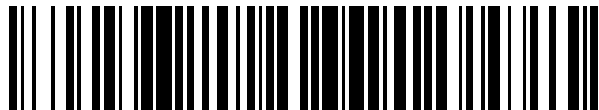


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 642 891**

51 Int. Cl.:

**C21D 6/00** (2006.01)

**C21D 8/02** (2006.01)

**C22C 38/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.11.2009 PCT/EP2009/008065**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.05.2010 WO10054813**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.11.2009 E 09760726 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.07.2017 EP 2366035**

54 Título: **Banda de acero al manganeso y procedimiento para la producción de la misma**

30 Prioridad:

**12.11.2008 DE 102008056844**

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

**20.11.2017**

73 Titular/es:

**VOESTALPINE STAHL GMBH (100.0%)  
Voest-Alpine-Strasse 3  
4020 Linz, AT**

72 Inventor/es:

**SCHNEIDER, REINHOLD;  
SAMEK, LUDOVIC;  
ARENHOLZ, ENNO y  
MRACZEK, KLEMENS**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 642 891 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

Banda de acero al manganeso y procedimiento para la producción de la misma

5 La invención se refiere a una banda de acero al manganeso austenítica, así como a un procedimiento para la producción de bandas de acero al manganeso austeníticas. La invención se refiere además a una chapa de acero al manganeso con una sección de chapa de acero conformada, en especial estirada sobre molde, o bien embutida.

10 Astenitas al manganeso son aceros de construcción ligeros, que son especialmente sólidos y al mismo tiempo dilatables. La reducción de peso posibilitada mediante la resistencia más elevada convierte a las austenitas de manganeso en un material con gran potencial en la industria del automóvil. Mediante carrocerías más ligeras se puede reducir el consumo de combustible, siendo significativas una alta dilatabilidad y estabilidad para la producción de piezas de carrocería, así como para su comportamiento en choques.

15 Ya son conocidos aceros TRIP (TRansformation Induced Plasticity), que se emplean en medida creciente en la industria del automóvil. Los aceros TRIP de aleación elevada obtienen resistencias a la tracción elevadas hasta más de 1000 MPa, y pueden presentar dilatabilidades hasta aproximadamente un 30 %. Debido a estas propiedades mecánicas elevadas se pueden obtener chapas más delgadas, y con ello una reducción del peso de carrocería en la construcción de automóviles. El acero TRIP está constituido por varias fases de aleaciones de hierro-carbono, esencialmente por ferrita, vainita y como resto rico en hidrocarburos austenita. El efecto TRIP se basa en la transformación inducida por conformación de la austenita residual en martensita. Esta conformación de la estructura cristalina ocasiona un aumento simultáneo de la resistencia y conformabilidad en la obtención de producto o en el empleo de productos en caso de choque. Se puede influir selectivamente sobre el efecto TRIP mediante adición de los elementos de aleación aluminio y silicio.

20 En el caso de acero TRIP, ya en la embutición profunda de la pieza de la carrocería, una cierta fracción de austenita se transforma en la fase de martensita altamente sólida ( $\alpha$ -martensita), que apenas se puede dilatar. Por lo tanto, es posible que en bandas TRIP para el caso de choque quede aún una reserva de dilatación relativamente reducida.

25 Los aceros TWIP desarrollados recientemente se diferencian de los aceros TRIP por presentar un alargamiento de rotura más elevado (50 % y más). La abreviatura TWIP representa "TWinning Induced Plasticity", es decir, una plasticidad que se induce mediante maclaje. La dilatabilidad especial de aceros TWIP se puede ocasionar mediante diferentes mecanismos en la estructura cristalina. A modo de ejemplo, se puede favorecer la dilatabilidad mediante defectos reticulares en la estructura cristalina, en los que la estructura cristalina se puede plegar de modo inducido por la conformación, desarrollándose el mecanismo de plegado en un plano especular y produciéndose zonas de cristal reflejadas regularmente (las denominadas maclas). Se puede diferenciar entre diferentes tipos de maclaje. Además es sabido que otros efectos, como por ejemplo la aparición de bandas de deslizamiento, pueden influir sobre las propiedades mecánicas. Debido a la alta dilatabilidad, los aceros de TWIP son apropiados para la producción de bandas en la industria automovilística, en especial para zonas de carrocería relevantes en un accidente. Los aceros TWIP tienen una estructura austenítica y se distinguen por un contenido en manganeso elevado (habitualmente más de un 25 %), y aditivos de aleación de aluminio y silicio relativamente elevados.

30 A modo de ejemplo, por el documento US 2008/0035248 A1 son conocidas bandas de acero al manganeso austeníticas laminadas en caliente y en frío, que presentan un contenido en fósforo de un máximo de un 0,05 %, y cuyos tamaños de grano medios se indican con  $\leq 10 \mu\text{m}$  para acero al manganeso laminado en caliente, o bien  $< 5 \mu\text{m}$  para acero al manganeso laminado en frío.

35 En el documento FR 2 857 980 A1 se describen bandas de acero al manganeso laminado tanto en caliente, como también en frío, con un contenido en fósforo máximo de un 0,08 %, así como correspondientes procesos de producción para las mismas. Para bandas de acero al manganeso laminadas en caliente, el tamaño de grano medio se sitúa por debajo de  $18 \mu\text{m}$ , mientras que el tamaño de grano medio para bandas de acero al manganeso laminadas en frío permanece por debajo de  $10 \mu\text{m}$  tras el último paso de elaboración.

40 Un planteamiento de problema que motiva la invención puede consistir en crear un acero con propiedades mecánicas mejoradas. En especial debe ser obtenible una buena soldabilidad del acero y/o una buena conformabilidad. La invención persigue además indicar un procedimiento para la producción de un acero con propiedades mecánicas mejoradas, en especial ductilidad elevada en combinación con resistencia a la tracción elevada, y en especial una buena soldabilidad y una buena conformabilidad.

45 El planteamiento de problema que motiva la invención se soluciona mediante las características de las reivindicaciones independientes. En las reivindicaciones dependientes se indican acondicionamientos y perfeccionamientos ventajosos.

Se verificó que, con la banda de acero al manganeso austenítica según la invención, se pueden obtener propiedades mecánicas elevadas y una buena soldabilidad, así como una buena conformabilidad. El acero según la invención se distingue, entre otras cosas, por que, en el caso de un contenido en carbono en % en peso de aproximadamente  $0,4\% \leq C \leq 1,2\%$  está presente un contenido en manganeso de aproximadamente  $12,0\% \leq Mn \leq 25,0\%$ . En este documento, los datos porcentuales de componentes químicos se refieren siempre a datos en % en peso de fósforo, que aumenta el límite elástico, o bien la resistencia a la tracción, reduce el alargamiento de rotura, favorece la fragilidad, reduce la estabilidad de austenita, impide la precipitación de cementita, y reduce habitualmente la soldabilidad, según la invención se alean en una fracción relativamente elevada, de al menos un 0,03 %, a tal efecto. En este caso se mostró que, en el caso de una supresión sensible del elemento de aleación aluminio ( $Al \leq 0,05\%$ ), con este concepto de aleación se pueden obtener propiedades mecánicas elevadas y una soldabilidad sorprendentemente buena con muy buena conformabilidad de la banda de acero al manganeso producida.

En el caso de una banda de acero al manganeso austenítica laminada en caliente, con la composición química según la invención, se puede obtener un producto a partir de alargamiento de rotura en MPa y resistencia a la tracción en porcentaje de más de 65 000 MPa%, en especial más de 70 000 MPa%. En el caso de una banda de acero al manganeso austenítica con la composición química según la invención, este producto se sitúa por encima de 75 000 MPa%, y se puede situar por encima de 80 000 MPa%, en especial también por encima de 85 000 MPa%, preferentemente por encima de 100 000 MPa%.

Se supone que las buenas propiedades mecánicas del acero al manganeso según la invención se basan en una combinación de al menos los tres mecanismos siguientes:

(1) Micro- y nanomaclaje con densidad elevada:

En el caso de los aceros según la invención se determinó una preferencia de micromaclaje (es decir, la formación de pequeñas maclas con espesor reducido) en el proceso de conformación en la estructura de cristal. La densidad elevada de las micromaclas, determinada tras carga por conformación (por ejemplo embutición profunda) y su espesor reducido en comparación con densidad y grosor de las micromaclas en aceros convencionales, altamente aleados con manganeso, ocasionan un aumento del alargamiento de rotura. Este se puede atribuir al menos parcialmente al hecho de que el número de impedimentos de desplazamiento aumenta claramente con la densidad de las maclas. El grosor medio de las micromaclas en muestras de banda de acero al manganeso según la invención, después de haberlas sometido a un proceso de conformación, se situaba preferentemente por debajo de 30 nm, en especial por debajo de 20 nm, y en especial por debajo de 10 nm. Maclas con un grosor menor que 10 nm se denominan también nanomaclas. Tras el sometimiento a esfuerzo por conformación, se presentaba en especial una densidad de nanomaclas significativamente elevada frente a la densidad habitual de maclas. Se sospecha que, con aumento del contenido en fósforo y una energía de efectos de apilado reducida, aumenta la densidad de las micromaclas, y en especial de las nanomaclas. Éstas actúan directamente sobre la ductilidad del material, y ofrecen un alargamiento inusual muy elevado en combinación con resistencia a la tracción elevada.

(2) Endurecimiento de cristal mixto:

Un endurecimiento de cristal mixto se ocasiona mediante fracciones elevadas de elementos de aleación disueltos intersticialmente, como P y C. De este modo se pueden ajustar resistencias elevadas (en espeical mayores que 1100 MPa) con valores de solidificación en frío y alargamientos de rotura simultáneamente elevados (en caso dado mayores que un 90 %).

(3) Envejecimiento por deformación dinámico:

La aparición de envejecimiento por deformación dinámico se puede atribuir a los contenidos elevados en elementos de aleación disueltos intersticialmente en el acero, y se puede identificar por medio de curvas de tensión-dilatación. Este efecto puede ofrecer una contribución adicional a la mejora de la resistencia y del alargamiento de rotura del material.

Adicionalmente, en el caso de un tratamiento térmico correspondiente se puede recurrir también al efecto endurecimiento de coadura para el aumento del límite elástico.

Para los aceros producidos se determinaron los valores de endurecimiento de coadura (valores BH) según la norma europea EN 10325. Las fracciones elevadas de elementos de aleación disueltos intersticialmente garantizan un potencial de endurecimiento de coadura elevado y pueden mejorar ulteriormente las propiedades mecánicas del producto final. Se mostró un aumento de la resistencia tras el tratamiento térmico en aproximadamente 30 a 80 MPa según grado de deformación.

Se ha mostrado que un contenido en manganeso reducido tiene una influencia positiva sobre las transformaciones

de fases y los mecanismos de conformación (en especial la formación de nano- y micromaclas y endurecimiento de cristal mixto más intenso) en el componente final. En este sentido, el contenido en manganeso de una banda de acero al manganeso austenítica según la invención se puede situar preferentemente en el intervalo de  $14\% \leq \text{Mn} \leq 18,0\%$ , en especial  $14\% \leq \text{Mn} \leq 16,5\%$ .

5 Además, en este caso se ha mostrado que, mediante un gran tamaño de grano, se puede obtener una solubilidad de cuerpos sólidos muy uniforme y elevada de los elementos C y/o P y/o N en los granos grandes. La buena solubilidad de estos elementos puede ser igualmente una causa para la preferencia del micromaclaje de tamaño reducido, o bien del nanomaclaje y su densidad elevada en la estructura cristalina. Además se sospecha que, mediante la alta solubilidad de cuerpos sólidos de P y C obtenida preferentemente, los efectos habitualmente negativos de estos  
10 elementos (reducción de la soldabilidad, fragilidad del acero) no se presentan en el acero según la invención de modo sorprendente. En especial se pudieron obtener concentraciones elevadas de C y P sin que se redujera significativamente la soldabilidad del acero.

Ya que nitruro de aluminio (AlN) impide el crecimiento de grano (austenítico), mediante la proporción de N respecto a Al se puede influir selectivamente sobre el tamaño de grano. Mediante adición conscientemente reducida de Al (a modo de ejemplo  $\text{Al} \leq 0,05\%$ , en especial  $\text{Al} \leq 0,02\%$ ), en el caso de una banda de acero al manganeso austenítica se puede posibilitar un tamaño de grano elevado. La fracción de Al se puede mantener muy reducida en el concepto de aleación aquí pretendido, ya que se dispone de mucho carbono para la desoxidación de acero líquido. En especial, el acero al manganeso según la invención puede presentar una fracción de aluminio lo más reducida posible, que está limitada únicamente debido a impurezas inevitables en el proceso de producción (es decir, sin  
15 adición de aluminio). En el caso de la banda de acero según la invención, de este modo se posibilita un crecimiento de tamaño de grano máximo en la recristalización (es decir, en el laminado en caliente, o bien en el recocido).

Además, se pueden emplear convenientemente fracciones de fósforo elevadas de  $0,03\% \leq \text{P}$ , en especial  $0,05\% \leq \text{P}$ ,  $0,06\% \leq \text{P}$ ,  $0,07\% \leq \text{P}$ ,  $0,08\% \leq \text{P}$  y también  $0,10\% \leq \text{P}$ . Incluso puede estar prevista una fracción de fósforo de  $0,20\% \leq \text{P}$ . Mediante un contenido en fósforo elevado se puede aumentar la resistencia a la tracción, y sobre todo el límite elástico en tamaños de grano más elevados. Sorprendentemente no se observó un descenso esencial del alargamiento de rotura ni una reducción considerable de la soldabilidad en el caso de un aumento de la fracción de fósforo.  
20

Mediante un ajuste del tamaño de grano medio en la estructura metálica se puede modificar selectivamente la resistencia a la tracción, así como el límite elástico de la banda de acero producida. Cuanto mayor es el grano, tanto más reducida es la resistencia a la tracción, así como el límite elástico, y tanto más elevado es el alargamiento de rotura. Se pueden ajustar tamaños de grano medios de más de  $5\ \mu\text{m}$  o de más de  $10\ \mu\text{m}$ . En especial puede estar previsto que, en el caso de la banda de acero al manganeso austenítica laminada en caliente, se ajuste un gran tamaño de grano medio de más de  $13\ \mu\text{m}$ , en especial más de  $18\ \mu\text{m}$ , y que, en el caso de la banda de acero al manganeso austenítica laminada en frío, se ajuste un gran tamaño de grano medio de más de  $15\ \mu\text{m}$ , en especial más de  $20\ \mu\text{m}$ .  
25

De modo similar a aluminio, también silicio impide la precipitación de carburos, como por ejemplo cementita ((Fe,Mn)<sub>3</sub>C), que se presenta en el caso de laminado en caliente y en el caso de recocido. Ya que la precipitación de cementita reduce el alargamiento de rotura, era de esperar que se pudiera aumentar el alargamiento de rotura mediante una adición de silicio.

40 No obstante, el acero al manganeso según la invención presenta una fracción de silicio muy reducida ( $\text{Si} \leq 1,0\%$ , en especial  $\text{Si} \leq 0,2\%$ , de modo especialmente preferente  $\text{Si} \leq 0,05\%$ ), que, en caso dado, está limitada únicamente debido a impurezas inevitables en el proceso de producción (es decir, en este caso sin adición de silicio, la fracción de Si se puede situar también por debajo de  $\text{Si} \leq 0,03\%$ ). El motivo consiste en que silicio tiene una influencia sobre mecanismos de conformación. Silicio reduce el maclaje, es decir, una baja concentración de silicio facilita el maclaje y posiblemente la formación de maclas reducidas, o bien de nanomaclas. Ya que el mecanismo de conformación de micromaclaje, y en especial de nanomaclaje, favorece en gran medida un alargamiento de rotura elevado, este efecto ocasiona un aumento del alargamiento de rotura con una reducción del contenido en silicio. En este caso, también pueden ser preferentes otros mecanismos de conformación debido al poco silicio. Por lo tanto, el contenido en silicio del acero al manganeso según la invención se puede ajustar reducido, preferentemente tan reducido como sea posible. La fracción de silicio se puede mantener muy reducida, ya que se dispone de mucho carbono para la desoxidación de acero líquido, y ya que la resistencia del acero (silicio ocasiona un aumento de la resistencia) se garantiza mediante otras medidas, como por ejemplo concentraciones elevadas de C y/o P.  
45  
50

Niobio (Nb), vanadio (V) y titanio (Ti) son elementos que forman precipitados (carburos, nitruros, carbonitruros), y se pueden añadir opcionalmente para mejorar la resistencia mediante un endurecimiento por precipitación. Sin embargo, estos elementos presentan una acción de afinado de los granos, por lo cual su concentración se debe mantener reducida, en tanto se deba garantizar un tamaño de grano elevado.  
55

Es sabido que níquel (Ni) puede estabilizar la fase de austenita (el denominado estabilizador  $\gamma$ ). Opcionalmente se puede añadir níquel en mayores cantidades (por ejemplo por encima de un 1 % a un 5 % o incluso un 10 %).

Por el contrario que níquel, el intensificador de solubilidad de cuerpos sólidos (solid solution strengthener) cromo (Cr) ocasiona una estabilización de las  $\alpha$ -ferritas. Adiciones de cromo de hasta un 10 % en peso dan preferencia a la formación de  $\epsilon$ -martensita y/o  $\alpha'$ -martensita, lo que tiene por consecuencia un endurecimiento de tracción más elevado y una ductilidad más reducida. Por lo tanto, la fracción de cromo debía ser limitada. Por ejemplo, se puede ajustar preferentemente  $Cr \leq 5 \%$  en especial  $Cr \leq 0,2 \%$ . Molibdeno (Mo) y wolframio (W) muestran igualmente una acción de afinado de grano. Wolframio presenta una alta afinidad con carbono y forman los carburos duros y muy estables  $W_2C$  y acero al WC. La fracción de acero de wolframio debía ser limitada. En este caso se ajusta  $W \leq 1\%$ , en especial  $W \leq 0,02\%$ . Wolframio es un intensificador de solubilidad de cuerpos sólidos aún mejor que cromo, y forma igualmente carburos (pero en menor extensión que cromo). Además, se ajusta  $Mo \leq 1\%$ , en especial  $Mo \leq 0,02 \%$ . Además se influye sobre el tamaño de grano de una banda de acero laminada en caliente mediante la temperatura de laminado final en el laminado en caliente. La banda de acero según la invención se puede laminar con una temperatura de laminado final entre  $750^\circ C$  y  $1050^\circ C$ , preferentemente entre  $800^\circ C$  y  $900^\circ C$ . En el caso de composición química dada, mediante la selección de la temperatura de laminado final se puede ajustar el tamaño de grano medio.

Se pudo mostrar que, en el caso del acero laminado en caliente según la invención, se puede obtener un alargamiento de rotura elevado de un 60 % o un 65 %, y más. En este caso, la resistencia a la tracción del acero laminado en caliente se puede situar preferentemente por encima de 1050 MPa.

Mediante el laminado en frío se pueden potenciar las propiedades mecánicas de la banda de acero al manganeso austenítica laminada en caliente. Mediante la temperatura de recocido se influye en gran medida sobre el tamaño de grano de una banda de acero laminada en frío. El recocido que se efectúa tras el laminado en caliente se puede llevar a cabo, a modo de ejemplo, a una temperatura de recocido entre  $750^\circ C$  y  $1050^\circ C$ , y la temperatura de recocido puede ser en especial mayor que  $900^\circ C$ . Se pueden obtener resistencias a la tracción de más de 1100 MPa, en especial más de 1200 MPa, en el caso de un alargamiento de rotura de más de un 75 %, en especial más de un 80 %.

Una chapa de acero al manganeso según la invención con las citadas composiciones químicas presenta una sección de chapa de acero conformada, en especial estirada sobre molde, o bien embutida, cuya estructura presenta micromaclas con un grosor medio menor que 30 nm, en especial menor que 20 nm, y nanomaclas con un grosor medio menor que 10 nm. Como se ha mencionado, estas micro- y nanomaclas se forman en el proceso de conformación, pudiéndose atribuir las altas propiedades mecánicas del producto de partida presumiblemente – al menos en parte – a este mecanismo de conformación.

En el caso de un procedimiento para la producción de una banda de acero al manganeso austenítica laminada en caliente, tras la colada de un producto semiacabado de acero se calienta el producto semiacabado a una temperatura por encima de  $1100^\circ C$ . El producto semiacabado calentado se lamina con una temperatura de laminado final entre  $750^\circ C$  y  $1050^\circ C$ , preferentemente entre  $800^\circ C$  y  $900^\circ C$ . A continuación se efectúa un enfriamiento de la banda de acero laminada con una tasa de  $20^\circ C/s$  o más elevada. Preferentemente se lleva a cabo una refrigeración rápida de la banda de acero laminada en caliente con una tasa de  $50^\circ C/s$  o más elevada, en especial  $200^\circ C/s$  o más elevada. Una refrigeración rápida contribuye a ocasionar una alta solubilidad de cuerpos sólidos de los elementos C, N y P en los granos. Gráficamente, mediante la rápida refrigeración se llega a una "congelación" de los elementos disueltos sin, o con precipitación apenas reducida. Con otras palabras, mediante una rápida refrigeración se puede evitar sensiblemente la precipitación. En especial, mediante una rápida refrigeración se puede impedir tanto la aparición de carburos en límite de grano, como también una fragilización ocasionada por contenidos en fósforo elevados (segregaciones de límite de grano) de la estructura de acero. Cuanto más elevada es la tasa de refrigeración, tanto mejor y uniformemente se puede mantener carbono y fósforo en disolución. Se emplearon tasas de refrigeración de más de  $100^\circ C/s$  a  $400^\circ C/s$ . También son posibles tasas de refrigeración de más de  $400^\circ C/s$  a incluso más de  $600^\circ C/s$ . En caso necesario, antes de la refrigeración rápida, una fase intermedia, en la que la banda de acero se enfría lentamente al aire para mejorar la recristalización de la banda de acero aleada con fósforo, puede durar varios segundos, en especial 1 a 4 segundos.

Para la producción de una banda de acero al manganeso austenítica laminada en frío, la banda de acero laminada en caliente se lamina en frío, y a continuación se recuece para la recristalización.

En el laminado en frío se efectúa preferentemente una alta reducción de grosor en el intervalo de más de un 45 %, en especial más de un 60 %, de modo especialmente preferente más de un 80 %, mediante aplicación de fuerzas de laminado elevadas.

La temperatura de recocido se puede situar entre  $750^\circ C$  y  $1150^\circ C$ , y en especial ser mayor que  $900^\circ C$ . Mediante recocido se puede modificar reiteradamente el tamaño de grano, pudiendo estar previsto tras el recocido un tamaño

de grano de más de 15  $\mu\text{m}$ , en especial más de 20  $\mu\text{m}$ , para obtener un alargamiento de rotura elevado, y posiblemente una mejora de la solubilidad de cuerpos sólidos de carbono, fósforo, y en caso dado nitrógeno. En especial se puede garantizar una alta resistencia a la tracción mediante una fracción relativamente elevada de fósforo (y carbono).

- 5 Tras el recocido se efectúa una refrigeración de la banda de acero laminada con una tasa de 20°C/s o más elevada. Preferentemente se lleva a cabo una refrigeración rápida de la banda de acero laminada en frío con una tasa de 50°C/s o más elevada, en especial 200°C/s o más elevada.

10 Como ya se describe en el proceso de laminado en caliente, también en este caso, una refrigeración rápida contribuye a ocasionar una solubilidad de cuerpos sólidos de carbono, fósforo y nitrógeno elevada y uniforme en los granos, y de este modo obtener una alta resistencia a la tracción, también en el caso de granos grandes. Se emplearon tasas de refrigeración de más de 100°C/s a 400°C/s. También son posibles tasas de refrigeración de más de 400°C/s a incluso más de 600°C/s. En caso necesario, antes de la refrigeración rápida, una fase intermedia, en la que la banda de acero se enfría lentamente al aire para mejorar la recristalización de la banda de acero aleada con fósforo, puede durar varios segundos, en especial 1 a 6 segundos.

- 15 La invención se explica más detalladamente a continuación por medio de ejemplos de realización con referencia a los dibujos de modo ventajoso; en los dibujos muestran:

La fig. 1 un diagrama en el que se representa el tamaño de grano medio frente a la temperatura de recocido para aceros laminados en frío;

20 La fig. 2 un diagrama en el que se representa la solidificación en frío (valor  $n_{10/20}$ ) frente a la anisotropía vertical (valor  $r_{0/15}$ ,  $r_{45/15}$ , y  $r_{90/15}$ -Wert) para varias muestras de aceros laminados en frío;

La fig. 3A-C representaciones esquemáticas de maclas y micromaclas, o bien nanomaclas, en la microestructura de aceros;

La fig. 4 una imagen de un microscopio electrónico de transmisión de una estructura de acero según la invención; y

- 25 La fig. 5 una microsección del punto de soldadura de una estructura de acero soldada según la invención.

En primer lugar se explican de modo ejemplar diversas posibilidades para la producción de aceros al manganeso según la invención.

30 En una primera ruta de procedimiento se efectúa la generación de hierro crudo en los altos hornos o con un procedimiento de reducción por fusión, como por ejemplo Corex o Finex. Es igualmente posible el proceso Tecnoled. El hierro crudo se transforma entonces en acero, a modo de ejemplo, en un procedimiento de insuflado de oxígeno (por ejemplo en un procedimiento LD (Linz-Donawitz)/BOF (Bottom Oxygen Furnace) Verfahren). Antes de la colada de acero se puede llevar a cabo una desgasificación en vacío (por ejemplo según el procedimiento de Ruhrstahl-Heraeus (RH)), y emplear un horno de transferencia (Ladle Furnace) para la calefacción y para la aleación de la fusión metálica.

35 Una segunda ruta de producción, que puede ser especialmente apropiada para aceros al manganeso, emplea un horno de arco voltaico (EAF: Electric Arc Furnace) para la generación de acero, y un convertidor AOD para la descarburización del acero líquido. A su vez, antes de la colada de acero se puede emplear un horno de transferencia para la calefacción y para la aleación de la fusión metálica.

40 El acero generado de este modo se puede elaborar ulteriormente por medio de diversas técnicas de colada, como por ejemplo colada en lingotes, laminado de colada continua, colada de banda delgada o colada continua. El cuerpo de acero generado en la colada se llama producto semiacabado y se puede realizar, por ejemplo, en forma de desgastes, palos o bloques.

45 El desbaste se elabora ulteriormente en trenes de bandas de calefacción para dar una banda en caliente. A tal efecto se pueden emplear estructuras de laminado para banda estrecha (anchura menor que 100 mm), banda media (anchura entre 100 mm y 600 mm), y banda ancha (anchura mayor que 600 mm). Además es posible la elaboración de bloques y palos para dar perfiles, tubos o alambres.

A continuación se describe un proceso de laminado en caliente (WB), según el cual se pueden producir bandas de acero según la invención.

- En la producción de bandas de acero según la invención se puede emplear una temperatura de laminado entre aproximadamente 1100°C y 1300°C, en caso dado también más elevada. La temperatura de laminado final se puede situar, a modo de ejemplo, entre 750°C y 1050°C, y en especial entre 800°C y 900°C. Mediante diferentes temperaturas de laminado final resultan diferentes tamaños de grano medio de la banda de acero laminada en caliente, según la recristalización dinámica a la temperatura predominante. Cuanto menor es la temperatura de laminado final, tanto menor es el tamaño de grano medio obtenido en el caso de composición química dada. Con una reducción del tamaño de grano medio aumenta la resistencia a la tracción y la resistencia a la rotura de la banda de acero laminada en caliente, desciende el alargamiento de rotura. No obstante, a una baja temperatura de laminado final existe el peligro de que la alta afinación de grano en el caso de aceros al manganeso ocasione una pérdida de conformabilidad plástica debido a la resistencia elevada. Además, debido a la estabilidad de fases, a bajas temperaturas de laminado final se llega en medida creciente a la formación de cementita ((Fe,Mn)<sub>3</sub>C), debido a lo cual se pueden reducir las propiedades mecánicas. Los precipitados de cementita a temperaturas de laminado final por debajo de 740°C obtienen un tamaño de partícula debido al cual se redujeron claramente las propiedades mecánicas.
- Además se influye sobre el tamaño de grano de la banda de acero laminada en caliente mediante el contenido en aluminio y nitrógeno. Es sabido que manganeso aumenta la solubilidad de nitrógeno en hierro líquido. El nitrógeno disuelto en el hierro líquido forma con aluminio precipitados de nitruro de aluminio, que impiden la migración de tamaños de grano y con ello el crecimiento de grano. El nitruro de aluminio puede ocasionar además una formación de grietas en el conformado en caliente. Se ha mostrado que, mediante un control selectivo del contenido en aluminio y nitrógeno en el acero, son posibles bajas temperaturas de laminado final claramente por debajo de 950°C, y en especial por debajo de 900°C a menos de 750°C, sin que en este caso se produzca una formación de grietas. Sin embargo, la formación de grandes partículas de cementita, que se establece en el caso de una reducción de la temperatura de laminado final por debajo de aproximadamente 740°C a 800°C. Por lo tanto, las temperaturas de laminado final especialmente preferentes se pueden situar en el intervalo de 800°C a 900°C.
- A modo de ejemplo, se consiguió evitar una formación de grietas a las citadas temperaturas de laminado final, en el intervalo de 800°C a 900°C, con composiciones químicas en las que se empleó una fracción extremadamente reducida de aluminio, hasta un máximo de un 0,008% o un 0,010% en combinación con un bajo contenido en nitrógeno, por ejemplo hasta un máximo de un 0,030% o un 0,036%. Las respectivas concentraciones de elementos son dependientes entre sí. Si se emplea menos nitrógeno, es admisible más aluminio, y viceversa. En este sentido, en el caso de un bajo contenido en aluminio también son posibles contenidos en nitrógeno más elevados que los indicados anteriormente.
- Tras el laminado en caliente se lleva a cabo una refrigeración rápida de la banda en caliente con velocidades de enfriamiento lo más elevadas posible (por ejemplo por encima de 50°C/s o también más elevadas). La refrigeración se puede efectuar mediante alimentación de la banda en caliente con agua.
- La banda en caliente se purifica (se descascarilla) entonces en una instalación de decapado de funcionamiento continuo, por ejemplo con ácido sulfúrico. La banda en caliente puede presentar, a modo de ejemplo, un grosor de 1,5 a 2,0 mm. No obstante, también se pueden realizar productos de banda en caliente con grosores de banda menores o mayores que los indicados anteriormente. Habitualmente no se lleva a cabo un paso de recocido en los productos de banda en caliente producidos en este caso. No obstante, en una forma de realización especial, tal paso de recocido se lleva a cabo y ocasiona tanto un engrosamiento de grano, como también un aumento del alargamiento de rotura.
- La banda en caliente generada del modo descrito con anterioridad se puede elaborar ulteriormente mediante laminado en frío y recocido para dar el producto de banda fría. Mediante laminado en frío, la banda en caliente se reduce ulteriormente en su grosor y se ajustan las propiedades mecánico-tecnológicas de la banda. A modo de ejemplo, se pueden generar grosores de banda reducidos, en el intervalo de aproximadamente 0,7 mm a 1,75 mm de la banda fría. Los productos de banda fría con tales grosores reducidos son interesantes en especial en el sector del automóvil para componentes que absorben impactos. No obstante, también se pueden realizar productos de banda fría con grosores de banda menores o mayores que los indicados anteriormente.
- El laminado en frío se efectúa preferentemente bajo aplicación de fuerzas de laminado elevadas. Se pueden emplear estructuras de laminado con 2 a 20 cilindros. Para aplicar las fuerzas de laminado en frío elevadas se pueden emplear, a modo de ejemplo, estructuras de laminado diseñadas para presiones de laminado elevadas, con 12 o 20 cilindros, en especial de tipo Sendzimir (cilindro Cluster). Una instalación de laminado Sendzimir con 12 cilindros está constituida, a modo de ejemplo, por una disposición simétrica de 3 cilindros posteriores, 2 cilindros intermedios y 1 cilindro de presión que define la distancia entre cilindros respectivamente. Una instalación de laminado Sendzimir con 20 cilindros está constituida, a modo de ejemplo, por una disposición simétrica de 4 cilindros posteriores, 3 cilindros intermedios externos, 2 cilindros intermedios interiores y 1 cilindro de presión que define la distancia entre cilindros respectivamente. Se mostró una aptitud para laminado sorprendentemente buena y una formación de grietas reducida en comparación con otros aceros al manganeso.

La reducción de grosor porcentual obtenida en el laminado en frío (grado de laminado en frío) puede ascender a más de un 40 % y situarse, por ejemplo, entre un 40 % y un 60 %. El laminado en frío se llevó a cabo también con grados de laminado en frío por encima de un 60 %, en especial también por encima de un 80 %. Se laminó en frío con y sin tracción.

- 5 Tras el laminado en frío o en un paso intermedio durante el laminado en frío se recuece la banda de acero para la recristalización. El recocido se puede llevar a cabo, por ejemplo, según el procedimiento de recocido continua o el procedimiento de recocido en horno de campana. Mediante el recocido se suprime de nuevo la solidificación de la estructura producida en el laminado en frío. En este caso, a través de germinación y crecimiento de grano se llega a una nueva construcción de la estructura.
- 10 El recocido se puede efectuar a temperaturas entre 750°C y 1250°C, en especial 750°C a 1150°C, y puede durar aproximadamente 5 segundos a 5 minutos, en especial 2 a 5 minutos a temperatura de recocido. El tiempo de recocido es suficiente para calentar la banda a la respectiva temperatura de recocido esencialmente en todo su volumen. También se pueden llevar a cabo varios pasos de laminado y pasos de recocido intermedia intercalados a una temperatura apropiada, por ejemplo aproximadamente 950°C.
- 15 Tras el recocido, la banda de acero caliente se enfría rápidamente, de modo preferente enfriándose mediante alimentación con agua o en corriente gaseosa (chorro de gas). Se ha mostrado que una refrigeración especialmente rápida es útil para ocasionar una alta solubilidad de cuerpos sólidos de los elementos C, N y P en los granos. En especial, la fragilización crítica con un contenido en fósforo elevado (segregaciones de límites de grano) se puede impedir sensible o completamente mediante aumento de la velocidad de refrigeración. Son ventajosas velocidades de refrigeración de más de aproximadamente 50°C o más de 100°C por segundo. Además, preferentemente también pueden estar previstas velocidades de refrigeración de más de 200°, 300°C o 400°C por segundo, llevándose a cabo con éxito también ensayos con velocidades de refrigeración por encima de 500°C y por encima de 600°C por segundo.
- 20
- 25 Tras el laminado en frío, el recocido y la refrigeración, se puede llevar a cabo un laminado subsiguiente en frío (laminado de acabado) para el ajuste de una uniformidad apropiada de la banda fría. En el caso de laminado subsiguiente en frío se pueden obtener reducciones de grosor, por ejemplo, de un 0,5 %, un 1,5 %, un 5 %, un 25 % y más de un 40 %, o valores intermedios apropiados.

Otros pasos de proceso, como por ejemplo el galvanizado (por ejemplo galvanizado en caliente o galvanizado electrolítico), pueden seguir según campo de empleo y deseo del cliente.

- 30 La composición química del acero se puede variar a través de un amplio intervalo en elementos de aleación ulteriores. Como valores límite superiores están previstos: 0,5% ≥ V, 0,5% ≥ Nb, 0,5% ≥ Ti, 10% ≥ Cr, 10% ≥ Ni, 1% ≥ W, 1% ≥ Mo, 3% ≥ Cu, 0,02% ≥ B, el resto, como se ha mencionado, hierro e impurezas debidas a la producción. Ejemplos especiales de realización de la invención, así como ejemplos ulteriores, utilizan los siguientes intervalos:
- 35 0,85% ≥ C ≥ 0,70%, 16,2% ≥ Mn ≥ 15,5%, 0,015% ≥ Al ≥ 0,0005%,  
 0,028% ≥ Si ≥ 0,001%, 0,039% ≥ Cr ≥ 0,020%,  
 0,08% ≥ Ni ≥ 0,02%, 0,025% ≥ Nb ≥ 0,020%,  
 0,002% ≥ Ti ≥ 0,0015%, 0,0056% ≥ V ≥ 0,002%,  
 0,04% ≥ N ≥ 0,015%, 0,2% ≥ P ≥ 0,01%. En especial, como muestran los ejemplos siguientes, también pueden estar previstas concentraciones de fósforo extremadamente elevadas, por ejemplo de más de 0,10% ≤ P o incluso 0,12% ≤ P.
- 40

A continuación, la invención se explica más detalladamente de modo ejemplar por medio de ejemplos de realización y ejemplos ulteriores.

En la tabla 1 se indica la composición química de cuatro bandas de acero X80Mn16-0.01P, X80Mn16-0.03P, X80Mn16-0.08P y X80Mn16-0.10P con una concentración de fósforo entre un 0,011 y un 0,102 % en peso.

45 Tabla 1 – composición química –

Elemento	X80Mn16-0.01P	X80Mn16-0.03P	X80Mn16-0.08P	X80Mn16-0.10P
C	0,79	0,79	0,75	0,81
Mn	16,0	15,8	16,0	16,1



ES 2 642 891 T3

Elemento	X80Mn16-0.01P	X80Mn16-0.03P	X80Mn16-0.08P	X80Mn16-0.10P
P	0,011	0,032	0,083	0,102
Si	0,001	0,001	0,001	0,001
Al	0,009	0,010	0,005	0,005
N	0,033	0,336	0,034	0,035
Cr	0,031	0,027	0,026	0,032
Ni	0,029	0,025	0,024	0, 031
Nb	0,022	0,022	0,022	0,025
Ti	0,002	0,002	0,002	0, 002
V	0,006	0,003	0,004	0,005
S	0,0035	0,0025	0,001	0,001
Cu	0,017	0,016	0,016	0,018
Mo	0,017	0,017	0,015	0,017
Sn	0,005	0,005	0,004	0,006
Zr	0,001	0,001	0,001	0,001
As	0,005	0,005	0,005	0,005
B	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Co	0,006	0,009	0,006	0,006
Sb	0,001	0,001	0,001	0,001
Ca	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

5 El proceso de laminado en caliente (WB) se llevó a cabo respectivamente según los datos anteriores. Las temperaturas de laminado final empleadas (entre 750°C y 1030°C), así como las propiedades mecánicas obtenidas de los productos de banda en caliente generados X80Mn16-0.01P, X80Mn16-0.03P, X80Mn16-0.08P y X80Mn16-0.10P se indican en la tabla 2. Los valores mecánicos obtenidos en los ensayos de tracción se determinaron según el estándar europeo "NORMA EUROPEA EN 10002-1, Julio de 2001", que se incluye en el contenido informativo de este documento mediante referencia en este caso. Todos los valores indicados en la tabla 2 se dan a conocer también como límites de valores inferiores para la magnitud a la que se refieren.

## ES 2 642 891 T3

Tabla 2 – propiedades mecánicas (banda en caliente) –

Nº WB	Composición química	Temperatura laminado final (°C)	de Rm (MPa)	Alargamiento de rotura (%)	de Alarg. de rotura x Rm (%MPa)	Tamaño de grano medio(µm)
1	X80Mn16-0.01P	750	1081	60,9	65787	5
2	X80Mn16-0.01P	890	1103	67,5	74496	15,7
3	X80Mn16-0.01P	1030	1065	62,6	66701	18
4	X80Mn16-0.01P	1015	987	70,6	69676	26,3
5	X80Mn16-0.03P	870	1200	71,1	85320	13,9
6	X80Mn16-0.08P	920	1098	59,4	65221	17,6
7	X80Mn16-0.08P	950	928	81,9	70550	30,5
8	X80Mn16-0.08P	975	983	77,6	80614	31,6
9	X80Mn16-0.10P	950	946	85,9	76602	34,3
10	X80Mn16-0.10P	975	981	81,3	79783	30,1

5 Como ya se ha mencionado, la banda en caliente (WB) se puede elaborar ulteriormente para dar una banda en frío (KB). En los ejemplos de realización y los ejemplos ulteriores aquí representados, la elaboración de banda en frío se efectuó con los parámetros de elaboración indicados en la tabla 3. Las propiedades mecánicas de los productos de banda en frío producidos de este modo, de las composiciones químicas X80Mn16-0.01P, X80Mn16-0.03P, X80Mn16-0.08P y X80Mn16-0.10P se indican en la tabla 3. Todos los valores indicados en la tabla 3 se dan a conocer también como límites de valores inferiores para la magnitud a la que se refieren.

Tabla 3 – propiedades mecánicas (banda en frío)

Nº KB	Composición	Temperatura de laminado final (°C) en el proceso de laminado en caliente	Temperatura de recocido (°C)	Grado de laminado en frío (%)	Resistencia a la tracción Rm (MPa)	Alargamiento de rotura A <sub>50</sub> (%)	Alarg. de rotura x Rm (%MPa)	Tamaño de grano medio(µm)
1	X80MR16-0.01P	900	750	48,0	1240	62,0	76545	5,4
2	X80Mn16-0.01P	900	850	48,0	1162	88,5	102883	7,7
3	X80Mn16-0.01P	900	1050	48,0	1065	94,0	100238	29,4

## ES 2 642 891 T3

Nº KB	Composición	Temperatura de laminado final (°C) en el proceso de laminado en caliente	Temperatura de recocido (°C)	Grado de laminado en frío (%)	Resistencia a la tracción Rm (MPa)	Alargamiento de rotura A <sub>50</sub> (%)	Alarg. de rotura x Rm (%MPa)	Tamaño de grano medio(μm)
4	X80Mn16-0.03P	900	750	53,8	1261	61,0	76530	5,0
5	X80Mn16-0.03P	900	750	47,5	1217	77,4	94256	4,9
6	X80Mn16-0.03P	900	950	47,5	1100	94,0	103147	18,9
7	X80Mn16-0.08P	900	950	65,4	1046	81,8	84527	28,3
8	X80Mn16-0.08P	950	950	65,4	1146	91,8	105203	29,4
9	X80Mn16-0.10P	900	950	65,4	1021	78,1	79781	27,8
10	X80Mn16-0.10P	850	950	65,4	1121	88,3	98984	15,2

Como se puede extraer de la tabla 3, los productos de banda en frío con los números KB 1 a 7 y 9 se laminaron con una temperatura de laminado final de 900°C en el proceso en banda en caliente. Por lo demás se empleó el mismo proceso de laminado en caliente en los que se basan los productos de laminado en caliente en la tabla 2.

- 5 Por consiguiente, los productos de laminado en frío con los números KB 1 a 3 se basan aproximadamente en el producto de laminado en caliente con el número WB 2 (las temperaturas de laminado final se diferencian únicamente en 10°C) y los productos de laminado en frío con los números KB 4 a 6 se basan aproximadamente en el producto de laminado en caliente con el número WB 5 (las temperaturas de laminado final se diferencian únicamente en 30°C).
- 10 La tabla 3 muestra que se obtienen resistencias a la tracción Rm por encima de 1100 MPa, e incluso por encima de 1200 Pma, y que también en el caso de grandes tamaños de grano medios (por encima de 15 μm en el caso de X80Mn16-0.03P (KB-Nr. 6) y X80Mn16-0.10P (KB-Nr. 10), así como por encima de 20 μm, o en caso dado incluso 25 μm en el caso de las demás muestras), se pueden obtener resistencias a la tracción Rm por encima de 1000 MPa. La resistencia a la tracción Rm se define como la tensión que se produce en la pieza de trabajo en el caso de
- 15 fuerza de tracción máxima.

El alargamiento de rotura A<sub>50</sub> indicado en la tabla 3 es la modificación de longitud referida a la longitud de medida inicial porcentual, que permanece, tras la rotura de la muestra de tracción (según la citada norma EN 1002-1), sirviendo como base una longitud de medida inicial de 50 mm. Para las bandas de acero se mostró que se pueden obtener valores de alargamiento de rotura elevados por encima de un 75 %, y en especial en el caso de grandes

20 tamaños de grano medios, parcialmente por encima de un 80 %, e incluso por encima de un 90 %.

Otra magnitud característica importante para las propiedades mecánicas de las bandas de acero es el producto de resistencia a la tracción y alargamiento de rotura. Especialmente en el caso de grandes tamaños de grano medios se obtienen valores de producto elevados. El motivo consiste en que los granos grandes conducen a valores de

25 alargamiento de rotura más elevados, y la resistencia a la tracción, que suele descender claramente con tamaño de grano creciente, se mantiene sensiblemente según la invención mediante el contenido en carbono y/o fósforo relativamente elevado.

En las investigaciones de soldadura, incluso en el caso de los elevados contenidos en P de un 0,08 % y un 0,1 % (X80Mn16-0.08P, o bien X80Mn16-0.10P), se determinó una aptitud para soldadura muy conveniente en el caso de banda en caliente y en el caso de banda en frío, es decir, como tipo de rotura se obtuvieron roturas por desprendimiento en todas las muestras.

- 5 En la tabla 4 se indican los resultados de una investigación de la aptitud para soldadura de los aceros de las composiciones químicas X80Mn16-0.01P, X80Mn16-0.03P, X80Mn16-0.08P y X80Mn16-0.10P:

Tabla 4 – investigación de la aptitud para soldadura –

Composición	I <sub>min</sub> (kA)	I <sub>max</sub> (kA)	delta (kA)
X80Mn16-0.01P	5,2	6,3	1,1
X80Mn16-0.03P	4,7	5,8	1,1
X80Mn16-0.08P	5,2	6,4	1,2
X80Mn16-0.08P	5,3	6,6	1,3
X80Mn16-0.10P	5,2	6,4	1,2
X80Mn16-0.10P	5,1	6,6	1,5

- 10 Según la tabla 4, en todas las bandas de acero se determinó un intervalo de soldadura delta de al menos 1,1 kA, que sobrepasa el 1,0 kA, necesario para una buena aptitud para soldadura.

- 15 En la fig. 1 se representa el tamaño de grano medio de las bandas de acero de laminado en frío pobres en nitrógeno de aluminio citadas en la tabla 3, con las composiciones químicas X80Mn16-0.01P, X80Mn16-0.03P, X80Mn16-0.08P y X80Mn16-0.10P en función de la temperatura de recocido en el proceso de laminado en frío. Los productos de laminado en frío aquí representados tenían como base una temperatura de laminado final de 900°C. Del diagrama se desprende que las bandas de acero X80Mn16-0.01P y X80Mn16-0.03P, a temperaturas de recocido de aproximadamente 920°C, alcanzan tamaños de grano medios por encima de 15 μm. Las bandas de acero más ricas en fósforo, de las composiciones químicas X80Mn16-0.08P y X80Mn16-0.10P alcanzaron tamaños de grano medio aún mayores a temperaturas de recocido comparables. Los tamaños de grano medios se determinaron por medio de investigaciones de microscopía óptica en micrografías.

- 20 La figura 2 muestra un diagrama en el que se representa la solidificación en frío n (en este caso el valor n<sub>10/20</sub>) de las bandas de acero citadas anteriormente, que se denomina también exponente de solidificación, frente a la anisotropía vertical (valor r<sub>0/15</sub>, r<sub>45/15</sub>, y r<sub>90/15</sub>). El valor n se determinó según la norma ISO 10275, edición 2006-07, que se incluye en el contenido informativo de este documento mediante referencia en este caso. La anisotropía vertical se define según la norma ISO 10113, edición 2006-09, que se incluye en el contenido informativo de este documento mediante referencia en este caso. Ya que las propiedades mecánicas presentan una distribución más amplia que el tamaño de grano medio representado en la figura 1, se investigaron varias muestras de las citadas bandas de acero. Cuanto más elevado es el valor r<sub>0/15</sub>, r<sub>45/15</sub>, y r<sub>90/15</sub>, tanto mayor es la aptitud para embutición profunda del material. Un valor n elevado favorece en especial la estirabilidad. Del diagrama se puede extraer que son alcanzables valores n<sub>10/20</sub> por encima de 0,5 en el caso de un valor r<sub>0/15</sub>, r<sub>45/15</sub> y r<sub>90/15</sub> en el intervalo de 0,6 a 1,5. Las bandas de acero ricas en fósforo, de las composiciones químicas X80Mn16-0.08P y X80Mn16-0.10P alcanzan valores n algo más elevados que las bandas de acero de las composiciones químicas X80Mn16-0.01P y X80Mn16-0.03P. Por consiguiente, las bandas de acero según la invención presentan una buena conformabilidad en frío, lo que es importante especialmente para la elaboración subsiguiente en procesos de estiramiento y embutición.

- 35 Según las cargas por tracción en los productos de acero según la invención se pudieron identificar diversos mecanismos de deformación. Era característica la aparición de diversos tipos de macla. En este caso se mostró que, en las muestras sometidas a esfuerzo de tracción de los aceros según la invención están presentes muy numerosas y finas micro- y nano maclas, cuyo grosor medio, a modo de ejemplo, era menor que 30 nm y se situaba, por ejemplo, en el intervalo entre 5 y 25 nm, en especial 10 y 20 nm. A modo de ejemplo, en el producto laminado en

frío X80Mn16-0.03P se determinó un valor de 17 nm para el grosor medio de las micro- y nanomaclas. La presencia de estas pequeñas micromaclas, en especial de las nanomaclas, puede explicar los altos valores de alargamiento de rotura, ya que – más que el maclaje habitual – conduce a una inhibición creciente del movimiento de desplazamiento y a un aumento de fuentes de desplazamiento.

5 Las figuras 3A-C muestran representaciones esquemáticas de microestructuras, que se observan en investigaciones por microscopía de haz de electrones en muestras conformadas de los aceros según la invención. La fig. 3A muestra un sistema activado en una dirección con maclaje convencional, representando las líneas 1 las líneas especulares de las maclas.

10 La fig. 3B muestra un sistema activado en una dirección con micro-, o bien nanomaclas 2. Las micro-, o bien nanomaclas 2, tienen forma de estaca y están dispuestas frecuentemente en mayor número en yuxtaposición. El grosor de estacas se denomina grosor  $d$  de las micro-, o bien nanomaclas 2, y es típicamente menor que el grosor de maclas habituales.

La fig. 3C muestra un sistema activado en dos direcciones con micro-, o bien nanomaclas 2. Se puede identificar que siguiendo ambas direcciones se presentan micro-, o bien nanomaclas 2.

15 La fig. 4 muestra una imagen de microscopio electrónico de una estructura de acero según la invención tras una conformación o carga por tracción. Es puede identificar un gran número de micro- y nanomaclas en forma de estacas en el campo luminoso.

20 La fig. 5 muestra una microsección del punto de soldadura de una estructura de acero según la invención tras una soldadura. Se emplearon muestras de X80Mn16-0.10P. se puede identificar que la dureza de base, así como la dureza máxima en las zonas de influencia térmica y la dureza en el punto de soldadura coinciden convenientemente, y presentan apenas divergencias reducidas. Estas divergencias se sitúan en el intervalo de la tolerancia de medición. Por lo demás se identifica que no está presente ningún tipo de grieta ni martensita en la estructura.

25 En las investigaciones estructurales TEM se manifestó además que en la estructura del producto final pueden estar presentes fracciones de  $\epsilon$ -martensita, posiblemente también  $\alpha'$ -martensita. Por lo tanto, en el producto final no se tiene que presentar una fase de austenita al 100 %, aunque se deba presentar preferentemente una fase de austenita al 100 %. Las medidas en el producto laminado en frío X80Mn16-0.03P dieron por resultado, por ejemplo, aproximadamente un 3 % de  $\epsilon$ -martensita y un 1 % de  $\alpha'$ -martensita. Ya que la  $\alpha'$ -martensita aumenta la resistencia a la tracción, es concebible que se influya de modo conveniente sobre los elevados valores de resistencia a la tracción, que se mantienen en especial también en el caso de tamaños de grano elevados, posiblemente también a través de la fracción de  $\alpha'$ -martensita (aunque relativamente reducida) en el producto final.

35 El valor  $n$  se predetermina decisivamente mediante la composición química. Es decir, la resistencia del producto final alcanzable mediante conformado depende de la facilidad con la que se puedan continuar moviendo los desplazamientos en el cristal. En el retículo cristalino fcc, la solubilidad de cuerpos sólidos de C y N es mayor que en el retículo cristalino bcc. En este caso, como ya se ha indicado, se aprovecha el aumento de la resistencia a la tracción, ocasionado por la disolución de cuerpos sólidos de C y P, pudiéndose medir valores de resistencia a la tracción de 1100 MPa en el caso de un alargamiento de rotura extremadamente elevado, de un 95 %, en investigaciones llevadas a cabo recientemente. El endurecimiento obtenido mediante disolución de cuerpos sólidos de los citados elementos posibilita aumentar considerablemente el valor  $n$ . En resultado, los valores de producto máximos descritos hasta la fecha. Esto se atribuye especialmente al empleo de concentraciones de fósforo elevadas, y al aumento de resistencia vinculado al mismo – en especial en el caso de tamaños de grano medios relativamente grandes –.

45 En la elaboración subsiguiente, la banda en caliente o la banda en frío se corta en chapas de acero, que se emplean, por ejemplo, en la técnica automovilística para la producción de piezas de carrocería. Además, el acero según la invención se puede aplicar también en rieles, separadores, en especial núcleos de separadores, material en varas, tubos, perfiles huecos, o alambres altamente sólidos.

50 Las chapas de acero se llevan a la forma deseada mediante procesos de conformado, como por ejemplo embutición profunda, y después se elaboran de modo subsiguiente para dar los productos finales (por ejemplo pieza de carrocería). En el proceso de conformado, al menos secciones parciales de las chapas de acero se exponen a un esfuerzo mecánico (habitualmente carga por tensión), de modo que los mecanismos de deformación descritos anteriormente tienen efecto en estas zonas. En las zonas conformadas se llega en especial a la mencionada formación de muchas micro- y nanogrietas finas, que influyen convenientemente en el comportamiento de conformado y son identificables en la chapa de acero (conformada).

**REIVINDICACIONES**

- 1.- Banda de acero al manganeso austenítica con una composición química en datos ponderales de
- 5  $0,4\% \leq C \leq 1,2\%$
- $12,0\% \leq Mn \leq 25,0\%$
- $P \geq 0,03\%$
- 10  $Si \leq 2\%$   
 Al  $\leq 0,05\%$ , V  $\leq 0,5\%$ , Nb  $\leq 0,5\%$ , Ti  $\leq 0,5\%$ , Cr  $\leq 10\%$ , Ni  $\leq 10\%$ , W  $\leq 1\%$ , Mo  $\leq 1\%$ , Cu  $\leq 3\%$ , B  $\leq 0,02\%$ , N  $\leq 0,04\%$ , el resto hierro e impurezas debidas a la producción, y con un tamaño de grano medio por encima de 13  $\mu m$ , obteniéndose un producto de alargamiento de rotura en % y resistencia a la tracción en MPa de más de 65 000, en especial más de 70 000 MPa %.
- 15 2.- Banda de acero al manganeso austenítica según la reivindicación 1, con la propiedad de que una muestra de la banda de acero al manganeso, después de someterse a un proceso de conformación, presenta micromaclas con un grosor medio menor que 30 nm, en especial menor que 20 nm, en especial menor que 10 nm, en su estructura.
- 3.- Banda de acero al manganeso austenítica según una de las reivindicaciones precedentes, con  $P \geq 0,05\%$ , en especial  $P \geq 0,06\%$ , en especial  $P \geq 0,08\%$ , aún más especialmente  $P \geq 0,10\%$ .
- 20 4.- Banda de acero al manganeso austenítica según una de las reivindicaciones precedentes, con  $Si \leq 1,0\%$ , en especial  $Si \leq 0,2\%$ , aún más especialmente  $Si \leq 0,05\%$ .
- 5.- Banda de acero al manganeso austenítica según una de las reivindicaciones precedentes, con un tamaño de grano medio por encima de 18  $\mu m$ , en especial por encima de 20  $\mu m$ .
- 6.- Banda de acero al manganeso austenítica con una composición química en datos ponderales de
- 25  $0,4\% \leq C \leq 1,2\%$
- $12,0\% \leq Mn \leq 25,0\%$
- $P \geq 0,03\%$
- 30  $Si \leq 2\%$   
 Al  $\leq 0,05\%$ , V  $\leq 0,5\%$ , Nb  $\leq 0,5\%$ , Ti  $\leq 0,5\%$ , Cr  $\leq 10\%$ , Ni  $\leq 10\%$ , W  $\leq 1\%$ , Mo  $\leq 1\%$ , Cu  $\leq 3\%$ , B  $\leq 0,02\%$ , N  $\leq 0,04\%$ , el resto hierro e impurezas debidas a la producción, y con un tamaño de grano medio por encima de 5  $\mu m$ , obteniéndose un producto de alargamiento de rotura en % y resistencia a la tracción en MPa de más de 75 000, en especial más de 80 000 MPa %.
- 35 7.- Banda de acero al manganeso austenítica laminada en frío según la reivindicación 6, con la propiedad de que una muestra de la banda de acero al manganeso, después de someterse a un proceso de conformación, presenta micromaclas con un grosor medio menor que 30 nm, en especial menor que 20 nm, en especial menor que 10 nm, en su estructura.
- 40 8.- Banda de acero al manganeso austenítica laminada en frío según una de las reivindicaciones 6 o 7, con  $P \geq 0,05\%$ , en especial  $P \geq 0,06\%$ , en especial  $P \geq 0,08\%$ , aún más especialmente  $P \geq 0,10\%$ .
- 9.- Banda de acero al manganeso austenítica laminada en frío según una de las reivindicaciones 6 a 8, con  $Si \leq 1,0\%$ , en especial  $Si \leq 0,2\%$ , aún más especialmente  $Si \leq 0,05\%$ .
- 10.- Banda de acero al manganeso austenítica laminada en frío según una de las reivindicaciones 6 a 9, con un tamaño de grano medio por encima de 15  $\mu m$ , en especial por encima de 20  $\mu m$ .
- 45 11.- Banda de acero al manganeso austenítica con una composición química en datos ponderales de
- $0,4\% \leq C \leq 1,2\%$
- $12,0\% \leq Mn \leq 25,0\%$

$P \geq 0,03\%$

$Si \leq 2\%$

5 Al  $\leq 0,05\%$ , V  $\leq 0,5\%$ , Nb  $\leq 0,5\%$ , Ti  $\leq 0,5\%$ , Cr  $\leq 10\%$ , Ni  $\leq 10\%$ , W  $\leq 1\%$ , Mo  $\leq 1\%$ , Cu  $\leq 3\%$ , B  $\leq 0,02\%$ , N  $\leq 0,04\%$ , el resto hierro e impurezas debidas a la producción, y con una sección de chapa estirada sobre molde o embutida, cuya estructura presenta micromaclas con un grosor medio menor que 30 nm, en especial menor que 20 nm.

12.- Banda de acero al manganeso austenítica con una composición química en datos ponderales de

10  $0,4\% \leq C \leq 1,2\%$

$12,0\% \leq Mn \leq 25,0\%$

$P \geq 0,03\%$

15  $Si \leq 2\%$   
Al  $\leq 0,05\%$ , V  $\leq 0,5\%$ , Nb  $\leq 0,5\%$ , Ti  $\leq 0,5\%$ , Cr  $\leq 10\%$ , Ni  $\leq 10\%$ , W  $\leq 1\%$ , Mo  $\leq 1\%$ , Cu  $\leq 3\%$ , B  $\leq 0,02\%$ , N  $\leq 0,04\%$ , el resto hierro e impurezas debidas a la producción, con los pasos:

colada de un producto semiacabado de acero;

20 calentamiento del producto semiacabado a una temperatura por encima de 1100°C;

laminado del producto semiacabado con una temperatura de laminado final entre 750°C y 1050°C, siendo el tamaño de grano medio superior a 13  $\mu\text{m}$  tras el laminado en caliente; y

refrigeración de la banda de acero laminada con una tasa de 20°C/s o más elevada.

25 13.- Procedimiento según la reivindicación 12, siendo el tamaño de grano medio superior a 20  $\mu\text{m}$  tras el laminado en caliente.

14.- Procedimiento para la producción de una banda de acero al manganeso austenítica laminada en frío, con los pasos:

puesta a disposición de una banda de acero laminada en frío producida según uno de los procedimientos de las reivindicaciones 12 o 13;

30 laminado en frío de la banda de acero; y

recocido de la banda de acero laminada en frío para la recristalización.

15.- Procedimiento según la reivindicación 14, situándose la temperatura de recocido entre 750°C y 1150°C, y siendo la misma en especial mayor que 900°C.

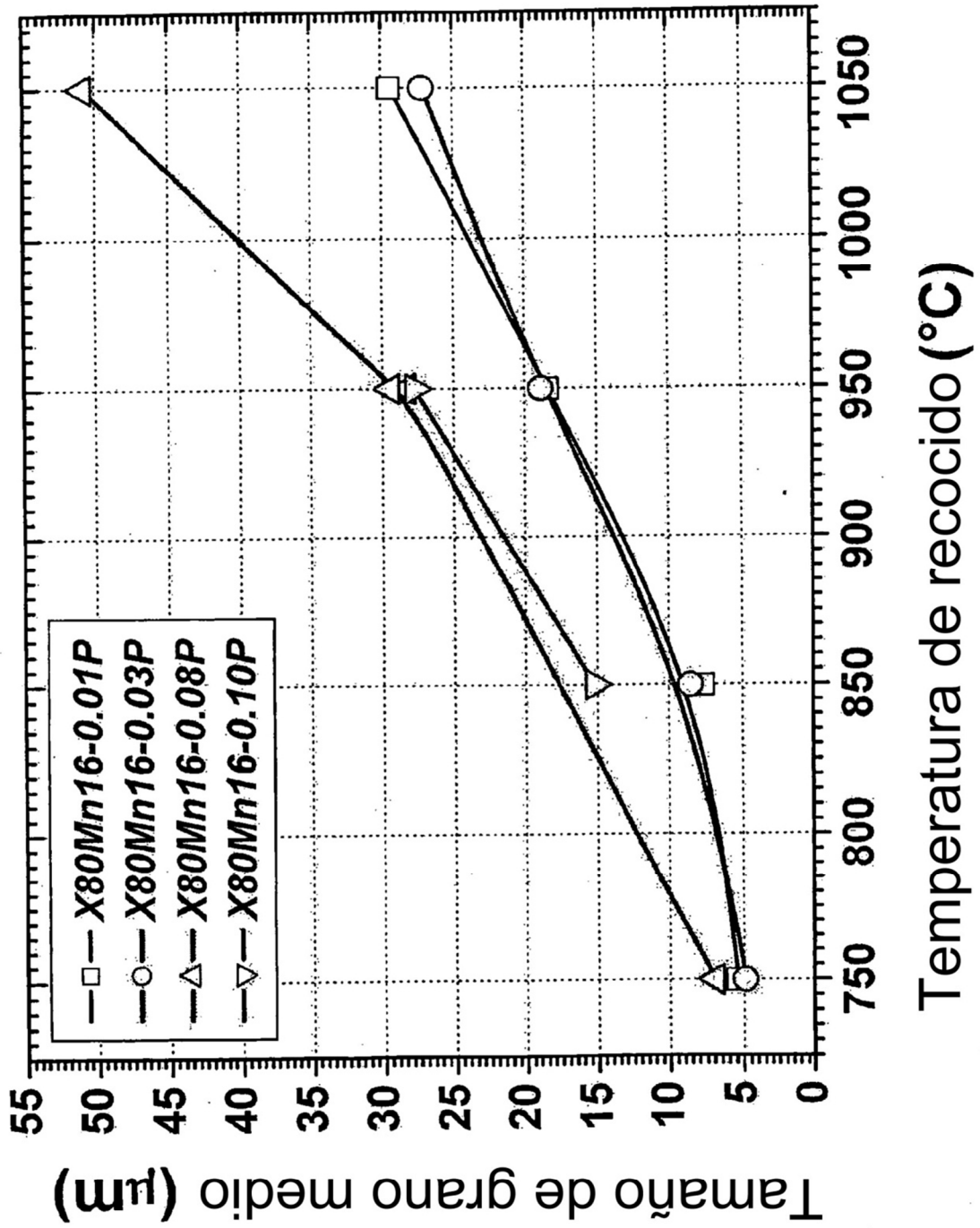


FIG 1



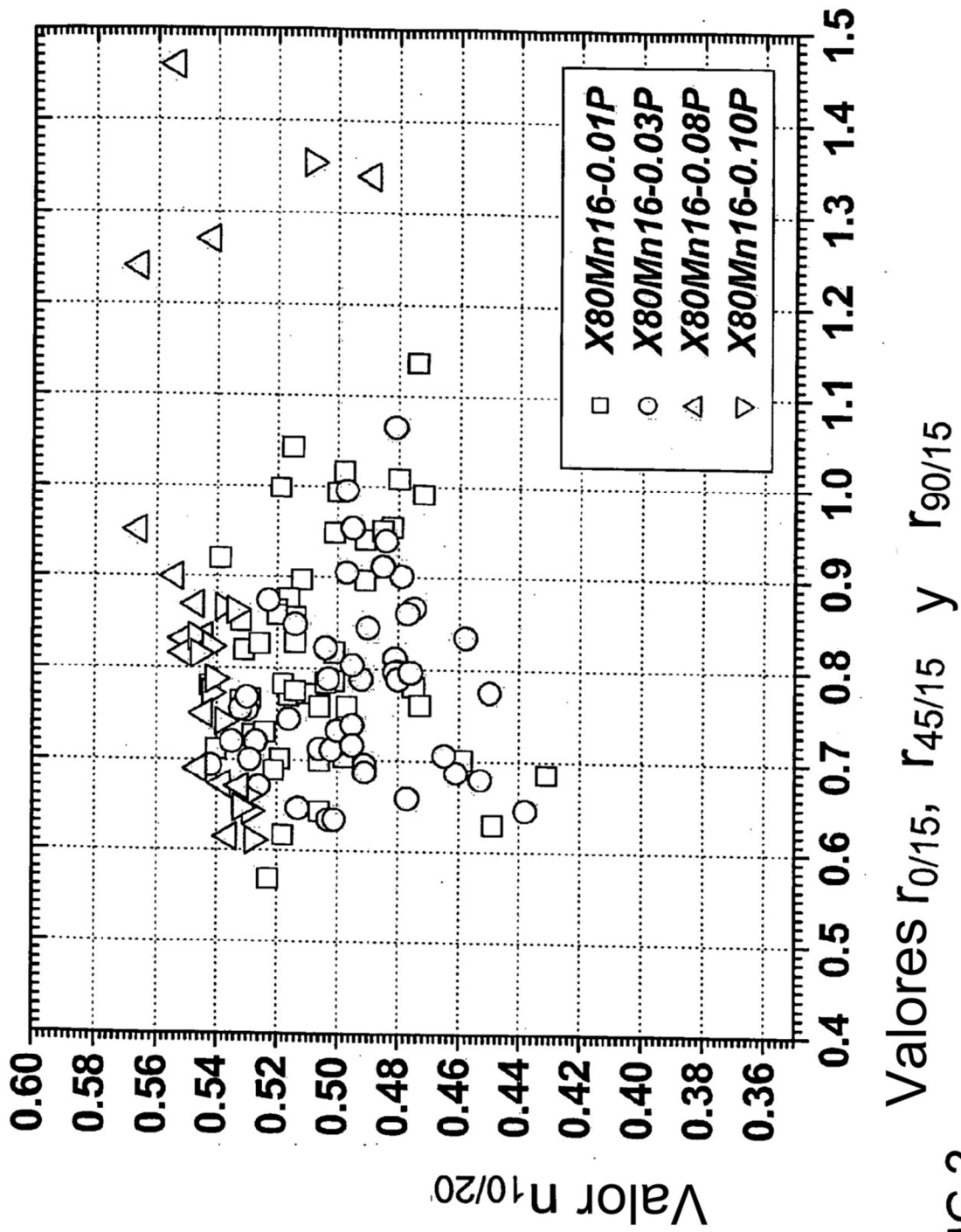


FIG 2

FIG 3A

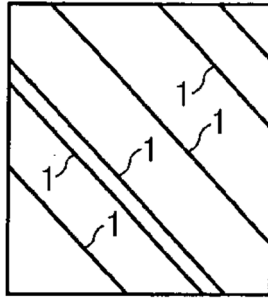


FIG 3B

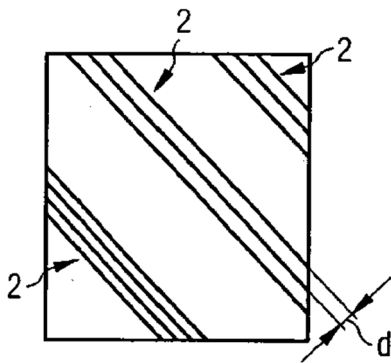


FIG 3C

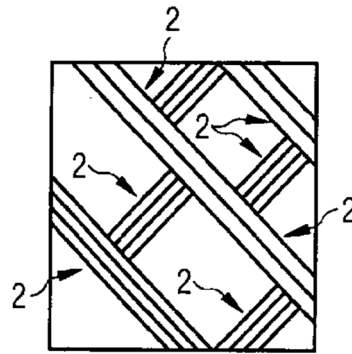




FIG 4

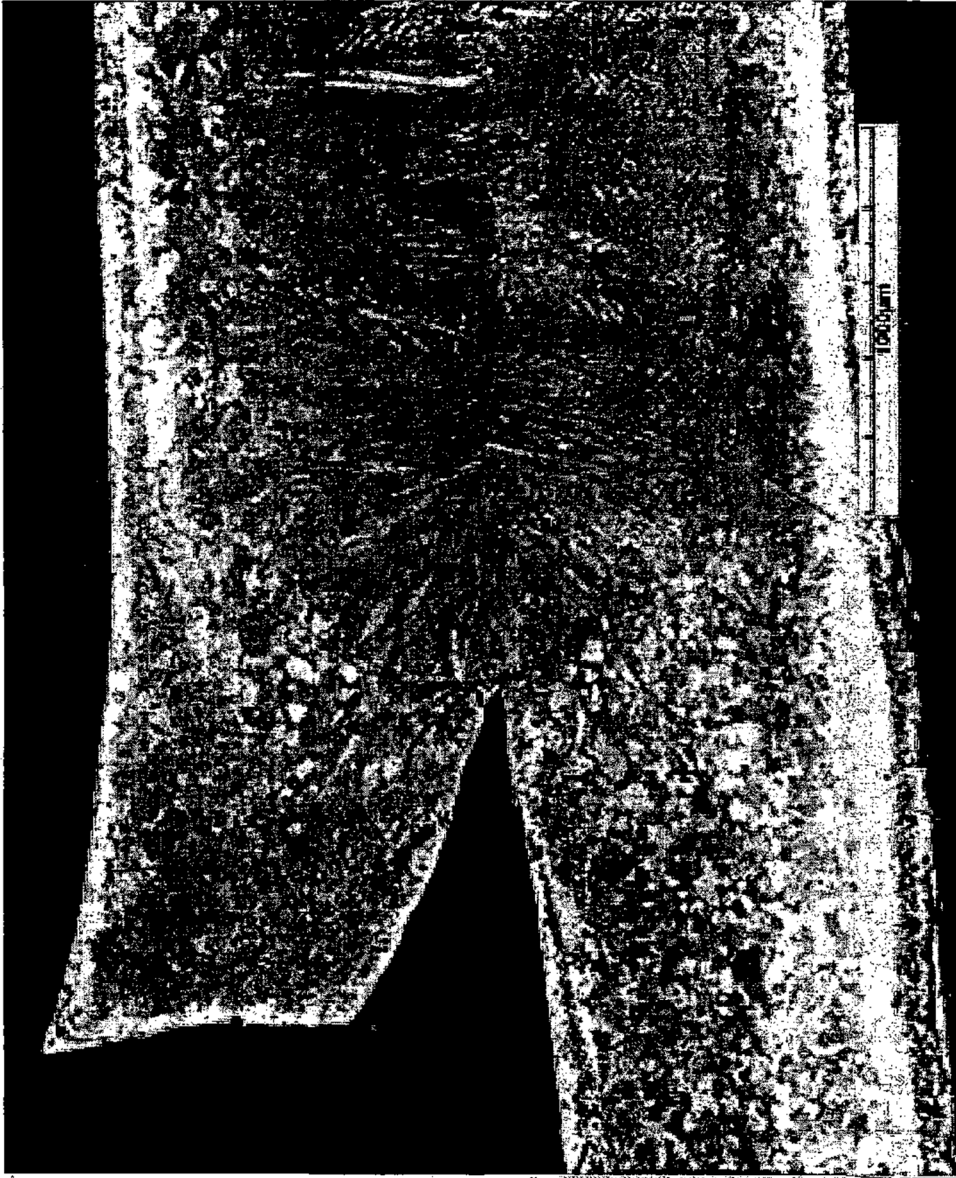


FIG 5