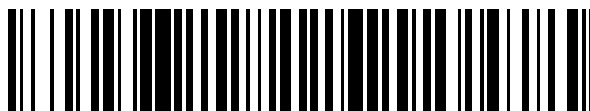


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 713 006**

51 Int. Cl.:

B23K 35/02 (2006.01)
B23K 35/30 (2006.01)
C22C 19/05 (2006.01)
B23K 1/00 (2006.01)
B23K 9/167 (2006.01)
B23K 103/02 (2006.01)
B23K 103/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.10.2014** **PCT/CA2014/000752**
87 Fecha y número de publicación internacional: **05.11.2015** **WO15164939**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.10.2014** **E 14891039 (1)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.12.2018** **EP 3137253**

54 Título: **Un material de soldadura con base de níquel que porta un boro dúctil**

30 Prioridad:

28.04.2014 US 201414263120

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.05.2019

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 2 713 006 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Un material de soldadura con base de níquel que porta un boro dúctil

La presente solicitud reivindica la prioridad de la solicitud de patente de utilidad de Estados Unidos presentada de forma regular 14/263.120 presentada el 28 de abril de 2014 por Alexander B. Goncharov, Joseph Liburdi y Paul Lowden bajo el título; Welding material for Welding Superalloys.

La aleación de níquel cromo 625 que incluye nominalmente 20-23% en peso de Cr, 8-10% en peso de Mo, 3,15-4,15% en peso de Nb, máximo de 0,1% en peso de C y níquel con impurezas el resto, también conocida como INCONEL® 625 (IN625) fabricada según AMS 5879, tiene buena resistencia a la oxidación a temperaturas de hasta 982,22°C (1800°F), propiedades mecánicas hasta 870°C (1598°F) y proporciona buena resistencia a la corrosión acuosa. Como resultado, esta aleación se ha usado ampliamente en las industrias aeroespacial, química y de generación de energía durante décadas.

Además, debido a propiedades metalúrgicas únicas Inconel® 625 (IN625) fabricada según AMS 5837 en forma de alambre y varillas de soldadura se ha usado para reparar los componentes del motor de turbina mediante soldadura por arco de tungsteno con gas (GTAW), soldadura y revestimiento por láser, haz de electrones y plasma. La aleación IN624 de endurecimiento en disolución tiene una alta ductilidad debido a la composición química equilibrada, en donde hasta 0,1% en peso de carbono no afectó a la ductilidad. Por lo tanto, no había necesidades metalúrgicas para la purificación costosa adicional de esta aleación que pudiera aumentar el precio de este alambre de soldadura ampliamente usado. Como resultado, el contenido típico de carbono en el alambre de soldadura de IN625 disponible en el mercado varía de aproximadamente 0,06% en peso a aproximadamente 0,1% en peso.

IN625 produce soldaduras por sonido aunque la zona afectada por el calor (HAZ) de Inconel® 738, GTD 111, GTD 222, Inconel 713 y algunas otras superaleaciones endurecidas por precipitación con alto contenido de fase gamma prima (γ') es propensa a micro roturas conocidas también como microfisurado 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 de 2005, págs. 1881-1890.

La modificación de Inconel 625 con boro redujo la temperatura de fusión y rotura por licuado en la HAZ de las soldaduras producidas por revestimiento láser en GTD111 y superaleaciones con base de níquel Inconel 738 y GTD 111 según A. Gontcharov, J. Liburdi, P. Lowden et al. "Self Healing Fusion Welding Technology", GT2014-26412, Proceedings of ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition, 16-20 de junio de 2014, Düsseldorf, Alemania. Estas soldaduras tenían alargamiento de 19,7% solo a una temperatura de 982,22°C (1800°F) que prácticamente restringió el uso del proceso de estirado para la fabricación de alambre de soldadura. El documento GB2052557 describe un material de soldadura resistente con base de níquel que tenía una composición que comprende (% en peso) B 0,2-1,0%, C 0,60-1,8%, Cr 24-32%, Mo 4-10%, Fe hasta 5%, W hasta ½ de Mo, Mn hasta 1,0%, Cu hasta 3%, Co hasta 5%, resto Ni e impurezas.

El documento US3228095 describe un material para paletas de turbina que tiene el siguiente porcentaje de composición en peso: Cr 5-30%, Co 0-30%, Mo 5-30%, W 0-20%, Ti 0,5-7,0%, Al 2,0-17%, B 0,003-0,3%, Zr 0,001-1,0%, C 0,01-0,5%, Ca 0-0,1%, Mn 0-0,4%, Si 0-0,4%, Fe 0-1,0%, Be 0-0,5%, Ta 0-5%, Nb 0-5%, Hf 0-10%, tierras raras 0-0,2%, S 0-0,005%, P 0-0,008%, V 0-3%, N2 0-0,2%, Mg 0-0,15%, O2 0-0,2%, Cu 0-0,5%, Pb 0-0,005%, siendo el contenido combinado de titanio y aluminio de la aleación al menos 6,5% y siendo el resto de la aleación níquel e impurezas.

Por lo tanto, se necesitaba una mejora adicional de material de soldadura Inconel 625 modificado con boro para permitir la fabricación de alambre de soldadura usando el proceso de estirado estándar sin desviaciones significativas de la composición química estándar de Inconel 625. Es también un objeto del concepto que el alambre de soldadura produciría soldaduras libres de rotura en las superaleaciones endurecidas por precipitación, juntas soldadas fuertes y soldadas con propiedades de límite elástico y rotura por tensión que exceden las propiedades relevantes de la aleación Inconel 625 estándar.

Breve descripción de la invención

Se ha encontrado que para alcanzar la ductilidad necesaria para la fabricación de alambre de soldadura usando procesos de estirado y extrusión estándar, el contenido de carbono en la aleación con base de níquel que comprende de 0,4-0,6% en peso de boro (B), 17-23% en peso de cromo (Cr), 8-10% en peso de molibdeno (Mo), 0,1-4,15% en peso de niobio (Nb) no debería exceder de aproximadamente 0,04% en peso para evitar o minimizar la formación de carburos.

Además de lo anterior, el material de soldadura inventado produjo soldaduras libres de rotura con propiedades de límite de elasticidad, ductilidad y rotura por tensión superiores que exceden las propiedades mecánicas de las soldaduras producidas usando alambre de soldadura IN625 estándar.

Según la realización preferible, el material de soldadura inventado puede fabricarse en forma de alambre de soldadura y soldadura fuerte, polvo de soldadura y láminas.

El material de soldadura inventado puede usarse para la unión y reparación de diversos artículos incluyendo componentes de motor de turbina fabricados de aleaciones con base de níquel, cobalto y hierro, policristalinas, solidificadas direccionalmente y de cristal sencillo.

- 5 Debido a la alta ductilidad y temperatura de fusión reducida de esta aleación, el material de soldadura inventado puede usarse para la soldadura fuerte TIG y unión de materiales producidos por Soldadura de Hueco Ancho, técnicas de Pulvimetalurgia de Liburdi y también materiales compuestos.

Descripción de los dibujos

La Figura 1 es la fotografía del corte de alambre de soldadura a varillas para soldadura GTAW-MA y soldadura fuerte TIG.

- 10 La Figura 2 es la micrografía de la soldadura de revestimiento que se produjo en el material base GTD 111 usando varillas de soldadura que contienen 0,4% en peso de B y 0,02% en peso de C que representa la HAZ libre de rotura en la parte inferior y desarrollo de soldadura en la parte superior, en donde 1 es el metal de soldadura, 2 es la línea de fusión y 3 es el material base fabricado de superaleación GTD 111.

- 15 La Figura 3 es la macrografía de la soldadura de revestimiento que se produjo en el material de soldadura fuerte de hueco ancho Mar M24-Amdry 775 aplicada a la superficie de superaleación Inconel 738, en donde 1 es el metal de soldadura, 2 es la línea de fusión y 3 es el material base hecho de WGB.

La Figura 4 es la micrografía de la soldadura de revestimiento en el CMSX-4 que representa una soldadura libre de rotura sin ninguna evidencia de una recrystalización del sustrato de cristal sencillo, en donde 1 es el metal de soldadura, 2 es la línea de fusión y 3 es el material base fabricado de aleación de cristal sencillo CMSX-4.

20 Acrónimos estándar

AMS – Especificación de material aeroespacial (estándares)

ASTM – Sociedad americana para ensayos y materiales (estándares)

AWS – Sociedad de soldadura americana (estándares)

HAZ – Zona afectada por el calor

- 25 NDT – Ensayo no destructivo

PWHT – Tratamiento con calor posterior a la soldadura

RA – Área de reducción de la muestra en el ensayo de tracción

UTS – Resistencias a la rotura por tracción últimas

IN625 – Aleación con base de níquel Inconel 625

- 30 GTAW-MA – Soldadura por arco de tungsteno con gas – manual

GTAW-ME – Soldadura por arco de tungsteno con gas – máquina

LBW – Soldadura con haz de láser

EBW – Soldadura con haz de electrones

PAW – Soldadura por arco de plasma

- 35 TIG – Gas inerte de tungsteno

WGB – Soldadura fuerte con hueco ancho

LPMTM – proceso y marca registrada de pulvimetalurgia de Liburdi

HPT – Turbina de alta presión

Glosario de términos

- 40 Amdry 775 – aleación de soldadura fuerte por difusión con un alto contenido en cromo que permite una tremenda resistencia a la oxidación y la corrosión, además de contener boro como un supresor de fusión, que proporciona un depósito homogéneo.

Boruros – compuestos que consisten en dos elementos de los que el boro es el más electronegativo. El boro forma

boruros con elementos metálicos y no metálicos.

Material CMSX-4 – una aleación de cristal sencillo, de resistencia ultra-alta

5 Dilución – el cambio en una composición química de un material de soldadura provocado por la mezcla del material base o metal de soldadura previo en el cordón de soldadura que se mide mediante el porcentaje del metal base o metal de soldadura previo en el cordón de soldadura.

Ductilidad – capacidad de los metales y aleaciones de estirarse, tensarse o conformarse sin romperse.

Agrietamiento – pequeñas discontinuidades tipo rotura con solo ligera separación (desplazamiento de abertura) de las superficies de fractura. Los prefijos macro- o micro- indican el tamaño relativo.

10 Soldadura por arco de tungsteno con gas (GTAW) – de acuerdo con la definición de AWS es el proceso de soldadura por arco que produce la coalescencia de los metales calentándolos con un arco entre un electrodo de tungsteno (no consumible) y el trabajo también conocido como un material base. El blindaje se obtiene a partir de un gas o una mezcla de gas. La presión puede usarse o no y metal de relleno puede usarse o no.

GTD 111 – superaleación con base de níquel desarrollada por General Electric.

INCONEL 738 – aleación con base de níquel que está fundida al vacío y endurecida por precipitación.

15 Soldadura y revestimiento con haz de láser (LBW) – de acuerdo con la definición de AWS es un proceso de soldadura que produce coalescencia de materiales con el calor obtenido de la aplicación de haz de luz coherente concentrado que afecta a la unión o material base respectivamente.

Rotura por licuado – pequeñas roturas provocadas por la fusión de constituyentes limitantes durante la solidificación del material licuado.

20 Material LPM – material que comprende matriz con base de soldadura fuerte y presentado en unos polvos de relleno a alta temperatura en fase sólida tal como Mar M247, Inconel 738 y otro.

MAR M-247 – superaleación con base de níquel gamma prima alta con endurecimiento por precipitación. Inconel 738 – superaleación con base de níquel gamma prima alta con endurecimiento por precipitación.

25 Soldadura fuerte con gas inerte de tungsteno – método de soldadura en que el arco está sostenido por un electrodo de tungsteno y se usa gas inerte para evitar el acceso del aire.

Polvo de soldadura – el material de soldadura en forma de polvo que se añade en la fabricación de uniones soldadas o soldaduras de revestimiento.

Varillas de soldadura – corte de alambre de soldadura a una longitud estandarizada.

30 Alambre de soldadura – material de soldadura en forma de alambre que se añade en la fabricación de uniones soldadas o soldaduras de revestimiento.

Aleación con soldadura fuerte de hueco ancho – aleaciones con un componente que funde a la temperatura de soldadura fuerte y también un componente que o funde parcialmente o no funde a la misma temperatura. Esto permite que se cree un “puente” entre los miembros.

Capa de soldadura fuerte con hueco ancho – proporcionar un material que recubre un sustrato.

35 Descripción detallada de la invención

La aleación inventada puede usarse en forma de alambres y polvos de soldadura además de en forma de diversos artículos fabricados fundiendo, enrollando, conformando en caliente y en frío e incorporada en estos artículos sustituyendo secciones dañadas durante las reparaciones.

40 Los materiales de soldadura en forma de alambre y polvo de soldadura son las principales aplicaciones de la aleación inventada y, por lo tanto, se tratan en más detalle a posterior.

45 Para una fabricación de lingotes de alambre de soldadura, también conocidos como palanquillas de 1,27-7,62 cm (0,5-3 pulgadas) de diámetro se producen al vacío o en argón usando tecnología y equipo estándar de inducción, fusión con arco y re-fundido. Después esas palanquillas se reducen a un diámetro necesitado por estiramiento o extrusión con precalentamiento seguido de acabado de superficie estándar. Por lo tanto, la alta ductilidad del material de fundición inicial es esencial para minimizar la temperatura de proceso para una fabricación con éxito del alambre de soldadura por extrusión y estiramiento.

Durante el procesado final el alambre se pasa a través de un procedimiento de limpieza riguroso estándar que asegura que el alambre de soldadura y las soldaduras producidas usando este alambre están libres de contaminación.

Después de la limpieza, el alambre se corta a una longitud necesaria para la fabricación de varillas de soldadura para una GTAW-MA manual o se sueldan a tope juntas y se enrollan para la soldadura GTAW-ME, LBW, EBW y PAW automática.

5 El polvo de soldadura de 45-75 µm de diámetro para el revestimiento y soldadura por láser y plasma se fabrica mediante un proceso de atomización con gas estándar. Durante este proceso la aleación fundida se atomiza mediante chorros de gas inerte en gotitas metálicas finas, que se enfrían durante su caída en la torre de atomización. Los polvos metálicos obtenidos por atomización con gas tienen una forma perfectamente esférica y alto nivel de limpieza.

10 Durante la soldadura, el polvo y el alambre de soldadura se alimentan al baño de soldadura que debido a la solidificación se consolidan con el material base que produce el metal de soldadura con una composición química cercana a la composición química del material de soldadura. Para reducir el sobrecalentamiento y evitar la rotura de la HAZ, la soldadura y el revestimiento se realizan con dilución mínima. Los mejores resultados en el revestimiento se alcanzaron con una disolución de 5-15%.

15 Como se descubrió en el alcance de la actual invención, el boro en el intervalo especificado produjo dos efectos beneficiosos para alcanzar los objetivos de la actual invención. Primero de todo, el boro en una combinación con un contenido especificado de carbono, aumentó la ductilidad de la aleación inventada en el intervalo de temperatura de 871,11-982,22°C (1600-1800°F) permitiendo la fabricación de alambre de soldadura usando procesos de estiramiento y extrusión estándar.

20 En segundo lugar, el boro en el intervalo de 0,4 a 0,6% en peso redujo la temperatura de fusión del material de soldadura y el sobrecalentamiento de la HAZ, minimizando o excluyendo así la rotura de licuación del material base en la HAZ de la superaleación GTD 111 como se muestra en la FIG. 1.

Además de lo anterior, el boro aumenta la resistencia de las soldaduras debido a la formación de boruros cuboidales, referidos en las Tablas 2 y 3.

25 La alta ductilidad y la temperatura de fusión reducida del material de soldadura inventado permiten la soldadura directa y la soldadura fuerte TIG en uniones soldadas fuertes y materiales WGB como se muestra en la FIG. 3. Además, la soldadura y el revestimiento que usan el material de soldadura inventado excluye la rotura y la recristalización de materiales de material cristalino sencillo como se muestra en la FIG. 4.

Ejemplos de alambre de soldadura y soldaduras producidas en aleaciones GTD 111 y material soldado fuerte WGB

30 La aleación inventada con las composiciones químicas preferibles mostradas en la Tabla 1 designada como Aleación 1 y Aleación 2 además de Aleación 3 con contenido elevado de carbono en forma de barras producidas por la fusión con arco de plasma en argón se sometieron a ensayo de tracción según ASTM E-8, E-21 a 648,89°C (1200°F) y 982,22°C (1800°F) y a prueba de rotura por tensión según ASTM E-139 a temperatura de 926,67°C (1700°F).

35 Como se sigue por las Tablas 2 y 3, la aleación inventada demostró una ductilidad superior que la permitida por la fabricación de alambre de soldadura usando procesos de estiramiento y extrusión estándar. El ejemplo del alambre de soldadura de 0,11 cm (0,045 pulgadas) de diámetro fabricado de Aleación 1 se muestra en la FIG. 1.

A pesar de la ductilidad superior, las propiedades de límite elástico y rotura por tensión de la aleación inventada excedieron significativamente las propiedades de la aleación IN625 estándar debido a la formación de boruros cuboidales finos precipitados de forma uniforme en una matriz con base de níquel dúctil.

40 Las propiedades mecánicas de barras fabricadas de Aleación 1 por re-fundido por arco de plasma y alambre en la condición como se fabrica en comparación con las propiedades mecánicas de aleación INCONEL®625 AMS 5666 y AMS 5402 estándar en condición forjada y fundida respectivamente se proporcionan en las Tablas 3 y 4. Como sigue a partir de estos datos, la aleación inventada demostró propiedades mecánicas superiores a una temperatura ambiente que pueden utilizarse para la fabricación de varios artículos que incluyen componentes de motor de turbina.

45 La prueba de soldabilidad se hizo usando soldadura GTAW-MA revistiendo y soldando usando varillas de soldadura fabricadas de la Aleación 1. El revestimiento se hizo en la superaleación de endurecimiento por precipitación GTD 111 equiaxial y solidificada direccionalmente por endurecimiento por precipitación, capa WGB comprendida por polvo de relleno Mar M247 y material de soldadura fuerte Amdry 775 depositado en la superficie de sustrato Inconel 738 y material CMSX-4 de cristal sencillo.

50 Las aleaciones GTD 111, WGB y CMSX-4 se seleccionaron para una demostración de propiedades superiores del material de soldadura inventado en base a la pobre soldabilidad histórica y amplias aplicaciones industriales de estos materiales para la fabricación y reparación de varios componentes del motor de turbina. Por ejemplo, GTD 111 es altamente susceptible al micro-fisurado en la HAZ. GTD 111 se ha usado para una fabricación de paletas de turbina de alta presión (HPT) de motores industriales de turbina de gas durante décadas. El material CMSX-4 de cristal sencillo se ha usado para una fabricación de paletas de HPT para motores de turbinas aéreas. Es propenso a la recristalización y la rotura. Los materiales WGB se han usado ampliamente para una reparación de componentes de motor de turbina.

Este tipo de materiales es propenso a la rotura por tensión-esfuerzo debido a la baja ductibilidad.

Las pruebas de soldadura se realizaron por revestimiento sencillo o de pasada múltiple en WGB y GTD 111, las muestras de CMSX-4 pretenden respectivamente producir el desarrollo de la soldadura de 10,16 cm (4 pulgadas) de longitud, de 0,381 cm a 0,762 cm (0,15 pulgadas a 0,3 pulgadas) de anchura y de 0,203 cm a 0,889 cm (0,080 pulgadas o 0,35 pulgadas) de altura usando el proceso de soldadura GTAW-MA a una temperatura ambiente. La micrografía típica de soldaduras de revestimiento en materiales GTD 111, WGB y CMSX-4 en la condición PWHT se muestra en las FIG. 2, 3 y 4 respectivamente.

Los parámetros de soldadura se seleccionaron mediante experimento poniendo como objetivo producir soldaduras de revestimiento con una dilución de 10-15%:

Corriente de soldadura de (60-70) A

Voltaje del arco de (13-14) V

Velocidad de soldadura de (2,54-3,05) cm ((1,0-1,2) pulgadas) por minuto.

Antes de la soldadura las muestras, fabricación de aleación de GDT 111, se sometieron a un tratamiento con calor de recocido antes de la soldadura a una temperatura de 1200°C (2192°F) durante dos (2) horas seguido por una desactivación con argón. La soldadura en muestras fabricadas de materiales de WGB y CMSX-4 se hizo sin tratamiento con calor antes de la soldadura.

Después de la soldadura las muestras producidas de materiales GTD 111 y WGB se sometieron al PWHT que comprendió el recocido a una temperatura de 1200°C (2192°F) durante dos (2) horas seguido por un envejecimiento a temperaturas de 1120°C (2048°F) durante dos (2) horas y 845°C (1553°F) durante veinticuatro (24) horas. Las muestras de CMSX-4 se calmaron de tensiones a 1120°C (2048°F) durante una (1) hora.

Las composiciones aceptables de material de soldadura para la soldadura de superaleaciones con base de níquel incluyeron aquellas que tenían suficiente ductilidad para estirarse en alambre y produjeron soldaduras libres de rotura con propiedades de límite elástico y rotura por tensión que superen las propiedades de IN625 a una temperatura de 982,22°C (1800°F).

Como sigue de la Tabla 2, el elevado contenido de carbono en la Aleación 3 redujo el alargamiento en más de dos veces en el intervalo de temperatura de 648,89-982,22°C (1200-1800°F) y la volvió incapaz de estirarse en alambre de soldadura.

La aleación inventada con la composición química que corresponde a la Aleación 1 y Aleación 2 demostró ductilidad superior permitiendo la fabricación de alambre de soldadura usando procesos de estiramiento y extrusión estándar. Además, la Aleación 1 tenía propiedades de rotura a la tensión superiores a las de la aleación INCONEL®625 estándar como se muestra en la Tabla 3 a 648,89-982,22°C (1200-1800°F) y produjeron soldaduras libres de rotura en materiales GTD 111, WGB y CMSX-4 de cristal sencillo como se muestra en las FIG. 2, 3 y 4 respectivamente. Además, como se muestra en la Tabla 4, la aleación inventada tiene propiedades de tracción superiores y ductilidad a temperatura ambiente a considerar para la fabricación de componentes de motor de turbina y otros artículos.

Tabla 1. Composición química del material de soldadura inventado en comparación con la aleación IN625 estándar, en % en peso

Metal de soldadura	Ni	Cr	Mo	Nb	B	C	W	Ti	Si	Mn	Fe
Aleación 1	El resto	20	8	3,15	0,4	0,02	-	-	-	-	-
		23	10	4,14				0,4	0,5	0,5	5,0
Aleación 2	El resto	20	8	3,15	0,6	0,04	-	-	-	-	-
		23	10	4,14				0,4	0,5	0,5	5,0
Aleación 3	El resto	20	8	3,15	0,6	0,1	-	-	-	-	-
		23	10	4,14				0,4	0,5	0,5	5,0
IN625	El resto	20	8	3,15	-	0,1	-	-	-	-	-
		23	10	4,14				0,4	0,5	0,5	5,0

Tabla 2. Propiedades de tracción a alta temperatura de la aleación inventada en la condición refundida con arco

Metal de soldadura	Temperatura de ensayo, °C (°F)	límite de elasticidad con 0,2% de compensación, MPa (KSI)	%, alargamiento	%, reducción
Aleación 1	648,89 (1200)	397,138 (57,6)	20	20,2
Aleación 1	982,22 (1800)	101,352 (14,7)	51,1	51,0
Aleación 2	648,89 (1200)	430,922 (62,5)	15,6	19,7
Aleación 2	982,22 (1800)	121,347 (17,6)	51,8	51,9
Aleación 3	648,89 (1200)	452,296 (65,6)	5,8	6,5
Aleación 3	982,22 (1800)	168,921 (24,5)	22,5	23,4

Tabla 3. Propiedades de rotura por tensión de aleación 1 fundida por arco de plasma con la composición química preferible y la aleación IN625 estándar de línea base.

Material	Temperatura de prueba, °C (°F)	Tensiones, MPa (KSI)	Tiempo de rotura, horas
Aleación 1	648,89 (1200)	461,948 (67,0)	47,7
Aleación 1	982,22 (1800)	55,158 (8,0)	7,1
Aleación 1	982,22 (1800)	48,263 (7,0)	12,2
Inconel 625	648,89 (1200)	348,185 (50,5)	10
Inconel 625	982,22 (1800)	55,158 (8,0)	1,2

5

Tabla 4. Propiedades mecánicas de alambre de soldadura fabricado de la aleación 1 inventada con la composición química preferible y aleación Inconel 625 estándar a una temperatura ambiente

Material	UTS, MPa (KSI)	Límite de elasticidad, MPa (KSI)	Alargamiento, %
alambre de soldadura de Aleación 1	1075,582 (156)	520,554 (75,5)	35
IN625 según AMS 5666	827,370 (120)	413,685 (60)	30
IN625 según AMS 5402	524,001 (76)	275,790 (40)	16

Tabla 5. Propiedades de tracción de soldaduras producidas usando el alambre de soldadura fabricado de Aleación 1 y aleación de línea base de IN625 a 982,22°C (1800°F)

Material	límite de elasticidad con 0,2% de compensación, MPa (KSI)	UTS, MPa (KSI)	Alargamiento, %	RA, %
Soldadura de revestimiento de Aleación 1	100,663 (14,6)	175,126 (25,4)	51,8	52,4
Soldaduras de revestimiento de IN625	82,047 (11,9)	155,132 (22,5)	43,5	42,3

10

Tabla 6. Propiedades de tensión-rotura y propiedades de tracción del metal de soldadura producido usando alambre de soldadura fabricado de Aleación 1 y aleación de línea base IN625

Material	Temperatura de prueba, °C (°F)	Tensiones, MPa (KSI)	Tiempo de rotura, horas
Soldaduras de revestimiento de Aleación 1	982,22 (1800)	55,158 (8,0)	24,0
Soldaduras de revestimiento de IN625	982,22 (1800)	55,158 (8,0)	1,7

Como sigue de las Tablas 5 y 6, las propiedades mecánicas de las soldaduras de revestimiento que se produjeron en el sustrato GTD 111 usando GTAW-MA con alambre de soldadura fabricado de Aleación 1 superaron las propiedades de soldaduras producidas usando alambre de soldadura de IN625 estándar a una temperatura de 982,22°C (1800°F).

- 5 Por lo tanto, el material de soldadura inventado que comprendía de aproximadamente 0,4% en peso a 0,6% en peso de B y de cantidad traza a un máximo de 0,04% en peso de C tiene ductilidad superior, y produjo soldaduras libres de rotura en materiales de superaleación GTD 111, WGB y CMSX-4 de cristal sencillo con propiedades mecánicas, superando las propiedades de la aleación de línea base IN625 estándar a alta temperatura y permitió la fabricación del alambre de soldadura inventado usando procesos de estiramiento y extrusión de bajo coste y alta productividad, estándar. La aleación de IN625 estándar no incluye boro, sin embargo incluye alguna cantidad de carburos, debido a
- 10 su contenido en carbono. El bajo contenido en carbono menor que 0,04% en peso de C en esta aleación se necesita para excluir la formación de carburos. Contenidos de carbono mayores de 0,06% en peso a aproximadamente 0,1% en peso, que está contenido normalmente en INCONEL®625, promovió la formación de carburos que redujeron la ductilidad y afectan a la capacidad del material inventado para experimentar trabajo en frío, trefilado y conformado. Esto se verificó experimentalmente como se evidencia por la Aleación 3 en las Tablas 1 y 2 anteriores.

REIVINDICACIONES

1. Un material de soldadura con base de níquel que porta un boro dúctil comprendido por los siguientes elementos en porcentajes en peso:
- a) Boro: de aproximadamente 0,4 a 0,6% en peso
 - 5 b) Carbono: de una cantidad traza a aproximadamente 0,04% en peso
 - c) Cromo: de aproximadamente 20 a 23% en peso
 - d) Molibdeno de aproximadamente 8 a 10% en peso
 - e) Niobio: de aproximadamente 3,15 a 4,14% en peso
 - f) Níquel con impurezas: el resto.
- 10 2. El material de soldadura con base de níquel que porta boro dúctil según la reivindicación 1 que incluye además los siguientes elementos en porcentajes en peso:
- a) hierro de aproximadamente cantidad traza a 5% en peso; y
 - b) elementos de microaleación seleccionados de entre titanio, tantalio, tungsteno, silicio y manganeso: de aproximadamente una cantidad traza a un 1,5% en peso combinados.
- 15 3. El material de soldadura con base de níquel que porta boro dúctil según la reivindicación 1 es alambre para soldar y soldar fuerte.
4. El material de soldadura con base de níquel que porta boro dúctil según la reivindicación 1 es polvo para soldar y soldar fuerte.
- 20 5. El material de soldadura con base de níquel que porta boro dúctil según la reivindicación 1 es una lámina para soldadura fuerte y unión por difusión.
6. El material de soldadura con base de níquel que porta boro dúctil según la reivindicación 1 se usa para la soldadura y soldadura fuerte de unas aleaciones con base de níquel, cobalto y hierro poli-cristalinas.
7. El material de soldadura con base de níquel que porta boro dúctil según la reivindicación 1 se usa para soldar y soldar fuerte aleaciones de níquel, cobalto y hierro solidificadas de forma direccional.
- 25 8. El material de soldadura con base de níquel que porta boro dúctil según la reivindicación 1 se usa para soldar y soldar fuerte materiales con base de níquel, cobalto y hierro, de cristal sencillo.
9. El material de soldadura con base de níquel que porta boro dúctil según la reivindicación 1 se usa para la soldadura fuerte TIG y la soldadura de materiales compuestos.
- 30 10. El material de soldadura con base de níquel que porta boro dúctil según la reivindicación 1 se usa para una reparación de unos artículos producidos por soldadura y soldadura fuerte.

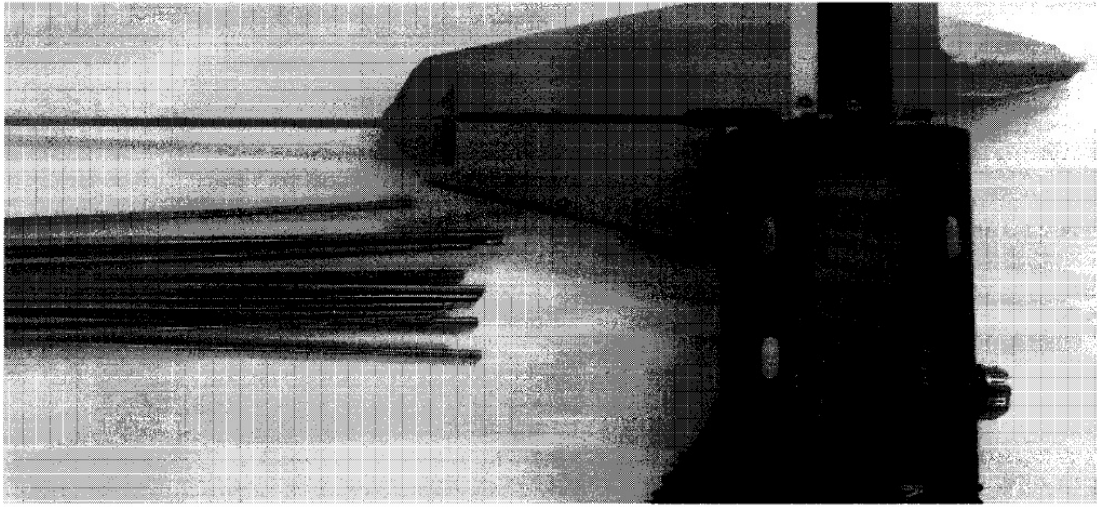


FIG. 1

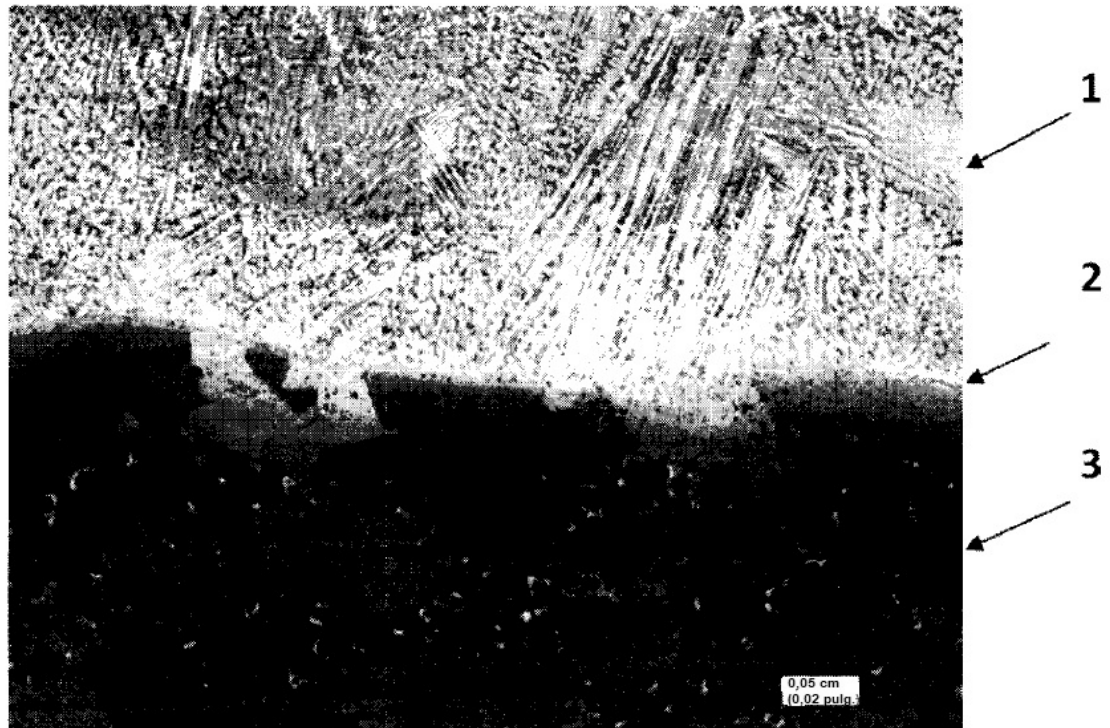


FIG. 2

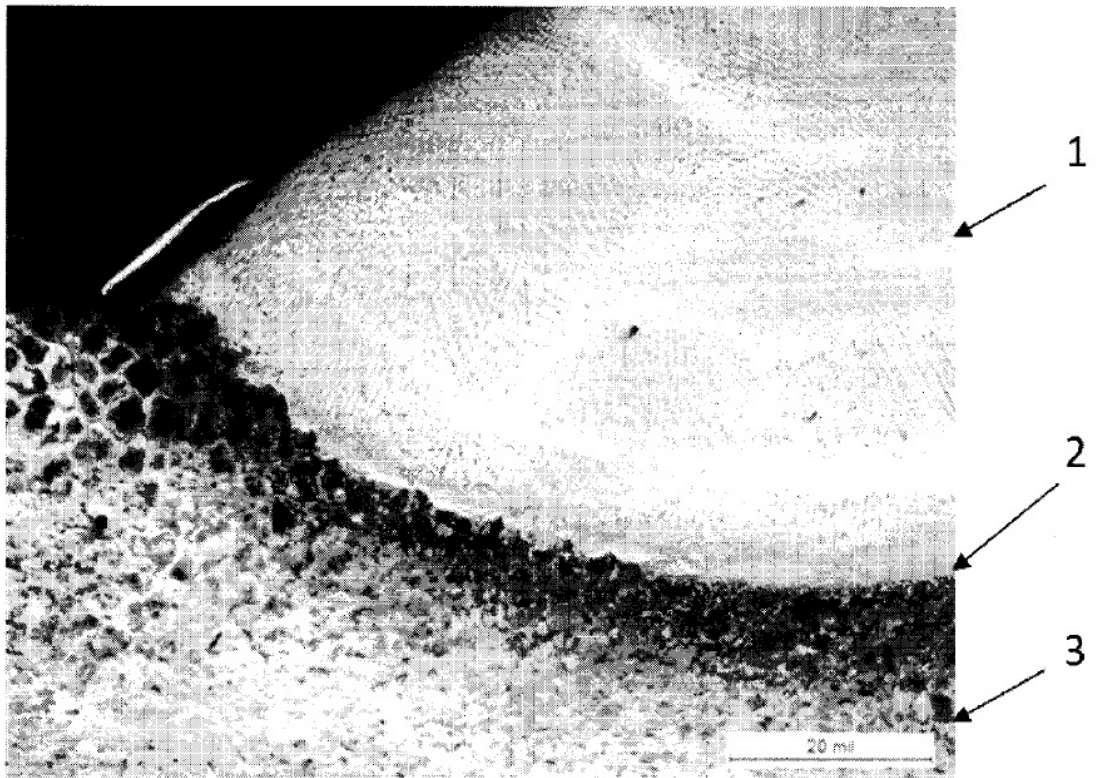


FIG. 3

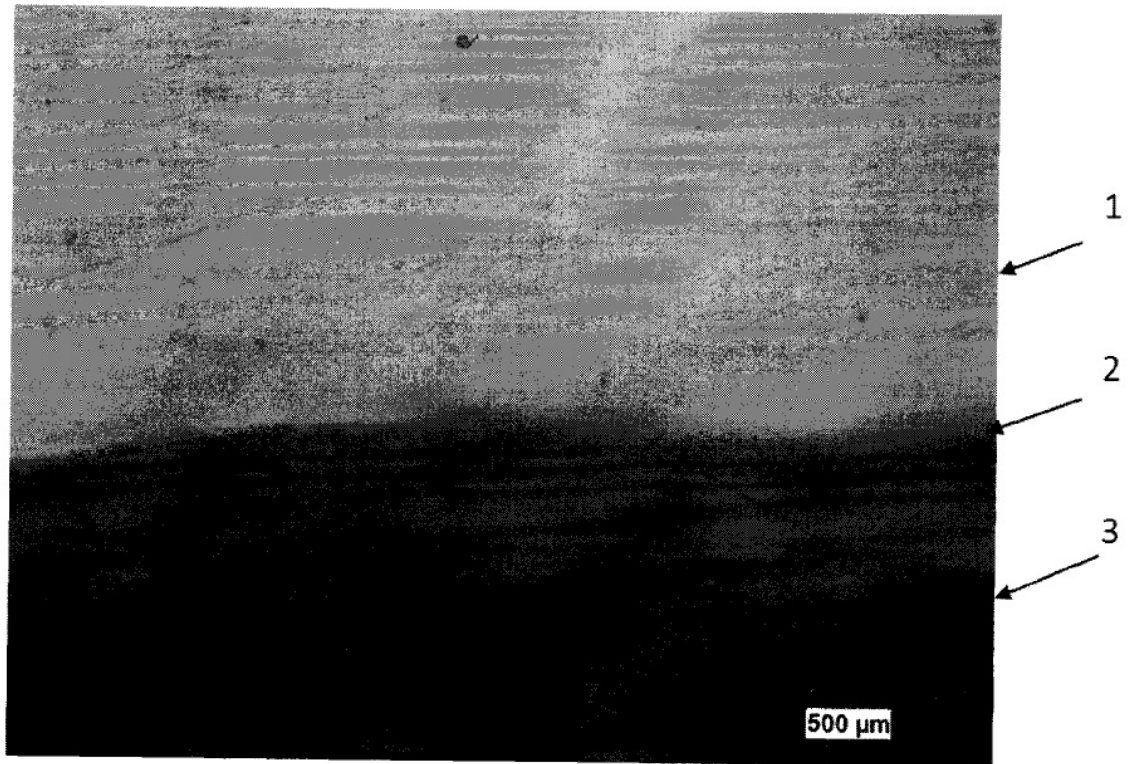


FIG. 4