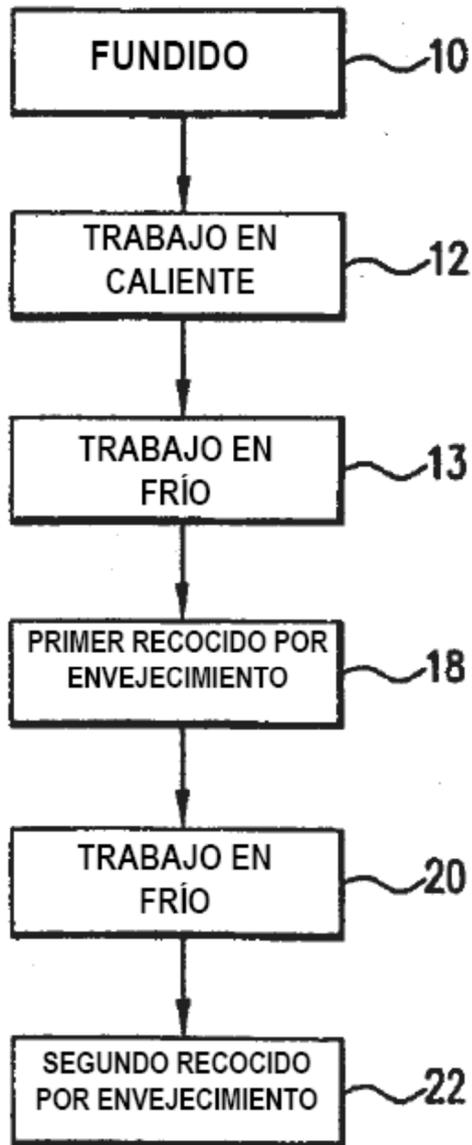


FIG.3

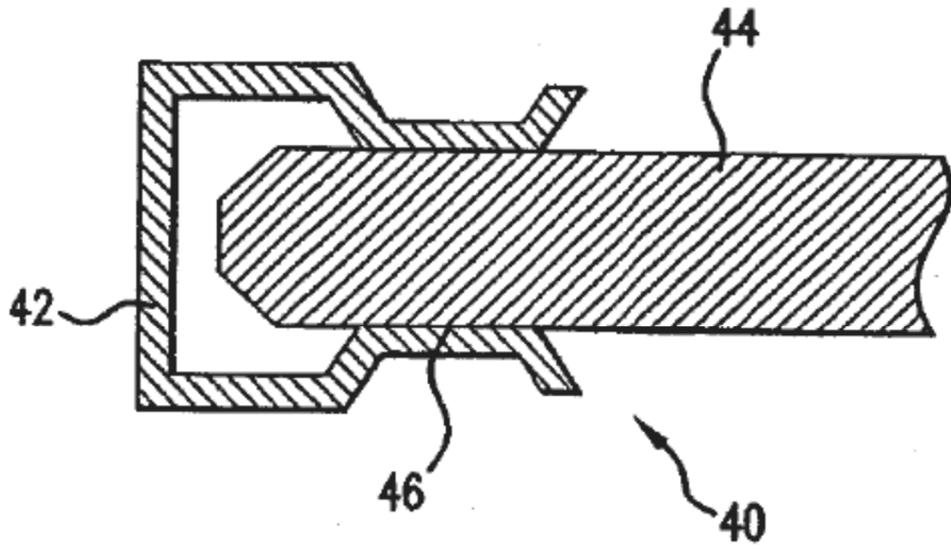


FIG.4

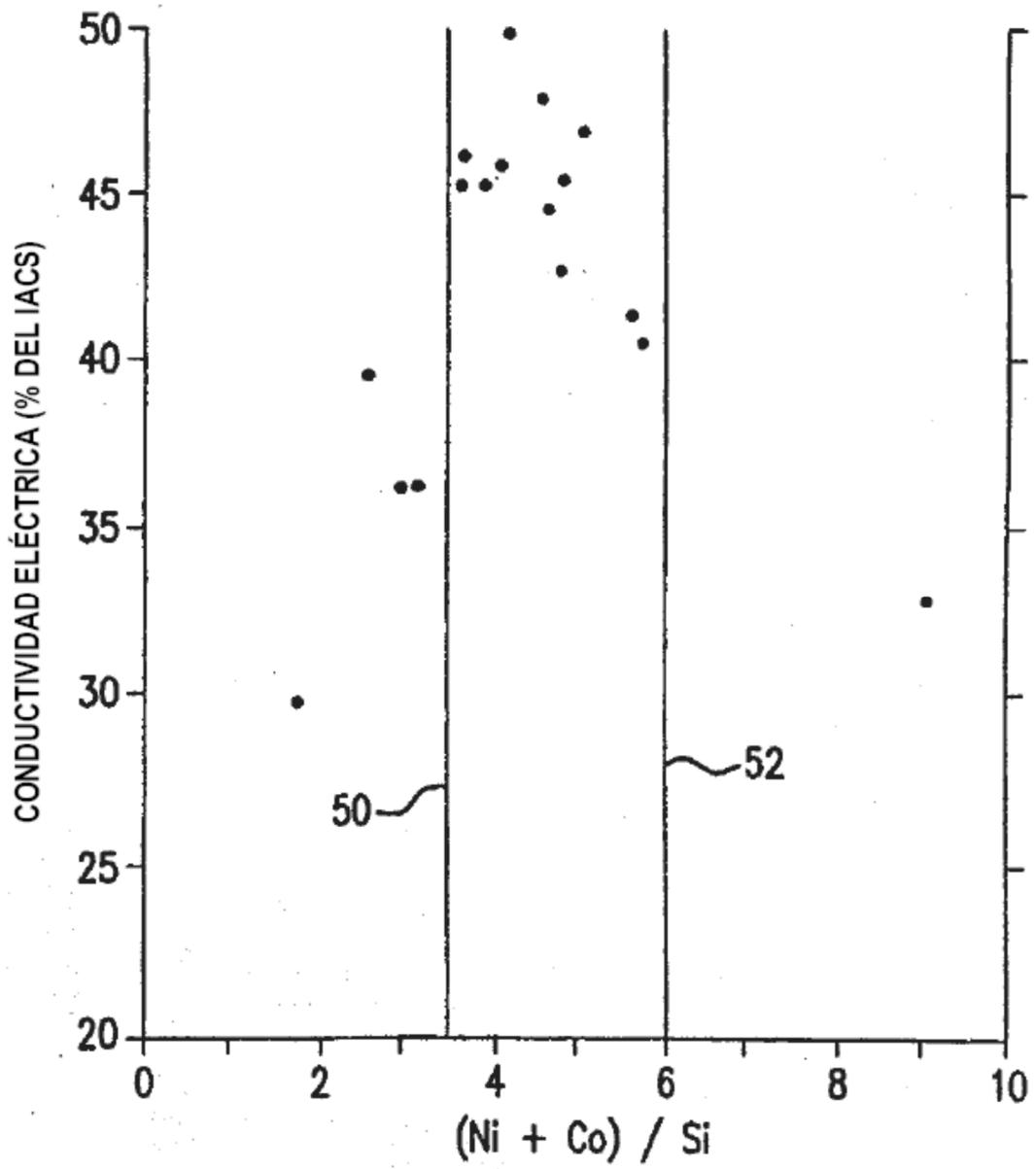


FIG.5

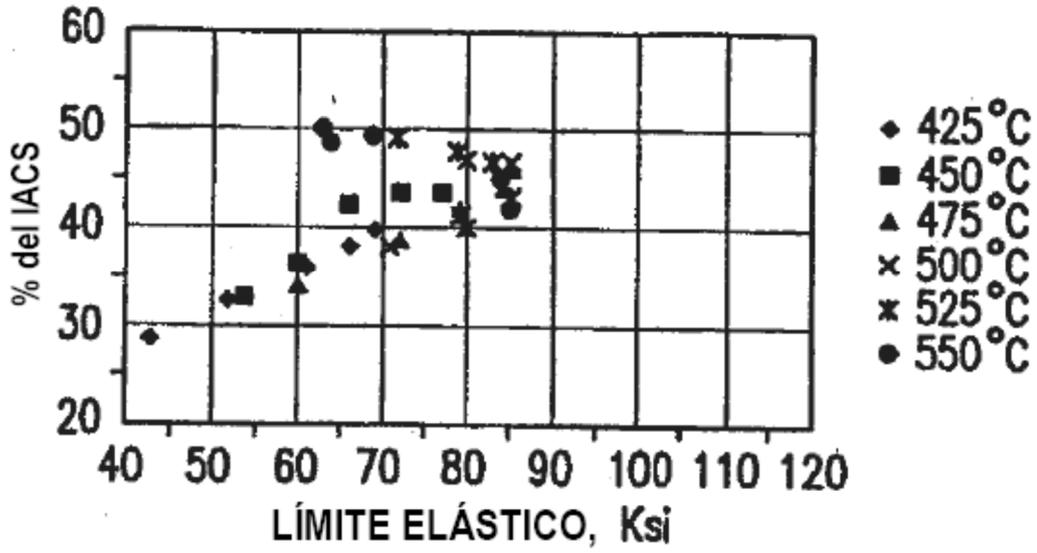


FIG.6

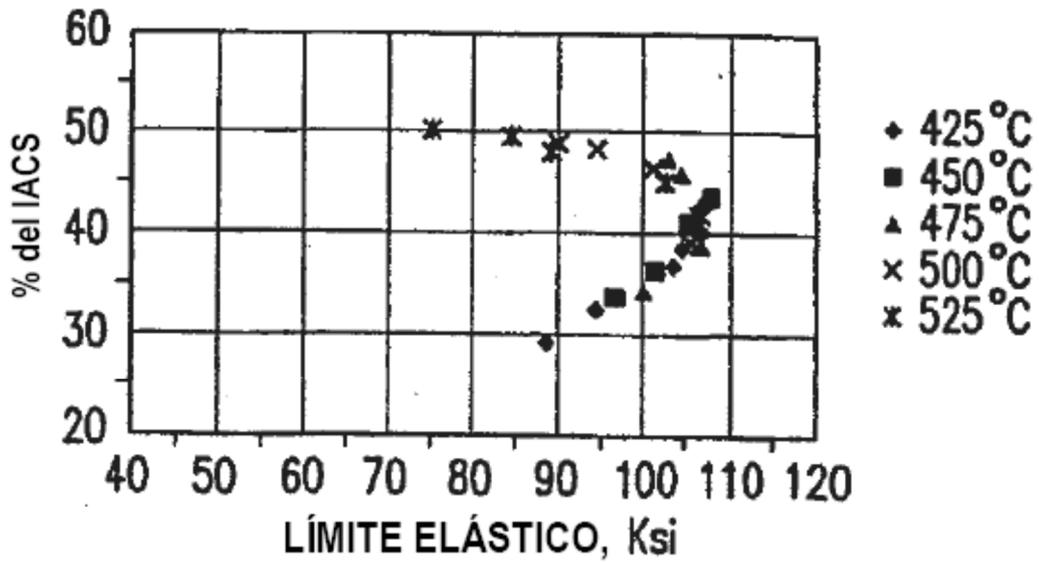


FIG.7

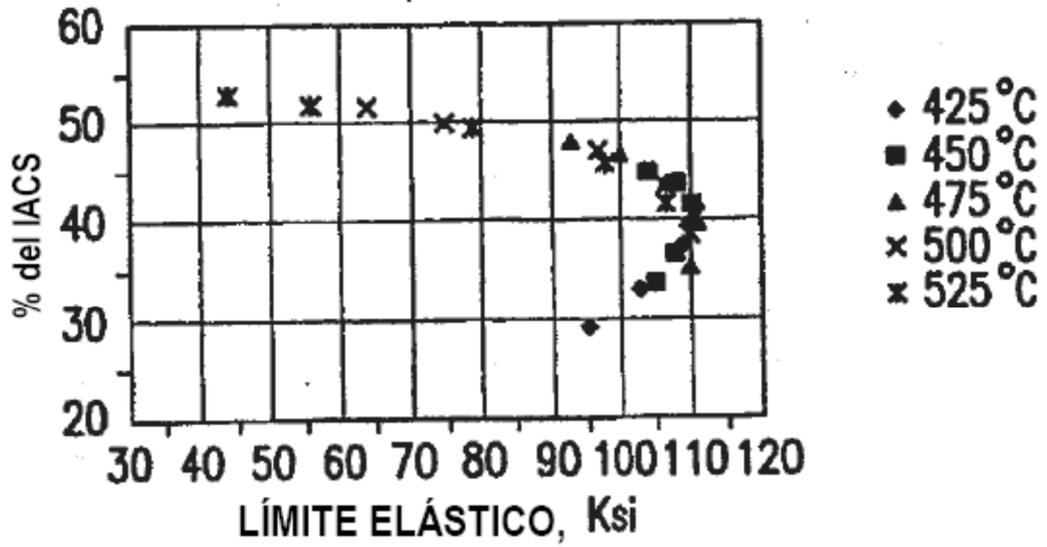


FIG.8

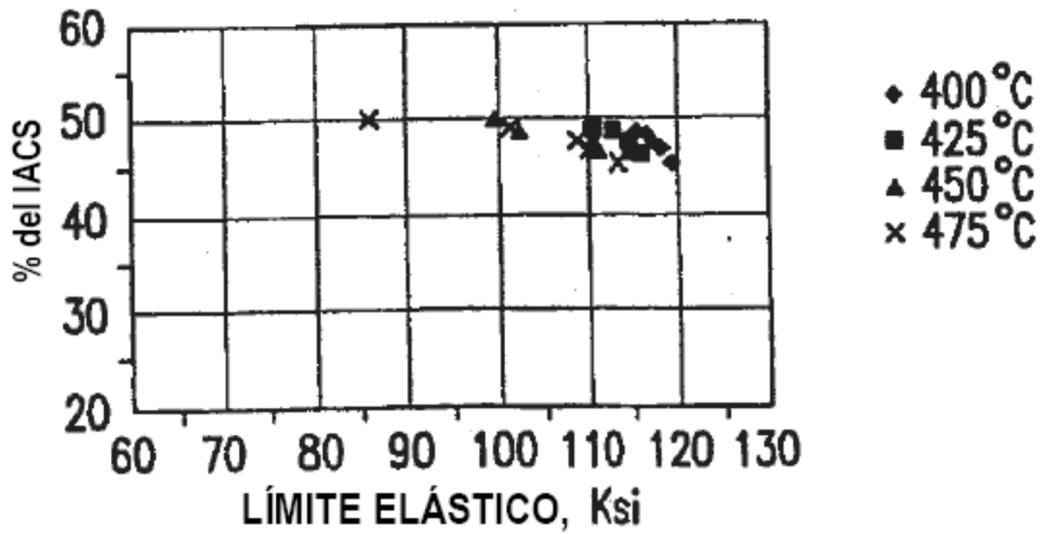


FIG.9