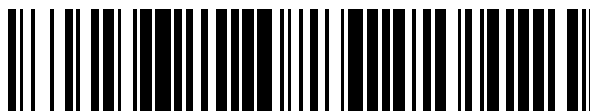


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 387 065**

51 Int. Cl.:
C22C 9/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **05788332 .4**
96 Fecha de presentación: **22.09.2005**
97 Número de publicación de la solicitud: **1929057**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **11.06.2008**

54 Título: **Aleación de cobre de fácil mecanización que contiene muy bajo contenido en plomo**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
12.09.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
12.09.2012

73 Titular/es:
Mitsubishi Shindoh Co., Ltd.
7-35, 4-chome Kita-shinagawa Shinagawa-ku
Tokyo, JP

72 Inventor/es:
OISHI, Keiichiro

74 Agente/Representante:
Fúster Olaguibel, Gustavo Nicolás

ES 2 387 065 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 de fácil mecanización que contiene muy bajo contenido en plomo

REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS

5 Esta solicitud está relacionada con la solicitud de patente estadounidense con n.º de serie 09/983.029, presentada el 27 de octubre de 1999, que a su vez es una continuación en parte de la solicitud de patente estadounidense con n.º de serie 09/403.834 presentada el 27 de octubre de 1999, solicitud que reivindica la prioridad de la solicitud japonesa n.º 10-287921, presentada el 9 de octubre de 1998. Esta solicitud está relacionada además con la solicitud de patente estadounidense con n.º de serie 09/987.173 presentada el 13 de noviembre de 2001, ahora patente estadounidense 6.413.330, cuya solicitud es una continuación en parte de la solicitud de patente estadounidense con n.º de serie 09/555.881, presentada el 8 de junio de 2000, solicitud que reivindica la prioridad de la solicitud japonesa n.º 10-288590, presentada el 12 de octubre de 1998.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

1. Campo de la invención

15 La presente invención se refiere a aleaciones de cobre de fácil mecanización, tales como las usadas en todas las clases de industrias, pero especialmente a aleaciones usadas en el campo de proporcionar agua potable para el consumo humano.

2. Técnica relacionada

20 Entre las aleaciones de cobre con una buena trabajabilidad están las aleaciones de bronce tales como las que tienen la designación JIS H5111 BC6 y las aleaciones de latón tales como las que tienen las designaciones JIS H3250-C3604 y C3771. Estas aleaciones se potencian en trabajabilidad con la adición del 1,0 al 6,0 por ciento, en peso, de plomo de modo que se proporcionen resultados satisfactorios a escala industrial como aleaciones de cobre fáciles de trabajar. Debido a su trabajabilidad excelente, las aleaciones de cobre que contienen plomo han sido un material básico importante para una variedad de artículos tales como grifos para aguas municipales y válvulas y adaptadores metálicos para el suministro/drenaje de agua.

25 En esas aleaciones de cobre de fácil mecanización convencionales, el plomo no forma una disolución sólida en la matriz sino que se dispersa en forma granular, mejorando de ese modo la trabajabilidad de estas aleaciones. Para producir los resultados deseados, el plomo había tenido, hasta ahora, que añadirse en hasta el 2,0 por ciento en peso o más. Si la adición de plomo en tales aleaciones es menor que el 1,0 por ciento en peso, las virutas serán de forma espiral, tal como se muestra en la figura 1G. Las virutas espirales provocan diversos problemas tales como, por ejemplo, enmarañamiento con la herramienta de corte. Si, por otro lado, el contenido en plomo es del 1,0 por ciento en peso o más y no mayor que el 2,0 por ciento en peso, la superficie de corte será rugosa, aunque eso producirá algunos resultados tales como reducción de resistencia al corte. Es habitual, por tanto, que se añade el plomo en un grado de no menos del 2,0 por ciento en peso. Algunas aleaciones de cobre expandidas en las que se requiere un alto grado de propiedad de corte se mezclan con un 3,0 por ciento en peso o más de plomo. Además, algunas piezas coladas de bronce tienen un contenido en plomo de hasta un 5,0 por ciento, en peso. La aleación que tiene la designación JIS H 5111 BC6, por ejemplo, contiene un 5,0 por ciento en peso de plomo.

40 En las aleaciones que contienen un cierto tanto por ciento de plomo, se dispersan partículas de plomo finas en la estructura metálica. Durante el procedimiento de corte, puede concentrarse tensión sobre estas partículas de plomo blandas, finas. Por consiguiente, las virutas producidas cuando se corta son más pequeñas y la fuerza de corte es menor. Las partículas de plomo actúan como un rompevirutas, en estas circunstancias.

45 Mientras tanto, cuando se añaden del 2,0 al 4,5% de Si a aleaciones de Cu-Zn en un intervalo de composición y condiciones de producción dados, aparece(n) en la estructura metálica una o más de las fases κ , γ , μ o β ricas en Si aparte de la fase alfa. Entre estas fases, κ , γ , y μ son duras y tienen propiedades totalmente diferentes de Pb. Sin embargo, cuando se está cortando, se concentra tensión sobre el área en la que están presentes estas tres fases de modo que estas fases también actúan como rompevirutas, reduciendo de ese modo la fuerza de corte requerida. Esto significa que aunque Pb y las fases κ , γ y μ generadas en una aleación de Cu-Zn-Si tienen poco o nada en común en sus propiedades y/o características, todos rompen virutas, y como resultado, reducen la fuerza de corte requerida.

50 Aún así, la trabajabilidad mejorada de las aleaciones de Cu-Zn-Si que tienen fases κ , γ y μ no es suficiente, en algunos aspectos, en comparación con C83600 (latón rojo al plomo), C36000 (latón de fácil mecanización) y C37700 (latón de forja) que contienen el 5%, el 3% y el 2% de plomo, en peso, respectivamente.

55 La aplicación de aleaciones mixtas de plomo se ha limitado mucho en los últimos años, debido a que el plomo contenido en las mismas es nocivo para los seres humanos como contaminante ambiental. Es decir, las aleaciones que contienen plomo representan una amenaza para la salud humana y la higiene ambiental debido a que el plomo va a parar al vapor metálico generado en las etapas de procesamiento de tales aleaciones a altas

temperaturas, tales como durante la fusión y colada. También existe un peligro de que el plomo contenido en las válvulas, adaptadores metálicos del sistema de agua, etcétera, compuestos por estas aleaciones se disolverá en el agua potable.

5 Por estos motivos, los Estados Unidos y otros países avanzados han propuesto en los últimos años hacer más estrictas las normas para aleaciones de cobre que contienen plomo para limitar drásticamente el nivel admisible de plomo en aleaciones de cobre. En Japón, también, se ha restringido cada vez más el uso de aleaciones que contienen plomo, y ha habido una atención creciente para el desarrollo de aleaciones de cobre de fácil mecanización con un bajo contenido en plomo. No es necesario decir, que es deseable reducir el contenido en plomo tanto como sea posible.

10 Los avances recientes han reducido el contenido en plomo en aleaciones de cobre de fácil mecanización a tan sólo el 0,02%, por ejemplo, tal como se describe en el documento US 2002-0159912 A1 (publicación de solicitud estadounidense n.º 10/287921). Sin embargo, en vista de las fuertes preocupaciones públicas sobre el contenido en plomo, es deseable reducir el contenido en plomo aún más. Aunque las aleaciones sin plomo se conocen en la técnica, por ejemplo, tal como se describen en la patente estadounidense 6.413.330, el presente inventor ha encontrado que existen determinadas ventajas al tener pequeñas cantidades de plomo en la aleación.

15 SUMARIO DE LA INVENCION

Es un objeto de la presente invención proporcionar una aleación de cobre de fácil mecanización que contiene una cantidad extremadamente pequeña (es decir, el 0,005 por ciento y hasta pero menor que el 0,02 por ciento, en peso) de plomo como un elemento de mejora de la trabajabilidad. Es un objeto proporcionar una aleación que es excelente en trabajabilidad, aunque puede usarse como un sustituto seguro para aleaciones de cobre fáciles de cortar convencionales, que tienen un contenido en plomo relativamente grande. Es un objeto proporcionar una aleación que no presenta problemas de higiene ambiental mientras que permite la recirculación de las virutas, proporcionando así una respuesta oportuna a la atención creciente para la restricción de productos que contienen plomo. La presente invención logra estos resultados en determinadas realizaciones preferidas reconociendo y aprovechando un efecto sinérgico de combinar las fases κ , γ y μ con pequeñas cantidades de Pb sobre la trabajabilidad de la aleación.

Es otro objeto de la presente invención proporcionar una aleación de cobre de fácil mecanización que tiene alta resistencia a la corrosión asociada con una trabajabilidad excelente y es adecuada como material básico para piezas de corte, piezas forjadas, piezas coladas y otros, teniendo así un valor práctico muy alto. Las piezas de corte, piezas forjadas, piezas coladas, etcétera, en las que puede emplearse la presente aleación, incluyen grifos para aguas municipales, adaptadores metálicos para suministro/drenaje de agua, contadores de agua, aspersores, juntas, válvulas de cierre de agua, válvulas, vástagos, adaptadores de tuberías de suministro de agua caliente, piezas de intercambiadores de calor y árboles.

Es aún otro objeto de la presente invención proporcionar una aleación de cobre de fácil mecanización con una resistencia mecánica y resistencia al desgaste altas asociadas con una propiedad de facilidad de corte que es adecuada como material básico para la fabricación de piezas de corte, piezas forjadas, piezas coladas y otros usos que requieren resistencia mecánica y resistencia al desgaste altas tales como, por ejemplo, cojinetes, pernos, tuercas, casquillos, engranajes, piezas de máquinas de coser, piezas de cilindros, asientos de válvula, anillos sincronizadores, elementos de deslizamiento y piezas de sistemas hidráulicos, y que por tanto es de gran valor práctico.

Es un objeto adicional de la presente invención proporcionar una aleación de cobre de fácil mecanización con una resistencia a la oxidación a alta temperatura excelente combinada con una propiedad de facilidad de corte, que es adecuada como material básico para la fabricación de piezas de corte, piezas forjadas, piezas coladas, y otros usos en los que es esencial una alta resistencia a la oxidación térmica, por ejemplo toberas para calentadores de gas y aceite de queroseno, cabezas de quemador y toberas de gas para dispensadores de agua caliente, y que por tiene gran valor práctico.

Es un objeto adicional de la presente invención proporcionar una aleación de cobre de fácil mecanización con una trabajabilidad excelente y alta resistencia al impacto, que es adecuada como material básico para la fabricación de productos que necesitan fabricarse de material resistente al impacto debido a que experimentan un procedimiento de calafateo tras un procedimiento de corte, tales como conectores de tubos denominados "boquillas", conectores de cables, adaptadores, abrazaderas, bisagras metálicas para muebles, piezas de sensores de automóviles y similares.

Uno o más de los objetos anteriores de la presente invención se logran mediante la provisión de las siguientes aleaciones de cobre.

55

PRIMERA ALEACIÓN DE LA INVENCIÓN

Una aleación de cobre de fácil mecanización con una característica de facilidad de corte excelente que se compone del 71,5 al 78,5 por ciento, en peso, de cobre, del 2,0 al 4,5 por ciento, en peso, de silicio, del 0,005 por ciento hasta pero menor que el 0,02 por ciento, en peso, de plomo y el tanto por ciento restante, en peso, de zinc, en la que el tanto por ciento en peso de cobre y silicio en la aleación de cobre satisface la relación $61 - 50Pb \leq X - 4Y \leq 66 + 50Pb$, en la que Pb es el tanto por ciento, en peso, de plomo, X es el tanto por ciento, en peso, de cobre e Y es el tanto por ciento, en peso, de silicio y en la que se satisfacen cada una de las siguientes relaciones adicionales:

$30\% \leq \text{fase } \alpha \text{ del área de fase total de la aleación;}$

$0\% \leq \text{fase } \beta \leq 5\% \text{ del área de fase total de la aleación;}$

$0\% \leq \text{fase } \mu \leq 20\% \text{ del área de fase total de la aleación; y}$

$18-500(Pb)\% \leq \text{fase } \kappa + \text{fase } \gamma + 0,3 (\text{fase } \mu) - \text{fase } \beta \leq 56+500(Pb)\%$ del área de fase total de la aleación. Con el fin de simplificar, esta aleación de cobre se denominará a continuación en el presente documento la "primera aleación de la invención".

El plomo no forma una disolución sólida en la matriz sino que en su lugar se dispersa en forma granular, como partículas de plomo, para mejorar la trabajabilidad. Incluso cantidades pequeñas de partículas de plomo en una aleación de cobre mejora la trabajabilidad. Por otro lado, el silicio mejora la propiedad de facilidad de corte produciendo una fase gamma y/o una fase kappa (en algunos casos, una fase mu) en la estructura metálica. El silicio y el plomo son iguales porque son eficaces en la mejora de la trabajabilidad, aunque son bastante diferentes en su contribución a otras propiedades de la aleación. Basándose en este reconocimiento, se añade silicio a la primera aleación de la invención de modo que provoque un alto nivel de trabajabilidad para cumplir con los requisitos industriales mientras que se hace posible reducir enormemente el contenido en plomo en la aleación, eliminando de ese modo el riesgo de toxicidad por plomo para los seres humanos. Es decir, la primera aleación de la invención se mejora en trabajabilidad a través de la formación de una fase gamma y una fase kappa con la adición de silicio. Por tanto, la primera aleación de la invención tiene una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial, lo que significa que la aleación de la invención, cuando se corta a alta velocidad en condiciones en seco, tiene una trabajabilidad equivalente a la trabajabilidad de aleaciones de cobre de fácil mecanización convencionales. En otras palabras, la primera aleación de la invención tiene una trabajabilidad mejorada a través de la formación de fases gamma, kappa y mu debido a la adición de silicio, así como una trabajabilidad mejorada debido a la adición de cantidades muy bajas de plomo (es decir, contenido en plomo de aproximadamente el 0,005 por ciento, en peso, hasta pero menor que el 0,02 por ciento, en peso).

Con la adición de menos del 2,0 por ciento en peso de silicio, la aleación metálica no puede formar una fase gamma o una fase kappa suficiente como para garantizar una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial. Con un aumento en la adición de silicio, mejora la trabajabilidad. Pero con la adición de más del 4,5 por ciento en peso de silicio, la trabajabilidad no se elevará en proporción. El problema es, sin embargo, que el silicio tiene un alto punto de fusión y bajo peso específico y también es propenso a oxidarse. Si se alimenta silicio no mezclado al horno en la etapa de fusión, el silicio flotará sobre el metal fundido y se oxida en óxidos de silicio (es decir, óxido de silicio), dificultando de ese modo la producción de una aleación de cobre que contiene silicio. En la producción del lingote de aleación de cobre que contiene silicio, por tanto, se añade habitualmente silicio en forma de una aleación de Cu-Si, que aumenta el coste de producción. Cuando la cantidad de silicio se vuelve excesiva, la parte de las fases gamma/kappa formadas se vuelve demasiado grande en el área total de la construcción metálica. La presencia de estas fases en cantidad excesiva les impide de actuar como áreas de concentración de tensión y hace la aleación más dura de lo necesario. Por tanto, no es deseable añadir silicio en una cantidad que supere el punto de saturación o la meseta de mejora de la trabajabilidad, es decir, el 4,5 por ciento en peso. Un experimento ha mostrado que cuando se añade silicio en la cantidad del 2,0 al 4,5 por ciento en peso, es deseable mantener el contenido en cobre a de aproximadamente el 71,5 al 78,5 por ciento en peso en consideración a su relación al contenido en zinc con el fin de mantener las propiedades intrínsecas de la aleación de Cu-Zn. Por este motivo, la primera aleación de la invención se compone del 71,5 al 78,5 por ciento en peso de cobre y del 2,0 al 4,5 por ciento en peso de silicio, respectivamente. La adición de silicio mejora no sólo la trabajabilidad sino también las características de flujo del metal fundido en (a) colada, (b) resistencia mecánica, (c) resistencia al desgaste, (d) resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y (e) resistencia a la oxidación a alta temperatura. Sin embargo, estas características no se observan a menos que el tanto por ciento en peso de cobre y silicio en la primera aleación de la invención satisfaga la relación $61 - 50Pb \leq X - 4Y \leq 66 + 50Pb$, en la que X es el tanto por ciento, en peso, de cobre e Y es el tanto por ciento, en peso, de silicio, y Pb es el tanto por ciento, en peso, de plomo. Además, la ductilidad y la resistencia a la corrosión por deszincado mejorarán en cierto grado.

La adición de plomo en la primera aleación de la invención se ajusta al 0,005 por ciento hasta pero menor que el 0,02 por ciento, en peso, por este motivo. En la primera aleación de la invención, se obtiene un nivel suficiente de trabajabilidad añadiendo silicio que tiene el efecto mencionado anteriormente de inducir una fase gamma y/o una fase kappa aunque se reduzca la adición de plomo. Todavía, el plomo tiene que añadirse a la

aleación de Cu-Zn en una cantidad no menor que el 0,005 por ciento, en peso, si la aleación va a ser superior a la aleación de cobre de fácil mecanización convencional en trabajabilidad. Por otro lado, la adición de cantidades relativamente grandes de plomo tendría un efecto adverso sobre las propiedades de la aleación, dando como resultado una condición de superficie rugosa, escasa capacidad de trabajo en caliente tal como escaso comportamiento de forjado y baja ductilidad en frío. Mientras tanto, se espera que un contenido en plomo tan pequeño de menos del 0,02 por ciento en peso podrá cumplir con los reglamentos gubernamentales relacionados con el plomo, sin embargo, que van a estipularse con rigurosidad en el futuro en los países avanzados, incluyendo Japón. Por este motivo, el intervalo de plomo añadido a la aleación se ajusta al 0,005 por ciento hasta pero menor que el 0,02 por ciento, en peso, en las aleaciones de la invención primera y también segunda y tercera, que se describirán después. Las modificaciones de las aleaciones de la invención primera, segunda y tercera incluyen todas este bajo intervalo de plomo, según la presente invención.

SEGUNDA ALEACIÓN DE LA INVENCION

Otra realización de la presente invención es una aleación de cobre de fácil mecanización, también con una característica de facilidad de corte excelente, que se compone del 71,5 al 78,5 por ciento, en peso, de cobre, del 2,0 al 4,5 por ciento, en peso, de silicio; del 0,005 por ciento hasta pero menor que el 0,02 por ciento, en peso, de plomo; al menos un elemento seleccionado de entre el 0,01 y el 0,2 por ciento, en peso, de fósforo, el 0,02 y el 0,2 por ciento, en peso, de antimonio, el 0,02 y el 0,2 por ciento, en peso, de arsénico, el 0,1 y el 1,2 por ciento, en peso, de estaño, y el 0,1 y el 2,0 por ciento, en peso, de aluminio; y el tanto por ciento restante, en peso, de zinc, en la que el tanto por ciento en peso de cobre, silicio, y el/los demás elemento(s) seleccionado(s), (es decir, fósforo, antimonio, arsénico, estaño, aluminio) en la aleación de cobre satisface la relación $61 - 50Pb \leq X - 4Y + aZ \leq 66 + 50Pb$, en la que Pb es el tanto por ciento, en peso, de plomo, X es el tanto por ciento, en peso, de cobre, Y es el tanto por ciento, en peso, de silicio, y Z es el tanto por ciento, en peso, del elemento seleccionado de entre fósforo, antimonio, arsénico, estaño y aluminio, y a es un coeficiente del elemento seleccionado, en la que a es -3 cuando el elemento seleccionado es fósforo, a es 0 cuando el elemento seleccionado es antimonio, a es 0 cuando el elemento seleccionado es estaño y a es -2 cuando el elemento seleccionado es aluminio y en la que se satisfacen cada una de las siguientes relaciones adicionales:

$30\% \leq \text{fase } \alpha \text{ del área de fase total de la aleación;}$

$0\% \leq \text{fase } \beta \leq 5\% \text{ del área de fase total de la aleación;}$

$0\% \leq \text{fase } \mu \leq 20\% \text{ del área de fase total de la aleación; y}$

$18-500(Pb)\% \leq \text{fase } \kappa + \text{fase } \gamma + 0,3 (\text{fase } \mu) - \text{fase } \beta \leq 56+500(Pb)\%$ del área de fase total de la aleación. Esta segunda aleación de cobre se denominará a continuación en el presente documento la "segunda aleación de la invención". La segunda aleación de la invención es una aleación de fácil mecanización que tiene excelente resistencia a la corrosión frente a deszincado, erosión,, etcétera, así como que tiene una trabajabilidad mejorada adicional.

El aluminio es eficaz en facilitar la formación de la fase gamma y actúa como el silicio. Es decir, si se añade aluminio, se formará una fase gamma y esta fase gamma mejora la trabajabilidad de la aleación de Cu-Si-Zn. El aluminio también es eficaz en la mejora de la resistencia mecánica, la resistencia al desgaste y la resistencia a la oxidación a alta temperatura así como la trabajabilidad de la aleación de Cu-Si-Zn. El aluminio también ayuda a mantener bajo el peso específico. Si la trabajabilidad no va a mejorarse en absoluto a partir de este elemento, tendrá que añadirse aluminio en una cantidad de al menos el 0,1 por ciento en peso. Pero la adición de más del 2,0 por ciento en peso no produce resultados proporcionales. En su lugar, añadir más aluminio, en más del 2,0 por ciento en peso, reduce la ductilidad de la aleación metálica, ya que se formará una fase gamma excesivamente mediante tal adición, sin contribuir adicionalmente a la trabajabilidad.

En cuanto al fósforo, no tiene propiedad de formación de la fase gamma como tiene el aluminio. Sin embargo, el fósforo actúa para dispersar y distribuir uniformemente la fase gamma formada como resultado de la adición de silicio, o bien solo o bien en combinación con aluminio. De este modo, la mejora de la trabajabilidad lograda a través de la formación de fase gamma se potencia adicionalmente mediante la capacidad del fósforo para dispersar y distribuir uniformemente la fase gamma en la aleación metálica. Además de dispersar la fase gamma, el fósforo ayuda a refinar los granos cristalinos en la fase alfa de la matriz, mejorando de ese modo la capacidad de trabajo en caliente y también la resistencia mecánica y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión. Además, el fósforo aumenta sustancialmente el flujo de metal fundido en colada, así como resistencia al deszincado. Para producir tales resultados, tendrá que añadirse fósforo en una cantidad no menor que el 0,01 por ciento en peso. Pero si la adición de fósforo supera el 0,20 por ciento en peso, no se obtendrá un efecto proporcional. En su lugar, habría una disminución en la propiedad de forjado en caliente y la capacidad de extrusión de la aleación metálica de cobre.

La segunda aleación de la invención tiene, además de la primera aleación de la invención, al menos un elemento seleccionado de entre el 0,01 y el 0,2 por ciento, en peso, de fósforo, el 0,02 y el 0,2 por ciento, en peso, de antimonio, y el 0,02 y el 0,2 por ciento, en peso, de arsénico, el 0,1 y el 1,2 por ciento, en peso, de estaño, y el

0,1 y el 2,0 por ciento, en peso, de aluminio. Tal como se describió anteriormente, el fósforo dispersa la fase gamma uniformemente y al mismo tiempo refina los granos cristalinos en la fase alfa de la matriz, mejorando de ese modo la trabajabilidad y también las propiedades de resistencia a la corrosión (es decir, resistencia a la corrosión por deszincado), forjabilidad, resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, y propiedades de resistencia mecánica de la aleación. La segunda aleación de la invención mejora por tanto en la resistencia a la corrosión y otras propiedades a través de la acción del fósforo, y en la trabajabilidad principalmente mediante la adición de silicio. La adición de fósforo en una cantidad muy pequeña, es decir, el 0,01 por ciento en peso o más, podría producir resultados beneficiosos. Pero la adición de más del 0,20 por ciento, en peso, no es tan eficaz como se esperaría de la cantidad de fósforo añadida. Por el contrario, la adición de más del 0,20 por ciento, en peso, de fósforo reduciría la capacidad de forjado en caliente y la capacidad de extrusión. Mientras tanto, el arsénico o el antimonio mejoran la resistencia al deszincado incluso con la ligera adición del 0,02 por ciento o más, en peso, que puede producir resultados beneficiosos.

El estaño acelera la formación de fase gamma y, al mismo tiempo, actúa para dispersar, y distribuir de manera más regular, las fases gamma y/o kappa formadas en la matriz alfa. Por tanto, el estaño mejora adicionalmente la trabajabilidad de las aleaciones metálicas de Cu-Zn-Si. El estaño también mejora la resistencia a la corrosión, especialmente frente a la corrosión por erosión y la corrosión por deszincado. Con el fin de lograr tales efectos positivos frente a la corrosión, debe añadirse más del 0,1%, en peso, de estaño. Por otro lado, cuando la adición de estaño supera el 1,2%, en peso, entonces el estaño en exceso reduce la ductilidad y el valor de impacto de la aleación de la invención, de modo que se producen grietas fácilmente cuando se cuela. Por tanto, con el fin de garantizar los efectos positivos del estaño añadido, a la vez que se evitan la degradación de la ductilidad y el valor de impacto, la adición de estaño, según la presente invención, es preferiblemente a del 0,2 al 0,8%, en peso.

Estas observaciones indican que la segunda aleación de la invención se mejora en trabajabilidad y también en resistencia a la corrosión y otras propiedades, añadiendo al menos un elemento seleccionado de entre fósforo, antimonio, arsénico (que mejora la resistencia a la corrosión), estaño y aluminio en cantidades dentro de los límites mencionados anteriormente, además de las mismas cantidades de cobre y silicio que en la aleación de cobre de la primera invención. En la segunda aleación de la invención, se ajusta la adición de cobre y silicio a del 71,5 al 78,5 por ciento, en peso, y del 2,0 al 4,5 por ciento, en peso, respectivamente, el mismo nivel que en la primera aleación de la invención, en la que no se añade otro mejorador de la trabajabilidad distinto de silicio y una pequeña cantidad de plomo, debido a que el fósforo actúa principalmente como un mejorador de la resistencia a la corrosión como antimonio y arsénico.

TERCERA ALEACIÓN DE LA INVENCION

Una aleación de cobre de fácil mecanización también con una característica de facilidad de corte excelente y con una característica de alta resistencia mecánica y alta resistencia a la corrosión excelentes que se compone del 71,5 al 78,5 por ciento, en peso, de cobre, del 2,0 al 4,5 por ciento, en peso, de silicio; del 0,005 por ciento hasta pero menor que el 0,02 por ciento, en peso, de plomo; al menos un elemento seleccionado de entre el 0,01 y el 0,2 por ciento, en peso, de fósforo, el 0,02 y el 0,2 por ciento, en peso, de antimonio, el 0,02 y el 0,15 por ciento, en peso, de arsénico, el 0,1 y el 1,2 por ciento, en peso, de estaño, y el 0,1 y el 2,0 por ciento, en peso, de aluminio; y al menos un elemento seleccionado de entre el 0,3 y el 4 por ciento, en peso, de manganeso, y el 0,2 y el 3,0 por ciento, en peso, de níquel de modo que el tanto por ciento total, en peso, de manganeso y níquel está entre el 0,3 y el 4,0 por ciento, en peso; y el tanto por ciento restante, en peso, de zinc, en la que el tanto por ciento en peso de cobre, silicio, y el/los elemento(s) seleccionado(s), (es decir, fósforo, antimonio, arsénico, estaño, aluminio, manganeso y níquel), en la aleación de cobre satisface la relación $61 - 50Pb \leq X - 4Y + aZ \leq 66 + 50Pb$, en la que Pb es el tanto por ciento, en peso, de plomo, en la que X es el tanto por ciento, en peso, de cobre, Y es el tanto por ciento, en peso, de silicio, y Z es la cantidad en tanto por ciento, en peso, del al menos un elemento seleccionado de entre fósforo, antimonio, arsénico, estaño, aluminio, manganeso y níquel, en la que a es un coeficiente del elemento seleccionado, en la que a es -3 cuando el elemento seleccionado es fósforo, a es 0 cuando el elemento seleccionado es antimonio, a es 0 cuando el elemento seleccionado es arsénico, a es -1 cuando el elemento seleccionado es estaño, a es -2 cuando el elemento seleccionado es aluminio, a es 2,5 cuando el elemento seleccionado es manganeso y a es 2,5 cuando el elemento seleccionado es níquel y en la que se satisfacen cada una de las siguientes relaciones adicionales:

$$30\% \leq \text{fase } \alpha \text{ del área de fase total de la aleación;}$$

$$0\% \leq \text{fase } \beta \leq 5\% \text{ del área de fase total de la aleación;}$$

$$0\% \leq \text{fase } \mu \leq 20\% \text{ del área de fase total de la aleación; y}$$

18-500(Pb)% \leq fase κ + fase γ + 0,3(fase μ) - fase $\beta \leq$ 56+500(Pb)% del área de fase total de la aleación. La tercera aleación de cobre se denominará a continuación en el presente documento la "tercera aleación de la invención". La tercera aleación de la invención es una aleación de cobre de fácil mecanización que tiene alta resistencia mecánica, resistencia al desgaste y resistencia a la corrosión excelentes, así como características de trabajabilidad mejoradas.

Se combinan manganeso y níquel con silicio para formar compuestos intermetálicos representados por Mn_xSi_y o Ni_xSi_y , que se precipitan de manera regular en la matriz, aumentando de ese modo la resistencia mecánica y la resistencia al desgaste. Por tanto, la adición de manganeso y níquel, o cualquiera de los dos, mejoraría la característica de resistencia mecánica y resistencia al desgaste altas de la tercera aleación de la invención. Tales efectos se presentarán si se añaden manganeso y níquel en una cantidad no menor que el 0,2 por ciento, en peso, respectivamente. Pero se alcanza el estado de saturación al 3,0 por ciento, en peso, en el caso de níquel y al 4,0 por ciento, en peso, en el caso de manganeso, así que aunque se aumente la adición de manganeso y/o níquel más allá de eso, no se obtendrán resultados mejorados proporcionales. La adición de silicio se ajusta a del 2,0 al 4,5 por ciento, en peso, para hacer coincidir la adición de manganeso y/o níquel, teniendo en cuenta el consumo de silicio para formar compuestos intermetálicos con esos elementos, manganeso y níquel.

También se observa que el aluminio, y el fósforo, ayudan a reforzar la fase alfa de la matriz, mejorando de ese modo la trabajabilidad. El fósforo dispersa las fases alfa y gamma, mediante lo cual se mejoran la resistencia mecánica, la resistencia al desgaste y también la trabajabilidad. El aluminio también contribuye a mejorar la resistencia al desgaste y presenta su efecto de refuerzo de la matriz cuando se añade en una cantidad de aproximadamente el 0,1 por ciento, o más en peso. Pero si la adición de aluminio supera el 2,0 por ciento, en peso, habrá una disminución en la ductilidad debida a la cantidad excesiva de fase gamma o fase beta que se forma, lo que se produce de manera bastante fácil. Por tanto, la adición de aluminio se ajusta a del 0,1 al 2,0 en consideración de la mejora deseada de la trabajabilidad. También, la adición de fósforo dispersa la fase gamma, y al mismo tiempo pulveriza los granos cristalinos en la fase alfa de la matriz, mejorando de ese modo la capacidad de trabajo en caliente y también la resistencia mecánica y la resistencia al desgaste de la aleación de cobre. Además, el fósforo es muy eficaz en la mejora del flujo de metal fundido en colada. Se producirán tales resultados cuando se añade fósforo en una cantidad del 0,01 al 0,2 por ciento, en peso. El contenido de cobre se ajusta a del 71,5 al 78,5 por ciento, en peso, a la luz de la adición de silicio, y la propiedad de manganeso y níquel de combinarse con silicio.

El aluminio es un elemento, que mejora la resistencia mecánica, la trabajabilidad, la resistencia al desgaste y también la resistencia a la oxidación a alta temperatura. El silicio, también tiene una propiedad de potenciar la trabajabilidad, la resistencia mecánica, la resistencia al desgaste, la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y también la resistencia a la oxidación a alta temperatura. El aluminio actúa para elevar la resistencia a la oxidación a alta temperatura cuando se usa junto con silicio en cantidades no menores que el 0,1 por ciento en peso. Pero aunque aumente la adición de aluminio más allá del 2,0 por ciento, en peso, no pueden esperarse resultados proporcionales. Por este motivo, la adición de aluminio se ajusta a del 0,1 al 2,0 por ciento, en peso.

Se añade fósforo para potenciar el flujo de metal fundido en colada. El fósforo también actúa para mejorar la trabajabilidad mencionada anteriormente, la resistencia a la corrosión por deszincado y también la resistencia a la oxidación a alta temperatura, además de mejorar el flujo de metal fundido. Se presentan estos efectos cuando se añade fósforo en cantidades no menores que el 0,01 por ciento, en peso. Pero aunque se use fósforo en cantidades mayores que el 0,20 por ciento, en peso, no dará como resultado un aumento proporcional en efecto; más bien, producirá el debilitamiento de la aleación. Basándose en esta consideración, se añade fósforo dentro de un intervalo del 0,01 al 0,2 por ciento en peso.

Aunque se añade silicio para mejorar la trabajabilidad tal como se mencionó anteriormente, también puede mejorar el flujo de metal fundido como lo hace el fósforo. El efecto de silicio en la mejora del flujo de metal fundido se presenta cuando se añade en una cantidad no menor que el 2,0 por ciento, en peso. El intervalo de la adición para la mejora del flujo se solapa con aquél para la mejora de la trabajabilidad. Teniendo estos en cuenta, la adición de silicio se ajusta a del 2,0 al 4,5 por ciento, en peso.

CUARTA ALEACIÓN DE LA INVENCION

Otra realización de la presente invención es una aleación de cobre de fácil mecanización también con una característica de facilidad de corte excelente que se compone del 71,5 al 78,5 por ciento, en peso, de cobre; del 2,0 al 4,5 por ciento, en peso, de silicio; del 0,005 por ciento hasta pero menor que el 0,02 por ciento, en peso, de plomo; un elemento adicional seleccionado de entre el 0,01 y el 0,2 por ciento, en peso, de bismuto, el 0,03 y el 0,2 por ciento, en peso, de telurio, y el 0,03 y el 0,2 por ciento, en peso, de selenio; y el tanto por ciento restante, en peso, de zinc, en la que el tanto por ciento en peso de cobre y silicio en la aleación de cobre satisface la relación $61-50Pb \leq X - 4Y \leq 66 + 50Pb$, en la que Pb es el tanto por ciento, en peso, de plomo, en la que X es el tanto por ciento, en peso, de cobre, e Y es el tanto por ciento, en peso, de silicio. Esta cuarta aleación de cobre se denominará a continuación en el presente documento la "cuarta aleación de la invención".

Es decir, la cuarta aleación de la invención se compone de la primera aleación de la invención y, además, un elemento seleccionado de entre el 0,01 y el 0,2 por ciento, en peso, de bismuto, el 0,03 y el 0,2 por ciento, en peso, de telurio, y el 0,03 y el 0,2 por ciento, en peso, de selenio.

El bismuto, el telurio y el selenio, como con el plomo, no forman una disolución sólida con la matriz sino que se dispersan en forma granular para potenciar la trabajabilidad. La adición de bismuto, telurio y selenio pueden compensar la reducción del contenido en plomo en la aleación de cobre de fácil mecanización cuando va a potenciar la trabajabilidad. La adición de uno cualquiera de estos elementos, junto con silicio y plomo, podría mejorar

adicionalmente la trabajabilidad más allá del nivel obtenido a partir de la adición de silicio y plomo solos. A partir de este hallazgo, se desarrolló la cuarta aleación de la invención, en la que se mezcla un elemento seleccionado de entre bismuto, telurio y selenio. La adición de bismuto, telurio o selenio, así como silicio y plomo, pueden hacer que la aleación de cobre sea tan trabajable que pueden mecanizarse fácilmente formas complicadas a una alta velocidad. Sin embargo, no puede realizarse una mejora en la trabajabilidad a partir de la adición de bismuto, telurio o selenio en una cantidad menor que el 0,01 por ciento en peso. En otras palabras, debe añadirse al menos el 0,01 por ciento, en peso, de bismuto, o debe añadirse al menos el 0,03 por ciento en peso de o bien telurio o bien selenio, antes de que la adición de estos elementos tenga un efecto sustancial sobre la trabajabilidad. Sin embargo, estos tres elementos son caros en comparación con el coste del cobre, de modo que es importante mezclar elementos prudentemente con el fin de formar una aleación comercialmente viable. Así que, aunque la adición de bismuto, telurio o selenio supere el 0,2 por ciento en peso, la mejora proporcional en la trabajabilidad es tan pequeña que la adición más allá de ese nivel no merece la pena económicamente. Además, si la adición de estos elementos es de más del 0,4 por ciento en peso, la aleación se deteriorará en las características de capacidad de trabajo en caliente, tales como forjabilidad, y características de capacidad de trabajo en frío, tales como ductilidad. Aunque podría haber una preocupación de que los metales pesados como bismuto producirían un problema similar al del plomo, una adición muy pequeña menor que el 0,2 por ciento en peso es insignificante y no presentaría problemas de salud particulares. A partir de esas consideraciones, la cuarta aleación de la invención se prepara con la adición de bismuto mantenida en del 0,01 al 0,2 por ciento, en peso, y la adición de telurio o selenio mantenida en del 0,03 al 0,2 por ciento, en peso. A este respecto, se desea mantener el contenido combinado de plomo y bismuto, telurio o selenio en no más del 0,4 por ciento en peso. Esta limitación se debe a que si el contenido combinado de estos cuatro elementos supera el 0,4 por ciento en peso de la aleación, aunque sea ligeramente, entonces comenzará un deterioro en las características de capacidad de trabajo en caliente y ductilidad en frío de la aleación, y también se teme que la forma de las virutas cambiará de las ilustradas en la figura 1B a las ilustradas en la figura 1A. Pero la adición de bismuto, telurio o selenio, que mejora la trabajabilidad de la aleación de cobre a través de un mecanismo diferente al del silicio, tal como se mencionó anteriormente, no afectaría a los contenidos apropiados (es decir, porcentajes, en peso) de cobre y silicio en la aleación. Por este motivo, los contenidos de cobre y silicio en la cuarta aleación de la invención se ajustan al mismo nivel que los de la primera aleación de la invención.

En consideración a estas observaciones, la cuarta aleación de la invención se mejora en trabajabilidad añadiendo a la aleación de Cu-Si-Pb-Zn de la primera aleación de la invención al menos un elemento adicional seleccionado de entre el 0,01 y el 0,2 por ciento, en peso, de bismuto, el 0,03 y el 0,2 por ciento, en peso, de telurio, y el 0,03 y el 0,2 por ciento, en peso, de selenio.

QUINTA ALEACIÓN DE LA INVENCION

Una aleación de cobre de fácil mecanización también con una característica de facilidad de corte excelente que se compone del 71,5 al 78,5 por ciento, en peso, de cobre, del 2,0 al 4,5 por ciento, en peso, de silicio; del 0,005 por ciento hasta pero menor que el 0,02 por ciento, en peso, de plomo; al menos un elemento seleccionado de entre el 0,01 y el 0,2 por ciento, en peso, de fósforo, del 0,02 al 0,2 por ciento, en peso, de antimonio, del 0,02 al 0,2 por ciento, en peso, de arsénico, del 0,1 al 1,2 por ciento, en peso, de estaño, y el 0,1 y el 2,0 por ciento, en peso, de aluminio; al menos un elemento seleccionado de entre el 0,01 y el 0,2 por ciento, en peso, de bismuto, el 0,03 y el 0,2 por ciento, en peso, de telurio, y el 0,03 y el 0,2 por ciento, en peso, de selenio; y el tanto por ciento restante, en peso, de zinc, en la que el tanto por ciento en peso de cobre, silicio, y el/los otro(s) elemento(s) seleccionado(s), (es decir, fósforo, antimonio, arsénico, estaño y aluminio), en la aleación de cobre satisface la relación $61 - 50Pb \leq X - 4Y + aZ \leq 66 + 50Pb$, en la que Pb es el tanto por ciento, en peso, de plomo, en la que X es el tanto por ciento, en peso, de cobre, Y es el tanto por ciento, en peso, de silicio, Z es el tanto por ciento, en peso, del elemento seleccionado de entre fósforo, antimonio, arsénico, estaño y aluminio, y a es un coeficiente del elemento seleccionado, en la que a es -3 cuando el elemento seleccionado es fósforo, a es 0 cuando el elemento seleccionado es antimonio, a es 0 cuando el elemento seleccionado es arsénico, a es -1 cuando el elemento seleccionado es estaño y a es -2 cuando el elemento seleccionado es aluminio. Esta aleación de cobre de fácil mecanización es la quinta aleación de cobre mencionada anteriormente, y se denominará a continuación en el presente documento la "quinta aleación de la invención".

La quinta aleación de la invención tiene uno cualquiera seleccionado de entre el 0,01 y el 0,2 por ciento, en peso, de bismuto, el 0,03 y el 0,2 por ciento, en peso, de telurio, y el 0,03 y el 0,2 por ciento, en peso, de selenio además de los componentes de la segunda aleación de la invención. Los motivos para mezclar esos elementos adicionales y ajustar esas cantidades que van a añadirse son los mismos facilitados para la cuarta aleación de la invención.

SEXTA ALEACIÓN DE LA INVENCION

Una aleación de cobre de fácil mecanización también con característica de facilidad de corte excelente asociada con una buena resistencia a la oxidación a alta temperatura que se compone del 71,5 al 78,5 por ciento, en peso, de cobre; del 2,0 al 4,5 por ciento, en peso, de silicio; del 0,005 por ciento hasta pero menor que el 0,02 por ciento, en peso, de plomo; al menos un elemento seleccionado de entre el 0,01 y el 0,2 por ciento, en peso, de fósforo, el 0,02 y el 0,2 por ciento, en peso, de antimonio, el 0,02 y el 0,15 por ciento, en peso, de arsénico, el 0,1 y

5 el 1,2 por ciento, en peso, de estaño, y el 0,1 y el 0,2 por ciento, en peso, de aluminio; al menos un elemento seleccionado de entre el 0,01 y el 0,2 por ciento, en peso, de bismuto, el 0,03 y el 0,2 por ciento, en peso, de telurio, y el 0,03 y el 0,2 por ciento, en peso, de selenio; y al menos un elemento seleccionado de entre el 0,3 y el 4 por ciento, en peso, de manganeso, y el 0,2 y el 3,0 por ciento, en peso, de níquel de modo que el tanto por ciento total, en peso, de manganeso y níquel es de entre el 0,3 y el 4,0 por ciento, en peso; y el tanto por ciento restante, en peso, de zinc, en la que el tanto por ciento en peso de cobre, silicio, y el/los elemento(s) seleccionado(s) de fósforo, antimonio, arsénico, estaño, aluminio, manganeso y níquel, en la aleación de cobre satisface la relación $61 - 50Pb \leq X - 4Y + aZ \leq 66 + 50Pb$, en la que Pb es el tanto por ciento, en peso, de plomo, en la que X es el tanto por ciento, en peso, de cobre, en la que Y es el tanto por ciento, en peso, de silicio, y Z es la cantidad en tanto por ciento, en peso, del al menos un elemento seleccionado de entre fósforo, antimonio, arsénico, estaño, aluminio, manganeso y níquel, en la que a es un coeficiente del elemento seleccionado, en la que a es -3 cuando el elemento seleccionado es fósforo, a es 0 cuando el elemento seleccionado es antimonio, a es 0 cuando el elemento seleccionado es arsénico, a es -1 cuando el elemento seleccionado es estaño, a es -2 cuando el elemento seleccionado es aluminio, a es 2,5 cuando el elemento seleccionado es manganeso y a es 2,5 cuando el elemento seleccionado es níquel. La sexta aleación de cobre se denominará a continuación en el presente documento la "sexta aleación de la invención".

20 La sexta aleación de la invención contiene un elemento seleccionado de entre el 0,01 por ciento hasta pero menor que el 0,2 por ciento, en peso, de bismuto, el 0,03 y el 0,2 por ciento, en peso, de telurio y el 0,03 y el 0,2 por ciento, en peso, de selenio además de los componentes de la tercera aleación de la invención. Aunque se garantiza una resistencia a la oxidación a alta temperatura tan buena como en la tercera aleación de la invención, se mejora la trabajabilidad adicionalmente añadiendo un elemento seleccionado de entre bismuto y otros elementos que son tan eficaces como plomo en elevar la trabajabilidad.

SÉPTIMA ALEACIÓN DE LA INVENCION

25 Se obtiene una aleación de cobre de fácil mecanización que tiene la característica de facilidad de corte excelente, y otras características deseables de las aleaciones de la invención primera a sexta, limitando adicionalmente la composición de las aleaciones de la invención primera a sexta de modo que la aleación contiene no más del 0,5 por ciento, en peso, de hierro. Cuando se fabrican aleaciones de cobre, el hierro es una impureza inevitable. Sin embargo, restringiendo el intervalo de esta impureza a no más del 0,5 por ciento, en peso, se logran beneficios adicionales. Específicamente, el hierro degrada la trabajabilidad de las aleaciones de la invención primera a sexta, y también degrada las características de pulido y chapeado. Por tanto, una séptima aleación, según la presente invención, es una cualquiera de las aleaciones de la invención primera a sexta que tiene, además de los componentes de estas aleaciones, la limitación adicional de que la composición de la aleación no contiene más del 0,5 por ciento, en peso, de hierro. La séptima aleación de la invención se denominará a continuación en el presente documento la "séptima aleación de la invención".

OCTAVA ALEACIÓN DE LA INVENCION

35 Se obtiene una aleación de cobre de fácil mecanización, con propiedades de facilidad de corte mejoradas adicionalmente, sometiendo una cualquiera de las aleaciones de la invención respectivas anteriores a un tratamiento térmico durante de 30 minutos a 5 horas a de 400°C a 600°C. La octava aleación de cobre se denominará a continuación en el presente documento la "octava aleación de la invención".

ALEACIONES DE LA INVENCION NOVENA Y DÉCIMA

40 Se obtiene una aleación de cobre de fácil mecanización con propiedades de facilidad de corte mejoradas adicionalmente construyendo una cualquiera de las aleaciones de la invención respectivas anteriores para que incluya (a) una matriz que comprende una fase alfa, y (b) una o más fases seleccionadas del grupo que consiste en una fase gamma y una fase kappa. La novena aleación de cobre se denominará a continuación en el presente documento la "novena aleación de la invención". Además, según una "décima aleación de la invención", la novena aleación de la invención puede modificarse adicionalmente de modo que la una o más fases seleccionadas del grupo que consiste en las fases gamma y kappa se dispersan uniformemente en la matriz alfa.

UNDÉCIMA ALEACIÓN DE LA INVENCION

50 Se obtiene una aleación de cobre de fácil mecanización con propiedades de facilidad de corte mejoradas construyendo las aleaciones de la invención respectivas anteriores sujetas a la restricción de que la construcción metálica de la aleación satisface las siguientes relaciones: (i) $0\% \leq \text{fase } \beta \leq 5\%$ del área de fase total de la aleación; (ii) $0\% \leq \text{fase } \mu \leq 20\%$ del área de fase total de la aleación; y (iii) $18-500(Pb)\% \leq \text{fase } \kappa + \text{fase } \gamma + 0,3(\text{fase } \mu) - \text{fase } \beta \leq 56+500(Pb)\%$ del área de fase total de la aleación. La undécima aleación de cobre se denominará a continuación en el presente documento la "undécima aleación de la invención".

ALEACIONES DE LA INVENCION DUODÉCIMA Y DECIMOTERCERA

55 Se obtiene una aleación de cobre de fácil mecanización que demuestra realmente las propiedades de facilidad de corte mejoradas, según la presente invención, construyendo una cualquiera de las aleaciones de la

invencción primera a undécima, en la que una probeta redonda, formada a partir de una varilla extruida o como una pieza colada de la aleación, cuando se corta en una superficie circunferencial mediante una herramienta de carburo de tungsteno, sin un rompevirutas, a un ángulo de inclinación de -6 grados y a un radio de la punta de 0,4 mm, a una velocidad de corte de 60 a 200 m/min, una profundidad de corte de 1,0 mm, y una velocidad de alimentación de 0,11 mm/rev, produce virutas que tienen una o más formas seleccionadas del grupo que consiste en una forma de arco, una forma acicular y una forma de chapa. La duodécima aleación de cobre se denominará a continuación en el presente documento la "duodécima aleación de la invencción". Asimismo, se obtiene otra aleación de cobre de fácil mecanización que demuestra realmente propiedades de facilidad de corte mejoradas, según la presente invencción, construyendo una cualquiera de las aleaciones de la invencción primera a undécima anteriores, en la que una probeta redonda, formada a partir de una varilla extruida o como una pieza colada de la aleación, cuando se perfora en una superficie circunferencial mediante una barrena de calidad de acero, que tiene un diámetro de barrena de 10 mm y una longitud de barrena de 53 mm, a un ángulo de hélice de 32 grados y un ángulo de la punta de 118 grados a una velocidad de corte de 80 m/min, una profundidad de perforación de 40 mm, y una velocidad de alimentación de 0,20 mm/rev, produce virutas que tienen una o más formas seleccionadas del grupo que consiste en una forma de arco y una forma acicular. La decimotercera aleación de cobre se denominará a continuación en el presente documento la "decimotercera aleación de la invencción".

Las aleaciones de la invencción primera a decimotercera contienen elementos de mejora de la trabajabilidad, tales como silicio, y tienen una trabajabilidad excelente debido a la adición de tales elementos. El efecto de esos elementos de mejora de la trabajabilidad puede potenciarse adicionalmente mediante tratamiento térmico. Por ejemplo, esas aleaciones de la invencción primera a decimotercera que son de alto contenido en cobre con fase gamma en pequeñas cantidades, y fase kappa en grandes cantidades, puede experimentar un cambio en la fase de la fase kappa a la fase gamma mediante tratamiento térmico. Como resultado, la fase gamma se dispersa finamente y precipita, y se mejora la trabajabilidad. En el proceso de fabricación de piezas coladas, metales expandidos y piezas forjadas en caliente en la práctica, los materiales a menudo se enfrían con aire a presión o se enfrían con agua dependiendo de las condiciones de forjado, la productividad tras el trabajo en caliente (extrusión en caliente, forjado en caliente, etc.), entorno de trabajo, y otros factores. En tales casos de las aleaciones de la invencción primera a decimotercera, esas aleaciones con un contenido relativamente bajo en cobre, en particular, son de contenido más bien bajo de la fase las fases y/o kappa y contienen fase beta. Mediante tratamiento térmico controlado, la fase beta cambia a la fase gamma y/o fase kappa, y la fase gamma y/o la fase kappa se dispersan finamente y precipitan, mediante lo cual se mejora la trabajabilidad.

Sin embargo, una temperatura de tratamiento térmico menor que 400°C no es económica ni práctica en ningún caso, debido a que el cambio de fase mencionado anteriormente avanzará lentamente y se necesitará mucho tiempo. A temperaturas mayores que 600°C, por otro lado, crecerá la fase kappa, o aparecerá la fase beta, de manera que no provoca ninguna mejora en la trabajabilidad. Desde un punto de vista práctico, por tanto, se desea realizar el tratamiento térmico durante de 30 minutos a 5 horas a de 400°C a 600°C cuando se usa tratamiento térmico para alterar la trabajabilidad de la aleación alterando las fases de la construcción metálica.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Las figuras 1A a 1G muestran vistas en perspectiva de diversos tipos de de piezas cortadas formadas en el corte de una barra redonda de aleación de cobre mediante torno.

La figura 2 es una vista ampliada, tomada mediante fotografía, de la construcción metálica de una primera aleación de la invencción de la presente invencción.

Las figuras 3A y 3B muestran la relación entre la fuerza de corte y la fórmula $Cu - 4Si + X + 50Pb(\%)$ para una aleación de la presente invencción, en las que la velocidad de corte $v = 120$ m/min.

Las figuras 4A y 4B muestran la relación entre la fuerza de corte y la fórmula $Cu - 4Si + X + 50Pb(\%)$ para una aleación de la presente invencción, en las que la velocidad de corte $v = 200$ m/min.

Las figuras 5A y 5B muestran la relación entre la fuerza de corte y la fórmula $\kappa + \gamma + 0,3 \mu - \beta + 500Pb$ para una aleación de la presente invencción, en las que la velocidad de corte $v = 120$ m/min.

Las figuras 6A y 6B muestran la relación entre la fuerza de corte y la fórmula $\kappa + \gamma + 0,3 \mu - \beta + 500Pb$ para una aleación de la presente invencción, en las que la velocidad de corte $v = 200$ m/min.

La figura 7 muestra la relación entre fuerza de corte y la cantidad de plomo, en tanto por ciento en peso, en una aleación de la fórmula $76(Cu) - 3,1 (Si) - Pb(\%)$.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Las aleaciones de la invencción incluyen cada una cobre, silicio, zinc y plomo. Determinadas aleaciones de la invencción incluyen adicionalmente otros elementos componentes, tales como fósforo, estaño, antimonio, arsénico, aluminio, bismuto, telurio, selenio, manganeso y níquel. Cada uno de estos elementos confiere determinadas

5 ventajas a las aleaciones de la invención. Por ejemplo, el cobre es un elemento constituyente mayoritario de las
aleaciones de la invención. Basándose en estudios realizados por los presentes inventores, se determinó que un
contenido en cobre deseable es de entre aproximadamente el 71,5 y el 78,5 por ciento, en peso, con el fin de
mantener determinadas propiedades inherentes de una aleación de Cu-Zn, tal como determinadas propiedades
mecánicas, propiedad de resistencia a la corrosión y fluidez. Además, este intervalo de cobre permite la formación
eficaz de las fases gamma y/o kappa (y en algunos casos; una fase mu) en la construcción metálica cuando se
añade silicio, lo que da como resultado una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial. Sin embargo, se ajusta el
límite umbral superior para el cobre debido a que cuando el contenido en cobre supera el 78,5%, en peso, no puede
lograrse una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial independientemente del grado de formación de las fases
gamma y/o kappa. Además, la colabilidad de la aleación se degrada cuando el contenido en cobre supera el 78,5
por ciento, en peso. Por otro lado, cuando el contenido en cobre disminuye por debajo del 71,5 por ciento, en peso,
una fase beta tiende a formarse fácilmente en la construcción metálica. La formación de fase beta tiende a disminuir
la trabajabilidad incluso con la presencia de las fases gamma y/o kappa en la construcción metálica. La formación de
fase beta da como resultado otros efectos adversos también, tales como disminución de la resistencia a la corrosión
frente al deszincado, aumento del agrietamiento por corrosión bajo tensión y reducción del alargamiento.

El silicio es otro elemento constituyente mayoritario para las aleaciones de la invención. En particular, el
silicio funciona para mejorar la trabajabilidad de aleaciones de cobre. Se usa el silicio para formar fases gamma,
kappa y/o mu en la matriz que comprende una fase alfa, con el efecto de mejorar la trabajabilidad. La adición menor
que el 2 por ciento, en peso, de silicio en la aleación de cobre no da como resultado una formación suficiente de
fases gamma, kappa y/o mu para lograr una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial. Aunque la trabajabilidad
mejorará con un aumento en la cantidad de silicio añadida a la aleación, cuando la cantidad de silicio añadida
supera aproximadamente el 4,5 por ciento, en peso, la trabajabilidad no mejora proporcionalmente. De hecho, la
trabajabilidad comienza a disminuir en la aleación con silicio que supera aproximadamente el 4,5 por ciento, en
peso, debido a que la proporción de las fases gamma y/o kappa en la construcción metálica se ha vuelto demasiado
grande. Además, la conductividad térmica de la aleación disminuye al superar el silicio aproximadamente el 4,5 por
ciento, en peso. Así, es necesario añadir silicio en una cantidad apropiada con el fin de mejorar la trabajabilidad, así
como para mejorar otras características de la aleación tales como fluidez, resistencia mecánica, resistencia al
desgaste, resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, resistencia a la oxidación a alta temperatura y
resistencia al deszincado.

El zinc es también un elemento constituyente mayoritario de las aleaciones de la invención. El zinc, cuando
se añade al cobre y el silicio, efectúa la formación de fases gamma, kappa, y, en algunos casos, mu. El zinc también
actúa para mejorar la resistencia mecánica, la trabajabilidad y la fluidez de las aleaciones de la invención. Según la
presente invención, el intervalo del contenido en zinc se determina indirectamente debido a que el zinc capta la parte
restante de las aleaciones de la invención, aparte de los otros dos constituyentes mayoritarios (es decir, cobre y
silicio) y cantidades muy bajas de plomo, y otros elementos componentes.

También está presente plomo en las aleaciones de la invención porque el plomo no forma una disolución
sólida, sino que en su lugar se dispersa como partículas de plomo en la matriz de la construcción metálica,
mejorando de ese modo la trabajabilidad. Aunque se logra un determinado grado de trabajabilidad mediante la
formación de las fases gamma y/o kappa en la construcción metálica a través de la adición de silicio, también se
añade más del 0,005%, en peso, de plomo con el fin de mejorar adicionalmente la trabajabilidad de las aleaciones
de la invención. De hecho, la trabajabilidad de las aleaciones de la invención es al menos equivalente a y a menudo
mejor que, la trabajabilidad de aleaciones de cobre de fácil mecanización convencionales en corte a alta velocidad
en una condición en seco (es decir, sin lubricante), que ahora se prefiere enormemente por la industria. Para
aleaciones de Cu-Zn-Si que tienen un intervalo de composición que se encuentra dentro del alcance de la presente
invención, el mayor contenido en plomo en el estado de disolución sólida es del 0,003%, y cualquier cantidad en
exceso de plomo está presente en la estructura de la aleación como partículas de plomo. Cuando está presente la
cantidad apropiada de las fases gamma y/o kappa en la construcción metálica, el plomo comienza a mejorar la
trabajabilidad de la aleación a aproximadamente el 0,005 por ciento, en peso; que es sólo ligeramente mayor que el
límite superior del contenido en plomo en la disolución sólida. Por consiguiente, no hay una cantidad apreciable de
plomo disponible para la lixiviación fuera de la aleación y al agua potable, por ejemplo. Además, cuando la cantidad
de plomo se aumenta hasta más del 0,005 por ciento, en peso, la trabajabilidad de la aleación de cobre mejora
significativamente debido a un efecto sinérgico inesperado de (a) las partículas de plomo precipitadas y finamente
dispersas en la matriz y (b) las fases gamma y kappa duras que funcionan para mejorar la trabajabilidad mediante
un mecanismo diferente. Sin embargo, cuando el contenido en plomo de una aleación metálica supera el 0,02%, el
plomo contenido en productos de colada, especialmente en productos de colada grandes, comienza a lixiviar fuera
de la aleación metálica y al entorno (es decir, al agua potable) dando como resultado de ese modo una posible
toxicidad por plomo para los seres humanos. Por estos motivos, el contenido en plomo de las presentes aleaciones
de la invención se ajusta a del 0,005 al 0,02, por ciento, en peso.

El fósforo actúa para dispersar y distribuir uniformemente las fases gamma y/o kappa formadas en la matriz
alfa de una construcción metálica. Por tanto, la adición de fósforo en determinadas realizaciones, según la presente
invención, potencia y estabiliza adicionalmente la trabajabilidad de las aleaciones de la invención de cobre.
Adicionalmente, el fósforo mejora la resistencia a la corrosión, especialmente la resistencia a la corrosión por

deszincado, y la fluidez. Para lograr estas ventajas, debe añadirse más del 0,01%, en peso, de fósforo a la aleación de la invención. Sin embargo, cuando la adición de fósforo supera el 0,2%, en peso, no se obtienen efectos positivos adicionales pero la ductilidad también se degrada. En vista de estos efectos del fósforo añadido, la adición de fósforo, según la presente invención, es preferiblemente a del 0,02 al 0,12%, en peso.

5 Tal como se mencionó anteriormente, el estaño acelera la formación de fase gamma y, al mismo tiempo, actúa para dispersar, y para distribuir de manera más regular, las fases gamma y/o kappa formadas en la matriz alfa, de modo que el estaño mejora adicionalmente la trabajabilidad de aleaciones metálicas de Cu-Zn-Si. El estaño también mejora la resistencia a la corrosión, especialmente frente a la corrosión por erosión y corrosión por
10 deszincado. Para lograr tales efectos positivos frente a la corrosión, debe añadirse más del 0,1%, en peso, de estaño. Por otro lado, cuando la adición de estaño supera el 1,2%, en peso, el estaño en exceso reduce la ductilidad y el valor de impacto de la aleación de la invención debido a la formación de fase gamma excesiva y la aparición de fase beta de modo que se producen grietas fácilmente cuando se cuele. Por tanto, con el fin de garantizar los efectos positivos del estaño añadido, a la vez que se evitan la degradación de la ductilidad y el valor de impacto, la adición de estaño, según la presente invención, es preferiblemente a del 0,2 al 0,8%, en peso.

15 El antimonio y el arsénico son elementos añadidos para mejorar la resistencia a la corrosión por deszincado de aleaciones metálicas según la presente invención. Para este fin, debe añadirse más del 0,02%, en peso, de antimonio y/o arsénico a la aleación de la invención. Cuando la adición de estos elementos supera el 0,2%, en peso, no se obtienen efectos positivos adicionales y se degrada la ductilidad. En vista de estos efectos de adición de estos elementos; la adición de antimonio y/o arsénico, según la presente invención, es preferiblemente a del 0,03 al 0,1%,
20 en peso.

El aluminio acelera la formación de fase gamma y, al mismo tiempo, actúa para dispersar, y para distribuir de manera más regular, las fases gamma y/o kappa formadas en la matriz alfa. Por tanto, el aluminio mejora adicionalmente la trabajabilidad de aleaciones del sistema Cu-Zn-Si. Adicionalmente, el aluminio mejora la resistencia mecánica, la resistencia al desgaste, la resistencia a la oxidación a alta temperatura y la resistencia a la
25 corrosión por erosión. Con el fin de obtener estos efectos positivos, debe añadirse más del 0,1%, en peso, de aluminio a la aleación de la invención. Sin embargo, cuando la adición de aluminio supera el 2%, el aluminio en exceso reduce la ductilidad y tienden a formarse grietas de colada fácilmente debido a la formación de fase gamma excesiva y la aparición de fase beta. Por tanto, la adición de aluminio, según la presente invención, es preferiblemente a del 0,1 al 2,0%, en peso.

30 De manera similar al plomo, el bismuto, telurio y selenio añadidos se dispersan en la matriz alfa y mejoran significativamente la trabajabilidad mediante efecto sinérgico con fases duras, tales como fases gamma, kappa y mu. Tales efectos sinérgicos se obtienen cuando la adición de bismuto, telurio y selenio es de más del 0,01%, de más del 0,03% y de más del 0,03%, en peso, respectivamente. Sin embargo, no se ha confirmado que estos elementos sean seguros para el entorno, ni están disponibles de manera abundante. Por tanto, según la presente invención, el límite superior para cada uno de estos elementos se ajusta al 0,2%, en peso. Más preferiblemente, según la
35 presente invención, los intervalos de bismuto, telurio y selenio se ajustan a del 0,01 al 0,05%, a del 0,03 al 0,10% y a del 0,03 al 0,1%, en peso, respectivamente.

El manganeso y el níquel mejoran la resistencia al desgaste y la resistencia mecánica de las aleaciones de Cu-Si-Zn de la presente invención combinándose con silicio para formar compuestos intermetálicos. Para que se produzcan estas mejoras, la adición requerida para el manganeso es de más del 0,3%, en peso, y para el níquel, más del 0,2% en peso. Cuando la adición de manganeso y níquel supera el 4% y el 3%, en peso, respectivamente, no se obtiene una mejora adicional en la resistencia al desgaste pero se degradan la ductilidad y la fluidez. Por tanto, la cantidad total de manganeso y níquel añadidos, según la presente invención, debe ser mayor que el 0,3%, en peso, aunque no debe superar el 4%, en peso, puesto que no se mejora adicionalmente la resistencia al
45 desgaste mediante mayores cantidades de estos elementos y se ven afectadas negativamente la trabajabilidad y la fluidez a mayores niveles. Necesariamente, cuando se añaden manganeso y/o níquel a la aleación de la invención, se acelera el consumo de silicio debido a que estos elementos se combinan con silicio para formar compuestos intermetálicos, dejando de ese modo menos silicio disponible para formar las fases gamma y/o kappa y mejorar la trabajabilidad. Por tanto, según la presente invención, con el fin de lograr una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial de una aleación de Cu-Si-Zn que contiene manganeso y/o níquel también, debe satisfacerse la siguiente
50 relación:

$$2 + 0,6(U + V) \leq Y \leq 4 + 0,6(U + V)$$

en la que Y es el tanto por ciento, en peso, de silicio; U es el tanto por ciento, en peso, de manganeso; y V es el tanto por ciento, en peso, de níquel. De esta manera, el silicio está presente en la aleación en cantidades suficientes tanto para formar compuestos intermetálicos como para formar fases gamma, kappa y/o mu.
55

El hierro se combina con el silicio contenido en las aleaciones de Cu-Si-Zn de la presente invención para formar compuestos intermetálicos. Tales compuestos intermetálicos que contienen hierro, sin embargo, degradan la trabajabilidad de la aleación de la invención y afectan negativamente a procesos de pulido y chapeado realizados durante la producción de grifos y válvulas de agua, que se producen convencionalmente mediante colada y no

mediante trabajo mecánico. Cuando el contenido en hierro de una aleación supera el 0,5%, en peso, se observan claramente los efectos negativos mencionados anteriormente, aunque también pueden reconocerse todavía a un contenido en hierro del 0,3%, en peso. Aunque el hierro es una impureza inevitable en aleaciones de Cu-Si-Zn, según la presente invención el contenido en hierro no supera el 0,5%, en peso, y preferiblemente no supera el 0,25%, en peso.

La tabla 1 muestra varias aleaciones fabricadas según la primera aleación de la invención, así como aleaciones realizadas según las aleaciones de la invención cuarta y séptima a undécima. La tabla 1 también incluye varias aleaciones de comparación que no se encuentran dentro del alcance de la presente invención. La tabla 2 muestra varias aleaciones fabricadas según las aleaciones de la invención segunda y tercera, así como aleaciones realizadas según las aleaciones de la invención quinta a undécima. La tabla 2 también incluye varias aleaciones de comparación que no se encuentran dentro del alcance de la presente invención. Los resultados recopilados en las tablas 1 y 2 se explicarán tras la presente descripción de los diversos ensayos empleados para comparar características de aleaciones de la presente invención con aleaciones similares que no se encuentran dentro del alcance de la presente invención.

Muestras a modo de ejemplo

Como ejemplos de aleaciones de la presente invención y de aleaciones de comparación, se extruyeron en caliente lingotes cilíndricos con las composiciones mostradas en las tablas 1 y 2, cada uno de 100 mm de diámetro exterior y 150 mm de longitud, para dar una barra redonda de 20 mm de diámetro exterior en su mayoría a 750°C para producir las probetas, aunque algunas muestras se extruyeron en caliente a 650°C, o a 800°C. Para cada lingote de aleación extruido, se describen las composiciones elemental y de fases, junto con las composiciones elemental y de fases expresadas en cuanto a las fórmulas empleadas en la presente invención. También, se proporcionan resultados de los ensayos descritos a continuación. Tal como puede observarse a partir de los datos en las tablas, para aleaciones de una composición elemental dada, la temperatura de extrusión tiene un efecto significativo sobre la composición de fases y las propiedades materiales tal como se explicarán a continuación. Además, se vertió metal fundido que tenía las mismas composiciones elementales que los lingotes cilíndricos en un molde permanente de 30 mm de diámetro y 200 mm de profundidad para formar probetas coladas. Entonces se cortaron tales probetas coladas mediante un torno para dar una barra redonda de 20 mm de diámetro exterior de modo que las piezas coladas fueran del mismo tamaño que las piezas extruidas: las aleaciones coladas, en vez de extruidas en caliente, tal como se recopila en las tablas 1 y 2 muestran cómo afectan las condiciones de fabricación a la construcción metálica y otras características de la aleación tal como se explicarán a continuación.

Ensayos de corte

Para estudiar la trabajabilidad de las diversas aleaciones, se llevaron a cabo ensayos de corte con torno y de corte por perforación para determinar si una aleación tiene una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial. Con el fin de realizar esta determinación, ha de evaluarse la trabajabilidad de la aleación en condiciones de corte que se aplican generalmente en la industria. Por ejemplo, la velocidad de corte para aleaciones de cobre en la industria es normalmente de 60 a 200 m/min cuando se emplea el corte con torno o el corte con barrena. Por tanto, para los ejemplos proporcionados en las tablas, se realizaron ensayos de corte con torno a las velocidades de 60, 120 y 200 m/min. Se realizaron ensayos de corte con barrena a una velocidad de 80 m/min. En los ensayos empleados, se realizaron las evaluaciones basándose en la fuerza de corte y la condición de las virutas. Dado que el lubricante de corte tiene un posible impacto negativo sobre el entorno, es deseable realizar el corte sin lubricante de modo que no tenga que desecharse el lubricante de corte residual. Por tanto, se realizaron los ensayos de corte, según la presente invención, en la condición en seco (es decir, sin lubricante) aunque ésta no es una condición de corte favorable en cuanto a facilitar el proceso de corte.

Se realizaron los ensayos de corte con torno de la siguiente manera: se cortaron las probetas extruidas, o las piezas coladas, así obtenidas tal como se describió anteriormente de modo que fuesen de 20 mm de diámetro, en la condición en seco, en la superficie circunferencial mediante un torno dotado de una herramienta recta de punta saliente, en particular una herramienta de carburo de tungsteno sin rompevirutas, a un ángulo de inclinación de -6 grados con un radio de la punta de 0,4 mm, a una velocidad de corte de 60, 120 y 200 metros/minuto (m/min), una profundidad de corte de 1,0 mm, y una velocidad de alimentación de 0,11 mm/rev. Se convirtieron las señales procedentes de un dinamómetro de tres componentes montado en la herramienta en señales de tensión eléctrica y se registraron en un registrador. Entonces se convirtieron las señales en la resistencia al corte. Por tanto, se evaluó la trabajabilidad de las aleaciones determinando la resistencia al corte, especialmente la fuerza de corte principal que muestra el mayor valor cuando se corta. Además, se examinaron y se clasificaron las virutas de aleación metálica producidas durante el corte con torno como parte de la evaluación de la trabajabilidad del material tratado en el torno. Se observa que aunque, para ser, para ser perfectamente exactos, debe considerarse la cantidad de resistencia al corte mediante las fuerzas de tres componentes, es decir, fuerza de corte, fuerza de alimentación y fuerza de empuje, se decidió evaluar la resistencia al corte basándose en la fuerza de corte (N) sólo. Los resultados de los ensayos de corte con torno se recopilan en las tablas 1 y 2. Puede observarse a partir de los datos en las tablas 1 y 2 que las aleaciones de la presente invención no requieren una fuerza de corte excesiva.

Se realizaron ensayos de corte con barrena de la siguiente manera: se cortaron las probetas extruidas, o las piezas coladas, así obtenidas tal como se describió anteriormente de modo que fuesen de 20 mm de, en la condición en seco, usando una barrena M7 de calidad de acero que tenía un diámetro de barrena de 10 mm y una longitud de barrena de 95 mm, a un ángulo de hélice de 32 grados con un ángulo de la punta de 118 grados, a la velocidad de corte de 80 m/min, una profundidad de perforación de 40 mm y una velocidad de alimentación de 0,20 mm/rev. Se examinaron y se clasificaron las virutas de aleación metálica producidas durante el corte con barrena como parte de la evaluación de la trabajabilidad del material perforado.

Se examinaron y se clasificaron las virutas de aleación metálica producidas durante el corte en siete categorías (A) a (G), basándose en la forma geométrica de las virutas tal como se muestra en las figuras 1A a 1G y tal como se describe en lo que sigue. La figura 1A ilustra “virutas aciculares”, que se segmentan finamente, virutas de tipo acicular, y que se representan por ● en las tablas. Las virutas aciculares son productos de viruta satisfactorios a escala industrial producidos cuando se cortan aleaciones metálicas que tienen una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial. La figura 1B ilustra “virutas arqueadas”, que son virutas en forma de arco o en forma de arco circular con menos de un enrollamiento, y que se representan por ⊙ en las tablas. Las virutas arqueadas son productos de viruta satisfactorios a escala industrial producidos mediante el corte de materiales que tienen las características de trabajabilidad más deseables. La figura 1C ilustra “virutas rectangulares cortas”, que son virutas rectangulares que son menor que 25 mm de longitud, y que se representan por ○ en las tablas. Las virutas rectangulares cortas son productos de viruta satisfactorios a escala industrial producidos cuando se cortan aleaciones metálicas que tienen una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial que es mejor que la de aleaciones que producen virutas aciculares pero no tan buena como la de aleaciones que producen virutas arqueadas durante el corte. Las virutas rectangulares cortas también se denominan “en forma de chapa”. La figura 1D ilustra “virutas rectangulares de longitud media”, que son virutas rectangulares que son de 25 mm a 75 mm de longitud, y que se representan por ▲ en las tablas. La figura 1E ilustra “virutas largas”, que son virutas rectangulares que son de más de 75 mm de longitud, y que se representan por × en las tablas. La figura 1F ilustra “virutas en forma de espiral cortas”, que son virutas en forma de espiral con de uno a tres enrollamientos, y que se representan por Δ en las tablas. Las virutas en forma de espiral cortas son también productos de viruta satisfactorios a escala industrial producidos cuando se cortan aleaciones metálicas que tiene una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial. Por último, la figura 1G ilustra “virutas en forma de espiral largas”, que son virutas en forma de espiral con más de tres enrollamientos, y que se representan por × × en las tablas. Los resultados de las virutas producidas durante los ensayos de corte se notifican en las tablas 1 y 2.

La producción de virutas durante el corte proporciona indicaciones referentes a la calidad del material de aleación. Las aleaciones metálicas que producen virutas largas (×), o viruta en forma de espiral larga (× ×), no producen virutas satisfactorias a escala industrial. Por otro lado, las aleaciones metálicas que producen virutas en forma de arco (⊙) originan las virutas más deseables, las aleaciones metálicas que producen virutas rectangulares cortas (○) originan las segundas virutas más deseables, y las aleaciones metálicas que producen virutas aciculares (●) originan las terceras virutas más deseables. Las aleaciones metálicas que producen virutas en forma de espiral cortas (Δ) también originan virutas deseables a escala industrial. A este respecto, las virutas en forma de una espiral con tres o más enrollamientos tal como se muestra en la figura 1G son difíciles de procesar, (es decir, recuperar o reciclar), y podrían provocar problemas en el trabajo de corte como, por ejemplo, enmarañándose con la herramienta de corte y dañando la superficie metálica cortada. Las virutas en forma de un arco en espiral de uno con medio enrollamiento a uno con dos o tres enrollamientos tal como se muestra en la figura 1F no provocan problemas tan graves como las virutas en forma de una espiral con más de tres enrollamientos, aunque las virutas en forma de espiral cortas no son fáciles de retirar y podrían enmarañarse con la herramienta de corte o dañar la superficie metálica cortada.

En cambio, las virutas en forma de unas virutas aciculares finas mostradas en la figura 1A, o en forma de virutas arqueadas mostradas en la figura 1B, no presentan problemas tales como los mencionados anteriormente, no son tan voluminosas como las virutas mostradas en las figuras 1F y 1G, y son fáciles de procesar para la recuperación o el reciclado. Sin embargo, las virutas aciculares finas tal como se muestra en la figura 1A todavía podrían deformarse en la mesa deslizante de una máquina herramienta tal como un torno y provocar problemas mecánicos, o podría ser peligroso debido a que podrían adherirse al dedo, el ojo u otras partes corporales de un trabajador. Cuando se tienen en cuenta estos factores, cuando se evalúa la trabajabilidad y la producción industrial global, las aleaciones de la invención que producen las virutas mostradas en la figura 1B son las mejores en el cumplimiento de los requerimientos industriales, mientras que las aleaciones metálicas que producen las virutas mostradas en la figura 1C son las segundas mejores, y aleaciones metálicas que producen las virutas mostradas en la figura 1A son las terceras mejores en el cumplimiento de los requerimientos industriales. Tal como se mencionó anteriormente, las aleaciones metálicas que producen las virutas mostradas en las figuras 1E y 1G no son buenas desde un punto de vista industrial porque las virutas son difíciles de recuperar o reciclar, y estas clases de virutas pueden dañar la herramienta de corte o la pieza de trabajo que está cortándose. En las tablas 1 y 2, las virutas mostradas en las figuras 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F y 1G se producen mediante diversas aleaciones y se indican mediante los símbolos “●”, “⊙”, “○”, “●”, “×”, “Δ” y “× ×” respectivamente. Puede observarse que las aleaciones de la presente invención producen generalmente las mejores formas de virutas.

Para resumir la clasificación cualitativa de las virutas (en orden descendente) con respecto a la trabajabilidad industrial deseada, las virutas en forma de arco (⊙), las virutas rectangulares cortas (○) y las virutas aciculares finas (●) se clasifican como que tienen una trabajabilidad excelente (es decir, virutas en forma de arco) a buena (es decir, virutas rectangulares cortas) a trabajabilidad satisfactoria (es decir, virutas aciculares finas). Aunque aceptables a escala industrial, las virutas rectangulares medias (A) y las virutas espirales cortas (Δ) pueden enmarañarse con las herramientas durante el corte. Por tanto, estas virutas no son tan deseables como las virutas que se han producido mediante aleaciones clasificadas como que tienen una trabajabilidad de satisfactoria a excelente.

En la industria actual, fabricación implica automatización (es decir, especialmente durante operaciones por la noche) de modo que un único trabajador monitoriza comúnmente el funcionamiento de varias máquinas de corte al mismo tiempo. Durante el corte, una vez que el volumen de virutas producidas se vuelve demasiado grande para manipularse por el único trabajador, pueden producirse problemas con la operación de corte, tal como enmarañamiento de virutas con la herramienta de corte o incluso parada de la máquina de corte. Como cuestión práctica, las virutas tales como las virutas largas rectangulares (×), y las virutas espirales largas (× ×), son virutas grandes que tienen un volumen significativamente mayor que las virutas en forma de arco, las virutas rectangulares cortas y las virutas aciculares finas. Por consiguiente, durante el corte, el volumen de virutas largas rectangulares y virutas espirales largas se acumula a velocidades cien veces la de las virutas más pequeñas (es decir, virutas en forma de arco, virutas rectangulares cortas y virutas aciculares finas). Por tanto, las operaciones de trabajo mecánico durante la noche son menos prácticas, o requieren más personal para monitorizar las máquinas de corte, cuando se trabajan de manera mecánica aleaciones que generan virutas largas rectangulares o virutas espirales largas voluminosas. En comparación, las virutas rectangulares de longitud media (A) y las virutas espirales cortas (Δ) son mucho menos voluminosas que las virutas largas rectangulares o las virutas espirales largas, y sólo unas cuantas veces más voluminosas que las virutas en forma de arco, las virutas rectangulares cortas y las virutas aciculares finas.

Tal como resultan, las aleaciones que producen las virutas rectangulares de longitud media y las virutas espirales cortas durante el corte son todavía "aceptables a escala industrial" porque el volumen de virutas producidas no se acumula a una velocidad inaceptablemente rápida como se produce para virutas largas rectangulares o virutas espirales largas. Por otro lado, debido a que las virutas rectangulares de longitud media y las virutas espirales cortas pueden enmarañarse en la herramienta de corte, las aleaciones que producen estas virutas deben monitorizarse cuidadosamente durante el corte. Por tanto, la trabajabilidad de tales aleaciones es menos deseable que la de las aleaciones que producen virutas en forma de arco, virutas rectangulares cortas o virutas aciculares finas, que son virutas de bajo volumen compactas y no tienden a enmarañarse en la herramienta de corte. Con respecto a virutas rectangulares de longitud media y virutas espirales cortas, se considera que las aleaciones que producen virutas rectangulares de longitud media durante el corte tienen una trabajabilidad ligeramente mejor que las que producen virutas espirales cortas porque, aunque ambos tipos de virutas pueden enmarañarse en la herramienta de corte, las virutas rectangulares de longitud media son más fáciles de retirar una vez que se enmarañan con la herramienta de corte. Además, las virutas rectangulares de longitud media tienen menos volumen que las virutas espirales cortas, de modo que se apilarán durante el corte a una velocidad más lenta que para las virutas en forma de espiral cortas.

ENSAYOS PARA DETERMINAR CORROSIÓN POR DESZINCADO

Además, se pusieron las diversas aleaciones en ensayos de corrosión por deszincado según el método de ensayo especificado en la norma "ISO 6509" para examinar su resistencia a la corrosión. En el ensayo de corrosión por deszincado mediante el método de la norma "ISO 6509", se dispuso una probeta tomada de cada probeta extruida sometida a ensayo y se incluyó en un material de resina fenólica de tal manera que la superficie de la probeta expuesta era perpendicular a la dirección de extrusión de la probeta extruida. Se pulió la superficie de la probeta con papel de lija n.º 1200, y luego se lavó con ultrasonidos en agua pura y se secó. Se sumergió la probeta así preparada en una disolución acuosa 12,7 g/l de cloruro cúprico dihidratado ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) al 1,0% y se dejó en reposo durante 24 horas a 75°C. Entonces se sacó cada probeta de la disolución acuosa de cobre y se midió la máxima profundidad de corrosión por deszincado tal como sigue. Se dispuso de nuevo la probeta y se incluyó en material de resina fenólica de tal manera que la superficie de la probeta expuesta se mantuvo perpendicular a la dirección de extrusión. Entonces, se cortó la probeta de modo que pudiera obtenerse la sección de corte más larga. Posteriormente se pulió la probeta y se observó la profundidad de corrosión, para 10 campos de microscopio, usando un microscopio metalúrgico de 100x a 500x. Se registró el punto más profundo de corrosión como la profundidad de corrosión por deszincado máxima medida. Las mediciones de la profundidad de corrosión por deszincado máxima se facilitan en las tablas 1 y 2.

Tal como queda claro a partir de los resultados de los ensayos de corrosión por deszincado mostrados en las tablas 1 y 2, las aleaciones de la invención primera a tercera son excelentes en resistencia a la corrosión. Y se confirmó que especialmente las aleaciones de la invención cuarta a undécima son de resistencia a la corrosión muy alta, tal como se observa en las tablas 1 y 2.

ENSAYOS PARA DETERMINAR LA CORROSIÓN POR EROSIÓN

También se usaron probetas cortadas del material de ensayo extruido para evaluar la resistencia a la corrosión por erosión de las aleaciones de la invención. Se midió el peso de cada probeta usando una balanza electrónica antes de la exposición a una disolución de salmuera durante 96 horas. Se dirigió de manera continua un chorro de una disolución de salmuera al 3% a 30°C con cloruro cúprico dihidratado al 0,01% ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), usando una boquilla de pulverización de 2 mm de calibre, contra las probetas a una velocidad de flujo de 11 m/s durante 96 horas. Tras 96 horas de exposición a la disolución de salmuera, se evaluó la pérdida de masa tal como sigue. Se secó por soplado cada probeta y se volvió a pesar en la balanza electrónica. Se registró la diferencia en el peso de la probeta antes de la exposición a salmuera y tras la exposición a salmuera como la pérdida de masa medida, que refleja el grado de corrosión por erosión de la aleación por la disolución de salmuera.

Es importante que determinados productos se realicen usando aleaciones metálicas que tienen una buena resistencia a la corrosión por erosión. Por ejemplo, es necesario que las válvulas y los grifos de suministro sean resistentes frente a la corrosión por erosión, así como resistentes a la corrosión general, porque estos dispositivos están sometidos a contracorriente, o cambios bruscos de la velocidad del agua, producidos por la apertura y el cierre del flujo de fluido que fluye a través de estos dispositivos. La aleación comparativa n.º 28 (C83600) mostrada en la tabla 2, por ejemplo, contiene el 5%, en peso, de estaño y el 5%, en peso, de plomo, y demuestra una excelente resistencia a la corrosión por erosión incluso en una corriente rápida. Tal como se muestra en la tabla 2, aleación comparativa n.º 28 (más adelante en el presente documento, AC n.º 28) tiene una entre las menores pérdidas de peso debidas a la corrosión por erosión. La resistencia a la corrosión por erosión de AC n.º 28 se debe a la formación de una película rica en estaño que protege la aleación frente a la corrosión en corrientes rápidas. Desafortunadamente, AC n.º 28 tiene un contenido en plomo inaceptablemente alto y no es adecuado para su uso en sistemas que proporcionan agua potable.

En comparación, la primera aleación de la invención también tiene una buena resistencia a la corrosión por erosión, tal como se demuestra mediante la primera aleación de la invención n.º 2 de la tabla 1. Sin embargo, la adición del 0,3%, en peso, de estaño tal como se muestra mediante la segunda aleación de la invención n.º 11 mejora la resistencia a la corrosión por erosión. De hecho, aunque la formación de la misma película de estaño-silicio rica en estaño se aplica en este caso, la adición del 0,3%, en peso, de estaño a primeras aleaciones de la invención proporciona segundas aleaciones de la invención que tienen resistencia a la corrosión por erosión mejorada, pero a una fracción de la cantidad de estaño empleada en AC n.º 28. En otras palabras, las aleaciones de la presente invención y que contienen, por ejemplo, sólo aproximadamente el 0,3%, en peso, de estaño, logran el mismo grado de resistencia a la corrosión por erosión que AC n.º 28, que incluye un porcentaje mucho mayor (es decir, el 5%, en peso) de estaño.

ENSAYOS DE RENDIMIENTO PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE LIXIVIACIÓN DE PLOMO

Se realizaron ensayos para evaluar la capacidad de lixiviación de plomo de conformidad con la norma "JIS S 3200-7:2004" según el método de "Equipo de suministro de agua - ensayos de rendimiento para determinar la capacidad de lixiviación". Según la norma JIS S 3200-7:2004, se preparó la disolución de lixiviación empleada para el ensayo añadiendo (a) 1 ml de una disolución de hipoclorito de sodio con una concentración de cloro disponible de 0,3 mg/ml, (b) 22,5 ml de disolución de hidrogenocarbonato de sodio 0,04 mol/l, y (c) 11,3 ml de disolución de cloruro de calcio 0,04 mol/l en agua de modo que la cantidad total de la disolución de ensayo será de un litro. Entonces se ajustó esta disolución, añadiendo el 1,0% y el 0,1% de ácido clorhídrico y 0,1 mol/l o 0,01 mol/l de hidróxido de sodio, de modo que la disolución usada para el ensayo cumpliera con los siguientes parámetros: pH de $7,0 \pm 0,1$, dureza de $45 \text{ mg/l} \pm 5 \text{ mg/l}$, alcalinidad de $35 \text{ mg/l} \pm 5 \text{ mg/l}$ y cloro residual de $0,3 \text{ mg/l} \pm 0,1 \text{ mg/l}$. Se perforó el lingote de muestra obtenido mediante colada, para realizar un orificio de modo que pudieran obtenerse las probetas en forma de copa de 25 mm de diámetro interior y 180 mm de profundidad. Se aclararon y se acondicionaron tales probetas forma de copa, y entonces se llenaron con la disolución de lixiviación a una temperatura de 23°C. Entonces se sellaron las probetas y se almacenaron en un lugar mantenido a la temperatura de 23°C. Se recogió la disolución de lixiviación tras almacenamiento durante 16 horas y se sometió a ensayo para analizar el lixiviado de plomo. No se realizó ninguna corrección a los resultados del análisis del lixiviado de plomo para el volumen, el área superficial o la forma de las probetas.

FÓRMULA DE RESTRICCIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA ALEACIÓN

Otra característica de las aleaciones de cobre de la presente invención es que cada composición de aleación de cobre está restringida por la relación de la fórmula general

$$(1) \quad 61 - 50\text{Pb} \leq X - 4Y + a_0Z_0 \leq 66 + 50\text{Pb}$$

en la que Pb es el tanto por ciento, en peso, de plomo, en la que X es el tanto por ciento, en peso, de cobre; Y es el tanto por ciento, en peso, de silicio; y a_0Z_0 representa la contribución a la relación de elementos distintos de cobre, silicio y zinc. En otras palabras, se requiere que la relación descrita mediante la fórmula de restricción de la composición de la aleación (1) produzca composiciones de aleación de cobre con las ventajas descritas anteriormente. Si no se satisface la fórmula (1), entonces mediante experimento, se ha encontrado que la aleación

de cobre resultante no proporciona el grado de trabajabilidad y otras propiedades mostrados en las tablas 1 y 2. Sin embargo, la mera limitación del intervalo de contenido para cobre, zinc y silicio proporcionada mediante la fórmula (1) no determina, por sí misma, la cantidad de fases kappa, gamma y mu formadas en la estructura de la aleación metálica. Tal como se comentó anteriormente, la construcción de fases y la cantidad de fases kappa, gamma y mu actúan para mejorar la trabajabilidad. Además, la relación elemental proporcionada por la fórmula (1) no puede determinar, por sí misma, la cantidad de fase beta formada, que actúa para degradar la trabajabilidad. Por tanto, la fórmula (1) proporciona un índice, obtenido mediante experimento, para determinar composiciones de aleación que pueden lograr la cantidad apropiada de cada fase componente (es decir, optimizar las combinaciones de fases gamma, kappa y mu para mejorar la trabajabilidad a la vez que se minimiza la formación de fase beta que degrada la trabajabilidad).

Se describe la contribución a la relación de la fórmula de restricción (1) por elementos distintos de cobre, silicio y zinc en la fórmula (2) tal como sigue:

$$(2) \quad a_0Z_0 = a_1Z_1 + a_2Z_2 + a_3Z_3 + \dots$$

en la que a_1 , a_2 , a_3 , etc., son coeficientes determinados experimentalmente, y Z_1 , Z_2 , Z_3 , etc., son tantos por ciento, en peso, de elementos en la composición distintos de cobre, silicio y zinc. En otras palabras con respecto a la fórmula (1), Z es la cantidad de un elemento seleccionado y a es el coeficiente del elemento seleccionado.

Específicamente, se ha determinado que con el fin de poner en práctica las aleaciones de cobre de la presente invención, los coeficientes "a" son tal como sigue: para plomo, bismuto, telurio, selenio, antimonio y arsénico, el coeficiente a es cero; para aluminio, el coeficiente a es -2; para fósforo, el coeficiente a es -3; y para manganeso y níquel, el coeficiente a es +2,5. Un experto en la técnica apreciará que la fórmula (1) no restringe directamente las cantidades de plomo, bismuto, telurio, selenio, antimonio y arsénico en las aleaciones de cobre de la presente invención porque el coeficiente a es cero para estos elementos; sin embargo, estos elementos están restringidos indirectamente por el hecho de que el tanto por ciento, en peso, de cobre, silicio, y los elementos en la aleación de cobre, y que tienen coeficientes a distintos de cero, debe satisfacer la fórmula de restricción (1).

Además, el plomo, incluso en una pequeña cantidad, tiene un papel importante en las aleaciones de la invención como componente para mejorar la trabajabilidad. Por tanto, se ha tenido en cuenta el efecto del plomo cuando se deriva la fórmula (1). En el caso en el que el valor de $X - 4Y + aZ$ se vuelve menor que $61 - 50Pb$, la composición de fases necesaria para lograr una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial no puede obtenerse en conjunto, ni siquiera con los efectos del plomo. Por otro lado, cuando el valor de $X - 4Y + aZ$ se vuelve mayor que $66 + 50Pb$, a pesar del efecto positivo por el plomo sobre trabajabilidad, la cantidad excesiva de fases gamma, kappa y/o mu formadas hace que una aleación de ese tipo no pueda obtener una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial. También es más preferible cuando se satisface la relación $62 - 50Pb \leq X - 4Y + aZ \leq 65 + 50Pb$.

Para ser más específicos, para las aleaciones de la invención primera y cuarta, la fórmula de restricción (1) puede escribirse como:

$$(3) \quad 61 - 50Pb \leq X - 4Y \leq 66 + 50Pb$$

en la que Pb es el tanto por ciento, en peso, de plomo, en la que X es el tanto por ciento, en peso, de cobre e Y es el tanto por ciento, en peso, de silicio en la aleación. Las aleaciones de cobre de fácil mecanización de las aleaciones de la invención primera y cuarta tienen alta resistencia mecánica así como trabajabilidad satisfactoria a escala industrial. Por tanto, estas aleaciones son de gran valor práctico y pueden usarse para producir productos trabajados, forjados y colados preparados actualmente a partir de aleaciones de cobre de fácil mecanización convencionales. Por ejemplo, las aleaciones de la invención primera y cuarta son adecuadas para fabricar pernos, tuercas, roscas, husillos, vástagos, anillos de asiento de válvula, válvulas, adaptadores metálicos para suministro/drenaje de agua, engranajes, piezas de máquinas generales, pestañas, piezas para instrumentos de medición, piezas para edificios y abrazaderas.

Para las aleaciones de la invención segunda y quinta, la fórmula de restricción (1) puede escribirse como:

$$(4) \quad 61 - 50Pb \leq X - 4Y \leq 66 + 50Pb$$

en la que Pb es el tanto por ciento, en peso, de plomo, en la que X es el tanto por ciento, en peso, de cobre; Y es el tanto por ciento, en peso, de silicio; Z es el tanto por ciento, en peso de uno o más elementos seleccionados fósforo, antimonio, arsénico, estaño y aluminio; en la que a es -3 para fósforo, a es 0 para antimonio y arsénico, a es -1 para estaño y a es -2 para aluminio. Las aleaciones de cobre de fácil mecanización de las aleaciones de la invención segunda y quinta tienen alta resistencia a la corrosión así como una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial. Por tanto, estas aleaciones son de gran valor práctico y pueden usarse para producir productos trabajados, forjados y colados que han de ser resistentes a la corrosión. Por ejemplo, las aleaciones de la invención segunda y quinta son adecuadas para fabricar grifos de agua, adaptadores de tuberías de suministro de agua caliente, árboles, adaptadores de conexión, piezas para intercambiador de calor, aspersores, grifos giratorios, asientos de válvula, contadores de agua, piezas para sensores, recipientes a presión, válvulas para uso industrial, tuercas ciegas,

adaptadores de tuberías, aplicaciones metálicas estructurales marinas, juntas, válvulas de cierre de agua, válvulas, conectores de tubos, conectores de cables y adaptadores.

Para las aleaciones de la invención tercera y sexta, la fórmula de restricción (1) puede escribirse como:

$$(5) \quad 61 - 50Pb \leq X - 4Y + aZ \leq 66 + 50Pb$$

5 en la que Pb es el tanto por ciento, en peso, de plomo, en la que X es el tanto por ciento, en peso, de cobre; Y es el tanto por ciento, en peso, de silicio; Z₁ es el tanto por ciento, en peso de al menos un elemento seleccionado de entre fósforo, antimonio, arsénico, estaño y aluminio en la aleación, en la que a₁ es -3 para fósforo, a₁ es 0 para antimonio y arsénico, a₁ es -1 para estaño, y a₁ es -2 para aluminio; y Z₂ es el tanto por ciento, en peso, de al menos un elemento seleccionado de entre manganeso y níquel, en la que a₂ es 2,5 para manganeso y para níquel. Las
10 aleaciones de cobre de fácil mecanización de las aleaciones de la invención tercera y sexta tienen alta resistencia al desgaste y alta resistencia mecánica así como una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial. Por tanto, estas aleaciones son de gran valor práctico y pueden usarse para producir productos trabajados, forjados y colados que requieren alta resistencia al desgaste y alta resistencia mecánica. Por ejemplo, las aleaciones de la invención
15 tercera y sexta son adecuadas para fabricar cojinetes, casquillos, engranajes, piezas para máquinas de coser, piezas de sistemas hidráulicos, toberas para calentadores de gas y aceite de queroseno, extremidades, manguitos, carretes para pescar, adaptadores para aviones, elementos de deslizamiento, piezas de cilindros, asientos de válvula, anillos sincronizadores y válvulas de alta presión.

Para aquellas aleaciones de la invención en las que se combinan manganeso y/o níquel con silicio para formar compuestos intermetálicos, la composición de aleación se restringe adicionalmente mediante la relación
20 mostrada en la fórmula (6), que es:

$$(6) \quad 2 + 0,6(U + V) \leq Y \leq 4 + 0,6(U + V)$$

en la que Y es el tanto por ciento, en peso de silicio, U es el tanto por ciento, en peso de manganeso, y V es el tanto por ciento, en peso, de níquel.

Para resumir, todas las aleaciones de la primera a la decimotercera de la presente invención deben
25 satisfacer la restricción de composición de aleación de la fórmula 1, y todos los ejemplos ilustrativos proporcionados según la presente invención en las tablas 1 y 2 cumplen con esta restricción de composición. Por otro lado, las aleaciones de la invención tercera y sexta están restringidas adicionalmente por la restricción de composición de aleación secundaria de la fórmula 8. Otras aleaciones de cobre que contienen los mismos elementos que las aleaciones de cobre de la presente invención, pero que no tienen una composición que satisfice los requerimientos
30 de la fórmula 1, y cuando sea apropiado también de la fórmula 8, no tendrán las características de las aleaciones de cobre de la presente invención tal como se muestra en las tablas 1 y 2 tal como se explica a continuación.

Las figuras 3A, 3B, 4A y 4B ilustran el efecto general de la fórmula de restricción de composición 5 sobre la trabajabilidad de una aleación de Cu-Si-Zn. Las figuras 3A y 3B demuestran cómo se eleva la fuerza de corte
35 necesaria para trabajar la aleación a medida que la fórmula de restricción $X - 4Y + aZ + 50Pb(\%)$ se aproxima o bien al límite inferior de 61, o bien la fórmula de restricción de $X - 4Y + aZ - 50Pb(\%)$ se aproxima al límite superior de 66, respectivamente. Al mismo tiempo, cuando se superan los límites inferior y superior de la fórmula de restricción, las virutas producidas cambian de carácter de las virutas arqueadas y virutas rectangulares cortas deseadas (es decir, \odot y \circ , respectivamente) a las virutas rectangulares de longitud media no deseadas (es decir, \blacktriangle) a una velocidad de corte de 120 m/min. Asimismo, las figuras 4A y 4B demuestran cómo se eleva la fuerza de corte necesaria para
40 trabajar la aleación a medida que la fórmula de restricción $X - 4Y + aZ + 50Pb(\%)$ se aproxima o bien al límite inferior de 61, o bien la fórmula de restricción de $X - 4Y + aZ - 50Pb(\%)$ se aproxima al límite superior de 66, respectivamente, respectivamente. Sin embargo, esta elevación en la fuerza de corte es más drástica a la mayor velocidad de corte de 200 m/min. Al mismo tiempo, cuando se superan los límites inferior y superior de la fórmula de restricción, las virutas producidas cambian de carácter de las virutas arqueadas y virutas rectangulares cortas deseadas (es decir, \odot y \circ , respectivamente) a las virutas rectangulares de longitud media y virutas largas no
45 deseadas (es decir, \blacktriangle y \times , respectivamente) a una velocidad de corte de 200 m/min. Así que el aumento de la velocidad de corte también afecta al carácter de las virutas producidas durante el corte.

CONSTRUCCIÓN METÁLICA

Otra característica importante de las aleaciones de cobre de la presente invención es la construcción
50 metálica, que es la matriz del metal, formada mediante la integración de múltiples estados de fase de los metales componentes, que produce una fase compuesta para la aleación de cobre. Específicamente, tal como apreciará un experto en la técnica, una aleación metálica dada puede tener diferentes características dependiendo del entorno en que se produjo. Por ejemplo, se conoce bien la aplicación de calor para templar acero. El hecho de que una aleación metálica dada pueda comportarse de diferente manera dependiendo de las condiciones en las que se forjó se debe
55 a la integración y conversión de componentes del metal en diferentes estados de fase. Tal como se ilustra en las tablas 1 y 2, las aleaciones de cobre de la presente invención incluyen todas una fase α , que es aproximadamente el 30 por ciento o más del área de fase total para poner en práctica la invención. Esto es debido a que la fase α es la

única fase que proporciona a las aleaciones metálicas un grado de capacidad de trabajo en frío. Para ilustrar las relaciones de fases de la construcción metálica, según la presente invención, en la figura 2 se muestran micrografías aumentadas a $\times 186$ y a $\times 364$. La aleación metálica fotografiada en este caso es la primera aleación de la invención, n.º 2, de la tabla 1. Tal como puede observarse mediante las micrografías, la construcción metálica incluye una matriz de fase α en la que se dispersan una o más de una fase γ y/o una fase κ . Aunque no se muestra en estas micrografías, la construcción metálica puede incluir también otras fases, tales como la fase μ . Tal como entendería un experto en la técnica, si la aleación de cobre tiene menos de aproximadamente el 30% de fase α que comprende el área de fase total del metal, entonces la aleación de cobre no tiene capacidad de trabajarse en frío y no puede procesarse adicionalmente mediante corte de ninguna manera práctica. Por tanto, todas las aleaciones de cobre de la presente invención tienen una construcción metálica que es una fase compuesta que es una matriz de fase α a la que se proporcionan otras fases.

Tal como se mencionó anteriormente, la presencia de silicio en las aleaciones de cobre de la presente invención es para mejorar la trabajabilidad de la aleación de cobre, y esto se produce en parte debido a que el silicio induce una fase γ . Las concentraciones de silicio en una cualquiera de las fases γ , κ y μ de una aleación de cobre son de 1,5 a 3,5 veces tan altas como en la fase α . Las concentraciones de silicio en las diversas fases, de altas a bajas, son tal como sigue: $\mu \geq \gamma \geq \kappa \geq \beta \geq \alpha$. Las fases γ , κ y μ también comparten la característica de que son más duras y más quebradizas que la fase α , y confieren una dureza apropiada a la aleación de modo que la aleación puede trabajarse y de modo que es menos probable que las piezas cortadas formadas mediante trabajo mecánico dañen las herramientas de corte tal como se describe en relación a la figura 1. Por tanto, para poner en práctica la invención, cada aleación de cobre debe tener al menos una de la fase γ , la fase κ y la fase μ , o cualquier combinación de estas fases, en la fase α con el fin de proporcionar un grado de dureza adecuado a la aleación de cobre.

La fase β mejora generalmente la trabajabilidad de aleaciones de Cu-Zn de la técnica anterior y se incluye en aleaciones, C36000 y C37700, de la técnica anterior al 5-20%. Al comparar C2700 (65% de Cu y 35% de Zn) que no contiene fase β y C28000 (60% de Cu y 40% de Zn) que contiene el 10% de fase β , C28000 tiene mejor trabajabilidad que C2700 (véase "Metals Handbook Volumen 2, 10ª edición, ASM P217, 218). Por otro lado, experimentos con las aleaciones de la presente invención muestran que la fase β no contribuye a la trabajabilidad, sino que en realidad reduce la trabajabilidad de una manera inesperada por lo demás. Tal como resulta, la fase β compensa la eficacia de las fases κ y γ al mejorar la trabajabilidad en una base de aproximadamente 1:1. Por tanto, para las aleaciones de la presente invención, la fase β en la construcción metálica es indeseable porque degrada la trabajabilidad. Además, la fase β es además indeseable porque disminuye la resistencia a la corrosión de las aleaciones.

Por tanto, otro objetivo de las aleaciones de cobre de la presente invención es limitar la cantidad de fase β en la matriz α de las construcciones metálicas. Se desea limitar la fase β al 5% o menos del área de fase total porque la fase β no contribuye ni a la trabajabilidad ni a la capacidad de trabajo en frío de la aleación de cobre. Preferiblemente, la fase β es cero en la construcción metálica de la presente invención, pero es aceptable tener la fase β contribuyendo hasta el 5% del área de fase total.

En la mejora de la trabajabilidad, el efecto de la fase μ es minoritario y es de tan sólo el 30% del de las fases κ y γ . Por tanto, es deseable limitar la fase μ hasta no más del 20%, o preferiblemente no más del 10%:

La trabajabilidad también mejora con Pb creciente tal como se muestra en la figura 7, que ilustra el rendimiento de virutas arqueadas (\odot), virutas rectangulares cortas (\circ) y virutas en forma de espiral cortas (Δ). La presente invención presenta una rápida mejora en la trabajabilidad a medida que aumenta el contenido en Pb debido a efectos sinérgicos de las partículas de Pb blandas y finamente dispersadas junto con las fases duras tales como κ , γ y μ . Cuando se cumplen los límites de fase anteriores, el contenido en Pb puede ser de tan sólo el 0,005% para una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial tal como se muestra en la figura 7. Sin embargo, los efectos mostrados en la figura 7 se producen debido a un efecto sinérgico con la construcción metálica, que, para la aleación 76(Cu) - 3,1 (Si) - Pb(%), proporciona una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial cuando se restringe según la relación mostrada en la fórmula 7 descrita a continuación. La figura 7 demuestra que cuando la cantidad de plomo, en peso, disminuye por debajo del 0,005%, la cantidad de fuerza de corte requerida aumenta generalmente de manera significativa, especialmente para las mayores velocidades de corte de $v = 120$ m/min y $v = 200$ m/min. Además, es probable que cambie también el carácter de las piezas cortadas.

Las aleaciones de cobre según la presente invención, tal como se ilustra en las tablas 1 y 2, se restringen adicionalmente a una construcción metálica tal como sigue: (1) una matriz de fase α de aproximadamente el 30% o más; (2) una fase β del 5% o menos; (3) una fase μ del 20% o menos, y por consiguiente (4) la relación mostrada en la fórmula (7) también:

$$(7) 18 - 500Pb \leq \kappa + \gamma + 0,3 \mu - \beta \leq 56 + 500Pb, (0,0005\% \leq Pb \leq 0,02\%.$$

En la fórmula 7, Pb es el tanto por ciento, en peso de plomo, y κ , γ , β y μ representan cada una el tanto por ciento de fases gamma, kappa, beta y mu, respectivamente, del área de fase total de la construcción metálica. La

fórmula 7 se aplica sólo cuando $0,005\% \leq Pb \leq 0,02\%$, en peso. Con esta restricción, según la presente aleación de la invención, las fases gamma y fase tienen el papel más importante en la contribución a una trabajabilidad mejorada. Sin embargo, la mera presencia de las fases gamma y/o kappa no es suficiente para obtener una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial. Con el fin de lograr tal trabajabilidad, es necesario determinar la proporción total de fases gamma y kappa en la estructura. Además, también debe tener en cuenta el impacto de otras fases en la construcción metálica, tales como fases mu y beta. Empíricamente, los presentes inventores han encontrado que la fase mu también es eficaz en la mejora de la trabajabilidad, pero su efecto es relativamente minoritario en comparación con los efectos de las fases kappa y gamma. Más específicamente, la contribución a una trabajabilidad mejorada por la fase mu es sólo de aproximadamente el 30% de la contribución a una trabajabilidad mejorada proporcionada por las by fases gamma y kappa. Con respecto a la presencia de fase beta sobre la trabajabilidad, los presentes inventores han encontrado que, empíricamente, el efecto negativo de fase beta compensa los efectos positivos de las fases gamma y/o kappa en una base 1:1. En otras palabras, la cantidad combinada de las fases gamma y kappa requerida para obtener un nivel determinado de trabajabilidad mejorada es igual que la cantidad de fase beta que se requiere para anular esta mejora.

Sin embargo, debe considerarse la adición extremadamente pequeña de plomo, que tiene la función de mejorar la trabajabilidad mediante un mecanismo diferente que las fases gamma y kappa, a las aleaciones de la presente invención para su contribución a la trabajabilidad. Cuando se factoriza el plomo en efectos sobre la trabajabilidad, puede ampliarse el intervalo de combinaciones de fases aceptables calculado mediante $\kappa + \gamma + 0,3 \mu - \beta$. Empíricamente, los presentes inventores han encontrado que la adición del 0,01 por ciento, en peso, de plomo a la aleación tiene el efecto equivalente de mejora de la trabajabilidad que el 5% de fase gamma o kappa, pero sólo cuando plomo está en el intervalo de $0,005\% \leq Pb \leq 0,02\%$, en peso. Por tanto, el intervalo de combinaciones de fases aceptables obtenido calculando $\kappa + \gamma + 0,3 \mu - \beta$ debe expandirse basándose en tal proporción. Por consiguiente, la cantidad de cada fase, concretamente fase gamma y kappa para la mejora, fase mu para la mejora pero de manera menos eficaz que gamma y kappa, y fase beta para la degradación, puede modificarse la trabajabilidad dentro de los límites de la fórmula de restricción (7) añadiendo o eliminando fases. En otras palabras, debe considerarse la fórmula (7) como un índice importante para determinar la trabajabilidad. Cuando el valor de $\kappa + \gamma + 0,3 \mu - \beta$ es menor que $18 - 500Pb$, entonces no puede obtenerse una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial. También es preferible cuando se satisface la relación $22 - 500Pb \leq \kappa + \gamma + 0,3\mu - \beta \leq 50 + 500Pb$.

Las figuras 5A, 5B, 6A y 6B ilustran el efecto general de la fórmula de restricción de fases 7 sobre la trabajabilidad de una aleación de Cu-Si-Zn. Las figuras 5A y 5B demuestran cómo se eleva la fuerza de corte necesaria para trabajar la aleación a medida que la fórmula de restricción $\kappa + \gamma + 0,3 \mu - \beta + 500Pb(\%)$ se aproxima o bien al límite inferior de 18, o bien la fórmula de restricción de $\kappa + \gamma + 0,3 \mu - \beta - 500Pb(\%)$ se aproxima al límite superior de 56, respectivamente. Al mismo tiempo, cuando se superan los límites inferior y superior de la fórmula de restricción, las virutas producidas cambian de carácter de las virutas arqueadas, virutas rectangulares cortas, y virutas en forma de espiral cortas deseables (es decir, \odot , \circ y Δ , respectivamente) a las virutas rectangulares de longitud media no deseables (es decir, \blacktriangle) a una velocidad de corte de 120 m/min. Asimismo, Figuras 6A y 6B demuestran cómo se eleva la fuerza de corte necesaria para trabajar la aleación a medida que la fórmula de restricción $\kappa + \gamma + 0,3 \mu - \beta + 500Pb(\%)$ se aproxima o bien al límite inferior, de 18, o bien la fórmula de restricción de $\kappa + \gamma + 0,3 \mu - \beta - 500Pb(\%)$ se aproxima al límite superior de 56, respectivamente. Sin embargo, esta elevación en fuerza de corte es más drástica a la mayor velocidad de corte de 200 m/min. Al mismo tiempo, cuando se superan los límites inferior y superior de la fórmula de restricción, las virutas producidas cambian de carácter de virutas arqueadas y virutas rectangulares cortas deseadas predominantemente (es decir, \odot y \circ , respectivamente) a virutas rectangulares de longitud media y virutas largas no deseadas predominantemente (es decir, \bullet y X, respectivamente) a una velocidad de corte de 200 m/min. Así que el aumento de la velocidad de corte también afecta al carácter de las virutas producidas durante el corte.

Se señala que aunque son posibles otras construcciones metálicas en las que las fases γ , κ y μ ascienden a más del 70% del área de fase total, el resultado es una aleación de cobre que no tiene ningún problema con la trabajabilidad, pero como resultado tiene una matriz de fase α menor que el 30% que da como resultado un grado tan escaso de capacidad de trabajo en frío como para hacer que la aleación sea de valor práctico reducido. El tanto por ciento de plomo y fase β puede incluirse junto con las fases γ , κ y μ en este valor máximo del 70%. Alternativamente, puede garantizarse que la fase α sea al menos el 30% del área de fase total. Por otro lado, si el cobre tiene menos del 5% del área de fase total compuesto por las fases γ , κ y μ entonces la trabajabilidad de la aleación de cobre se vuelve insatisfactoria. La fase β se minimiza hasta menos del 5% del área de fase total porque la fase β no contribuye ni a la trabajabilidad ni a la capacidad de trabajo en frío de la aleación de cobre. Además, dado que la fase α es la fase blanda para la construcción metálica, y por tanto tiene ductilidad, la trabajabilidad de la aleación de cobre se mejora enormemente añadiendo incluso una cantidad extremadamente pequeña de plomo. El resultado es que la construcción metálica de la presente invención utiliza la fase α como matriz en la que se dispersan las fases γ , κ y μ .

TRATAMIENTO TÉRMICO

Los expertos en la técnica se darán cuenta de que la estructura metálica no puede determinarse únicamente por la composición de los elementos constituyentes de la aleación. En su lugar, la estructura metálica

también depende de las diversas condiciones, tales como temperatura y presión, usadas para formar la aleación. Por ejemplo, la estructura metálica de aleación obtenida mediante enfriamiento brusco tras la colada, extrusión y glaseado es enormemente diferente de la estructura metálica de aleación obtenida mediante enfriamiento lento, y en la mayoría de los casos, contendría una gran cantidad de fase beta. Por tanto, según las octavas aleaciones de la invención de la presente invención, el tratamiento térmico debe realizarse durante de 20 minutos a 6 horas a de 460°C a 600°C con el fin de convertir fase beta en las fases gamma y/o kappa o para mejorar la dispersión de las fases gamma y/o kappa en casos en los que la fabricación de la aleación requiere enfriamiento brusco y en los que la aleación producida tiene las fases gamma y/o kappa que no están dispersas de manera deseable en la estructura metálica. Empleando el tratamiento térmico mencionado anteriormente, pueden obtenerse aleaciones con mejor trabajabilidad satisfactoria a escala industrial reduciendo la cantidad de fase beta y dispersando las fases gamma y/o kappa.

COMPARACIÓN DE LAS ALEACIONES DE LA INVENCION CON ALEACIONES QUE NO SON DE LA INVENCION

Los resultados recopilados en la tabla 1 se describirán en primer lugar. Todas las aleaciones recopiladas en la tabla 1 se encuentran dentro del alcance de la primera aleación de la invención excepto para las aleaciones de comparación n.^{os} 1, 4, 5, 6, 7, 8B, 9, 13, 14, 17A, 18, 19, 20, 21, 22 y 23. Las aleaciones n.^{os} 1A, 1B, 2, 3, 11, 24, 25 y 26 se encuentran todas dentro del alcance de las primeras aleaciones de la invención y dentro de una o más de las aleaciones de la invención cuarta a undécima limitadas adicionales. Las aleaciones restantes recopiladas en la tabla 1 se proporcionan para demostrar diversos resultados cuando no se cumplen las relaciones de fases de la fórmula (7) o si no se cumple alguna otra limitación de las aleaciones de la invención cuarta a undécima. Para el fin de interpretar los resultados de trabajabilidad, según la presente invención, se logra una trabajabilidad excelente cuando las virutas producidas en los cuatro ensayos de corte (es decir, corte con torno a 60, 120 y 200 m/min. y corte con barrena a 80 m/min) son o bien de forma acicular como en la figura 1A, o bien de forma de arco como en la figura 1B, o bien de forma rectangular corta (es decir, longitud < 25 mm) tal como se muestra en la figura 1C. Sin embargo, se logra una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial cuando las virutas producidas en los cuatro ensayos de corte (es decir, corte con torno a 60, 120 y 200 m/min y corte con barrena a 80 m/min) son o bien de forma acicular como en la figura 1A, o bien de forma de arco como en la figura 1B, o bien de forma rectangular corta (es decir, longitud < 25 mm) tal como se muestra en la figura 1C, o bien espirales cortas con de 1 a 3 enrollamientos tal como se muestra en la figura 1F. Por otro lado, la trabajabilidad no es satisfactoria a escala industrial cuando, para cualquiera de los cuatro ensayos de corte (es decir, corte con torno a 60, 120 y 200 m/min y corte con barrena a 80 m/min), las virutas producidas son o bien de forma rectangular intermedia (es decir, longitud de 25 mm a 75 mm) tal como se muestra en la figura 1D, o bien virutas largas (es decir, longitud > 75 mm) tal como se muestra en la figura 1E, o bien espirales largas con > 3 enrollamientos tal como se muestra en la figura 1G.

Por ejemplo, las primeras aleaciones de la invención ("PAI") n.^{os} 1A y 1B tienen la misma composición, incluyen una construcción metálica con una matriz de fase α y tanto fase γ como fase κ , sin fase β . La diferencia entre estas aleaciones es que PAI 1A se extruyó y PAI 1B se coló. Las PAI n.^{os} 1A y 1B demuestran respectivamente una buena resistencia a la tracción de 517 y 416 N/mm², y una trabajabilidad excelente tal como se demuestra mediante la producción de virutas arqueadas o virutas rectangulares cortas deseables durante el corte con torno y el corte con barrena. Además, la fuerza de corte requerida para trabajar PAI 1A y PAI 1B es razonable (es decir, de aproximadamente 105 a 119 N). Por otro lado, la aleación de comparación ("AC") n.^o 1 es ligeramente diferente en composición con respecto a PAI 1A y PAI 1B, que tiene el 0,002 por ciento de plomo, en peso, que da como resultado un cambio en la naturaleza de las virutas producidas a mayores velocidades de corte (es decir, 80, 120 y 200 m/min) a virutas en forma de espiral cortas. Por tanto, al disminuir ligeramente el contenido en plomo con respecto al de la PAI n.^o 1A al contenido en AC n.^o 1, la trabajabilidad de una aleación puede degradarse de excelente a meramente satisfactoria a escala industrial.

Se prepararon las PAI n.^{os} 2 y 3 en formas extruidas y coladas. Las dos formas manifiestan características similares excepto que la resistencia a la tracción es sustancialmente mayor en las muestras extruidas. Tanto la PAI n.^o 2 como la PAI n.^o 3 produjeron o bien virutas arqueadas o bien virutas rectangulares cortas durante condiciones de corte con barrena y torno industriales tras aplicación de una fuerza de corte razonable. Por tanto, las PAI n.^{os} 2 y 3 manifiestan características de trabajabilidad excelentes. Las PAI n.^{os} 1A, 1B, 2 y 3 también demostraron una buena resistencia a la corrosión (es decir, la máxima profundidad de corrosión era de 140-160 μ m). Se sometió a ensayo sólo la PAI n.^o 2 para determinar la resistencia a la corrosión por erosión, que era buena a una pérdida de peso de 60 mg. La capacidad de lixiviación de plomo también era de manera deseable baja para las PAI n.^{os} 1A, 2 y 3, con lixiviados de plomo que oscilaban entre 0,001 y 0,006, g, mg/l, de plomo respectivamente. La PAI n.^o 11 es otra primera aleación de la invención con una trabajabilidad excelente (es decir, produce virutas o bien en forma de arco, forma acicular, o bien forma de chapa).

Las AC n.^{os} 4 y 5 demuestran el efecto de aumentar el plomo en la capacidad de lixiviación de plomo de una aleación colada. Las AC n.^{os} 4 y 5 incluyeron el 0,28 y el 0,55 por ciento de plomo, en peso, respectivamente, y el lixiviado de plomo para estas aleaciones era de 0,015 y 0,026 g, mg/l, de plomo, respectivamente, que era aproximadamente de 2,5 a 26 veces mayor que para las aleaciones de bajo contenido en plomo preparadas según la primera aleación de la invención. Por otro lado, la AC n.^o 6, extruida a 750°C demuestra el efecto sobre la

trabajabilidad de la disminución del tanto por ciento de plomo, en peso, en aleaciones de Cu-Si-Zn. Con el plomo inferior al 0,005, por ciento, en peso, se requiere a menudo un aumento de las fuerzas de corte y las virutas producidas se vuelven de manera no deseable virutas largas rectangulares de entre 25-75 mm o virutas espirales con más de tres enrollamientos. En otras palabras, la trabajabilidad de la AC n.º 6 no es satisfactoria a escala industrial.

La aleación comparativa n.º 7 demuestra que la trabajabilidad depende del contenido elemental de una aleación y de la construcción de fases metálicas. Por tanto, según la relación de limitación $18 - 500Pb \leq \kappa + \gamma + 0,3 \mu - \beta \leq 56 + 500Pb$ se emplea para identificar selectivamente aleaciones con una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial. Tal como resulta evidente a partir de la tabla 1, la PAI n.º 7 no se encuentra dentro del alcance de la invención.

La PAI n.º 8 demuestra los efectos que pueden tener los métodos de fabricación empleados sobre las características de trabajabilidad de una aleación metálica de la presente invención. Específicamente, la PAI n.º 8 se proporciona en formas extruidas y coladas, incluyendo una forma extruida a 750°C, una forma extruida a 650°C, una forma colada y una forma colada sometida posteriormente a tratamiento térmico a 550°C durante 50 minutos. Tal como puede observarse a partir de estas cuatro formas de la PAI n.º 8, la presencia creciente de fase β tiene un efecto perjudicial sobre la trabajabilidad. En particular, la forma colada tiene la trabajabilidad menos deseable y un 4% de fase β , mientras que las formas extruidas tienen la menor cantidad de fase β y una trabajabilidad excelente. según la octava aleación de la invención, cuando se somete la forma colada de la PAI n.º 8 a tratamiento térmico (por ejemplo, 550°C durante 50 minutos en este ejemplo), se convierte la fase β de modo que aumenta el porcentaje de las fases $\gamma + \kappa$. Con este aumento en el porcentaje de la fase $\gamma + \kappa$ se logra una trabajabilidad mejorada (es decir, disminuye la fuerza de corte requerida, y las virutas producidas mediante el corte cambian de virutas rectangulares largas y de longitud media a virutas arqueadas o virutas rectangulares cortas tal como se demuestra mediante la tabla 1). Por tanto, la forma colada tratada térmicamente de la PAI n.º 8 tiene una trabajabilidad excelente.

La AC n.º 9 y la PAI n.º 10 demuestran el efecto del plomo en una aleación extruida que tiene una matriz de fase α y fases γ , κ y μ . En particular, se proporciona la PAI n.º 10 en cuatro formas, una forma extruida a 750°C, una forma extruida a 750°C que posteriormente se sometió a tratamiento térmico a 490°C durante 100 min., una forma extruida a 650°C y una forma colada. Tal como se observa a partir de la tabla 1, la AC n.º 9 y la forma de la PAI n.º 10 extruida a 750°C tienen características de corte similares. Por otro lado, las formas de la PAI n.º 10 o bien extruidas a 650°C o bien coladas tienen una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial, produciendo o bien virutas arqueadas o bien virutas rectangulares cortas durante todo la serie de ensayos de corte. También se muestra que sometiendo la forma de la PAI n.º 10 extruida a 750°C a un tratamiento térmico, según la presente invención, resulta una octava aleación de la invención que tiene una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial.

Las AC n.ºs 13 y 14 demuestran la importancia de la relación $61 - 50Pb \leq X - 4Y \leq 66 + 50Pb$ entre los porcentajes de plomo, cobre y silicio para las primeras aleaciones de la invención. Las AC n.ºs 13 y 14 no cumplen esta limitación, y no son aleaciones que se encuentran dentro del alcance de la presente invención. La trabajabilidad de las AC n.ºs 13 y 14 no es satisfactoria a escala industrial.

La PAI n.º 15, cuando se cuele, es una aleación según la presente invención con una trabajabilidad excelente. Sin embargo, esta realización demuestra que las formas extruidas de esta aleación, cuando se forman mediante extrusión a 750°C y 650°C, manifiestan características de trabajabilidad sustancialmente diferentes a mayores velocidades de corte (es decir, 80, 120 y 200 m/min). Tal como se muestra en la tabla 1, las formas extruidas de esta aleación tienen una construcción metálica que no satisface la relación $18 - 500Pb \leq \kappa + \gamma + 0,3 \mu - \beta \leq 56 + 500Pb$. Por consiguiente, aunque las tres formas de la PAI n.º 15 son primeras aleaciones de la invención, sólo la forma colada tiene una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial. La forma colada de la PAI n.º 15 es también una undécima aleación de la invención.

Las PAI n.ºs 16 y 17 son primeras aleaciones de la invención extruidas que tienen una trabajabilidad excelente. La aleación comparativa n.º 17A tiene la misma composición elemental que la PAI n.º 17, pero se ha extruido a una temperatura menor. En la realización de la PAI n.º 17^a, hay una cantidad excesiva de fase μ (es decir, $m > 20\%$) que no es satisfactoria a escala industrial. Por tanto, las PAI n.ºs 17 y 17A enfatizan de nuevo que las aleaciones que tienen la misma composición elemental pueden tener una construcción metálica sustancialmente diferente y características de trabajabilidad sustancialmente diferentes.

Las AC n.ºs 18 a 23 son todas aleaciones extruidas a 750°C que tienen características de trabajabilidad excepcionalmente escasas y requieren fuerzas de corte relativamente altas (es decir, 130-195 N) para su corte. La AC n.º 18 es una aleación que no satisface la relación $61 - 50Pb \leq X - 4Y \leq 66 + 50Pb$, y también tiene una construcción metálica de fase α pura. Las AC n.ºs 19 y 21 también tienen construcciones metálicas monofásicas que consisten en la fase α , aunque la AC n.º 19 tiene demasiado poco silicio y la AC n.º 21 tiene demasiado cobre en comparación con la composición elemental de las primeras aleaciones de la invención. Tal como se mencionó, se espera que las aleaciones que tienen una construcción metálica de fase α única tengan una trabajabilidad no aceptable a escala industrial. Las AC n.ºs 20 y 23 manifiestan una fase β relativamente grande (es decir, $\beta > 5\%$), que degrada la trabajabilidad. La AC n.º 22 tiene una cantidad excesiva de cobre, y su fase α es sólo el 20% de la

construcción metálica, que son probablemente los motivos para la trabajabilidad insatisfactoria a escala industrial de esta aleación.

Las PAI n.^{os} 24 a 26 tienen cada una una trabajabilidad excelente según las primeras aleaciones de la invención de la presente invención. Se proporciona la PAI n.^o 27 para mostrar que una composición elemental aceptable por lo demás puede tener una trabajabilidad insatisfactoria a escala industrial cuando la cantidad de hierro contaminante presente es mayor que el 0,5%, en peso, de la aleación metálica.

RESULTADOS EN LA TABLA 2

La tabla 2 es una recopilación de las aleaciones segunda y tercera de la invención, y aleaciones de comparación relevantes. Más específicamente, las aleaciones n.^{os} 2, 3, 8, 10, 11, 14 y 14B se encuentran todas dentro del alcance de la segunda aleación de la invención. Las aleaciones n.^{os} 15, 16, 17, 18, 19, 22 y 24 se encuentran todas dentro del alcance de la tercera aleación de la invención. Las aleaciones n.^{os} 1, 4, 5, 6, 7, 9, 12, 13, 20, 21, 23, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 son más aleaciones de comparación y no se encuentran dentro del alcance de la presente invención. Cabe destacar que, la aleación n.^o 25 corresponde a la aleación de la técnica anterior JIS: C3604; CDA: C36000; la aleación n.^o 26 corresponde a la aleación de la técnica anterior JIS: C3771, CDA: C37700; la aleación n.^o 27 corresponde a la aleación de la técnica anterior JIS: CAC802, CDA: C87500; la aleación n.^o 28 corresponde a la aleación de la técnica anterior JIS: CAC203, CDA: C85700; la aleación n.^o 29 corresponde a la aleación de la técnica anterior JIS: CAC406, CDA: C83600; y la aleación n.^o 30 corresponde a la aleación de la técnica anterior JIS: C2800, CDA: C2800.

Tal como se muestra mediante la tabla 2, las segundas aleaciones de la invención ("SAI") n.^{os} 2 y 3 contienen fósforo y se proporcionan en formas extruidas y coladas. La SAI n.^o 3 incluye adicionalmente antimonio. Las SAI n.^{os} 2 y 3 incluyen una construcción metálica con una matriz de fase α y ambas fases γ y κ , sin fase β . Las SAI n.^{os} 2 y 3 demuestran respectivamente una buena resistencia a la tracción de aproximadamente 525 N/mm² para la forma extruida y aproximadamente 426 N/mm² para la forma colada, y una trabajabilidad excelente tal como se demuestra mediante la producción de virutas arqueadas o virutas rectangulares cortas deseables durante el corte con torno y el corte con barrena. Además, la fuerza de corte requerida para trabajar las SAI n.^{os} 2 y 3 es razonable (es decir, de aproximadamente 98 a 112 N). Por otro lado, la aleación de comparación ("AC") n.^o 1 es ligeramente diferente en composición a la SAI n.^o 2, que tiene el 0,002 por ciento de plomo, en peso, que da como resultado un cambio en la naturaleza de las virutas producidas a mayores velocidades de corte con trono (es decir, 120 y 200 m/min) a virutas en forma de espiral cortas. Por tanto, al disminuir ligeramente el contenido en plomo con respecto al de SAI n.^o 2 al contenido en la AC n.^o 1, la trabajabilidad de una aleación puede degradarse de excelente a meramente satisfactoria a escala industrial.

Se prepararon las SAI n.^{os} 2 y 3 en formas extruidas y coladas. Las dos formas manifiestan características similares excepto que la resistencia a la tracción es sustancialmente mayor en las muestras extruidas. Tanto la SAI n.^o 2 como la SAI n.^o 3 produjeron o bien virutas arqueadas o bien virutas rectangulares cortas durante condiciones de corte con barrena y torno industriales tras la aplicación de una fuerza de corte razonable. Por tanto, las SAI n.^{os} 2 y 3 manifiestan características de trabajabilidad excelentes. Las SAI n.^{os} 2 y 3 también demostraron una buena resistencia a la corrosión (es decir, la máxima profundidad de corrosión era < 10 mm) como resultado de la adición de fósforo. Se sometió a ensayo sólo la SAI n.^o 2 para determinar la resistencia a la corrosión por erosión, que era buena a una pérdida de peso de 50 a 55 mg. La capacidad de lixiviación de plomo también era baja de manera deseable para las SAI n.^{os} 2 y 3, con lixiviados de plomo que oscilaban entre < 0,001 y 0,005, g, mg/l, de plomo respectivamente. Las SAI n.^{os} 11, 14 y 14B son otras segundas aleaciones de la invención que contienen fósforo y que demuestran una trabajabilidad excelente (es decir, produce o bien virutas en forma de arco, forma acicular, o bien forma de chapa), buena resistencia a la tracción y buena resistencia a la corrosión.

Las AC n.^{os} 4 y 5 demuestran el efecto de aumentar el plomo sobre la capacidad de lixiviación de plomo de una aleación colada. Las AC n.^{os} 4 y 5 incluyeron el 0,29 y el 0,048 por ciento de plomo, en peso, respectivamente, y el lixiviado de plomo para estas aleaciones era de 0,015 y 0,023 g, mg/l, de plomo, respectivamente, que era sustancialmente mayor que para las aleaciones de bajo contenido en plomo preparadas según la segunda aleación de la invención. Se observa que la AC n.^o 28, que corresponde a JIS: CAC203, CDA: C85700, es una aleación colada de la técnica anterior que contiene fósforo y plomo, que tiene una trabajabilidad excelente, y una buena resistencia a la corrosión. Sin embargo, tal como se recopila en la tabla 2, la resistencia a la tracción de esta aleación es aproximadamente la mitad de la resistencia a la tracción de las segundas aleaciones de la invención de la presente invención y el lixiviado de plomo de la aleación de la técnica anterior contiene aproximadamente 78 veces más plomo que el lixiviado de una segunda aleación de la invención de la presente invención. Por otro lado, la AC n.^o 6, extruida a 750°C demuestra el efecto sobre la trabajabilidad de disminuir el tanto por ciento de plomo, en peso, en aleaciones de Cu-Si-Zn. Con el plomo inferior al 0,005, por ciento, en peso, se requiere a menudo un aumento de las fuerzas de corte y las virutas producidas se vuelven de manera no deseable virutas rectangulares largas de entre 25-75 mm o virutas espirales con más de tres enrollamientos. En otras palabras, la trabajabilidad de la AC n.^o 6 no es satisfactoria a escala industrial.

La SAI n.º 7 demuestra que no todas las segundas aleaciones de la invención tendrán una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial. Tal como se explicó anteriormente, la trabajabilidad depende del contenido elemental de una aleación y de la construcción de fases metálicas. Por tanto, según la undécima aleación de la invención, la relación de limitación adicional $18 - 500Pb \leq \kappa + \gamma + 0,3 m - \beta \leq 56 + 500Pb$ se emplea para identificar selectivamente aleaciones adicionales con una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial. Tal como resulta evidente a partir de la tabla 2, la SAI n.º 7 no se encuentra dentro del alcance de la invención.

La SAI n.º 8 demuestra los efectos que pueden tener los métodos de fabricación empleados sobre las características de trabajabilidad de una aleación metálica de la presente invención. Específicamente, se proporciona la SAI n.º 8 en formas extruidas y coladas, incluyendo una forma extruida a 750°C, una forma extruida a 650°C y una forma colada. Tal como puede observarse a partir de estas tres formas de SAI n.º 8, la presencia creciente de la fase β tiene un efecto perjudicial sobre la trabajabilidad. En particular, la forma colada tiene la trabajabilidad menos deseable y un 5% de fase β , mientras que las formas extruidas tienen la menor cantidad de fase β y una trabajabilidad excelente. Por tanto, el que se cuele o se extruya una aleación puede tener un efecto sobre si la aleación tendrá una trabajabilidad excelente o no cumple los requerimientos de trabajabilidad satisfactoria a escala industrial.

Las AC n.º 9 y SAI n.º 10 demuestran el efecto del plomo en una aleación extruida que tiene una matriz de fase α y fases γ , κ y μ . En particular, se proporciona la SAI n.º 10 en cuatro formas, una forma extruida a 750°C, una forma extruida a 750°C que posteriormente se sometió a tratamiento térmico a 580°C durante 20 min., una forma extruida a 650°C y una forma colada. Tal como se observa a partir de la tabla 2, la AC n.º 9 y la forma de la SAI n.º 10 extruida a 750°C tienen características de corte similares. Por otro lado, las formas de la SAI n.º 10 o bien extruida a 650°C o bien colada tienen una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial, produciendo o bien virutas arqueadas o bien virutas rectangulares cortas durante toda la serie de ensayos de corte. También se muestra que sometiendo la forma de la SAI n.º 10 extruida a 750°C a un tratamiento térmico, según la presente invención, resulta una octava aleación de la invención que tiene una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial.

Las AC n.ºs 12 y 13 demuestran la importancia de la relación $61 - 50Pb \leq X - 4Y + aZ \leq 66 + 50Pb$ entre los porcentajes de plomo, cobre, silicio y los demás elementos seleccionados para las segundas aleaciones de la invención. Las AC n.ºs 13 y 14 no cumplen con esta limitación, y no son aleaciones que se encuentran dentro del alcance de la presente invención. La trabajabilidad de las AC n.ºs 13 y 14 no es satisfactoria a escala industrial.

Tal como se muestra mediante la tabla 2, las terceras aleaciones de la invención ("TAI") n.ºs 15, 16, 17, 18 y 19 contienen manganeso o níquel y se proporcionan en forma extruida. Estas realizaciones ilustrativas, según la tercera aleación de la invención incluyen una construcción metálica con una matriz de fase α y ambas fases γ y κ , sin fase β . Estas aleaciones tienden a tener una resistencia a la tracción aumentada con respecto a las segundas aleaciones de la invención. Las TAI n.ºs 15, 16, 17, 18 y 19 también demuestran una trabajabilidad excelente tal como se demuestra mediante la producción de virutas arqueadas o virutas rectangulares cortas deseables durante el corte con torno y el corte con barrena. Además, la fuerza de corte requerida para trabajar las TAI n.ºs 15, 16, 17, 18 y 19 es razonable (es decir, de aproximadamente 112 a 129 N). Por otro lado, la AC n.º 20 es una aleación que no satisface la relación de la fórmula (1). Por consiguiente, la trabajabilidad de esta aleación no es satisfactoria a escala industrial y la aleación produce virutas espirales no deseadas que tienen 3 o más enrollamientos.

Las TAI n.ºs 21, 22, 23 y 24 demuestran que no todas las terceras aleaciones de la invención tienen una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial. Por ejemplo, las TAI n.ºs 21 y 23 tienen una cantidad excesiva de fase β (es decir, la fase β es el 10%, que es $> 5\%$ de fase β). Durante el corte, la TAI n.º 21 produce recortes espirales no deseados con más de 3 enrollamientos. La TAI n.º 23 produce recortes espirales de manera no deseable con más de 3 enrollamientos durante el corte con barrena, y virutas largas de manera no deseable durante el corte con torno a mayores velocidades. Sin embargo, la TAI n.º 24 corresponde a una forma tratada térmicamente de la TAI n.º 23. La TAI n.º 24 tiene sólo el 3% de fase β debido a la conversión de fase β en las fases γ y/o κ durante el tratamiento térmico. La TAI n.º 24 tiene una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial excelente. La TAI n.º 22 incluye una pequeña cantidad de hierro ($Fe = 0,35$, por ciento, en peso) y produce virutas de chapa deseables durante el corte con torno, pero virutas rectangulares de longitud media no deseables durante el corte con barrena. Por tanto, la TAI n.º 22 presenta UNA trabajabilidad que no es satisfactoria a escala industrial.

La AC n.ºs 25 a 30 demuestran diversas desventajas de LAS aleaciones de Cu-Zn de la técnica anterior. Las AC n.ºs 25, 26 y 28 no tienen silicio, ni fases γ y/o κ , y una cantidad relativamente alta de plomo. Aunque estas aleaciones metálicas tienen una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial, se logra mediante la cantidad relativamente alta de plomo. Como resultado, la capacidad de lixiviación de plomo es alta con lixiviados de plomo de 0,35, 0,29 y 0,39 mg/l, respectivamente, lo que es inaceptablemente alto para la aplicación industrial a sistemas para proporcionar agua potable, por ejemplo. La AC n.º 27, por otro lado, tiene una cantidad excesiva de cobre y una construcción metálica que comprende el 85% de fase κ . Esto significa que hay sólo aproximadamente el 15% de fase alfa, de modo que la AC n.º 27 no tiene una fase alfa matriz. Tal como puede observarse a partir de la tabla 2, la AC n.º 27 no tiene una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial. La AC n.º 29 es una aleación con bajas cantidades de cobre, altas cantidades de zinc y plomo. Aunque la AC n.º 29 demuestra la disminución de las características de trabajabilidad a medida que aumenta la velocidad de corte con torno (es decir, desde 60 hasta 120

5 hasta 200 m/min, las virutas producidas cambian de virutas arqueadas a forma de chapa a rectangulares intermedias). Además de no tener la AC n.º 29 una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial, también tiene una alta capacidad de lixiviación de plomo con lixiviado de plomo de 0,21 mg/l. Por último, la AC n.º 30 es una aleación de Cu-Zn que no tiene silicio y sólo bajas cantidades de plomo (es decir, el plomo es el 0,01, por ciento, en peso). Esta aleación, sin embargo, tiene una fase alfa matriz con el 10% de fase β dispersa en la misma. No hay fases γ y/o κ . Puesto que la AC n.º 30 no tiene ni altas cantidades de plomo, ni fases γ y/o κ , es una aleación con una trabajabilidad industrial extremadamente escasa.

10 Las AC n.ºs 25 a 30 demuestran los efectos multifactoriales, complejos de la composición elemental, el contenido en plomo y la construcción metálica sobre la trabajabilidad de aleaciones de Cu-Zn. Aunque altas cantidades de plomo pueden mejorar la trabajabilidad, conlleva el coste de alta capacidad de lixiviación de plomo. Por otro lado, las aleaciones de Cu-Zn con bajo contenido en plomo tienden a tener construcciones metálicas que no proporcionan una trabajabilidad satisfactoria a escala industrial. Por otro lado, las primeras aleaciones de la invención, las segundas aleaciones de la invención y las terceras aleaciones de la invención de la presente invención se aprovechan de un efecto sinérgico entre una cantidad relativamente pequeña de plomo (es decir, del 0,005 hasta pero menor que el 0,02 por ciento, en peso, de plomo), y la presencia de fases γ y/o κ potenciadoras de trabajabilidad en una matriz de fase alfa, para obtener aleaciones metálicas de Cu-Zn satisfactorias a escala industrial que son seguras para el medio ambiente debido a que no lixivian cantidades de plomo apreciables.

20 Aunque se ha descrito la presente invención con referencia a determinadas realizaciones preferidas, un experto habitual en la técnica reconocerá que pueden realizarse adiciones, supresiones, sustituciones, modificaciones y mejoras mientras que se permanece dentro del espíritu y alcance de la presente invención tal como se define mediante las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Aleación de cobre de fácil mecanización, que consiste en del 71,5 al 78,5 por ciento, en peso, de cobre; del 2,0 al 4,5 por ciento, en peso, de silicio; del 0,005 por ciento y hasta pero menor que el 0,02 por ciento, en peso, de plomo; y el porcentaje restante, en peso, de zinc e impurezas inevitables, en la que el tanto por ciento en peso de cobre y silicio en la aleación de cobre satisface la relación
- $$61 - 50Pb \leq X - 4Y + aZ \leq 66 + 50Pb,$$
- en la que
- Pb es el tanto por ciento, en peso, de plomo,
- X es el tanto por ciento, en peso, de cobre, e
- 10 Y es el tanto por ciento, en peso, de silicio, y en la que se satisfacen cada una de las siguientes relaciones adicionales:
- 30% \leq fase α del área de fase total de la aleación;
- 0% \leq fase $\beta \leq$ 5% del área de fase total de la aleación;
- 0% \leq fase $\mu \leq$ 20% del área de fase total de la aleación;
- 15 y
- 18-500(Pb)% \leq fase κ + fase γ + 0,3 (fase μ) - fase $\beta \leq$ 56+500 (Pb)% del área de fase total de la aleación.
2. Aleación de cobre de fácil mecanización, que consiste en del 71,5 al 78,5 por ciento, en peso, de cobre; del 2,0 al 4,5 por ciento, en peso, de silicio; el 0,005 por ciento y hasta pero menor que el 0,02 por ciento, en peso, de plomo; al menos un elemento seleccionado de entre el 0,01 y el 0,2 por ciento, en peso, de fósforo, el 0,02 y el 0,2 por ciento, en peso, de antimonio, el 0,02 y el 0,2 por ciento, en peso, de arsénico, el 0,1 y el 1,2 por ciento en peso, de estaño, y el 0,1 y el 2,0 por ciento, en peso, de aluminio; y el porcentaje restante, en peso, de zinc e impurezas inevitables, en la que el tanto por ciento en peso de cobre y silicio en la aleación de cobre satisface la relación
- $$61 - 50Pb \leq X - 4Y + aZ \leq 66 + 50Pb,$$
- en la que
- 25 Pb es el tanto por ciento, en peso, de plomo,
- X es el tanto por ciento, en peso, de cobre, e
- Y es el tanto por ciento, en peso, de silicio, y
- $$aZ = a_1Z_1 + a_2Z_2 + a_3Z_3 + \dots$$
- en la que Z_1, Z_2, Z_3 , etc. son tantos por ciento, en peso, de elementos seleccionados de entre fósforo, antimonio, arsénico, estaño y aluminio, y a_1, a_2, a_3 , etc. coeficientes determinados experimentalmente de los elementos seleccionados, en la que a es -3 cuando el elemento seleccionado es fósforo, a es 0 cuando el elemento seleccionado es antimonio, a es 0 cuando el elemento seleccionado es arsénico, a es -1 cuando el elemento seleccionado es estaño y a es -2 cuando el elemento seleccionado es aluminio, y en la que se satisfacen cada una de las siguientes relaciones adicionales:
- 35 30% \leq fase α del área de fase total de la aleación;
- 0% \leq fase $\beta \leq$ 5% del área de fase total de la aleación;
- 0% \leq fase $\mu \leq$ 20% del área de fase total de la aleación;
- y
- 18-500(Pb)% \leq fase κ + fase γ + 0,3 (fase μ) - fase $\beta \leq$ 56+500 (Pb)% del área de fase total de la aleación.
- 40 3. Aleación de cobre de fácil mecanización, que consiste en del 71,5 al 78,5 por ciento, en peso, de cobre; del 2,0 al 4,5 por ciento, en peso, de silicio; del 0,005 por ciento y hasta pero menor que el 0,02 por ciento, en peso, de plomo; al menos un elemento seleccionado de entre el 0,01 y el 0,2 por ciento, en peso, de fósforo, el 0,02 y el 0,2 por ciento, en peso, de antimonio, el 0,02 y el 0,15 por ciento, en peso, de arsénico, el 0,1 y el 1,2 por ciento, en peso, de estaño, y el 0,1 y el 2,0 por ciento, en peso, de aluminio; al menos un elemento seleccionado de entre el

0,3 y el 4 por ciento, en peso, de manganeso, y el 0,2 y el 3,0 por ciento, en peso, de níquel de modo que el tanto por ciento total, en peso, de manganeso y níquel esté entre el 0,3 y el 4,0 por ciento, en peso; y el porcentaje restante, en peso, de zinc e impurezas inevitables, en la que el tanto por ciento en peso de cobre y silicio en la aleación de cobre satisface la relación

$$5 \quad 61 - 50Pb \leq X - 4Y + aZ \leq 66 + 50Pb,$$

en la que

Pb es el tanto por ciento, en peso, de plomo,

X es el tanto por ciento, en peso, de cobre, e

Y es el tanto por ciento, en peso, de silicio, y

$$10 \quad aZ = a_1Z_1 + a_2Z_2 + a_3Z_3 + \dots$$

en la que Z_1, Z_2, Z_3 , etc. son tantos por ciento, en peso, de elementos seleccionados de entre fósforo, antimonio, arsénico, estaño, aluminio, manganeso y níquel, y a_1, a_2, a_3 , etc. coeficientes determinados experimentalmente de los elementos seleccionados, en la que a es -3 cuando el elemento seleccionado es fósforo, a es 0 cuando el elemento seleccionado es antimonio, a es -1 cuando el elemento seleccionado es estaño, a es -2 cuando el elemento seleccionado es aluminio, a es 2,5 cuando el elemento seleccionado es manganeso y a es 2,5 cuando el elemento seleccionado es níquel, y en la que se satisfacen cada una de las siguientes relaciones adicionales:

30% \leq fase α del área de fase total de la aleación;

0% \leq fase $\beta \leq$ 5% del área de fase total de la aleación;

$$20 \quad 0\% \leq \text{fase } \mu \leq 20\% \text{ del área de fase total de la aleación;}$$

y

18-500(Pb)% \leq fase κ + fase γ + 0,3 (fase μ) - fase $\beta \leq$ 56+500 (Pb)% del área de fase total de la aleación.

4. Aleación de cobre de fácil mecanización, que consiste en del 71,5 al 78,5 por ciento, en peso, de cobre; del 2,0 al 4,5 por ciento, en peso, de silicio; del 0,005 por ciento y hasta pero menor que el 0,02 por ciento, en peso, de plomo; al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en del 0,01 al 0,2 por ciento, en peso, de bismuto, del 0,03 al 0,2 por ciento, en peso, de telurio, y del 0,03 al 0,2 por ciento, en peso, de selenio; y el porcentaje restante, en peso, de zinc e impurezas inevitables, en la que el tanto por ciento en peso de cobre y silicio en la aleación de cobre satisface la relación

$$61 - 50Pb \leq X - 4Y + aZ \leq 66 + 50Pb,$$

30 en la que

Pb es el tanto por ciento, en peso, de plomo,

X es el tanto por ciento, en peso, de cobre, e

Y es el tanto por ciento, en peso, de silicio, y en la que se satisfacen cada una de las siguientes relaciones adicionales:

35 30% \leq fase α del área de fase total de la aleación;

0% \leq fase $\beta \leq$ 5% del área de fase total de la aleación;

0% \leq fase $\mu \leq$ 20% del área de fase total de la aleación; y

18-500(Pb)% \leq fase κ + fase γ + 0,3 (fase μ) - fase $\beta \leq$ 56+500(Pb)% del área de fase total de la aleación.

40 5. Aleación de cobre de fácil mecanización, que consiste en del 71,5 al 78,5 por ciento, en peso, de cobre; del 2,0 al 4,5 por ciento, en peso, de silicio; el 0,005 por ciento y hasta pero menor que el 0,02 por ciento, en peso, de plomo; al menos un elemento seleccionado de entre el 0,01 y el 0,2 por ciento, en peso, de fósforo, el 0,02 y el 0,2 por ciento, en peso, de antimonio, el 0,02 y el 0,2 por ciento, en peso, de arsénico, el 0,1 y el 1,2 por ciento en peso, de estaño, y el 0,1 y el 2,0 por ciento, en peso, de aluminio; al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en del 0,01 al 0,2 por ciento, en peso, de bismuto, del 0,03 al 0,2 por ciento, en peso, de telurio, y del 0,03 al 0,2 por ciento, en peso, de selenio; y el porcentaje restante, en peso, de zinc e impurezas inevitables, en la que el tanto por ciento en peso de cobre y silicio en la aleación de cobre satisface la relación

$$61 - 50Pb \leq X - 4Y + aZ \leq 66 + 50Pb,$$

en la que

Pb es el tanto por ciento, en peso, de plomo,

X es el tanto por ciento, en peso, de cobre, e

5 Y es el tanto por ciento, en peso, de silicio, y

$$aZ = a_1Z_1 + a_2Z_2 + a_3Z_3 + \dots$$

10 en la que Z_1, Z_2, Z_3 , etc. son tantos por ciento, en peso, de elementos seleccionados de entre fósforo, antimonio, arsénico, estaño y aluminio, y a_1, a_2, a_3 , etc. coeficientes determinados experimentalmente de los elementos seleccionados, en la que a es -3 cuando el elemento seleccionado es fósforo, a es 0 cuando el elemento seleccionado es antimonio, a es 0 cuando el elemento seleccionado es arsénico, a es -1 cuando el elemento seleccionado es estaño y a es -2 cuando el elemento seleccionado es aluminio, y en la que se satisfacen cada una de las siguientes relaciones adicionales:

$30\% \leq$ fase α del área de fase total de la aleación;

$0\% \leq$ fase $\beta \leq 5\%$ del área de fase total de la aleación;

15 $0\% \leq$ fase $\mu \leq 20\%$ del área de fase total de la aleación; y

$18-500(Pb)\% \leq$ fase $\kappa +$ fase $\gamma + 0,3$ (fase μ) - fase $\beta \leq 56+500$ (Pb)% del área de fase total de la aleación.

6. Aleación de cobre de fácil mecanización, que consiste en del 71,5 al 78,5 por ciento, en peso, de cobre; del 2,0 al 4,5 por ciento, en peso, de silicio; del 0,005 por ciento y hasta pero menor que el 0,02 por ciento, en peso, de plomo; al menos un elemento seleccionado de entre el 0,01 y el 0,2 por ciento, en peso, de fósforo, el 0,02 y el 0,2 por ciento, en peso, de antimonio, el 0,02 y el 0,15 por ciento, en peso, de arsénico, el 0,1 y el 1,2 por ciento, en peso, de estaño, y el 0,1 y el 2,0 por ciento, en peso, de aluminio; al menos un elemento seleccionado de entre el 0,3 y el 4 por ciento, en peso, de manganeso, y el 0,2 y el 3,0 por ciento, en peso, de níquel de modo que el tanto por ciento total, en peso, de manganeso y níquel esté entre el 0,3 y el 4,0 por ciento, en peso; al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en del 0,01 al 0,2 por ciento, en peso, de bismuto, del 0,03 al 0,2 por ciento, en peso, de telurio, y del 0,03 al 0,2 por ciento, en peso, de selenio; y el porcentaje restante, en peso, de zinc e impurezas inevitables, en la que el tanto por ciento en peso de cobre y silicio en la aleación de cobre satisface la relación

$$61 - 50Pb \leq X - 4Y + aZ \leq 66 + 50Pb,$$

en la que

30 Pb es el tanto por ciento, en peso, de plomo,

X es el tanto por ciento, en peso, de cobre, e

Y es el tanto por ciento, en peso, de silicio, y

$$aZ = a_1Z_1 + a_2Z_2 + a_3Z_3 + \dots$$

35 en la que Z_1, Z_2, Z_3 , etc. son tantos por ciento, en peso, de elementos seleccionados de entre fósforo, antimonio, arsénico, estaño, aluminio, manganeso y níquel, y a_1, a_2, a_3 , etc. coeficientes determinados experimentalmente de los elementos seleccionados, en la que a es -3 cuando el elemento seleccionado es fósforo, a es 0 cuando el elemento seleccionado es antimonio, a es 0 cuando el elemento seleccionado es arsénico, a es -1 cuando el elemento seleccionado es estaño, a es -2 cuando el elemento seleccionado es aluminio, a es 2,5 cuando el elemento seleccionado es manganeso y a es 2,5 cuando el elemento seleccionado es níquel, y en la que se satisfacen cada una de las siguientes relaciones adicionales:

$30\% \leq$ fase α del área de fase total de la aleación;

$0\% \leq$ fase $\beta \leq 5\%$ del área de fase total de la aleación;

$0\% \leq$ fase $\mu \leq 20\%$ del área de fase total de la aleación; y

$18-500(Pb)\% \leq$ fase $\kappa +$ fase $\gamma + 0,3$ (fase μ) - fase $\beta \leq 56+500$ (Pb)% del área de fase total de la aleación.

45 7. Aleación de cobre de fácil mecanización según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, no conteniendo la aleación más del 0,5 por ciento, en peso, de hierro como impureza.

8. Aleación de cobre de fácil mecanización según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, preparándose la aleación mediante un procedimiento que comprende la etapa de someter la aleación a un tratamiento térmico durante de 20 minutos a 6 horas a de 460°C a 600°C.
- 5 9. Aleación de cobre de fácil mecanización según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, incluyendo la aleación (a) una matriz que comprende una fase alfa, y (b) una o más fases seleccionadas del grupo que consiste en una fase gamma y una fase kappa.
10. Aleación de cobre de fácil mecanización según la reivindicación 9, en la que la una o más fases, seleccionadas del grupo que consiste en una fase gamma y una fase kappa, se dispersan uniformemente en la matriz.
- 10 11. Aleación de cobre de fácil mecanización según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en la que una probeta redonda, formada a partir de una varilla extruida o como una pieza colada de la aleación, cuando se corta en una superficie circunferencial en una condición en seco mediante una herramienta de carburo de tungsteno, sin un rompevirutas, a un ángulo de inclinación de -6 grados y a un radio de la punta de 0,4 mm, a una velocidad de corte de 60 a 200 m/min, una profundidad de corte de 1,0 mm, y una velocidad de alimentación de 0,11 mm/rev, produce virutas que tienen una o más formas seleccionadas del grupo que consiste en una forma de arco, una forma acicular y una forma de chapa.
- 15
- 20 12. Aleación de cobre de fácil mecanización según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en la que una probeta redonda, formada a partir de una varilla extruida o como una pieza colada de la aleación, cuando se perfora en una condición en seco por un barrena de calidad de acero, que tiene un diámetro de barrena de 10 mm y longitud de barrena de 53 mm, a un ángulo de hélice de 32 grados y un ángulo de la punta de 118 grados a una velocidad de corte de 80 m/min, una profundidad de perforación de 40 mm, y una velocidad de alimentación de 0,20 mm/rev, produce virutas que tienen una o más formas seleccionadas del grupo que consiste en una forma de arco y una forma acicular.

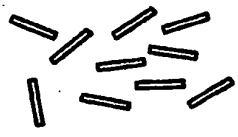


FIG. 1A



FIG. 1B



FIG. 1C

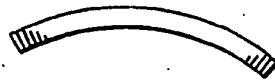


FIG. 1D

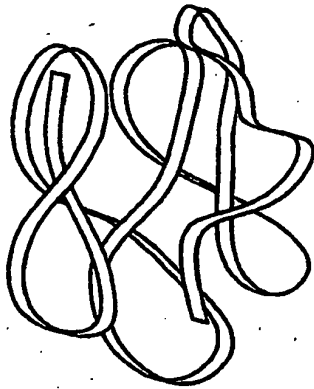


FIG. 1E



FIG. 1F

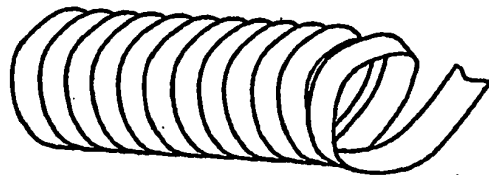


FIG. 1G

Fotografía de la estructura metálica (fases)

Primera aleación de la invención - aleación n.º 2 (extruida a 750 grados)

Composición; 76,1 de Cu - 3,1 de Si-Zn

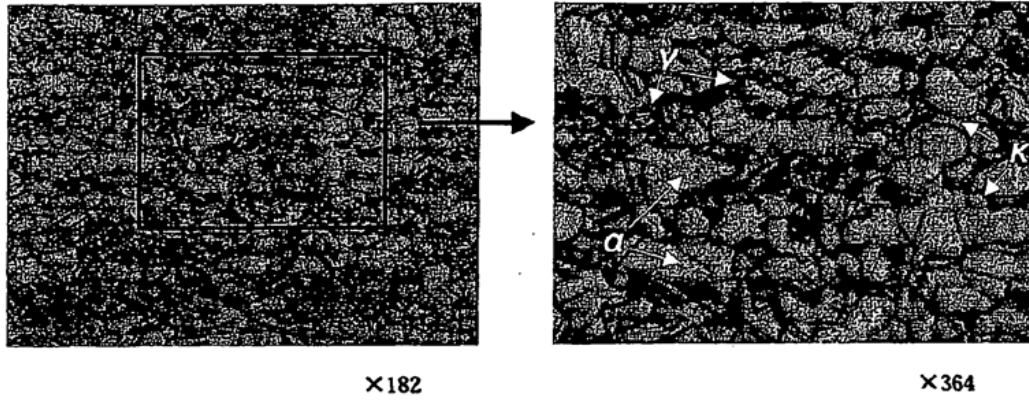


FIG. 2

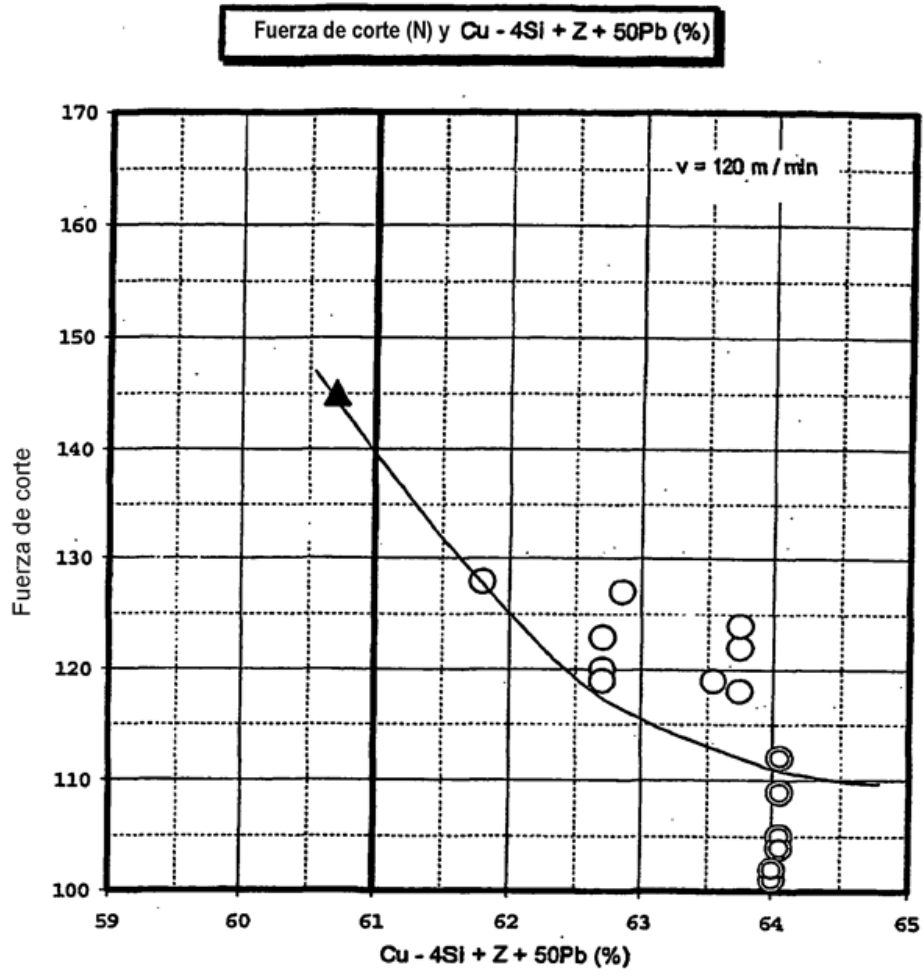


FIG. 3A

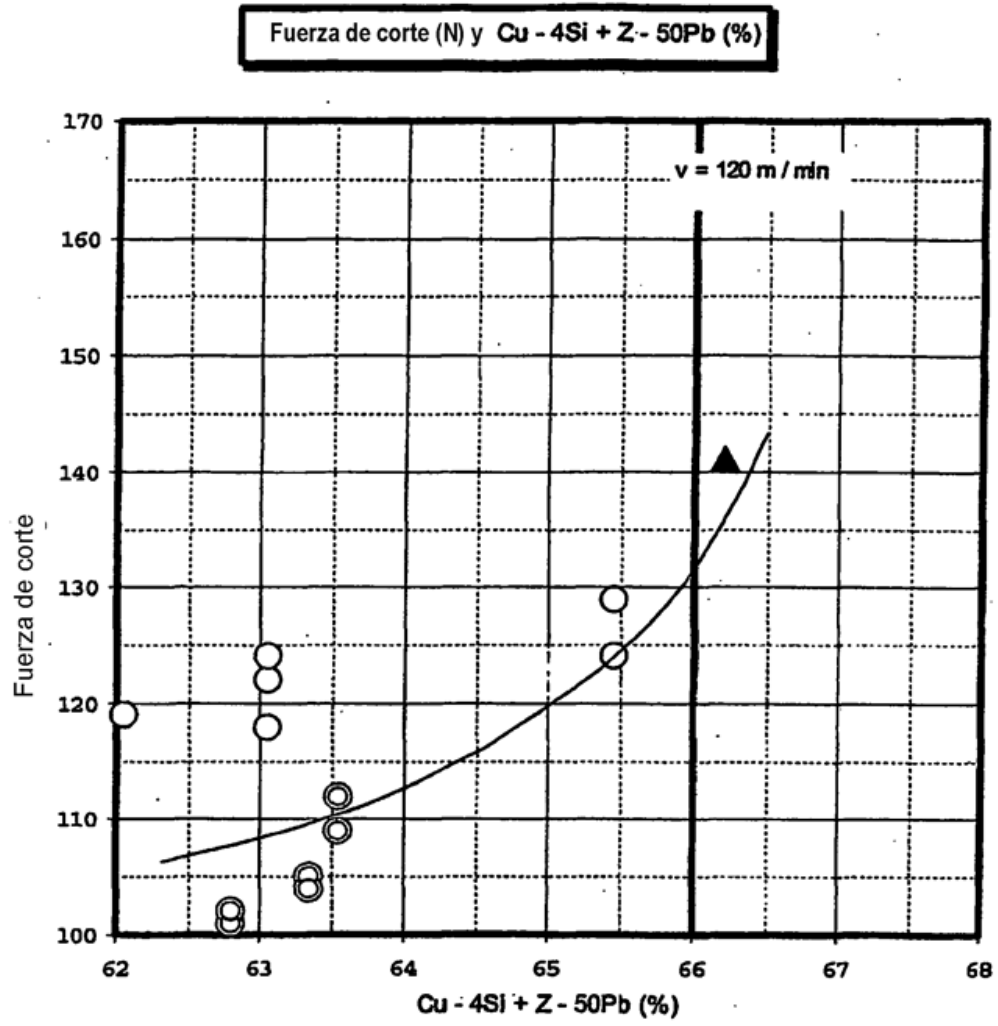


FIG. 3B

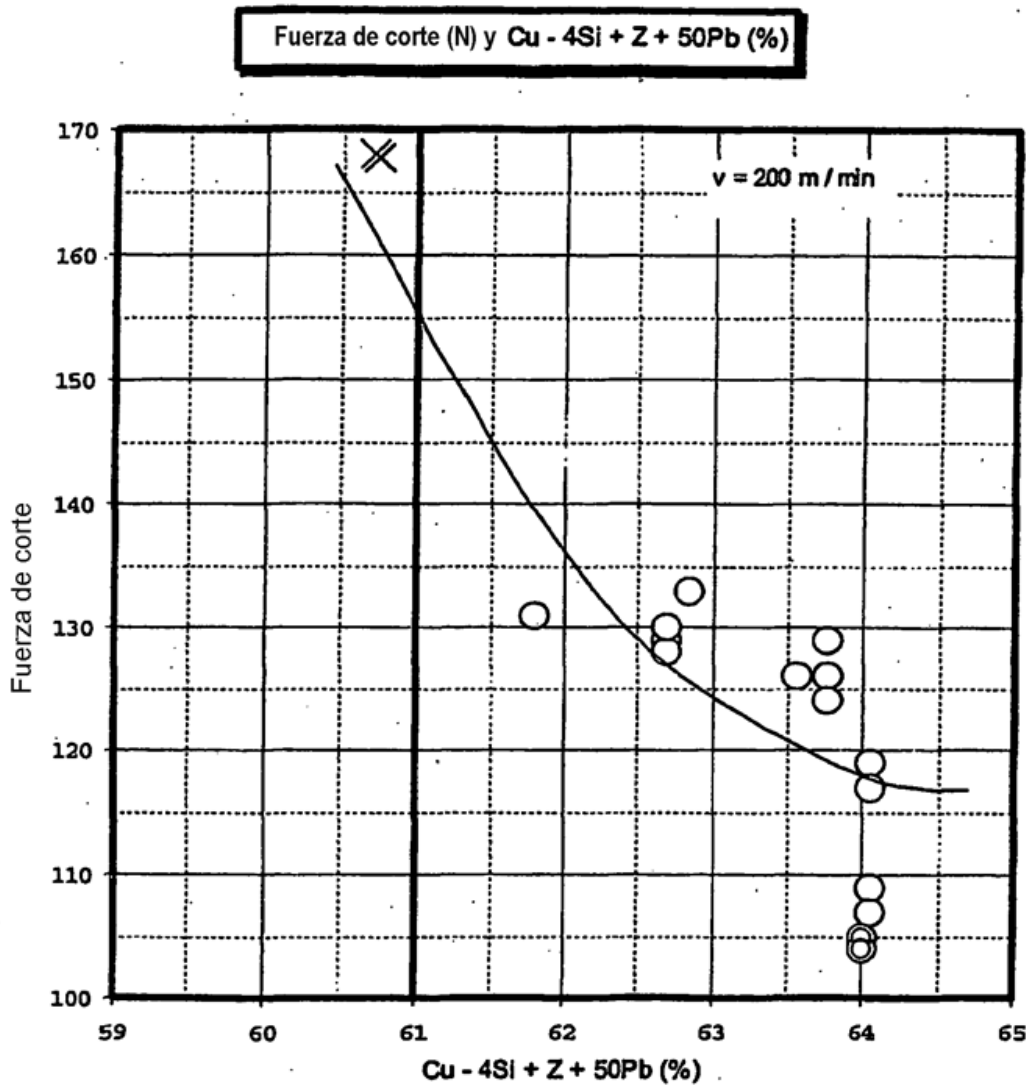


FIG. 4A

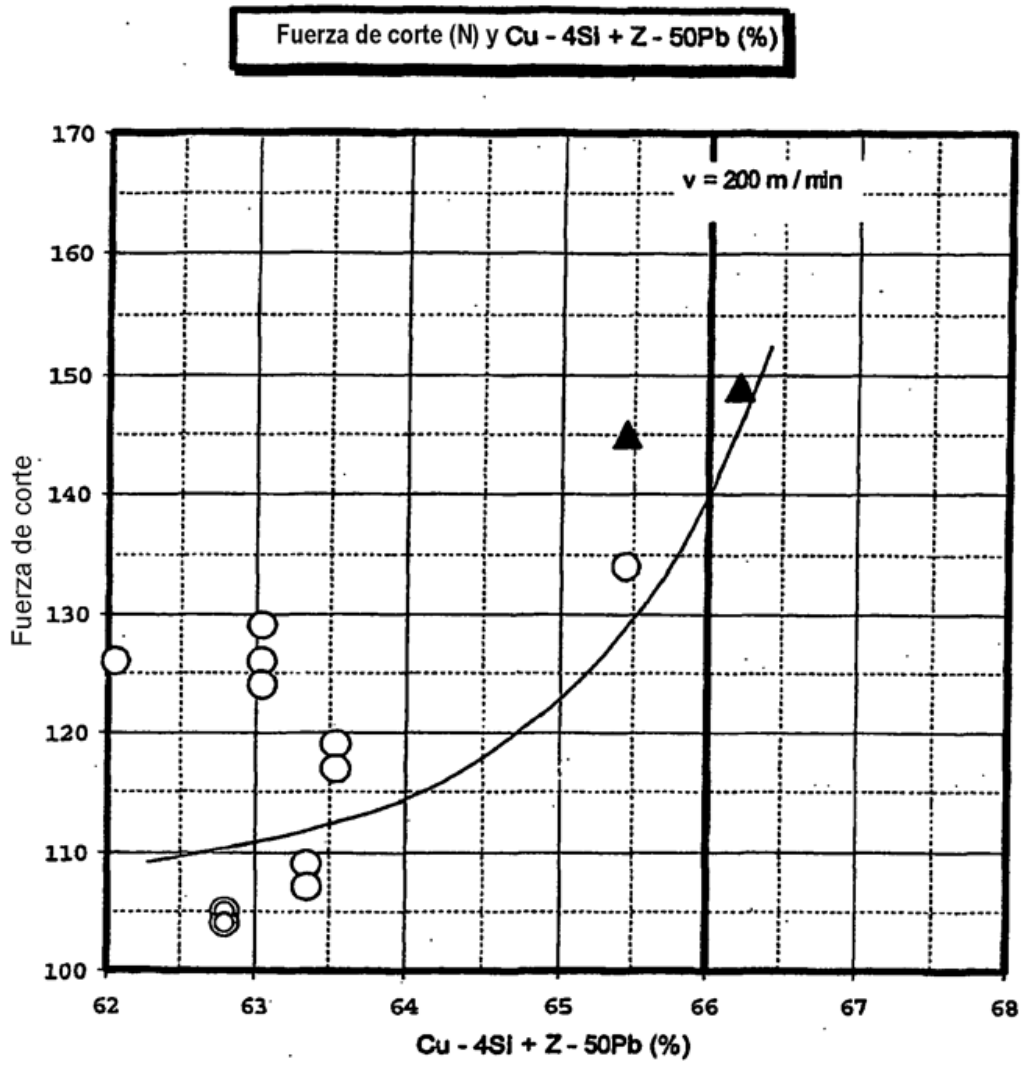


FIG. 4B

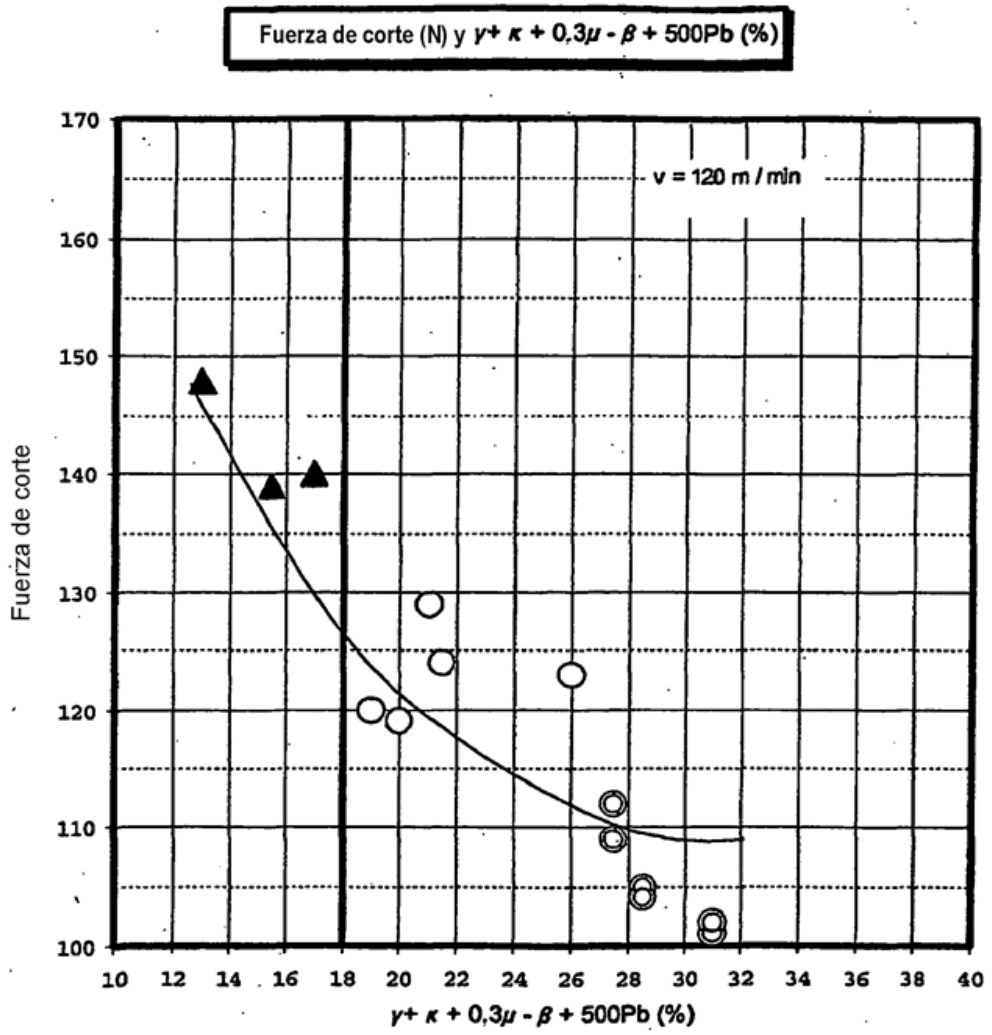


FIG. 5A

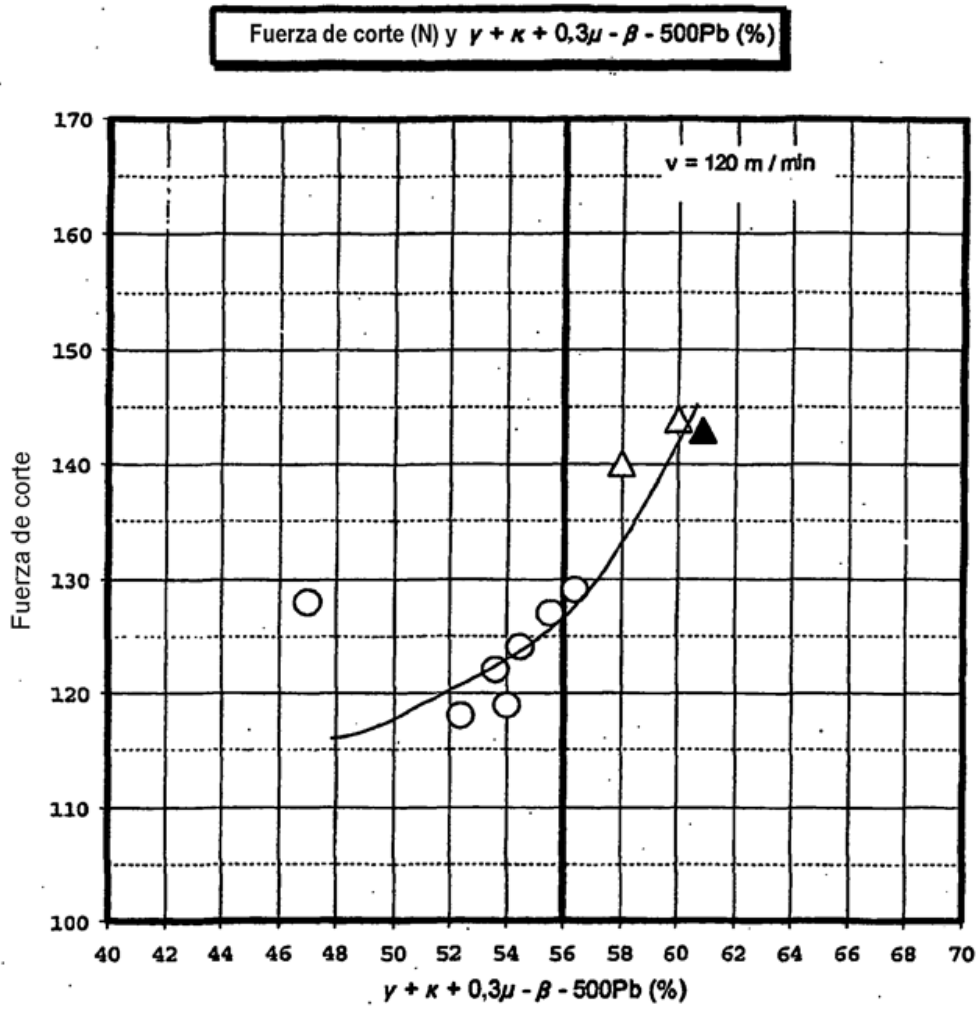


FIG. 5B

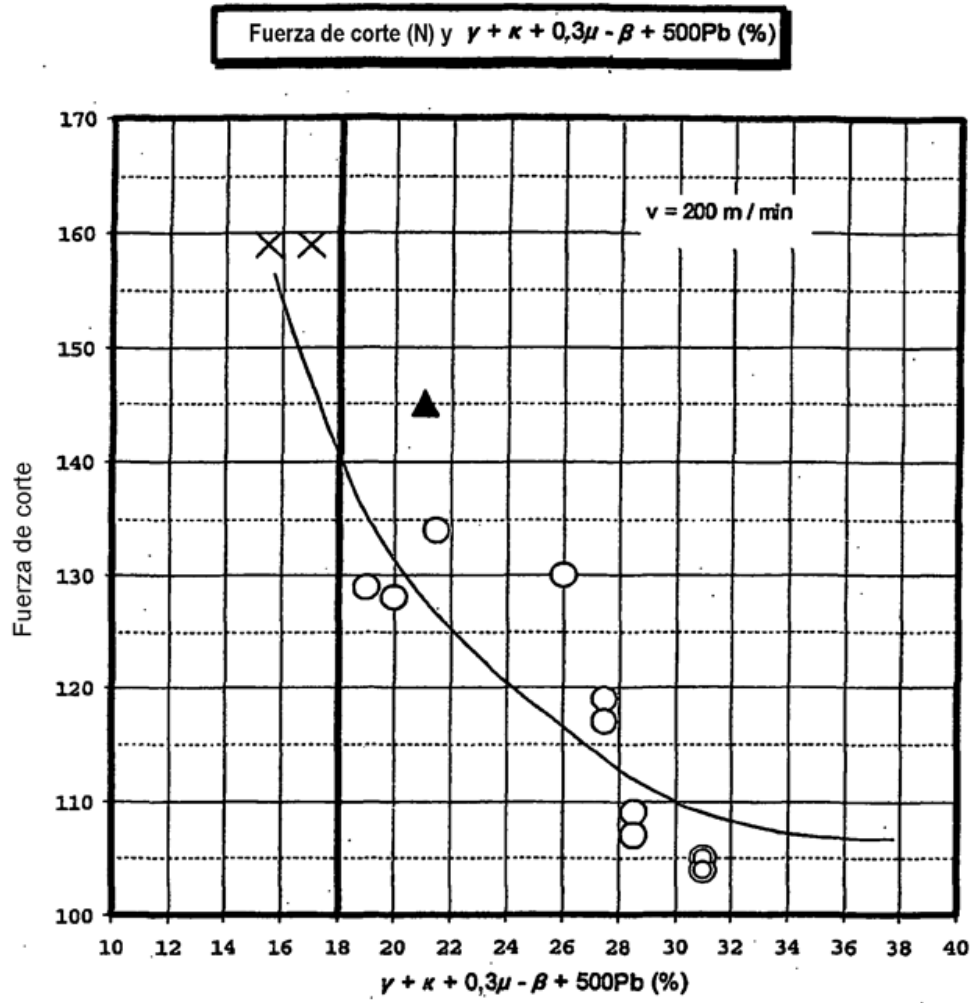


FIG. 6A

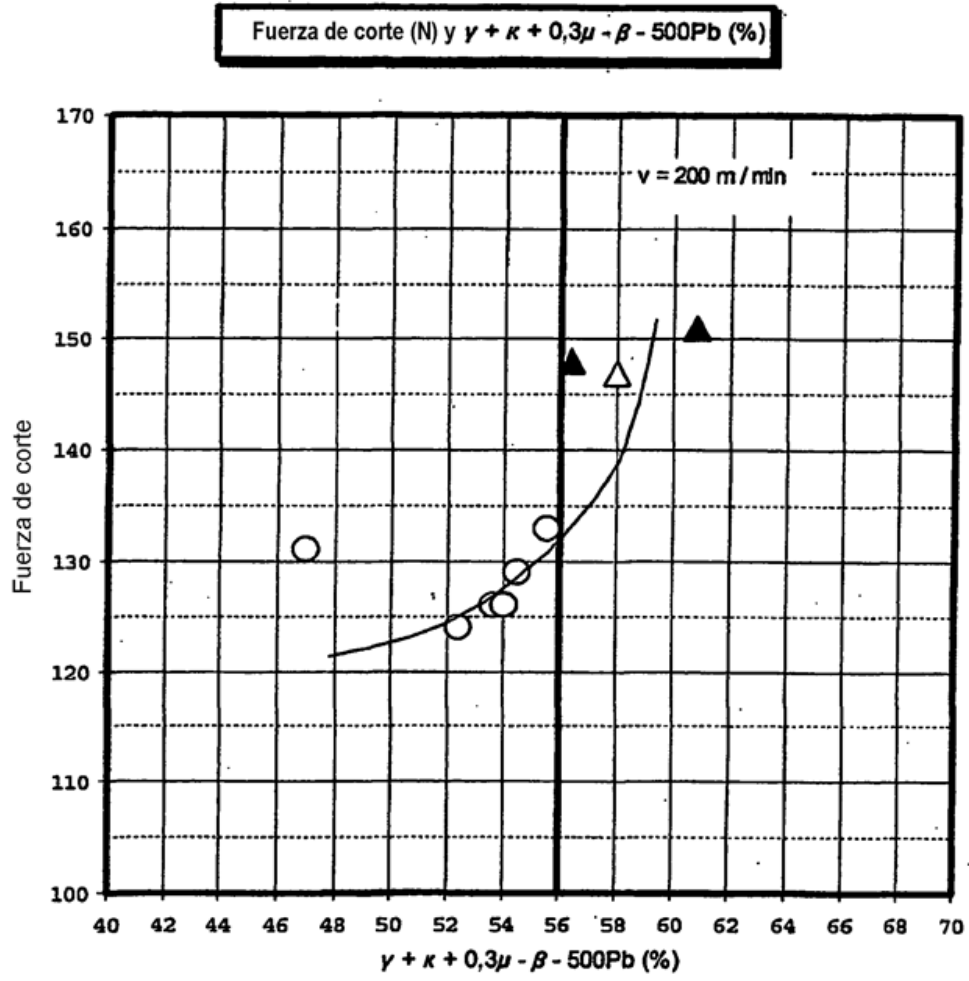


FIG. 6B

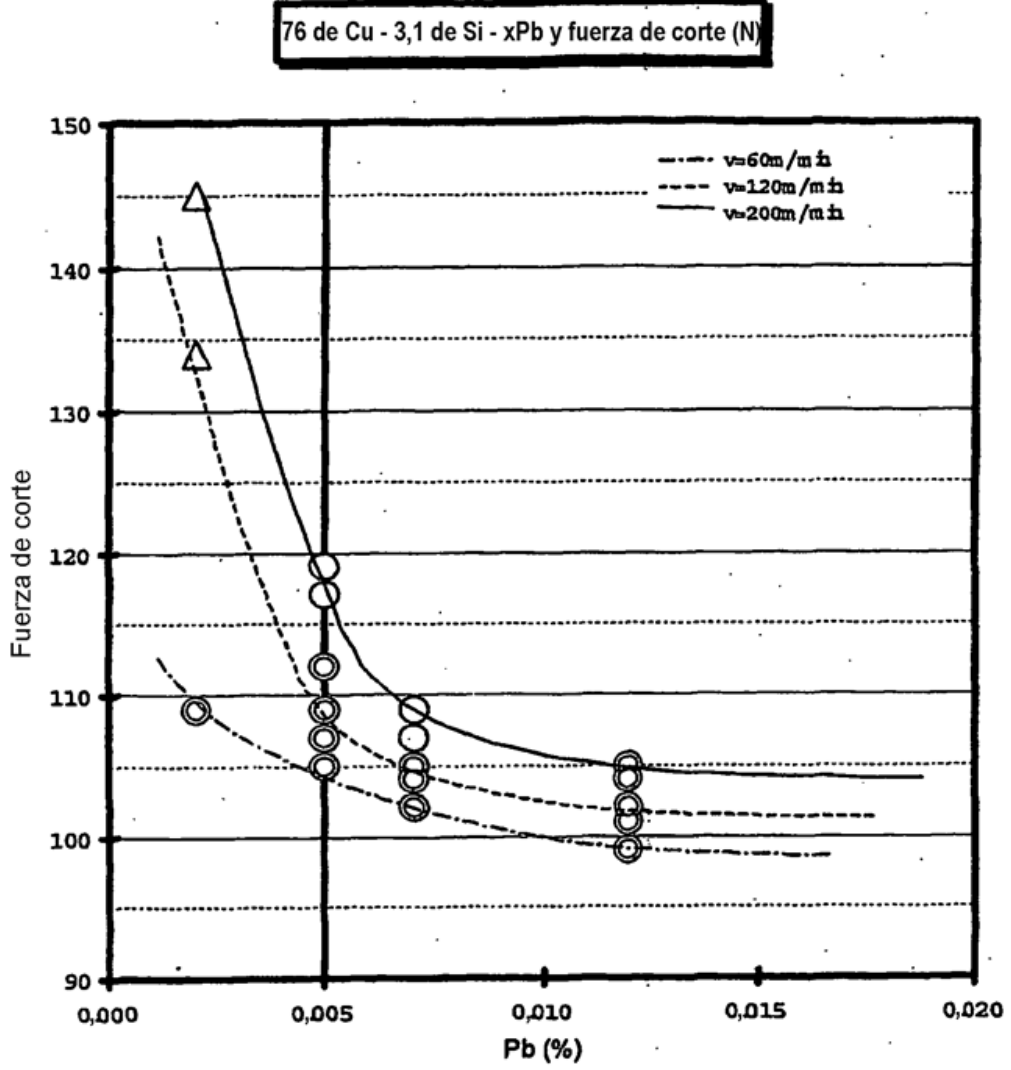


FIG. 7