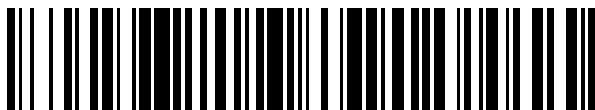


(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 890 331**

(51) Int. Cl.:

**B21B 21/00** (2006.01)  
**B21C 1/22** (2006.01)  
**B21C 23/08** (2006.01)  
**C21D 8/10** (2006.01)  
**C22C 38/00** (2006.01)  
**C22C 38/58** (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.12.2016 PCT/EP2016/082739**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **06.07.2017 WO17114847**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.12.2016 E 16822199 (2)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.07.2021 EP 3397406**

---

(54) Título: **Un proceso de producción de un tubo de acero inoxidable dúplex**

(30) Prioridad:

**30.12.2015 EP 15203149**

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

**18.01.2022**

(73) Titular/es:

**SANDVIK INTELLECTUAL PROPERTY AB  
(100.0%)  
811 81 Sandviken, SE**

(72) Inventor/es:

**KÖNBERG, ERIK y  
SVEDBERG, DANIEL**

(74) Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 890 331 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 proceso de producción de un tubo de acero inoxidable dúplex

### Campo técnico

La presente descripción se refiere a un proceso de producción de un tubo de acero inoxidable dúplex.

5 **Antecedentes**

Los tubos de acero inoxidable dúplex que tienen la composición definida en lo sucesivo en la presente memoria se usan en una amplia diversidad de aplicaciones en las que estos se someten a medios corrosivos, así como a una carga mecánica sustancial. Durante la producción de tales tubos de acero inoxidable dúplex, se han de establecer correctamente diferentes parámetros del proceso con el fin de obtener un tubo de acero que tenga el límite elástico deseado. Los parámetros del proceso que se ha hallado que tienen un impacto importante en el límite elástico final del material son los siguientes: el grado de deformación en caliente, el grado de deformación en frío y la relación entre el diámetro del tubo y la reducción de la pared del tubo durante el proceso en el que un tubo extruido en caliente se lamina en frío hasta sus dimensiones finales. Estos parámetros del proceso se han de establecer con respecto a la composición específica del acero inoxidable dúplex y el límite elástico deseado del tubo de acero inoxidable dúplex.

10 15 Hasta este punto, la técnica anterior se ha basado en la realización de ensayos extensos con el fin de hallar valores de parámetros del proceso que den como resultado el logro de un límite elástico diana de los tubos de acero inoxidable dúplex. Tales ensayos son laboriosos y costosos. Por lo tanto, resulta deseable un proceso más rentable para la determinación de los parámetros del proceso cruciales para el límite elástico.

20 25 La patente europea EP 2 388 341 sugiere un proceso para la producción de un tubo de acero inoxidable dúplex que tiene una composición química específica, en donde la relación de trabajo (%) en términos de reducción de área en la etapa final de laminación en frío se determina para un límite elástico diana predeterminado del tubo por medio de una fórmula dada que también incluye el impacto de determinados elementos de aleación en la relación entre la relación de trabajo y el límite elástico diana.

La presente descripción tiene como objetivo presentar un proceso alternativo para la fabricación de un tubo de un acero inoxidable dúplex mediante el establecimiento de un valor Q, como se define en lo sucesivo en la presente memoria, y una reducción en frío R, como se define en lo sucesivo en la presente memoria, con el fin de lograr un límite elástico diana del tubo de acero inoxidable dúplex producido y, de ese modo, mejorar la eficacia total de fabricación.

### Descripción detallada

30 Por ello, la presente descripción se refiere, por lo tanto, a un proceso de producción de un tubo de acero inoxidable dúplex, teniendo el acero inoxidable dúplex la siguiente composición en % en peso

|    |          |
|----|----------|
| C  | 0-0,3;   |
| Cr | 22-26;   |
| Cu | 0-0,5;   |
| Mn | 0-1,2;   |
| Mo | 3,0-4,0; |
| N  | 0-0,35;  |
| Ni | 5,0-7,0; |
| Si | 0,2-0,8; |

resto de Fe e impurezas inevitables,

comprendiendo dicho proceso las etapas de

- a) producir un lingote o un tocho colado continuo del acero inoxidable dúplex,
- 35 b) extruir en caliente el lingote o el tocho colado continuo obtenido en la Etapa a) en un tubo
- c) laminar en frío el tubo obtenido en la Etapa b) hasta una dimensión final del mismo,

en donde el diámetro externo D y el espesor de pared t del tubo laminado en frío es de 50-250 mm y 5-25 mm, respectivamente,

40 en donde, en la etapa de laminación en frío, R y Q se establecen de tal manera que la siguiente Fórmula es  $Rp0,2diana = 416,53 + 113,26 \cdot \log Q + 4,0479 \cdot R + 2.694,9 \cdot \% \text{ de } C - 82,750 \cdot (\log Q)^2 - 0,04279 \cdot R^2 - 2,2601 \cdot \log Q \cdot R + 16,9 \cdot \% \text{ de } Cr + 26,1 \cdot \% \text{ de } Mo + 83,6 \cdot \% \text{ de } N \pm Z$  (1)

en donde

- $R_{p0,2diana}$  es el límite elástico diana y es de 800 a 1.100 MPa;
- $Q = (W_0 - W_1) \times (OD_0 - W_0) / W_0((OD_0 - W_0) - (OD_1 - W_1))$  (2)

en donde  $W_1$  es el espesor de la pared del tubo después de la laminación en frío,  $W_0$  es el espesor de la pared del tubo antes de la laminación en frío,  $OD_1$  es el diámetro externo del tubo después de la laminación en frío y  $OD_0$  es el diámetro externo del tubo antes de la laminación en frío,

- $R$  es la reducción en frío y se define como

$$R = 1 - \frac{A_1}{A_0} \quad (3)$$

- en donde  $A_1$  es el área de sección transversal del tubo después de la laminación en frío y  $A_0$  es la sección transversal del tubo antes de la laminación en frío

- $Z=65$ ,

y en donde  $0 < Q < 3,6$ .

La relación que presenta la Fórmula (1) hará posible determinar los valores de los parámetros del proceso de  $R$  y  $Q$  sobre la base de la composición del acero inoxidable dúplex, es decir, el contenido de los elementos C, Cr, Mo y N, y el límite elástico diana del tubo obtenido. El límite elástico diana se encuentra en el intervalo de 800 a 1.100 MPa, tal como de 900 a 1.100 MPa;

la Fórmula (1) se podría escribir de la siguiente manera:  $R_{p0,2diana} - Z \leq 416,53 + 113,26 \cdot \log Q + 4,0479 \cdot R + 2,694,9 \cdot \% \text{ de } C - 82,750 \cdot (\log Q)^2 - 0,04279 \cdot R^2 - 2,2601 \cdot \log Q \cdot R + 16,9 \cdot \% \text{ de } Cr + 26,1 \cdot \% \text{ de } Mo + 83,6 \cdot \% \text{ de } N \leq R_{p0,2diana} + Z$

Según una realización,  $Z=50$ . Según otra realización,  $Z=20$ . Según otra realización más,  $Z=0$ .

Sobre la base de la composición de un acero inoxidable dúplex y el límite elástico diana del tubo que se va a producir, los valores de  $R$  y  $Q$  se pueden establecer por medio de un procedimiento de cálculo iterativo que tiene como objetivo hallar aquellos valores de  $R$  y  $Q$  para los que se cumple la Ecuación (1).

En cuanto a la composición del acero inoxidable dúplex, se ha de tener en cuenta lo siguiente con respecto a los elementos de aleación individuales en la misma:

El **carbono**, C, es un elemento representativo para la estabilización de la fase austenítica y un elemento importante para el mantenimiento de la resistencia mecánica. Sin embargo, si se usa un gran contenido de carbono, el carbono se precipitará en forma de carburos y, por tanto, reducirá la resistencia a la corrosión. Según una realización, el contenido de carbono del acero inoxidable dúplex usado en el proceso descrito anteriormente y en lo sucesivo en la presente memoria es del 0 al 0,3 % en peso. Según una realización, el contenido de carbono es del 0,008 al 0,03 % en peso, tal como del 0,008 al 0,2 % en peso.

El **cromo**, Cr, tiene un fuerte impacto en la resistencia a la corrosión del acero inoxidable dúplex, como se ha definido anteriormente o en lo sucesivo en la presente memoria, especialmente la corrosión por picaduras. El Cr mejora el límite elástico y contrarresta la transformación de la estructura austenítica en estructura martensítica tras la deformación del acero inoxidable dúplex. Sin embargo, un contenido creciente de Cr dará como resultado la formación de nitruro de cromo y fases sigma estables no deseadas y una generación más rápida de fases sigma. Según una realización, el contenido de cromo del acero inoxidable dúplex usado en el proceso descrito anteriormente y en lo sucesivo en la presente memoria es del 22 al 26 % en peso, tal como del 23 al 25 % en peso.

El **cobre**, Cu, tiene un efecto positivo sobre la resistencia a la corrosión. El Cu se añade intencionadamente al acero inoxidable dúplex como se ha definido anteriormente o en lo sucesivo en la presente memoria o ya está presente en los artículos desechados usados para la producción de acero y se permite que permanezca en los mismos. Los niveles demasiado altos de Cu darán como resultado una trabajabilidad en caliente y tenacidad reducidas y, por lo tanto, se deben evitar por aquellas razones. Según una realización, el contenido de cobre del acero inoxidable dúplex usado en el proceso descrito anteriormente y en lo sucesivo en la presente memoria es del 0 al 0,5 % en peso, tal como del 0 al 0,2 % en peso. Según una realización, el contenido de cobre es del 0,1 al 0,2 % en peso.

El **manganese**, Mn, tiene un efecto de endurecimiento por deformación sobre el acero inoxidable dúplex, como se ha definido anteriormente o en lo sucesivo en la presente memoria. También se sabe que el Mn forma sulfuro de manganeso junto con el azufre presente en el acero, mejorando, de ese modo, la trabajabilidad en caliente. Sin embargo, a niveles demasiado altos, el Mn tiende a afectar negativamente tanto a la resistencia a la corrosión como a la trabajabilidad en caliente. Según una realización, el contenido de manganeso del acero inoxidable dúplex usado en el proceso descrito anteriormente y en lo sucesivo en la presente memoria es del 0 al 1,2 % en peso. Según una

realización, el contenido de manganeso es del 0,35 al 1,0 % en peso, tal como del 0,40 al 0,9 % en peso.

El **molibdeno**, Mo, tiene una gran influencia en la resistencia a la corrosión del acero inoxidable dúplex, como se ha definido anteriormente o en lo sucesivo en la presente memoria, e influye en gran medida en el equivalente de resistencia a las picaduras, PRE en inglés. El Mo también tiene un efecto positivo sobre el límite elástico y aumenta la temperatura a la que las fases sigma no deseadas son estables y, además, promueve la tasa de generación de las mismas. Adicionalmente, el Mo tiene un efecto estabilizador de ferrita. Según una realización, el contenido de molibdeno del acero inoxidable dúplex usado en el proceso descrito anteriormente y en lo sucesivo en la presente memoria es del 3,0 al 4,0 % en peso.

El **níquel**, Ni, tiene un efecto positivo sobre la resistencia a la corrosión generalizada. El Ni también tiene un fuerte efecto estabilizador de austenita. Según una realización, el contenido de níquel del acero inoxidable dúplex usado en el proceso descrito anteriormente y en lo sucesivo en la presente memoria es del 5,0 al 7,0 % en peso, tal como del 5,5 al 6,5 % en peso.

El **nitrógeno**, N, tiene un efecto positivo sobre la resistencia a la corrosión del acero inoxidable dúplex, como se ha definido anteriormente o en lo sucesivo en la presente memoria, y también contribuye al endurecimiento por deformación. Este tiene un fuerte efecto sobre el equivalente de resistencia a la corrosión por picaduras PRE (PRE=Cr+3,3Mo+16N) y también tiene un fuerte efecto estabilizador de austenita y contrarresta la transformación de estructura austenítica en estructura martensítica tras la deformación plástica del acero inoxidable dúplex. Según una realización, el contenido de nitrógeno del acero inoxidable dúplex usado en el proceso descrito anteriormente o en lo sucesivo en la presente memoria es del 0 al 0,35 % en peso. Según una realización alternativa, se añade N en una cantidad del 0,1 % en peso o superior. Sin embargo, a niveles demasiado altos, el N tiende a promover los nitruros de cromo, que se deben evitar debido a su efecto negativo sobre la ductilidad y la resistencia a la corrosión. Por tanto, según una realización, el contenido de N es, por lo tanto, menor de o igual al 0,35 % en peso, tal como del 0,1 al 0,35 % en peso.

El **silicio**, Si, a menudo está presente en el acero inoxidable dúplex, dado que este se puede haber añadido para la desoxidación antes en la producción del mismo. Los niveles demasiado altos de Si pueden dar como resultado la precipitación de compuestos intermetálicos en relación con los tratamientos térmicos posteriores o la soldadura del acero inoxidable dúplex. Tales precipitaciones tendrán un efecto negativo tanto en la resistencia a la corrosión como en la trabajabilidad. Según una realización, el contenido de silicio del acero inoxidable dúplex usado en el proceso descrito anteriormente o en lo sucesivo en la presente memoria es del 0,2 al 0,8, tal como del 0,2 al 0,7 % en peso, tal como del 0,3 al 0,6 % en peso.

El fósforo, P, puede estar presente como impureza en el acero inoxidable usado en el proceso descrito anteriormente o en lo sucesivo en la presente memoria y dará como resultado un deterioro de la trabajabilidad del acero si se encuentra en un nivel demasiado alto, por consiguiente,  $P \leq 0,04$  % en peso.

El azufre, S, puede estar presente como impureza en el acero inoxidable usado en el proceso descrito anteriormente o en lo sucesivo en la presente memoria y dará como resultado un deterioro de la trabajabilidad del acero si se encuentra en un nivel demasiado alto, por consiguiente,  $S \leq 0,03$  % en peso.

El oxígeno, O, puede estar presente como impureza en el acero inoxidable usado en el proceso descrito anteriormente o en lo sucesivo en la presente memoria, en donde  $O \leq 0,010$  % en peso.

Opcionalmente, se pueden añadir pequeñas cantidades de otros elementos de aleación al acero inoxidable dúplex, como se ha definido anteriormente o en lo sucesivo en la presente memoria, con el fin de mejorar, p. ej., la maquinabilidad o las propiedades de trabajo en caliente, tales como la ductilidad en caliente. Los ejemplos, pero no limitantes, de estos elementos son REM, Ca, Co, Ti, Nb, W, Sn, Ta, Mg, B, Pb y Ce. Las cantidades de uno o más de estos elementos son como máximo del 0,5 % en peso. Según una realización, el acero inoxidable dúplex, como se ha definido anteriormente o en lo sucesivo en la presente memoria, también puede comprender pequeñas cantidades de otros elementos de aleación que se pueden haber añadido durante el proceso, p. ej., Ca (<0,01 % en peso), Mg (<0,01 % en peso) y REM de metales de tierras raras (<0,2 % en peso).

Cuando se usan las expresiones "como máximo" o "menor de o igual a", la persona experta sabe que el límite inferior del intervalo es el 0 % en peso, a menos que se indique específicamente otro número. El resto de los elementos del acero inoxidable dúplex, como se ha definido anteriormente o en lo sucesivo en la presente memoria, es Hierro (Fe) e impurezas que se producen normalmente.

Los ejemplos de impurezas son elementos y compuestos que no se han añadido a propósito, pero no se pueden evitar por completo, ya que estos normalmente se producen como impurezas en, p. ej., la materia prima o los elementos de aleación adicionales usados para la fabricación del acero inoxidable dúplex.

Según una realización, el acero inoxidable dúplex consiste en los elementos de aleación descritos anteriormente o en lo sucesivo en la presente memoria en los intervalos descritos anteriormente o en lo sucesivo en la presente memoria,

Según una realización, el acero inoxidable dúplex usado en el proceso, como se ha definido anteriormente o en lo

sucesivo en la presente memoria, contiene el 30-70 % en volumen de austenita y el 30-70 % en volumen de ferrita.

Según una realización, el acero inoxidable dúplex usado en el proceso descrito anteriormente o en lo sucesivo en la presente memoria tiene la siguiente composición en % en peso:

C 0,008 - 0,03;

Cr 22-26;

Cu 0,1-0,2;

Mn 0,35-1,0;

Mo 3,0-4,0;

N 0,1-0,35;

Ni 5,0-7,0;

Si 0,2-0,7

resto de Fe e impurezas inevitables.

5 Según una realización, si  $0 < Q < 1$ , entonces  $25^*Q < R < 40^*Q + 20$ .

Según una realización, si  $1 \leq Q \leq 2$ , entonces  $25^*Q \leq R \leq 60$ .

Según una realización, si  $2 < Q < 3,6$ , entonces  $50 < R < 60$ .

Según una realización, en la etapa de laminación en frío, R y Q se establecen de tal manera que Z=0.

La presente descripción se ilustra adicionalmente mediante los siguientes ejemplos no limitantes:

## 10 EJEMPLOS

Se prepararon masas fundidas de acero de acero inoxidable dúplex de diferente composición química en un horno de arco eléctrico. Se usó un horno de AOD en el que se realizó un tratamiento de descarbonización y desulfuración. A continuación, las masas fundidas se colaron en lingotes (para la producción de tubos que tenían un diámetro externo superior a 110 mm) o en tochos por medio de colada continua (para la producción de tubos que tenían un diámetro inferior a 110 mm). Se analizó el acero inoxidable colado de las diferentes masas fundidas con respecto a la composición química. Los resultados se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: las composiciones químicas de las diferentes masas fundidas

| N.º de ensayo | C     | Cr    | Cu   | Mn   | Mo   | N    | Ni   | Si   |
|---------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| 1             | 0,010 | 25,28 | 0,14 | 0,53 | 3,84 | 0,30 | 6,45 | 0,30 |
| 2             | 0,015 | 25,55 | 0,13 | 0,40 | 3,90 | 0,30 | 6,70 | 0,28 |
| 3             | 0,015 | 25,55 | 0,13 | 0,40 | 3,90 | 0,30 | 6,70 | 0,28 |
| 4             | 0,012 | 25,67 | 0,13 | 0,60 | 3,85 | 0,30 | 6,51 | 0,27 |
| 5             | 0,012 | 25,67 | 0,13 | 0,60 | 3,85 | 0,30 | 6,51 | 0,27 |
| 6             | 0,012 | 25,49 | 0,12 | 0,36 | 3,89 | 0,29 | 6,44 | 0,25 |
| 7             | 0,012 | 25,49 | 0,12 | 0,36 | 3,89 | 0,29 | 6,44 | 0,25 |
| 8             | 0,012 | 25,67 | 0,13 | 0,60 | 3,85 | 0,30 | 6,51 | 0,27 |
| 9             | 0,012 | 25,67 | 0,13 | 0,60 | 3,85 | 0,30 | 6,51 | 0,27 |
| 10            | 0,012 | 22,38 | 0,13 | 0,88 | 3,17 | 0,16 | 5,34 | 0,48 |
| 11            | 0,015 | 22,27 | 0,19 | 0,82 | 3,17 | 0,18 | 5,20 | 0,48 |
| 12            | 0,016 | 22,31 | 0,18 | 0,80 | 3,14 | 0,16 | 5,20 | 0,55 |
| 13            | 0,016 | 22,32 | 0,11 | 0,77 | 3,14 | 0,18 | 5,19 | 0,49 |
| 14            | 0,015 | 22,27 | 0,19 | 0,82 | 3,17 | 0,18 | 5,20 | 0,48 |
| 15            | 0,013 | 22,43 | 0,14 | 0,81 | 3,16 | 0,18 | 5,21 | 0,50 |
| 16            | 0,013 | 22,35 | 0,17 | 0,77 | 3,15 | 0,18 | 5,21 | 0,49 |
| 17            | 0,023 | 22,27 | 0,13 | 0,85 | 3,16 | 0,17 | 5,15 | 0,49 |
| 18            | 0,015 | 22,32 | 0,14 | 0,81 | 3,15 | 0,18 | 5,22 | 0,47 |
| 19            | 0,016 | 22,34 | 0,18 | 0,76 | 3,14 | 0,18 | 5,18 | 0,48 |

| N.º de ensayo | C     | Cr    | Cu   | Mn   | Mo   | N    | Ni   | Si   |
|---------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| 20            | 0,016 | 22,51 | 0,15 | 0,86 | 3,19 | 0,17 | 5,23 | 0,50 |
| 21            | 0,014 | 22,39 | 0,15 | 0,84 | 3,16 | 0,17 | 5,21 | 0,50 |
| 22            | 0,014 | 22,37 | 0,14 | 0,83 | 3,15 | 0,17 | 5,28 | 0,48 |
| 23            | 0,019 | 22,31 | 0,17 | 0,75 | 3,14 | 0,17 | 5,20 | 0,50 |
| 24            | 0,015 | 22,32 | 0,14 | 0,81 | 3,15 | 0,18 | 5,22 | 0,47 |
| 25            | 0,012 | 22,38 | 0,13 | 0,88 | 3,17 | 0,16 | 5,34 | 0,48 |
| 26            | 0,015 | 22,30 | 0,13 | 0,79 | 3,14 | 0,18 | 5,19 | 0,50 |
| 27            | 0,016 | 22,32 | 0,15 | 0,78 | 3,18 | 0,18 | 5,25 | 0,51 |
| 28            | 0,023 | 22,38 | 0,13 | 0,82 | 3,17 | 0,16 | 5,24 | 0,46 |
| 29            | 0,016 | 25,64 | 0,13 | 0,5  | 3,83 | 0,3  | 6,48 | 0,34 |
| 30            | 0,014 | 22,25 | 0,16 | 0,77 | 3,15 | 0,17 | 5,21 | 0,49 |
| 31            | 0,017 | 22,41 | 0,16 | 0,78 | 3,27 | 0,20 | 5,20 | 0,48 |

Los lingotes o tochos producidos se sometieron a un proceso de deformación por calor en el que estos se extruyeron en una pluralidad de tubos. Estos tubos se sometieron a una deformación en frío en la que estos se laminaron en frío en un laminador de tubos de paso de peregrino hasta sus respectivas dimensiones finales. Con respecto a cada uno de los números de ensayo presentados en la Tabla 1, se produjeron, por tanto, 10-40 de tubos usando el mismo R y Q (y, por tanto, el diámetro externo entrante y el espesor de pared entrante) que se determinaron con respecto al límite elástico diana de tal manera que se cumpliera la Ecuación 1 presentada anteriormente en la presente memoria. La laminación en frío se realizó en una etapa de laminación en frío.

5 En cada tubo, el límite elástico se midió en dos muestras de ensayo de acuerdo con la ISO 6892, dando como resultado, por tanto, una pluralidad de mediciones de límite elástico para cada número de ensayo. En cada número de ensayo, el límite elástico promedio se calculó sobre la base de dicha medición. El límite elástico promedio se comparó con el límite elástico diana que se calculó por medio de la Ecuación 1 presentada anteriormente en la presente memoria.

10 Los resultados se presentan en la Tabla 2. Más precisamente, se determinó el límite elástico diana y, sobre la base del mismo y la composición del acero inoxidable dúplex, se determinaron Q y R por medio de la Ecuación (1), tras lo que se produjeron tubos de acuerdo con las enseñanzas presentadas anteriormente en la presente memoria y en lo sucesivo en la presente memoria y el límite elástico se midió de la forma descrita anteriormente en la presente memoria. También se registró la desviación de las mediciones individuales del límite elástico diana. Las desviaciones fueron inferiores a +/- 65 MPa del límite elástico diana.

15 20 Tabla 2: resultado de los cálculos

| N.º de ensayo | Q    | Reducción | Diámetro externo saliente | Espesor de pared saliente | Rp0,2diana | Rp0,2 promedio real |
|---------------|------|-----------|---------------------------|---------------------------|------------|---------------------|
| 1             | 0,23 | 10,0      | 192,2                     | 20,7                      | 940,6      | 925,0               |
| 2             | 0,27 | 10,2      | 158,75                    | 22,2                      | 974,1      | 959,9               |
| 3             | 0,27 | 10,2      | 158,75                    | 22,2                      | 974,1      | 959,9               |
| 4             | 0,23 | 10,0      | 192,2                     | 20,7                      | 952,8      | 960,0               |
| 5             | 0,23 | 10,0      | 192,2                     | 20,7                      | 952,8      | 960,0               |
| 6             | 0,30 | 10,7      | 139,7                     | 7,72                      | 975,1      | 964,8               |
| 7             | 0,30 | 10,7      | 139,7                     | 7,72                      | 975,1      | 964,8               |
| 8             | 0,23 | 10,0      | 192,2                     | 20,7                      | 952,8      | 972,0               |
| 9             | 0,23 | 10,0      | 192,2                     | 20,7                      | 952,8      | 972,0               |
| 10            | 3,24 | 55,7      | 178,5                     | 10,36                     | 987,9      | 977,0               |
| 11            | 3,24 | 55,7      | 178,5                     | 10,36                     | 995,8      | 982,0               |
| 12            | 3,24 | 55,7      | 178,5                     | 10,36                     | 996,8      | 992,0               |
| 13            | 3,24 | 55,7      | 178,5                     | 10,36                     | 998,5      | 994,0               |

| N.º de ensayo | Q    | Reducción | Diámetro externo saliente | Espesor de pared saliente | Rp0,2diana | Rp0,2 promedio real |
|---------------|------|-----------|---------------------------|---------------------------|------------|---------------------|
| 14            | 3,24 | 55,7      | 178,5                     | 10,36                     | 995,8      | 1.004,0             |
| 15            | 1,33 | 56,1      | 114,6                     | 7,37                      | 1.017,6    | 1.009,0             |
| 16            | 1,17 | 40,7      | 127,5                     | 15,8                      | 1.021,5    | 1.009,0             |
| 17            | 3,24 | 55,7      | 178,5                     | 10,36                     | 1.016,2    | 1.011,0             |
| 18            | 1,17 | 40,7      | 127,5                     | 15,8                      | 1.026,4    | 1.016,0             |
| 19            | 1,49 | 58,9      | 114,6                     | 6,88                      | 1.018,2    | 1.017,0             |
| 20            | 1,33 | 56,1      | 114,6                     | 7,37                      | 1.027,0    | 1.020,0             |
| 21            | 1,49 | 58,9      | 114,6                     | 6,88                      | 1.013,4    | 1.024,0             |
| 22            | 1,33 | 56,1      | 114,6                     | 7,37                      | 1.018,2    | 1.025,0             |
| 23            | 1,33 | 56,1      | 114,6                     | 7,37                      | 1.030,4    | 1.027,0             |
| 24            | 1,17 | 40,7      | 127,5                     | 15,8                      | 1.026,4    | 1.028,0             |
| 25            | 0,80 | 35,8      | 196,0                     | 20,6                      | 1.009,3    | 1.029,0             |
| 26            | 1,49 | 58,9      | 114,6                     | 6,88                      | 1.014,9    | 1.030,0             |
| 27            | 1,49 | 58,9      | 114,6                     | 6,88                      | 1.019,0    | 1.033,0             |
| 28            | 1,33 | 56,1      | 114,6                     | 7,37                      | 1.042,3    | 1.034,0             |
| 29            | 0,32 | 27,5      | 86,6                      | 14,4                      | 1.052,0    | 1.034,0             |
| 30            | 0,79 | 47,0      | 85,4                      | 13,7                      | 1.020,8    | 1.035,0             |
| 31            | 1,33 | 56,1      | 114,6                     | 7,37                      | 1.032,6    | 1.046,0             |

En donde el "diámetro externo saliente" es el diámetro del tubo después de la laminación en frío y el "espesor de pared saliente" es el espesor de la pared del tubo después de la laminación en frío.

- Por tanto, se puede concluir que la Ecuación (1) es una excelente herramienta para el establecimiento de R y Q sobre la base de la composición química de un acero inoxidable dúplex y el límite elástico diana elegido. En un tubo en particular, que tiene un diámetro externo final predeterminado y un espesor de pared final predeterminado y que sale de un tocho de geometría predeterminada, en particular, un área de sección transversal, el uso de la Ecuación (1) permitirá al facultativo experto elegir una reducción en caliente adecuada, así como una reducción en frío y un valor Q sin necesidad de experimentación. Se puede usar el cálculo iterativo con el fin de llegar al cumplimiento de la Ecuación (1). Siempre que se cumpla la Ecuación (1) y que el acero inoxidable dúplex tenga una composición como la definida anteriormente en la presente memoria, el límite elástico de las muestras de tubos individuales de un mismo lingote o tocho no se desviará más de aproximadamente +/- 65 MPa del valor de rendimiento diana.

## REIVINDICACIONES

1. Un proceso de producción de un tubo de acero inoxidable dúplex, teniendo dicho acero inoxidable doble la siguiente composición en % en peso,

C 0-0,3;  
 Cr 22-26;  
 Cu 0-0,5;  
 Mn 0-1,2;  
 Mo 3,0-4,0,  
 N 0-0,35;  
 Ni 5,0-7,0;  
 Si 0,2-0,8;

resto de Fe e impurezas inevitables,

5 comprendiendo dicho proceso las etapas de

- a) producir un lingote o un tocho colado continuo de dicho acero inoxidable doble;
- b) extruir en caliente el lingote o el tocho obtenido en la Etapa a) en un tubo; y
- c) laminar en frío el tubo obtenido en la Etapa b) hasta una dimensión final del mismo;

10 en donde el diámetro externo D y el espesor de pared t del tubo laminado en frío son respectivamente de 50-250 mm y de 5-25 mm,

en donde, en la etapa de laminación en frío, R y Q se establecen de tal manera que se cumpla la siguiente Fórmula:

$$Rp0,2diana = 416,53 + 113,26 \cdot \log Q + 4,0479 \cdot R + 2.694,9 \cdot \% \text{ de } C - 82,750 \cdot (\log Q)^2 - 0,04279 \cdot R^2 - 2,2601 \cdot \log Q \cdot R + 16,9 \cdot \% \text{ de } Cr + 26,1 \cdot \% \text{ de } Mo + 83,6 \cdot \% \text{ de } N \pm Z \quad (1)$$

en donde

- 15 - Rp0,2diana es el límite elástico diana y es de 800 a 1.100 MPa  
 -  $Q = (W_0 - W_1) \times (OD_0 - W_0) / W_0((OD_0 - W_0) - (OD_1 - W_1))$  (2)

en donde  $W_1$  es el espesor de la pared del tubo después de la laminación en frío,  $W_0$  es el espesor de la pared del tubo antes de la laminación en frío,  $OD_1$  es el diámetro externo del tubo después de la laminación en frío y  $OD_0$  es el diámetro externo del tubo antes de la laminación en frío,

- 20 - R es la reducción en frío y se define como

$$R = 1 - \frac{A_1}{A_0} \quad (3)$$

- en donde  $A_1$  es el área de sección transversal del tubo después de la laminación en frío y  $A_0$  es la sección transversal del tubo antes de la laminación en frío;
- $Z=65$ ,

25 y en donde  $0 < Q < 3,6$ .

2. Un proceso según la reivindicación 1, en donde, si  $0 < Q < 1$ , entonces  $25*Q < R < 40*Q + 20$ .

3. Un proceso según la reivindicación 1, en donde, si  $1 \leq Q \leq 2$ , entonces  $25*Q \leq R \leq 60$ .

4. Un proceso según la reivindicación 1, en donde, si  $2 < Q < 3,6$ , entonces  $50 < R < 60$ .

30 5. Un proceso según una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en donde el acero inoxidable dúplex contiene el 30-70 % en volumen de austenita y el 30-70 % en volumen de ferrita.

6. Un proceso según una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, teniendo dicho acero inoxidable doble la siguiente composición en % en peso,

C 0,008-0,03;

Cr 22-26;

Cu 0,1-0,2;

Mn 0,35-1,0;

Mo 3,0-4,0

N 0,1-0,35;

Ni 5,0-7,0;

Si 0,2-0,7;

resto de Fe e impurezas inevitables.

7. Un proceso según una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en donde  $Z=50$ .

8. Un proceso según una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en donde  $Z=20$ .

9. Un proceso según una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en donde R y Q se establecen de tal manera que Z sea 0.