

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 653 438**

51 Int. Cl.:

C22C 38/02	(2006.01)	C22C 38/50	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01)	C22C 38/58	(2006.01)
B23K 35/02	(2006.01)		
B23K 35/30	(2006.01)		
C22C 19/05	(2006.01)		
C22C 38/22	(2006.01)		
C22C 38/40	(2006.01)		
C22C 38/44	(2006.01)		
C22C 38/54	(2006.01)		
C22C 38/48	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.07.2014** **E 14178744 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.09.2017** **EP 2853339**

54 Título: **Material de soldadura para el soldado de superaleaciones**

30 Prioridad:

30.09.2013 US 201361884169 P
28.04.2014 US 201414263120

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.02.2018

73 Titular/es:

LIBURDI ENGINEERING LIMITED (100.0%)
400 Highway 6 North
Dundas, Ontario L9H 7K4, CA

72 Inventor/es:

GONCHAROV, ALEXANDER B.;
LIBURDI, JOSEPH y
LOWDEN, PAUL

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 653 438 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

Material de soldadura para el soldado de superaleaciones

5 La aleación 625, que comprende 20-23 % en peso de Cr, 8-10 % en peso de Mo, 3,15-4,15 % en peso de Nb, 0,1 % en peso de C y níquel, con impurezas, como resto Para completar, también conocido como Inconel 625 fabricada según AMS 5879, tiene buena resistencia a la oxidación a temperaturas de hasta 980° C (1.800° F), buenas propiedades mecánicas hasta 870° C (1.598° F) y proporciona buena resistencia a la corrosión acuosa. Como resultado, esta aleación se ha utilizado ampliamente durante décadas en las industrias aeroespacial, química y de generación de energía.

Además, debido a las propiedades metalúrgicas únicas de Inconel 625 fabricado según AMS 5837 en una forma de hilo y varillas de soldadura, se ha utilizado para la reparación de grietas y restauración dimensional de componentes de motor de turbina por soldadura y revestimiento por GTAW, láser y plasma.

15 Inconel 625 produce soldaduras sólidas, pero la zona afectada térmicamente (ZAT) de Inconel 738, GTD 111, GTD 222, Inconel 713 y algunas otras superaleaciones de endurecimiento por precipitación con alto contenido de fase gamma prima (γ') es propensa a microgrietas conocidas también como microfisuramiento según Banerjee K., Richards N.L. y Chaturvedi M.C. "Effect of Filler Alloys on Heat Affected Zone Cracking in Pre-weld Heat Treated IN-738 LC Gas-Tungsten-Arc Welds", Metallurgical and Materials Transactions, volumen 36A, julio 2005, pág. 1881-1890.

25 Las propiedades de baja fluencia es otra desventaja importante de esta aleación que limita su aplicación para la reparación de componentes estructurales y de contención del motor a grandes tensiones. Actualmente, el hilo de soldadura Haynes 230 fabricado según AMS 5839, así como otros materiales muy superiores se utilizan en lugar de la aleación 625 para la reparación por soldadura de estos componentes del motor. Sin embargo, la soldadura de superaleaciones Inconel 738 y GTD 111 con hilo de soldadura Haynes 230 agrava el agrietamiento en la ZAT.

30 Boro y algunos otros depresores de la temperatura de fusión se utilizan para evitar el agrietamiento en la ZAT al reducir el intervalo de solidus-liquidus de un charco de soldadura y el sobrecalentamiento de la ZAT. Sin embargo, una gran cantidad de boro reduce aún más las propiedades de fluencia y rotura de las soldaduras producidas utilizando aleación de Inconel 625.

35 Por otra parte, el insuficiente contenido de boro en la aleación basada en níquel que se describió en RE 29920 y RE 28681 de los EE.UU., que son similares a Inconel 625, y comprenden 0,05-0,3 % en peso de B, hasta 0,35 % en peso de C, de 5 a 22 % en peso de Cr, hasta 8 % en peso y hasta 3 % en peso de Nb, no evitan el agrietamiento en la ZAT de la aleación GTD 111 como se encontró mediante los experimentos.

40 Aleaciones basadas en níquel-cromo-molibdeno exentas de niobio con contenido de boro (0,04 % en peso-0,8 % en peso) y carbono (0,12 % en peso-1,2 % en peso) como las aleaciones descritas en el documento US3918964, así como aleaciones similares descritas en las patentes US4363659 y US3428442 se han utilizado principalmente revestimientos endurecedores. Por lo general, las aleaciones de revestimientos endurecedores tienen propiedades de baja rotura y fatiga a bajo ciclo y no se pueden utilizar para una reparación estructural de componentes de motor de turbina.

45 El documento GB 2 052 557 A de Cabot, titulado "A nickel-base alloy resistant to wear", analiza y enseña aleaciones y materiales que principalmente poseen excelentes propiedades contra el desgaste y, en menor grado, resistencia al impacto, resistencia a la corrosión y resistencia al calor. Este documento analiza en ciertos detalles la relación Carbono/Boro en donde ahora es bien sabido que altos contenidos de Boro junto con carbono producirán Nitruros y Carburos de Boro muy duros, y Boruros de metal y Silicio junto con Carbono producirán Carburos de silicio, que son muy conocidos por sus excelentes propiedades contra el desgaste y la abrasión. El contenido de Boro y Silicio según el documento de Cabot está dirigido a mejorar y proporcionar aleaciones que posean excelentes propiedades contra el desgaste al producir Boruros, Carburos y Carburos de Silicio. Las composiciones químicas presentadas en este documento no usan ningún contenido de Niobio, que es crítico en la soldadura de superaleaciones para asegurar que se obtengan excelentes propiedades contra la rotura a alta temperatura y también minimizar el agrietamiento en la zona afectada térmicamente durante el proceso de soldadura. Este documento tampoco analiza las propiedades de rotura a alta temperatura ni analiza la eliminación de agrietamiento en la zona de soldadura sometida a calor, ni analiza la producción de soldaduras dúctiles a temperatura ambiente, ni analiza la posibilidad de utilizar esta aleación para reparar grietas en las superaleaciones.

60 El documento US 3.228.095 de Bird y col., titulado "Method of making turbine blades", está dirigido a un procedimiento y composición para la colada de una aleación en pequeñas masas que sean posteriormente forjadas en su forma final de pala de turbina. El procedimiento y la composición buscan eliminar la aparición de estructuras de curso de granos columnares de curso que están presentes en coladas en lingotes de gran tamaño que se usan tradicionalmente como punto de partida para producir palas de turbinas. El concepto en Bird es esencialmente usar la composición química descrita en la memoria descriptiva y colar esta composición química en pequeñas masas

que posteriormente se forjan para producir palas de turbina terminadas. BIRD describe el uso de Boro de entre 0,003 % en peso a 0,3 % en peso.

5 Por lo tanto, se requiere una mejora significativa de Inconel 625 así como de otros materiales de soldadura basados en níquel y hierro para aumentar las propiedades mecánicas de las soldaduras a alta temperatura evitando al mismo tiempo el agrietamiento en la ZAT de Inconel 738, GTD 111 y otras superaleaciones con alto contenido de fase γ' .

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

10 Se ha encontrado que el material de soldadura que comprende 0,3-0,8 % en peso de boro (B), 0,2-0,8 % en peso de carbono (C), 17-23 % en peso de cromo (Cr), 8-10 % en peso de molibdeno (Mo), 0,1-4,15 % en peso de niobio (Nb) y níquel o hierro, con impurezas, como resto Para completar produce soldaduras de gran resistencia que minimizan y a menudo eliminan el agrietamiento en la ZAT de Inconel 738, GTD 111 y otras superaleaciones basadas en níquel y mejoran las propiedades mecánicas de las soldaduras en varias aleaciones basadas en níquel y hierro.

15 VENTAJAS DE LA PRESENTE ALEACIÓN (LA INVENCIÓN)

- 1) Produce soldaduras con superiores propiedades mecánicas a temperaturas de hasta 980° C (1.800° F). Las propiedades de rotura de las soldaduras a 980° C (1.800° F) superan las propiedades de rotura de Inconel 625 y Haynes 230 estándares, como se muestra en la Tabla 3.
- 20 2) Permite la soldadura de Inconel 738 y GTD 111 y otras superaleaciones basadas en níquel con alto contenido de gamma prima a temperatura ambiente, al tiempo que se minimiza o elimina el agrietamiento en la ZAT.
- 3) Produce soldaduras dúctiles a temperatura ambiente permitiendo el trabajo en frío de las secciones a reparar.
- 4) El hilo de soldadura se puede fabricar utilizando procesos estándares de estirado de bajo coste.
- 25 5) Una realización preferible de la presente aleación que tiene un contenido de carbono y boro de 0,2-0,4 % en peso puede utilizarse para la reparación de grietas de los componentes de motor mientras que las realizaciones con un contenido de carbono de 0,3-0,8 % en peso se pueden utilizar para revestimientos endurecedores.

30 El material de soldadura basado en níquel puede ser un hilo de soldadura.

El material de soldadura basado en níquel también puede ser un polvo de soldadura.

35 El material de soldadura basado en níquel puede ser una sección de reparación de un componente de motor de turbina, donde en el material de soldadura con un contenido de carbono de 0,2-0,3 % en peso y un contenido de boro de 0,3-0,4 % en peso se sustituye la sección agrietada del componente del motor, y el material de soldadura con un contenido de carbono de 0,3-0,8 % en peso y un contenido de boro de 0,5-0,8 % en peso se aplica a la sección del componente del motor que está sometida a desgaste y frotamiento en condiciones de servicio.

40 Según otras realizaciones preferibles, el material basado en níquel puede ser un artículo de un componente concreto del motor tal como cubiertas, paletas, carcasas, anillos de soporte de cubiertas y anillos de sellado de aire.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

45 La Figura 1 es la sección transversal de las soldaduras de revestimiento que se producen en el sustrato de Inconel 738 mediante soldadura por GTAW-MA utilizando el material de soldadura de la invención.

La Figura 2 es una micrografía de la soldadura que se producía en el material basado en GTD 111 utilizando varillas de soldadura que comprendían 0,4 % en peso de B y 0,2 % en peso C, que representa la ZAT sin grietas en la parte inferior y la acumulación de soldadura en la parte superior.

50 La Figura 3a es una micrografía de la soldadura por GTAW homogénea producida utilizando el Inconel 625 estándar.

La Figura 3b es una micrografía de soldadura por GTAW producida utilizando hilo de soldadura de Inconel 625 aleado adicionalmente con boro y carbono, según la presente invención, que representa la precipitación de boruros y carburos cuboides de alta resistencia en una matriz dúctil basada en níquel.

55 La Figura 4a es la micrografía de las soldaduras por GTAW homogéneas producida utilizando el hilo de soldadura de acero inoxidable 349 estándar.

La Figura 4b es una micrografía de soldadura por GTAW producida utilizando hilo de soldadura basado en hierro 349 aleado adicionalmente con boro y carbono, según la presente invención, que representa la precipitación de boruros y carburos cuboides de alta resistencia en una matriz dúctil basada en hierro.

60 La Figura 5 representa la microestructura de la aleación basada en níquel de la invención en el estado recocido con una precipitación uniforme de boruros y carburos cuboides de alta resistencia dentro de granos equiaxiales y precipitación intergranular de carburos.

La Figura 6 es una micrografía del Metal de Soldadura 3 sobre la superaleación GTD 111 basada en níquel después del recocido por PWHT a una temperatura de 1.200° C y el tratamiento térmico de envejecimiento estándar que representa la ZAT sin grietas.

65 La Figura 7 es una micrografía del Metal de Soldadura 2A sobre material basado en GTD 111 después del recocido por PWHT a una temperatura de 1.200° C y el tratamiento térmico de envejecimiento estándar que

representa el microagrietamiento en la ZAT y la propagación de una de las grietas en el metal de soldadura. La Figura 8 es una micrografía de la soldadura que se produjo en la superaleación GTD 111 basada en níquel utilizando varillas de soldadura compuestas de 0,85 % en peso B y 1,2 % en peso de C después del tratamiento térmico de recocido a una temperatura de 1.205° C que representa una contracción por solidificación interdendrítica inaceptable.

La Figura 9 representa la pala de turbina de alta presión en la fase 1 fabricada de superaleación GTD 111 con la soldadura en la punta (1) producida utilizando hilo de soldadura dúctil basada en níquel que comprende 0,25 % en peso de C y 0,4 % en peso de B y soldadura de ala de ángel (2) con resistencia al desgaste producida con hilo de revestimiento endurecedor que comprendía 0,6 % en peso de B y 0,6 % en peso de C.

ACRÓNIMOS ESTÁNDAR

AMS- Especificación de Materiales Aeroespaciales (normas)
 ASTM-Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (normas)
 AWS-Sociedad Americana de la Soldadura (normas)
 ZAT-Zona afectada térmicamente
 END-Ensayo no-destructivo
 OEM-Fabricación de Equipo Original
 PWHT-Tratamiento térmico de post-soldadura
 SS-Acero inoxidable

GLOSARIO Y TÉRMINOS (DEFINICIONES)

Aleaciones: compuestos metálicos que consisten en una mezcla de dos o más materiales. Superaleaciones- materiales metálicos con resistencia a la oxidación y propiedades mecánicas para el servicio a temperaturas elevadas.

Enfriamiento rápido con argón: introducción de argón en una cámara de tratamiento térmico al vacío a temperatura de recocido que da como resultado un enfriamiento rápido de las aleaciones a temperatura ambiente.

Austenita: una solución sólida de uno o más elementos en la fase cúbica centrada en las caras.

Metal o material de base: uno de los dos o más metales que se van a soldar para formar una junta.

Boruros: compuestos que consisten en dos elementos, de los cuales el boro es el más electronegativo. Boro forma boruros con elementos metálicos y no metálicos.

Carburos: composiciones compuestas de carbono y un elemento menos electronegativo. El carbono puede producir carburos con metales (como cromo, niobio, molibdeno, tántalo, titanio, tungsteno, y otros metales de los grupos IVB, VB y VIB) y no metales (como boro, calcio o silicio). Los carburos metálicos se caracterizan por su extrema dureza y resistencia a altas temperaturas.

Aleaciones de fundición de níquel: aleaciones que contienen níquel que se ha vertido o fundido como un líquido en un molde y se han enfriado hasta obtener una forma sólida.

Revestimiento: el proceso de aplicación de una capa relativamente gruesa (>0,5 mm (0,02 pulgada)) de material de soldadura y/o polvo de soldadura compuesto con el fin de mejorada resistencia al desgaste y/o a la corrosión u otras propiedades y/o restablecer la pieza a las dimensiones requeridas con una penetración mínima en el material de base.

Laminación en frío: un proceso que se lleva a cabo a una temperatura inferior a la temperatura de recristalización de la aleación.

Trabajado en frío: conformado del metal a temperaturas sustancialmente por debajo de la temperatura de recristalización. El trabajo en frío agrega resistencia y dureza.

Grieta: discontinuidad de tipo fractura que se caracteriza por una punta afilada y una gran relación entre la longitud y la anchura, generalmente superior a tres (3).

Soldadura exenta de grietas: soldaduras que están exentas de marcas lineales con una longitud igual o superior a 0,1 mm (0,004 pulgadas) detectadas por inspección de penetración radiográfica o fluorescente sin amplificación ni examen metalográfico de soldaduras.

Agrietamiento: fractura que se desarrolla en la soldadura durante o después de finalizar la solidificación de un charco de soldadura.

Fluencia (propiedades): es la tendencia de un material sólido a deslizarse lentamente o deformarse permanentemente bajo la influencia de las tensiones. La fluencia se produce cuando un metal es sometido a una

ES 2 653 438 T3

carga de tracción constante a una temperatura elevada.

5 Ensayos de fluencia y de rotura: son ensayos que se llevan a cabo aplicando una carga constante a una probeta de tracción mantenida a temperatura constante según ASTM E139. El ensayo de rotura se lleva a cabo de manera similar al ensayo de fluencia pero a un mayor nivel de tensión hasta que la probeta falla y se mide el momento del fallo. El tiempo anterior a la rotura a una carga dada se usa para caracterizar las propiedades de rotura de los materiales.

10 Dilución: el cambio en una composición química de un material de soldadura causado por la mezcla del material base o del metal de soldadura previo en el cordón de soldadura que se mide por el porcentaje del metal de base o del metal de soldadura previo en el cordón de soldadura.

15 Discontinuidad: una interrupción de la estructura típica de un metal de soldadura, como la falta de homogeneidad en las características mecánicas, metalúrgicas o físicas del metal de base o de soldadura.

Estirado: un proceso en el que se tira del cable desde un único troquel o una serie de troqueles de estirado.

Ductilidad: Capacidad de los metales y aleaciones para ser estirados, alargados o conformados sin romperse.

20 Fisuración: pequeñas discontinuidades a modo de grietas con solo una ligera separación (desplazamiento con apertura) de las superficies de fractura. Los prefijos macro o micro indican tamaño relativo.

Soldadura por fusión: el proceso de soldadura que utiliza la fusión del metal de base para realizar la soldadura.

25 Fase gamma (γ): la matriz continua (llamada gamma) es una fase austenítica basada en níquel cúbica centrada en las caras (fcc) que generalmente contiene un alto porcentaje de elementos de la solución sólida como Co, Cr, Mo y W.

30 Fase gamma prima (γ'): la fase primaria de refuerzo en superaleaciones basadas en níquel es un compuesto que consiste en níquel y bien aluminio o bien titanio, Ni_3Al o Ni_3Ti , que precipita coherentemente en la matriz γ austenítica.

35 Atomización de gas: el proceso para fabricar polvos metálicos de alta calidad forzando una corriente de metal fundido a través de un orificio y atomizándolo con chorros de gas inerte en finas gotitas de metal, seguido de enfriamiento rápido.

40 Soldadura por arco de tungsteno gaseoso (GTAW): según la definición de AWS, es el proceso de soldadura por arco el que produce la coalescencia de los metales al calentarlos con un arco entre un electrodo de tungsteno (no consumible) y el trabajo también conocido como material base. La protección se obtiene a partir de un gas o de una mezcla de gases. La presión puede usarse o no y el metal de relleno puede usarse o no.

Dureza: capacidad de metales y aleaciones para resistir la muesca, penetración y rascado.

45 Zona afectada térmicamente (ZAT): la parte del metal de base que no se ha derretido, pero cuyas propiedades mecánicas o microestructura fueron alteradas por el calor de la soldadura.

Tratamiento térmico: los procesos controlados de calentamiento y enfriamiento utilizados para cambiar la estructura de un material y alterar sus propiedades físicas y mecánicas.

50 Laminación en caliente: un proceso que se lleva a cabo a una temperatura superior a la temperatura de recristalización de la aleación.

55 Derretimiento por inducción: un proceso en el cual una corriente eléctrica inducida conocida también como corriente parásita caliente y funde metales y aleaciones.

Soldadura y revestimiento por rayo láser (LBW): según la definición de la AWS, es un proceso de soldadura que produce coalescencia de materiales con el calor obtenido de la aplicación de un haz de luz coherente concentrado que incide sobre la junta o el material de base, respectivamente.

60 Discontinuidades lineales: defectos de soldadura con una relación de longitud frente a anchura de 3:1 o superior.

Revestimiento y soldadura de múltiples pasadas: una soldadura que está formada por dos o más pasadas.

65 Superaleaciones basadas en níquel: materiales por los cuales el contenido de níquel excede el contenido de otros elementos de la aleación.

ES 2 653 438 T3

- Soldadura por arco de plasma (PAW): según la definición de la AWS, se trata de un proceso de soldadura por arco que produce coalescencia de metales al calentarlos con arco estrechado entre un electrodo y la pieza de trabajo (metal de base) conocido también como arco transferido o el electrodo y la tobera estrechada conocidos también como arco no transferido.
- 5 Tratamiento térmico o endurecimiento por precipitación: el proceso de calentamiento de aleaciones a una temperatura a la que ciertos elementos precipitan, formando una estructura más dura, y enfriándose luego a una velocidad que evita el retorno a la estructura original.
- 10 Recristalización: es la formación de una nueva estructura de grano sin deformación a partir de la existente que generalmente va acompañada por crecimiento del grano durante el calentamiento.
- Temperatura de recristalización: es una temperatura aproximada a la cual se produce la recristalización completa de una estructura de grano existente dentro de un tiempo especificado.
- 15 Laminación: un proceso en el que el material de metal se pasa a través de un conjunto de rodillos accionados mecánicamente.
- Resistencia a la rotura: es la tensión nominal desarrollada en un material en la rotura, que no es necesariamente igual a la resistencia última.
- 20 Contracción por solidificación: contracción de volumen de un metal durante la solidificación.
- Tratamiento térmico en solución: procedimiento de tratamiento térmico que se utiliza para calentar las aleaciones hasta una temperatura específica durante un cierto período de tiempo permitiendo que uno o más elementos de aleación se disuelvan en una solución sólida y luego se enfríen rápidamente.
- 25 Resistencia última a la tracción (UTS): la resistencia de un material a la tensión longitudinal, medida por la cantidad mínima de tensión longitudinal requerida para la rotura del material.
- 30 Soldadura: coalescencia localizada de metales o no metales producida por calentamiento de los materiales hasta la temperatura de soldadura, con o sin la aplicación de presión, o mediante la aplicación solo de presión, con o sin el uso de material de soldar.
- 35 Cordón de soldadura: soldadura resultante de una pasada.
- Defectos de soldadura: discontinuidades que por naturaleza o efecto acumulado hacen que una pieza o producto no pueda cumplir con las normas o especificaciones de aceptación mínima aplicables.
- 40 Pasada de soldadura: una única progresión de una operación de soldadura o revestimiento a lo largo de una junta, depósito de soldadura o sustrato. El resultado de una pasada es un cordón, capa o depósito de pulverización de soldadura.
- Charco de soldadura: el volumen localizado de metal fundido en una soldadura antes de su solidificación como metal de soldadura.
- 45 Soldabilidad: capacidad de un material para soldar en condiciones impuestas en una estructura específica adecuada y para realizar satisfactoriamente su uso previsto.
- 50 Soldadura: procesos de unión de materiales utilizados en la realización de soldaduras.
- Polvo de soldadura: el material de soldar en forma de polvo que se agrega en la realización de uniones soldadas o soldaduras revestidas.
- 55 Varillas de soldadura: hilo de soldadura cortado a una longitud normalizada.
- Hilo de soldadura. Material de soldar en forma de hilo que se agrega en la realización de juntas soldadas o soldaduras revestidas.
- 60 Aleaciones de níquel para forja: aleaciones basadas en níquel que han sido dobladas, martilladas, forjadas o conformadas físicamente en la forma deseada. Las aleaciones de níquel para forja a menudo se sueldan en las mismas condiciones que ciertos tipos de acero.
- Límite elástico: la capacidad de un metal para tolerar la fuerza progresiva gradual sin deformación permanente.
- 65 Repulsado: es una técnica de trabajo de metales que implica el acabado de la superficie modelando y alisando

finamente la chapa metálica.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

5 La aleación de la invención se puede utilizar en forma de colada, materiales para forja, placas, tiras, chapas y materiales de soldar en forma de hilos y polvos de soldadura. Los materiales de soldadura en forma de hilos, varillas y polvos de soldadura como principal aplicación de la aleación de la invención se analizan con mayor detalle a continuación.

10 Los lingotes, también conocidos como palanquillas, para la fabricación de hilo y polvo de soldadura se producen en vacío o argón utilizando tecnologías y equipos estándar de fusión por inducción u otros procesos de fusión.

15 Para la fabricación de palanquillas de hilo de soldadura se producen generalmente en forma de varillas con un diámetro superior a 1,905 cm (0,75 pulgadas) que se reducen hasta un diámetro de 1,27 cm (0,5 pulgadas) por laminación o extrusión a alta temperatura seguido de un acabado superficial normalizado.

20 Las aleaciones basadas en níquel según el presente concepto para la fabricación de un hilo de soldadura para la reparación de grietas con un contenido de boro de 0,4-0,5 % en peso y un contenido de carbono de 0,2-0,4 % en peso y aleaciones basadas en hierro con un contenido de boro de 0,3-0,4 % en peso y un contenido de carbono de 0,2-0,3 % en peso son dúctiles a temperaturas por debajo de la temperatura de recristalización. Por lo tanto, la fabricación de hilo de soldadura utilizando aleaciones con bajo contenido de boro y carbono puede realizarse mediante laminación en frío. Durante la laminación en frío, el material de varilla con diámetro inicial de 1,27-1,905 cm (0,5-0,75 pulgadas) es reducido a 0,0508 cm-1,524 cm (0,020-0,062 pulgadas). La laminación en frío aumenta el límite elástico y la dureza. Por lo tanto, para aumentar la ductilidad, el material metálico es sometido a tratamiento térmico de recocido cada cierto tiempo para permitir la restauración de la trabajabilidad.

25 El hilo de soldadura de gran dureza, también conocido como hilo de soldadura de revestimiento endurecedor con contenido de boro y carbono, respectivamente, de 0,5-0,8 % en peso tiene baja ductilidad a bajas temperaturas. Por lo tanto, para la fabricación de hilo de soldadura de revestimiento endurecedor se utilizan procesos estándares de laminación o extrusión en caliente. El proceso de extrusión en caliente consiste en el montaje de una carcasa de palanquilla que contiene varillas de la composición química deseada. La palanquilla se prepara después para la extrusión. Las palanquillas se calientan a una temperatura superior a la temperatura de recristalización para evitar el endurecimiento y facilitar la extrusión.

30 Durante el procesamiento final, el hilo se pasa a través de un procedimiento de limpieza riguroso estándares que garantiza que las soldaduras estén exentas de contaminación.

35 Después de la limpieza, el hilo se corta a la longitud requerida para la fabricación de varillas de soldadura para un GTAW-MA manual o soldado a tope y enrollado para la soldadura automática por GTAW-ME, láser y plasma.

40 El polvo de soldadura de 45-75 μm de diámetro se fabrica mediante procesos estándares de atomización de gas. Durante este proceso, la aleación fundida es atomizada mediante chorros de gas inerte en finas gotitas de metal, que se enfrían durante su caída en la torre de atomización. Los polvos metálicos obtenidos por atomización del gas tienen una forma perfectamente esférica y un alto nivel de limpieza. El polvo de soldadura se utiliza para soldadura y revestimiento por plasma, microplasma y láser. El polvo de soldadura se introduce en el charco de soldadura con un chorro de argón utilizando alimentadores de polvo estandarizados.

45 Después de la solidificación, el polvo de soldadura se fusiona con el material base que produce el metal de soldadura. Para reducir el sobrecalentamiento y evitar el agrietamiento en la ZAT, la soldadura y el revestimiento se llevan a cabo con una dilución mínima. Los mejores resultados en el revestimiento se lograron con una dilución del 5-15 %.

50 El boro y el carbono dentro de los intervalos especificados produjeron dos efectos beneficiosos para lograr los objetivos de la presente invención.

55 En primer lugar, la combinación de boro con níquel redujo la temperatura de fusión de un charco de soldadura y el sobrecalentamiento de la ZAT permitiendo la formación de soldaduras sin grietas en Inconel 738 y GTD 111 como se muestra en las Fig. 1, 2 y 6.

60 En segundo lugar, el carbono y el boro formaron carburos y boruros cuboides de alta resistencia con, respectivamente, Nb, Mo y Cr en la matriz relativamente dúctil de Ni y Fe, como se muestra en las Fig. 3b, 4b y 5 que aumentan de manera significativa la resistencia última (UTS) y los límites elásticos, la microdureza así como las propiedades de rotura de las soldaduras, como se muestra en las Tablas 2-6.

65 La microestructura de las soldaduras producidas utilizando Inconel 625 estándar comprendió granos gamma de baja resistencia casi homogéneos como se muestra en la Fig. 3a. El metal de soldadura con esta estructura mostró unas propiedades de rotura extremadamente baja y de tracción insuficientes como se muestra en las Tablas 3 y 2,

respectivamente.

Las soldaduras producidas utilizando la aleación basada en níquel de la invención tenían una combinación única de ductilidad requerida, alta resistencia y buenas propiedades de rotura a una temperatura de 982° C (1.800° F) que supera de manera significativa las propiedades de las soldaduras producidas utilizando Inconel 625 de referencia y la más superior aleación Haynes 230 debido a la formación de boruros y carburos cuboides. Se encontró un efecto de fortalecimiento similar en las soldaduras producidas utilizando soldaduras basadas en hierro compuestas de boro y carbono. Las soldaduras 347SS y 349SS estándares tenían bajas propiedades mecánicas a 872° C (1.600° F) y microdureza a temperatura ambiente como se muestra en las Tablas 5 y 6, respectivamente. La precipitación de boruros y carburos cuboides en matriz basada en Fe-Ni austenítica dúctil como se muestra en la Fig. 4b aumentó de manera significativa las propiedades mecánicas de las soldaduras.

A pesar del fortalecimiento, estas soldaduras mantuvieron una alta ductilidad y producían soldaduras exentas de grietas en la aleación A286 basada en hierro.

El Metal de Soldadura basado en níquel compuesto de 0,4-0,5 % en peso de B y 0,2-0,4 % en peso de C mostró una buena ductilidad como se muestra en la Tabla 4 que permitía la reformación de los componentes de motor por repulsado a temperatura ambiente o precalentando.

La aleación de la invención también se puede usar para la fabricación de componentes de motor mediante colada y forjado seguido de recocido que forma una estructura equiaxial de alta resistencia con precipitación de carburos y boruros cuboides en la matriz dúctil basada en Ni mostrada en la Fig. 5.

La reparación de soldadura de los componentes de motor utilizando la aleación de la invención en forma de hilo, varillas o polvo de soldadura se realiza según AMS 2694, AMS 2685 o especificaciones OEM relevantes e incluye la eliminación de áreas defectuosas o grietas, limpieza de componentes de motor, soldadura, el tratamiento térmico post-soldadura (PWHT), que para la reparación de componentes de motor fabricados de superaleaciones de endurecimiento por precipitación, podría constituir recocido y envejecimiento o simplemente alivio de tensión, mecanizado y pulido para restablecer la geometría original de los componentes de motor seguido de ensayos no destructivos (END) de las soldaduras e inspección dimensional. Los procesos de reparación estándar son bien conocidos en la técnica. Sin embargo, el ejemplo de una reparación de pala de turbina fabricada de superaleación GTD 111 y soldada a temperatura ambiente se muestra en la Fig. 9.

La soldadura en la punta 1 mostrada en la Fig. 9 con una composición química correspondió a Metal de Soldadura 3, que comprendía de 0,4 % en peso de B y 0,25 % en peso de C, aseguraba buenas propiedades de fatiga térmica, mientras que la soldadura de ala de ángel 2 con contenido de boro y carbono de 0,6 % en peso y 0,8 % en peso, respectivamente, tenían una mejor resistencia al desgaste.

Las soldaduras estaban exentas de defectos de soldadura que excedieran de 0,00508 cm (0,002 pulgadas) de tamaño en estado soldado y después del PWHT que incluía recocido a una temperatura de 1.200° C (2.192° F) y envejecimiento estándar de dos etapas a temperatura de 1.120° C (2.048° F) durante dos horas seguido de remojado durante veinticuatro (24) horas a una temperatura de 845° C (1.553° F).

EJEMPLOS DE SOLDADURA DE INCONEL 738, GTD 111 E INCONEL 625 UTILIZANDO UNA ALEACIÓN DE LA INVENCION

Once de los hilos de soldadura basados en níquel y hierro con las composiciones químicas mostradas en la Tabla 1 se fabricaron añadiendo diferentes cantidades de boro y carbono a Inconel 625 estándar basado en níquel y aleaciones SS347 y SS349 basadas en hierro utilizando procedimientos metalúrgicos estándares.

Debido a la alta susceptibilidad al agrietamiento y a la amplia gama de aplicaciones industriales, para los ejemplos de soldaduras se seleccionaron las superaleaciones de endurecimiento por precipitación IN738 y GTD 111 basadas en níquel, superaleación de endurecimiento en solución IN625 y la aleación A286 basada en hierro. Se produjeron soldaduras revestidas con varias pasadas de 5,08-10,16 cm (2-4 pulgadas) de longitud, 0,889-1,016 cm (0,35-0,40 pulgadas) de ancho y 1,16-1,27 cm (0,4-0,5 pulgadas) de altura utilizando soldadura por GTAW-MA y gas de protección con argón en muestras fabricadas de superaleaciones Inconel 738 y GTD 111 basadas en níquel utilizando hilo de soldadura basada en Ni y en la muestra fabricada de aleación A289 basada en hierro a alta temperatura utilizando hilo de soldadura basado en hierro. Las superaleaciones IN738 y GTD 111 se han utilizado para la fabricación durante décadas de cubetas (palas) de motores de turbina de gas industrial (IGT) y el agrietamiento por fatiga térmica en la punta del ejercicio, la oxidación y el desgaste de las alas de ángel mostrado en la Fig. 9.

Los parámetros de soldadura se seleccionaron por experimento para producir soldaduras revestidas con una dilución de 10-15 %. La corriente de soldadura variaba de 60-75 A, el voltaje del arco estaba dentro del intervalo de 12-14 V, y la velocidad de soldadura variaba de 4,572 a 5,588 cm (1,8 a 2,2 pulgadas) por minuto.

Antes de la soldadura, las muestras de fabricación de IN738 y GDT111 se sometieron a un tratamiento térmico de

ES 2 653 438 T3

recocido previo a la soldadura a una temperatura de 1.200° C (2.192° F) durante dos (2) horas seguidas de un enfriamiento con argón. La soldadura en muestras fabricadas de aleación A286 basada en hierro se realizó sin tratamiento térmico previo a la soldadura.

5 Las soldaduras revestidas en las superaleaciones Inconel 738 y GTD 111 basadas en níquel se produjeron utilizando los hilos de soldadura de Inconel 625 y Haynes 230 estándar para evaluar el agrietamiento en la ZAT de los materiales de soldadura estándares y de la invención. Se usaron hilos de soldadura de SS347 y SS349 estándares y los de la invención basados en hierro para producir soldaduras revestidas en aleaciones A286 para la evaluación de las propiedades mecánicas y la susceptibilidad de las soldaduras al agrietamiento.

10 Las muestras, fabricadas en las superaleaciones Inconel 738 y GTD 111, se sometieron al PWHT que comprendía el recocido a una temperatura de 1.200° C (2.192° F) durante dos (2) horas, seguido de un envejecimiento a temperaturas de 1.120° C (2.048° F) durante dos (2) horas y 845° C (1.553° F) durante veinticuatro (24) horas. El envejecimiento de dos etapas de las soldaduras en aleación A286 basada en hierro se realizó a una temperatura de 15 720° C (1.328° F) durante 16 horas seguido de calentamiento a 620° C (1.148° F) durante 16 horas.

Además de lo anterior, las muestras Inconel 625 de 15,24×7,62×1,524 cm (6×3×0,60 pulgadas) de dimensiones se soldaron a tope utilizando GTAW-MA con hilo de soldadura de endurecimiento en solución Inconel 625 (IN625) 20 estándar y aleaciones de soldadura de la invención en forma de varillas de soldadura de 0,0889 cm (0,035 pulgadas) de diámetro.

Las soldaduras en Inconel 738 y GTD 111 se evaluaron para detectar agrietamiento en la ZAT. No se observaron grietas ni otras discontinuidades lineales que excedieran 0,00508 cm (0,002 pulgadas) de longitud.

25 Las soldaduras revestidas producidas utilizando materiales de soldadura basados en níquel se sometieron a ensayos de tracción y rotura a una temperatura de 982° C (1.800° F) según ASTM E21 y E139, respectivamente. Las soldaduras revestidas producidas utilizando materiales de soldadura basados en hierro se sometieron a ensayos de tracción a una temperatura de 872° C (1.600° F) según ASTM E21 y ensayos de microdureza a temperatura ambiente según ASTM E384 con una carga de 300 g.

30 Las juntas a tope Inconel 625 se sometieron a un ensayo de tracción a temperatura ambiente según ASTM E8 y ensayo de flexión según ASTM E190-92.

35 Las composiciones aceptables para materiales de soldadura basados en níquel incluyen aquellos que producían soldaduras sin grietas, contracción interdendrítica con una longitud inferior a 0,1 mm (0,004 pulgadas) y propiedades de tracción y rotura que superen a Inconel 625 y Haynes 230, respectivamente, a una temperatura de 982° C (1.800° F) en varios sustratos fabricados de superaleaciones de endurecimiento por precipitación basadas en níquel. Las composiciones aceptables para materiales de soldadura basados en hierro incluyen las que producen soldaduras sin grietas en aleación A286 con propiedades mecánicas que superan las propiedades de la soldadura de referencia 40 producidas utilizando materiales de soldadura 347 y 349 estándares al menos en 15 % a una temperatura de 872° C (1.600° F)

45 Las composiciones aceptables para los materiales de soldadura basados en níquel y hierro incluían las que producían grietas, contracción interdendrítica y otras marcas lineales con un tamaño que supere 1,016 mm (0,04 pulgadas).

50 Las propiedades de tracción de las soldaduras revestidas a una temperatura de 982° C (1.800° F) producidas utilizando materiales de soldadura basados en níquel así como el agrietamiento en la ZAT de las aleaciones Inconel 738 y GTD111 se resumen en la Tabla 2. Las propiedades de rotura en comparación con las propiedades de tracción del Inconel 625 y Haynes 230 estándares se muestran en la Tabla 3.

55 Las propiedades de tracción de juntas de tope de la aleación Inconel 625 producidas utilizando el Inconel 625 estándar y las varillas de soldadura de la invención en estado soldado a temperatura ambiente se presentan en la Tabla 4.

Las propiedades de tracción de las soldaduras revestidas producidas utilizando materiales de soldadura basados en hierro de acero inoxidable estándar 347 y 349, así como los materiales de soldadura basados en hierro de la invención en aleaciones A286 a una temperatura de 872° C (1.600° F) se resumen en la Tabla 5.

60 La microdureza de soldaduras revestidas producidas utilizando materiales de soldadura basados en hierro de acero inoxidable estándar 347 y 349 de, así como los materiales de soldadura basados en hierro de la invención a temperatura ambiente se resumen en la Tabla 6.

65 Las soldaduras producidas en las aleaciones Inconel 738 y GTD 111 utilizando hilo de soldadura estándar Inconel 625, Haynes 230 e hilo de soldadura con una composición química correspondiente al Metal de Soldadura 1 mostraban un microagrietamiento en la ZAT inaceptable como se muestra en la Tabla 2. La ZAT del Metal de

ES 2 653 438 T3

Soldadura 2A que comprendía 0,25 % en peso de B y 0,45 % en peso de C mostraba agrietamiento en la ZAT en estado de soldadura y tratado con calor. Además, el contenido elevado de carbono en el Metal de Soldadura 2A dio como resultado una propagación de grietas de la ZAT en soldaduras como se muestra en la Fig. 7 debido a la ductilidad reducida de estas soldaduras.

5 Por lo tanto, hilo de soldadura con una composición química correspondiente a Metal de Soldadura 1 y 2A con contenido de boro por debajo de 0,25-0,3 % en peso no se debe utilizar para la reparación de componentes críticos de motores fabricados de superaleaciones basadas en níquel con alto contenido de fase gamma prima como GTD 111 e IN738.

10

Tabla 1. Composición química de aleaciones basadas en Ni y Fe en % en peso

Metal de Soldadura	Ni	Cr	Mo	Nb	B	C	w	Ti	Si	Mn	Fe
Inconel 625 de referencia	Para completar	20 23	8 10	3,15 4,14	-	0,1	-	- 0,4	- 0,5	- 0,5	- 5,0
1	Para completar	20 23	8 10	3,15 4,14	0,2	0,1	-	- 0,4	- 0,5	- 0,5	- 5,0
2A	Para completar	20 23	8 10	3,15 4,14	0,25	0,45	-	- 0,4	- 0,5	- 0,5	- 5,0
2	Para completar	20 23	8 10	3,15 4,14	0,30	0,1	-	- 0,4	- 0,5	- 0,5	- 5,0
3	Para completar	20 23	8 10	3,15 4,14	0,40	0,25	-	- 0,4	- 0,5	- 0,5	- 5,0
4	Para completar	20 23	8 10	3,15 4,14	0,40	0,50	-	- 0,4	- 0,5	- 0,5	- 5,0
5	Para completar	20 23	8 10	3,15 4,14	0,60	0,65	-	- 0,4	- 0,5	- 0,5	5,0
6	Para completar	20 23	8 10	3,15 4,14	0,80	0,80	-	- 0,4	- 0,5	- 0,5	- 5,0
7	Para completar	20 23	8 10	3,15 4,14	1,00	1,25	-	- 0,4	- 0,5	- 0,5	- 5,0
8	Para completar	20 23	8 10	3,15 4,14	0,85	1,2	-	- 0,4	- 0,5	- 0,5	- 5,0
SS347 de referencia	9 13	17 20	- 0,75	0,1 0,4	-	- 0,07	-	-	0,3 1,0	1,0 2,0	Para completar
9	9 13	17 20	- 0,75	0,1 0,4	0,3 0,35	0,2 0,25	-	-	0,3 1,0	1,0 2,0	Para completar
SS349 de referencia	8,0 9,5	19 22	0,35 0,65	1,0 1,4	-	0,07 0,13	1,25 1,75	0,1 0,3	0,3 0,65	1,0 2,0	Para completar
10	8,0 9,5	19 22	0,35 0,65	1,0 1,4	0,4 0,45	0,3 0,35	1,25 1,75	0,1 0,3	0,3 0,65	1,0 2,0	Para completar

Tabla 2. Propiedades de tracción de soldaduras revestidas basadas en níquel a 982° C (1.800° F) y susceptibilidad de la ZAT a agrietarse

Metal de soldadura	0,2 % de desplazamiento del límite elástico, kg/cm ²	Resistencia última a la tracción, kg/cm ²	Alargamiento, %	Soldadura y agrietamiento en la ZAT de la aleación IN738	Soldadura y agrietamiento en la ZAT de aleación de GTD 111
Inconel 625 estándar de referencia 1	0,85	1,69	43,8	Agrietamiento en la ZAT	Agrietamiento en la ZAT
Haynes 230 estándar de referencia2	1,74	2,07	25,5	Agrietamiento en la ZAT	Agrietamiento en la ZAT
1	-	-	-	Agrietamiento en la ZAT	Agrietamiento en la ZAT
2A	-	-	-	Soldadura y agrietamiento en la ZAT	Soldadura y agrietamiento en la ZAT
2	-	-	-	Sin grietas	Agrietamiento en la ZAT
3	1,72	2,11	22,5	Sin grietas	Sin grietas
6	2,06	2,42	7,5	Sin grietas	Sin grietas
7	-	-	-	Contracción de la soldadura en la solidificación que excede 0,01 cm (0,004 pulgadas) de longitud	Contracción de la soldadura en la solidificación que excede 0,01 cm (0,004 pulgadas) de longitud
8	-	-	-	Contracción de la soldadura en la solidificación que excede 0,01 cm (0,004 pulgadas) de longitud	Contracción de la soldadura en la solidificación que excede 0,01 cm (0,004 pulgadas) de longitud

5 Nota: ^{1,2} Se ensayaron metales de soldadura producidos utilizando hilos de soldadura Inconel 625 y Haynes 230 estándares para obtener datos de referencia para su comparación. Otras aleaciones de soldadura que producían ZAT o presentaban grietas y otras discontinuidades de soldadura inaceptables tales como la contracción por solidificación fueron rechazadas y, por lo tanto, no fueron sometidas a ensayos mecánicos.

10 Tabla 3. Propiedades de rotura de las soldaduras de revestimiento Inconel 625, Haynes 230 y la aleación 3 a una temperatura de 982° C (1.800° F)

Material	Tensiones, kg/cm ²	Tiempo hasta rotura, horas
Estándar Inconel 625 de referencia	0,56	1,8
Estándar Haynes 230 de referencia	0,56	10
Metal de soldadura 3	0,56	242,8
Metal de soldadura 6	0,56	112,3

15

Tabla 4. Propiedades mecánicas de las juntas a tope con Inconel 625 a temperatura ambiente

Metal de la soldadura	Resistencia última a la tracción, kg/cm ²	Alargamiento, %	Ángulo de doblado, grados.	Área de fractura
Inconel 625 estándar	8,92	46	180	ZAT
3	9,07	38,5	180	ZAT

Tabla 5. Propiedades de tracción de soldaduras de revestimiento basadas en hierro a 872° C (1.600° F)

Metal de soldadura	0,2 % de desplazamiento del límite elástico, kg/cm ²	Resistencia última a la tracción, kg/cm ²	Alargamiento, %	Soldadura y agrietamiento en la ZAT de la aleación A286
Metal de soldadura SS347 de referencia	1,19	1,29	51,8	Sin grietas
Metal de soldadura 9	1,56	2,05	18,9	Sin grietas
Metal de soldadura SS349 de referencia	0,74	1,14	80	Sin grietas
Metal de soldadura 10	1,38	1,92	44,9	Sin grietas

5 Tabla 6. Microdureza de soldaduras de revestimiento basadas en hierro a temperatura ambiente

Metal de la soldadura	VHN (300 g)
Metal de soldadura SS347 de referencia	165
9	237
Metal de soldadura SS349 de referencia	184
10	256

10 La ZAT de Metales de Soldadura 7 y 8 con contenidos de boro de 1,0 % en peso y 0,85 % en peso, respectivamente, y 1,25 % en peso y 1 % en peso de carbono, respectivamente, estaba exenta de grietas pero las soldaduras presentaban contracción interdendrítica como se muestra en la Fig. 8 y se consideraron inaceptables

15 Las soldaduras producidas en la aleación A286 basada en hierro utilizando materiales de soldadura 347 y 349 estándares tenían bajas propiedades de tracción a 872° C (1.600° F) y dureza que no permitía el uso de estos materiales para la reparación ni de perfiles aerodinámicos ni de aletas de sello de aire, respectivamente. La adición de B y C aumentó el límite elástico de las soldaduras revestidas en un 30-86 % y la dureza en más del 40 %, como se muestra en las Tablas 5 y 6, respectivamente. Estas soldaduras también estaban exentas de grietas.

20 Por lo tanto, como se desprende de los ejemplos anteriores, la aleación de soldadura de la invención que comprendía desde aproximadamente 0,3 % en peso a 0,8 % en peso de B y desde aproximadamente 0,2 % en peso de C a 0,8 % en peso de C producía soldaduras exentas de grietas en las superaleaciones Inconel 738 y GTD 111 basadas en níquel y en la aleación A286 basada en hierro. Estas soldaduras tienen mejores propiedades mecánicas debido a la formación de boruros y carburos cuboides en una matriz basada en níquel y hierro, respectivamente, que permite la fabricación y reparación de componentes de motores de turbina que se fabrican de varias superaleaciones basadas en níquel y hierro.

25

REIVINDICACIONES

1. Un material de soldadura compuesto de los siguientes elementos en porcentajes de peso:
- 5 a) Boro: 0,3 a 0,8 % en peso, con la condición de que estén excluidos los materiales de soldadura que tengan un contenido de boro de 0,3 % en peso.
 b) Carbono: 0,2 a 0,8 % en peso.
 c) Cromo: 18 a 23 % en peso.
 d) Molibdeno: 8 a 10 % en peso.
- 10 e) Hierro: cantidad traza de 5 % en peso.
 f) Niobio: 3,0 a 4,5 % en peso.
 g) Incluyendo, opcionalmente, además elementos de microaleaciones seleccionados de entre Silicio, Manganeso y Titanio: de 0,1 a 3,5 % en peso combinado.
 h) Níquel con impurezas: para completar.
- 15
2. El material de soldadura según la reivindicación 1 es un polvo de soldadura.
3. El material de soldadura según la reivindicación 1 es un hilo de soldadura.
- 20
4. El material de soldadura según la reivindicación 1 es una sección de reparación de un componente de motor de turbina.
5. El material de soldadura según la reivindicación 1 con un contenido de carbono de 0,2-0,5 % en peso y contenido de boro de 0,3 a 0,4 % en peso, con la condición de que estén excluidos los materiales de soldadura que tengan un contenido de Boro de 0,3 % en peso, es un hilo o polvo de soldadura para una reparación de grietas.
- 25
6. El material de soldadura según la reivindicación 1 con un contenido de carbono de 0,4-0,8 % en peso y un contenido de boro de 0,4 a 0,8 % en peso es un hilo o polvo de soldadura para un revestimiento endurecedor.

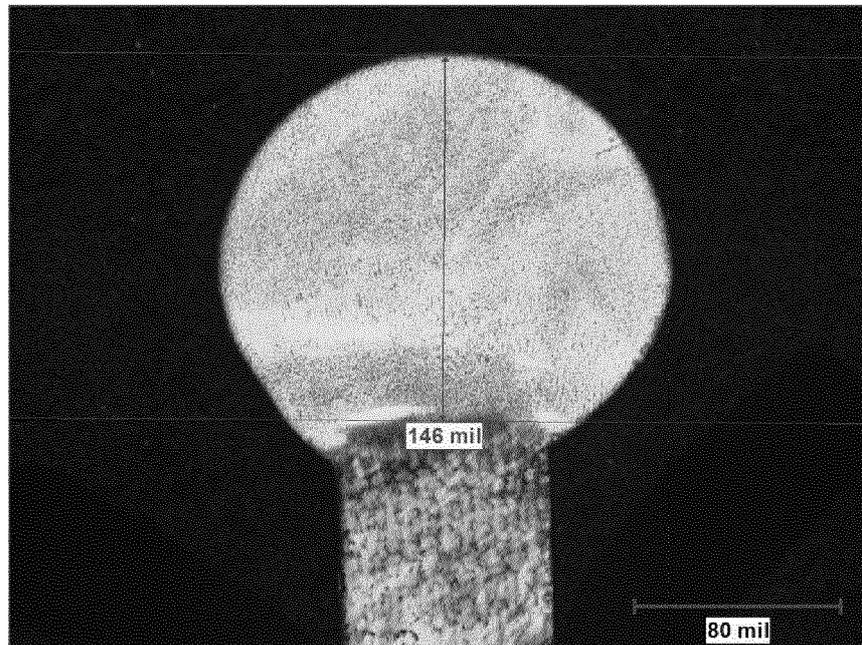


FIG. 1

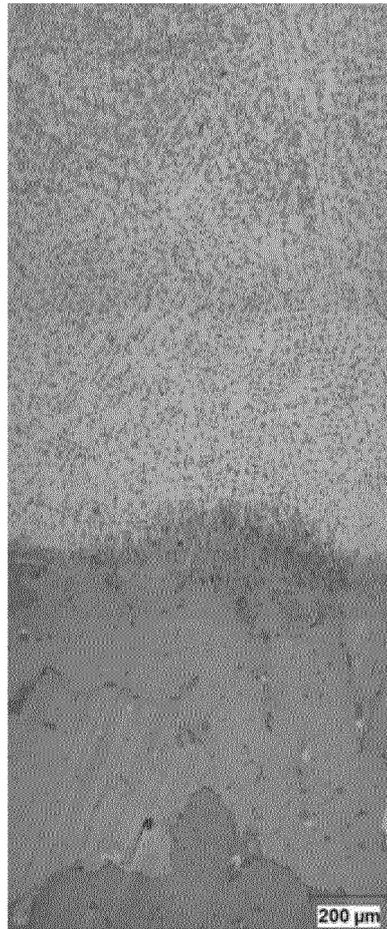


FIG. 2

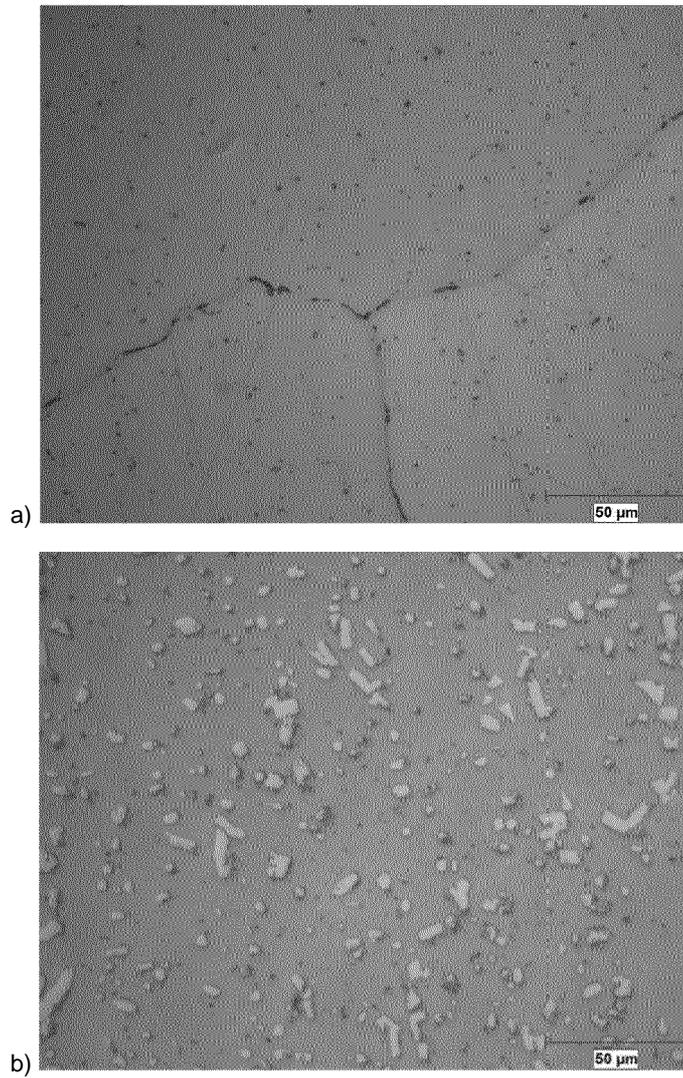


FIG. 3

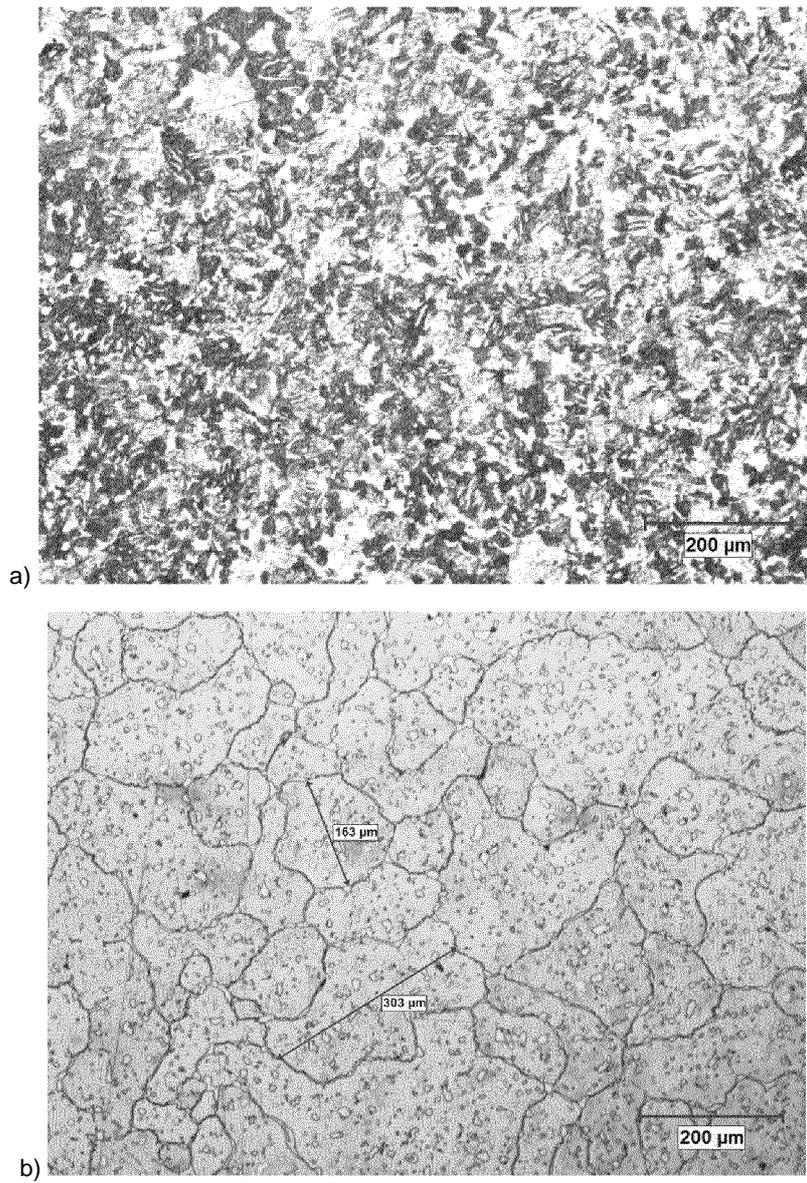


FIG. 4

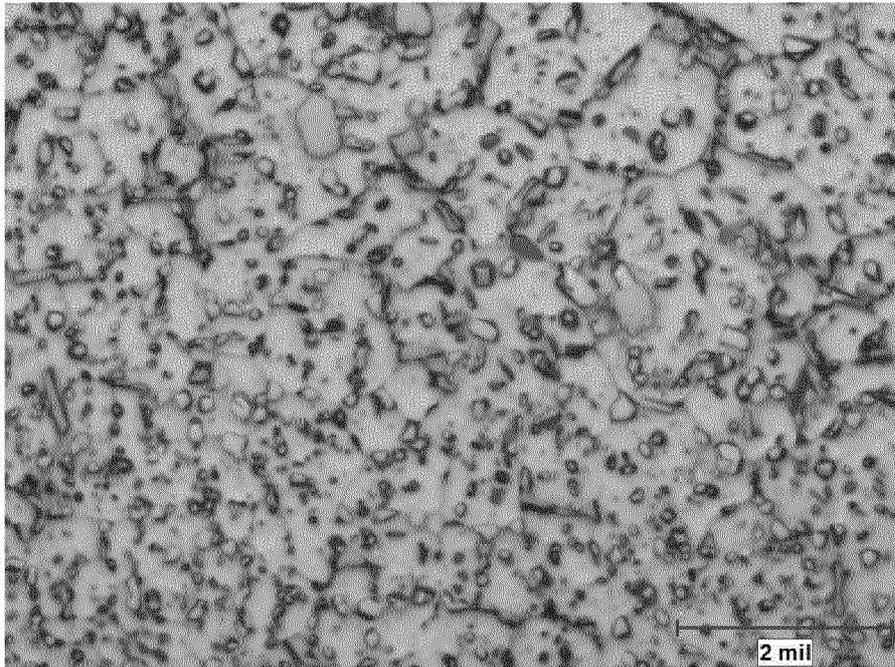


FIG. 5

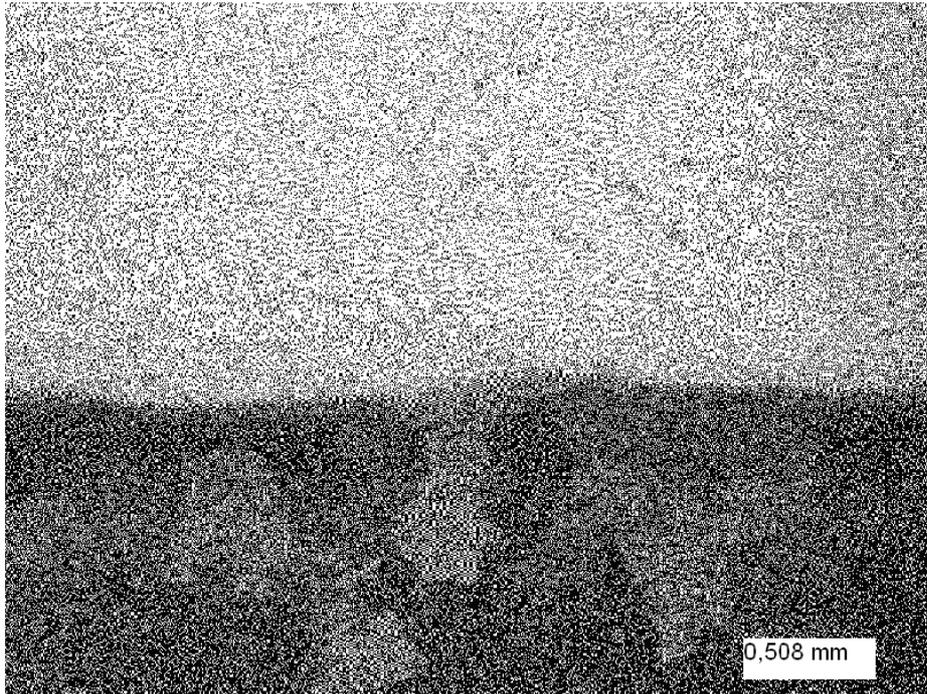


FIG. 6

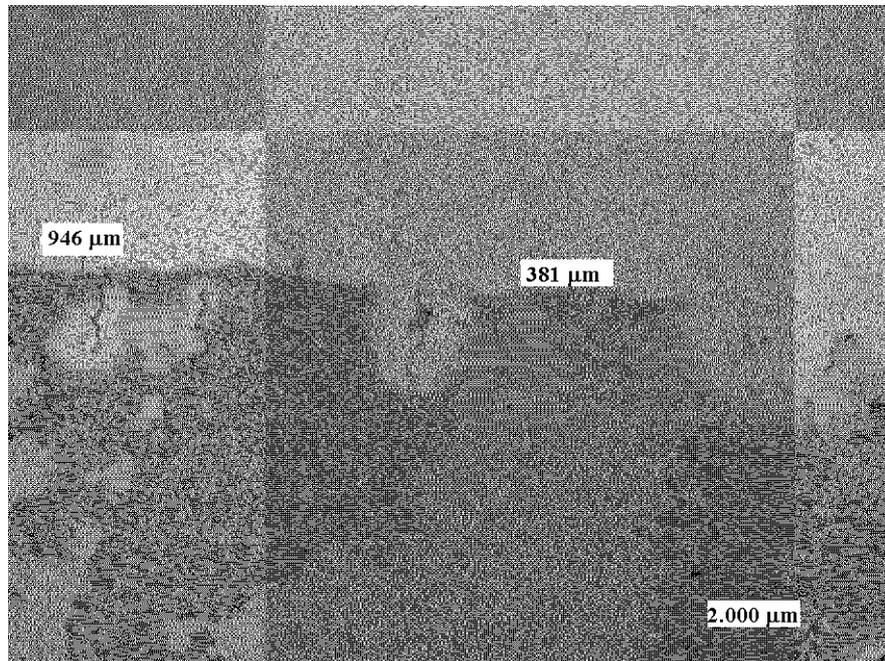


FIG. 7

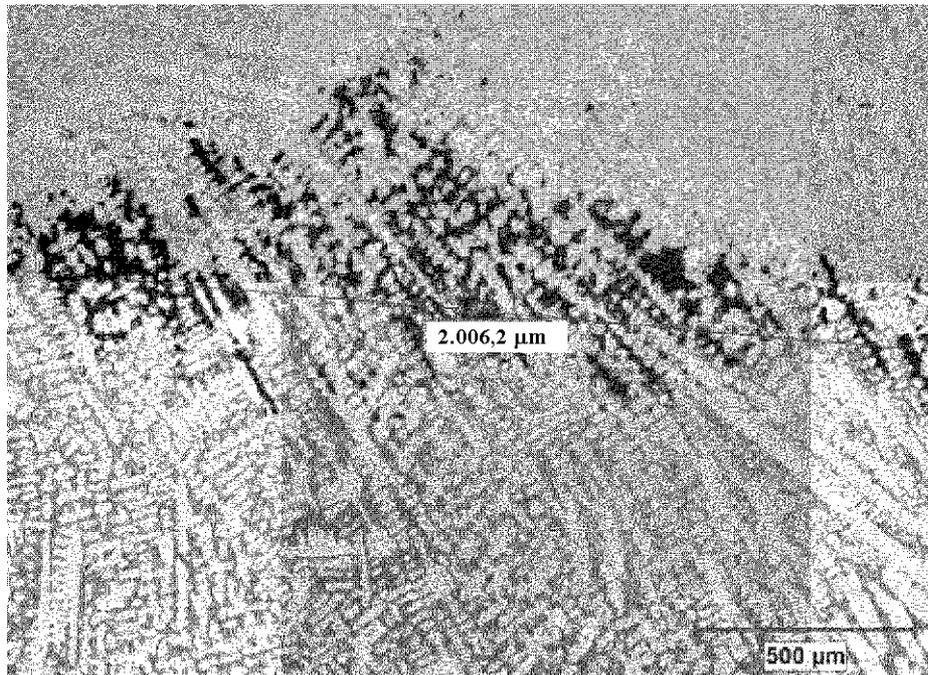


FIG. 8

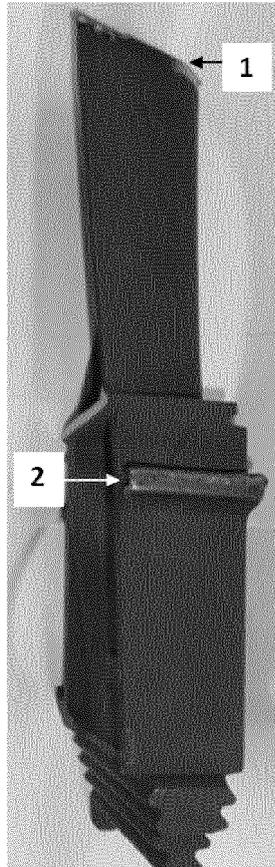


FIG. 9