

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 464 865**

51 Int. Cl.:

C21D 6/00 (2006.01)

C21D 8/02 (2006.01)

C21D 8/12 (2006.01)

C21D 9/52 (2006.01)

C21D 9/46 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.12.2006 E 06125750 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.02.2014 EP 1795617**

54 Título: **Procedimiento para el tratamiento térmico de un fleje de acero de chapa magnética**

30 Prioridad:

09.12.2005 DE 102005059308

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

04.06.2014

73 Titular/es:

**THYSSENKRUPP STEEL EUROPE AG (100.0%)
KAISER-WILHELM-STRASSE 100
47166 DUISBURG, DE**

72 Inventor/es:

**SCHNEIDER, JÜRGEN, PROF. DR.-ING. y
TELGER, KARL, DIPL.-PHYS.**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 464 865 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

Procedimiento para el tratamiento térmico de un fleje de acero de chapa magnética

5 La invención se refiere a un procedimiento para el tratamiento térmico de flejes de acero que están producidos a partir de un acero que contiene Si y/o Al a condición de que para el contenido de Si %Si y el contenido de Al %Al se cumpla $\%Si + 2 \times \%Al \leq 6,6$ % en peso, hasta el 2,5 % en peso de Mn, opcionalmente uno o varios elementos del grupo "P, Cr, Ni" con contenidos de, respectivamente, hasta el 1 % en peso, opcionalmente uno o varios elementos del grupo "C, N, S" con contenidos de, respectivamente, hasta el 0,1 % en peso y como resto hierro así como impurezas inevitables, en el que los flejes de acero en primer lugar se recuecen de forma continua y a continuación se enfrían de manera controlada en al menos tres pasos. Un procedimiento de este tipo es conocido, por ejemplo, por el documento EP 0 357 797 A1.

15 Por el documento JP-A 52-96919 es conocido otro procedimiento para el recocido de fleje de acero sin orientación de grano, en el que el respectivo fleje de acero después del recocido final se enfría bruscamente hasta una temperatura de 300 °C, no habiendo de superar las velocidades de enfriamiento respectivamente ajustadas 250 °C/min (correspondientes a 4,17 °C/s). El enfriamiento hasta un límite de 300 °C se realiza respectivamente de forma lineal, es decir, sin interrupción, a velocidad de enfriamiento constante y en un ciclo.

20 Los flejes de acero fabricados en bandas largas y grandes anchuras se emplean en un ámbito muy amplio como materiales de construcción. En un intervalo de espesores de aproximadamente 0,1 a 2 mm, para tales flejes de acero se demandan propiedades mecánicas uniformes. Estas se consiguen en parte no hasta después de un tratamiento térmico con posterior conformado. A este respecto, el tratamiento térmico incluye por norma general un recocido y un enfriamiento controlado. En la práctica, el recocido y el enfriamiento conducen a defectos de planicidad y tensiones internas del fleje.

30 En tales procedimientos de producción, en los que después del recocido tiene lugar un conformado del material de fleje, las faltas de planicidad generadas durante el proceso de recocido y las tensiones internas del material son tolerables hasta cierto grado. Sin embargo, son problemáticas en los materiales de acero en los que un proceso de recocido tiene una influencia decisiva en la generación de sus propiedades. Un ejemplo de tales usos de fleje de acero son las denominadas "chapas magnéticas" que se usan en el ámbito de la electrotecnia a causa de sus particulares propiedades electromagnéticas.

35 En las chapas en las que el recocido tiene una influencia decisiva sobre las propiedades, un conformado posterior lleva a un empeoramiento de la respectiva propiedad. Por tanto, en tales materiales por norma general queda excluido un conformado posterior para mejorar la planicidad. Con una automatización creciente, aumento de las exigencias de calidad y el empleo de nuevos aceros, por tanto, resulta la necesidad de mejorar durante el tratamiento térmico el nivel de planicidad así como minimizar la generación de tensiones internas.

40 Esto tiene particular importancia en aceros para aplicaciones electrotécnicas. Estos aceros son particularmente exigentes con respecto al nivel de planicidad, debido a que en el estado terminado de recocer ya no se deben exponer a una deformación posterior para no perder sus buenas propiedades de magnetismo suave ajustadas durante el recocido. Además son particularmente favorables reducidos niveles de tensión propia en estos materiales en relación con sus propiedades magnéticas. Por tanto, durante el perfeccionamiento de estos materiales se ha de prestar especial atención al procedimiento de recocido.

50 El empleo de aceros electrotécnicos se encuentra en el ámbito de los motores para el accionamiento de máquinas y vehículos así como en el ámbito de la transformación de energía entre diferentes niveles de tensión eléctrica. Aquí se emplean para conducir el flujo magnético en forma de láminas de chapa magnética apiladas como núcleo de hierro. Para el caso del uso de la distribución de energía se han desarrollado variedades de pérdidas particularmente reducidas. Estas son materiales esencialmente con orientación de grano que están caracterizados por texturas con orientación de Goss en dirección del fleje. Se producen en procedimientos complejos con contenidos de silicio de aproximadamente el 3 % en peso. Estos materiales aquí solo se han de mencionar, sin embargo no se tratarán adicionalmente.

55 El caso del uso en el ámbito de los accionadores, es decir, los motores, es el caso de aplicación desde luego más frecuente y habitualmente se cubre con aceros sin orientación de grano. En este caso, el elemento principal de la aleación es el silicio con partes de hasta el 3,5 % en peso.

60 Los materiales con magnetismo suave y ferromagnéticos son de gran importancia en la electrotecnia y se emplean aquí, por ejemplo, para la transformación de energía y en el ámbito de los accionadores (motores). En este caso se han de mencionar materiales de alta permeabilidad en su estado amorfo, nanocristalino o cristalino que se generan todos ajustados para facilitar buenas propiedades conductoras en el núcleo de magnetismo suave para el flujo magnético. Para esto es necesario minimizar la intensidad de campo coercitivo y maximizar la polarización incluso con una reducida necesidad de campo. A partir de esto resultan reducidas pérdidas por histéresis magnética con pequeños tamaños de núcleo con reducida necesidad de cobre para los arrollamientos. A este respecto tienen una

importancia económica particular en los materiales con magnetismo suave los aceros aleados con silicio. Se fabrican con hasta el 3,5 % en peso de Si con espesores de chapa convencional de 0,1 a 1,0 mm como fleje y se emplean, por ejemplo, como pila de chapa en el núcleo conductor de flujo de máquinas eléctricas o transformadores. Ya que las chapas magnéticas respectivamente procesadas influyen directamente en la necesidad de energía de las bombas, ventiladores, compresores, reguladores y motores terminados, para el respectivo caso de aplicación se han desarrollado variedades de acero con comportamiento de magnetización hecho especialmente a medida.

Un grupo de estos aceros se deforma posteriormente en el lugar del productor del fleje de acero en parte en la caja relaminadora y/o en la estiradora-enderezadora y se envían al cliente en el denominado estado semiacabado. En el lugar del cliente a partir del material semiacabado se troquelan o cortan piezas de chapa que a continuación se recuecen. Solo después de este recocido se ajustan las buenas propiedades de magnetismo suave requeridas.

El otro grupo de estos aceros electrotécnicos, que se denomina "completamente acabado", se trata térmicamente ya en el lugar del productor del fleje de acero antes del envío al cliente, de tal manera que conserva las propiedades magnéticas requeridas incluso después de un troquelado o corte en el lugar del cliente, sin que se tenga que llevar a cabo para esto un recocido final en el lugar del cliente. Precisamente en el caso de un "material completamente terminado" de este tipo, el aumento de la eficacia del procesamiento posterior requiere una buena ubicación plana antes y después del procedimiento de troquelado.

Para conseguir esto se necesitan flejes de acero en los que en el estado de envío existan solo mínimos defectos de ubicación plana. En este contexto es de importancia particular la ondulación de borde del fleje de acero, ya que solo con una ondulación de borde minimizada es posible un aprovechamiento óptimo del material. A causa de las partes troqueladas en parte de tipo filigrana con estructuras de solo milímetros de tamaño, adicionalmente se tienen que mantener bajas las tensiones internas en la chapa, para que estas estructuras no se deformen, por lo que se obstaculizaría el apilado de las partes troqueladas.

En el procedimiento conocido por el documento ya mencionado al principio EP 0 357 797 A1, para evitar la generación de tensiones térmicas internas en una chapa magnética sin orientación de grano después del recocido final se lleva a cabo el enfriamiento de la chapa después del recocido en tres pasos. En el primer paso que abarca 620-550 °C se ajusta, a este respecto, una velocidad de enfriamiento de como máximo 8 °C/s. La velocidad media de enfriamiento en el segundo paso de enfriamiento, que abarca < 550 °C - 300 °C, por un lado debe ser mayor que la velocidad de enfriamiento del primer paso, por otro lado, sin embargo también menor que el cuádruple de la velocidad de enfriamiento del primer paso. En el tercer paso que sigue al segundo paso de enfriamiento finalmente se ha de mantener una velocidad media de enfriamiento de al menos 5 °C/s. Ciertamente, la realización práctica de este procedimiento ha dado lugar a chapas magnéticas que tenían propiedades magnéticas mejoradas. Sin embargo, el problema de la planicidad frecuentemente escasa para el procesamiento posterior de las chapas magnéticas tratadas térmicamente de la forma conocida por el documento EP 0 357 797 A1 ha continuado existiendo.

Por tanto, la presente invención ha tratado, en particular, el tratamiento térmico llevado a cabo durante la producción de flejes magnéticos completamente terminados y ha respondido a la pregunta de cómo se ha de llevar a cabo un recocido con enfriamiento posterior para garantizar, con tensiones internas reducidas, buenos estados de planicidad en el material de chapa magnética.

Partiendo de un procedimiento del tipo indicado al principio, este objetivo se ha resuelto de acuerdo con la invención

- al llegar el primer paso del enfriamiento de la máxima temperatura de fleje $T_{m\acute{a}x}$ hasta una temperatura $T_{C+50\text{ }^\circ\text{C}}$ situada 50 °C por encima de la temperatura de Curie T_C y al enfriarse el fleje de acero durante este primer paso del enfriamiento con un gradiente de enfriamiento CR_1 de -38 °C/s a -1 °C/s,
- al llegar el segundo paso del enfriamiento de la temperatura $T_{C+50\text{ }^\circ\text{C}}$ hasta una temperatura $T_{C-80\text{ }^\circ\text{C}}$ que se encuentra 80 °C por debajo de la temperatura de Curie T_C y al enfriarse el fleje de acero durante el segundo paso del enfriamiento con un gradiente de enfriamiento CR_2 que se encuentra en un intervalo cuyos límite superior $CR_{2M\acute{A}X}$ y límite inferior $CR_{2M\acute{I}N}$ se determinan del siguiente modo:

$$CR_{2M\acute{A}X} = \pi \cdot \left(\cos \left(2 \cdot (T_{fleje} - T_C) \frac{\pi}{2^6} \cdot \left((T_{fleje} - T_C) \left(\frac{\pi}{2^6} \right)^2 + 1 \right) \right) + 1 \right) - \pi$$

$$CR_{2M\acute{I}N} = 3 \cdot \pi \cdot \left(\cos \left(2 \cdot (T_{fleje} - T_C) \frac{\pi}{2^6} \cdot \left((T_{fleje} - T_C) \left(\frac{\pi}{2^6} \right)^2 + 1 \right) \right) - 1 \right) - \pi$$

y

- al enfriarse en el tercer paso del enfriamiento, que comienza por debajo de la temperatura T_{C-80} °C, con un gradiente de enfriamiento CR_3 de hasta -85 °C/s de forma acelerada.

5 Con los "gradientes de enfriamiento" CR_1 , CR_2 y CR_3 están indicadas las disminuciones de temperatura por unidad de tiempo [°C/s] que se alcanzan en el respectivo paso de enfriamiento (CR_1 , CR_2 , CR_3 respectivamente < 0 °C/s).

10 La invención se basa en el conocimiento de que durante la producción convencional de chapa magnética, las relaciones heterogéneas de temperatura a lo largo de la anchura del fleje durante el recocido continuo son la causa primaria de la generación de divergencias de planicidad y tensiones internas. Estas se deben no solo en un grado limitado a heterogeneidades de la distribución de temperaturas en el corte transversal del horno, sino que resultan en esencia a partir de la calidad de la superficie y el plan aplicado de pasadas durante el laminado en frío. En este caso desempeñan un papel importante durante el calentamiento, a causa de elevados coeficientes de transferencia de calor, las capas de óxido parciales todavía presentes del proceso previo (fleje laminado en caliente, fleje laminado en frío).

20 Durante el enfriamiento va ganando importancia la rugosidad de la superficie, además de las capas de óxido que se producen durante el proceso de recocido. El parámetro de rugosidad RP_c (número de crestas en la superficie rugosa) controla además de la composición de la aleación de la superficie principalmente con profundidades de rugosidad medias bastante constantes la absorción de energía de la superficie del material. Los reducidos cambios causados por ello de la emisividad son suficientes para iniciar un cambio adicional de la emisividad a través de la dependencia de la temperatura. Estos efectos se acumulan dependiendo de la rugosidad, de tal manera que a lo largo de periodos de tiempo más prolongados (aproximadamente 30 - 60 s) con gradientes de enfriamiento correspondientemente escarpados sin interrupciones en el enfriamiento y sin adaptación de la curva de enfriamiento aparecen claras diferencias de temperaturas de hasta 70 °C a lo largo de la anchura del fleje (dependiendo de temperatura inicial, gradiente y tiempo).

30 Por tanto, para la uniformidad del alargamiento de material en el horno de paso continuo resulta una dependencia de la calidad de la superficie, habiéndose podido comprobar una respuesta del alargamiento plástico a diferentes curvas de enfriamiento con un material precursor idéntico con superficies heterogéneas.

35 En todos los casos, el proceso de laminado en frío proporciona los gérmenes de recristalización y, por tanto, el valor de partida para una recristalización uniforme o no uniforme. Por tanto, los estados de estructura heterogéneos a lo largo de la anchura del fleje se causan debido a altas cizallas durante el laminado en frío a causa de elevados rozamientos en la superficie. Por tanto, son condiciones importantes importantes buenas superficies decapadas homogéneamente sin capas de óxido residual para un laminado en frío homogéneo adecuado y un reducido nivel de tensión del material después del recocido.

40 Resulta, ya a partir de la homogeneidad del procedimiento de laminado en caliente en forma de una distribución uniforme de temperaturas a lo largo de la anchura del fleje y, por tanto, dado el caso un régimen de conformado en otros campos de fases cristalográficas, un cambio de las condiciones iniciales durante el laminado en frío. También se le otorga una importancia particular a la oxidación después del laminado en caliente en este caso precisamente en la zona del borde del fleje.

45 La etapa de laminado en frío no puede eliminar estos estados de estructura o superficies dotadas de escamas de óxido residuales. Más bien, en caso de condiciones de laminado en frío de intensa cizalla y elevadas fuerzas de laminado en el sentido de heterogeneidades de desplazamiento consigue ya solo condiciones iniciales peores para el recocido continuo de recristalización. Todo esto puede llevar a que, por ejemplo, en la zona central y de cantos durante el recocido continuo se produzcan variaciones de distribuciones de tamaño de grano, pero también de valores de intensidad de campo coercitivo que, entonces, son un indicio de elevadas tensiones internas.

50 Como resultado, por tanto, como influencia determinante para la homogeneidad de un fleje en relación con reducidas tensiones internas y buena planicidad se ha podido determinar la respectiva calidad de la superficie y la distribución de tamaño de grano del proceso de laminado en frío.

55 Sin embargo, por motivos de la técnica de rendimiento e instalación, muchas veces solo es posible, con gran complejidad y elevados costes, cambiar de tal manera el proceso de laminado en frío que se pueda producir un producto plano optimizado del tipo en cuestión.

60 La invención ha indicado solo un camino de cómo se pueden minimizar las generaciones de tensiones internas y problemas de planicidad durante la producción de flejes de acero del tipo en cuestión, sin que para esto se tengan que cambiar el proceso de laminado en frío o las otras etapas del proceso que se han mencionado anteriormente, antepuestas a la etapa de tratamiento térmico.

65

Al llevarse a cabo el enfriamiento que sigue al recocido, que comienza incluso en la salida del horno de paso continuo, de acuerdo con la invención al menos en tres pasos con una conducción de temperatura predefinida de forma exacta alrededor de la temperatura de Curie, se pueden compensar sorprendentemente las influencias que conlleva el fleje de acero de la propia etapa de recocido y los procesos antepuestos al recocido.

5 En el transcurso del procedimiento de acuerdo con la invención durante el calentamiento se necesita una parte de la energía térmica para la resolución del orden ferromagnético. En este campo se produce la convergencia de temperaturas de la temperatura del fleje a lo largo de la anchura del fleje, de tal manera que los cortes transversales volumétricos a lo largo de la anchura del fleje en el caso de calidad de superficie no crítico alcanzan todos su máxima temperatura pretendida y están disponibles como mucho tiempos diferentes para la recristalización a esta temperatura. En caso crítico con superficie heterogénea y tiempo de espera solo breve o ningún tiempo de espera tampoco queda garantizado alcanzar la máxima temperatura del fleje. Con ello, sin embargo, en ambos casos pueden aparecer diferencias de tamaño de grano a lo largo de la anchura del fleje que se pueden homogeneizar solo de forma limitada por el proceso de enfriamiento. El conformado en la zona del tramo de calentamiento a causa de temperaturas constantemente crecientes con capacidad de conformado facilitada se plasma en estrangulamientos de fleje y zonas de cantos alargadas al máximo a causa de proporciones de longitudes cortas u homogéneas del canto del fleje con respecto al centro del fleje. A esto pueden contribuir también dificultades de avance de fleje.

20 Las zonas críticas para alargamientos durante el recocido continuo se encuentran en dos áreas del enfriamiento. Por un lado en el área de la temperatura de Curie que debido a las anomalías de la capacidad de calor específico el comportamiento de emisividad lleva al aprovechamiento dependiente de la temperatura de la energía térmica irradiada. La generación del acoplamiento ferromagnético de los átomos durante el proceso de enfriamiento requiere energía que no está disponible para la reducción de la temperatura. Por ello se puede estimular una diferencia de temperatura pequeña existente hasta entonces en zonas de fleje transversalmente a lo largo de la anchura del fleje para que aumenten claramente. Las dos variables influyentes esenciales en la transmisión de temperatura, emisividad y capacidad de calor específico, en este caso son dependientes de la temperatura y contribuyen en el caso desfavorable a una influencia mutua y a la creación de valores claramente diferentes a lo largo de la anchura del fleje. Debido a la diferencia de temperaturas que se produce resulta durante la evaluación de los diferentes alargamientos que se producen a lo largo de la anchura del fleje a causa de la diferencia local de temperaturas, que son también dependientes de la temperatura, y las tracciones de fleje que se suman en las zonas de fleje más cortas, "más frías", un conformado del material.

35 Por lo demás se ha de partir de una imagen de alargamiento homogénea del material. Por el contrario, durante el enfriamiento se reduce la capacidad de conformado del material con temperatura decreciente. En este caso, en el área de la temperatura de Curie debido a valores m ($m = d(\ln \sigma_F) / d(\ln \dot{\epsilon})$; $\dot{\epsilon}$ = velocidad de conformado; σ_F = tensión de flujo (dependiente de temperatura)) bastante elevados se pueden producir efectos locales de conformado cuando estas velocidades de conformado cambian de $0,1 \text{ s}^{-1}$ a $1,0 \text{ s}^{-1}$ (efectos de cizalla). Esto tiene como consecuencia conformados en el respectivo cristal (grano) y, por tanto, aportaciones de tensión en la estructura que tienen lugar no solamente en la zona de límite de grano (defecto de construcción de red). Entre $550 \text{ }^\circ\text{C}$ y $700 \text{ }^\circ\text{C}$ con velocidades de conformado bajas ($< 0,01 \text{ s}^{-1}$), los efectos de regeneración son posibles de forma solo limitada.

45 Para una aleación de chapa magnética que contiene el 1,3 % en peso de Si y el 0,15 % en peso de Al, las tensiones que se producen durante el tratamiento térmico de acuerdo con la invención se han podido constatar mediante mediciones magnéticas, en particular de la intensidad de campo coercitivo. Una adaptación de la curva de recocido en este intervalo de temperaturas del enfriamiento en forma de un paso de mantenimiento de temperatura que se encuentra en alrededor de $730 - 750 \text{ }^\circ\text{C}$ (la temperatura de Curie de esta aleación asciende a $740 \text{ }^\circ\text{C}$) dio como resultado una clara mejora en las propiedades magnéticas frente a la forma de proceder sin la parada de enfriamiento de acuerdo con la invención. Esto se cumple en particular cuando se han medido perfiles de rugosidad heterogéneos a lo largo de la anchura del fleje. En este caso, los perfiles de rugosidad del material laminado en frío en relación con su profundidad de rugosidad media y número de crestas en la superficie rugosa se comportan de forma prácticamente idéntica, de tal manera que después del proceso de recocido no oxidante se ha podido recurrir a las muestras de planchas después del recocido para la comparación.

55 Se consiguen mejoras claras correspondientes de las propiedades magnéticas cuando para una aleación de chapa magnética que contiene el 3,0 % en peso de Si y el 0,4 % en peso de Al, cuya temperatura de Curie se encuentra en $746 \text{ }^\circ\text{C}$, la curva de recocido se adapta en forma de una curva de mantenimiento de temperatura que se encuentra en alrededor de $730 \text{ }^\circ\text{C} - 765 \text{ }^\circ\text{C}$.

60 En una aleación de chapa magnética con el 0,15 % en peso de Si y el 0,1 % en peso de Al así como una temperatura de Curie de $767 \text{ }^\circ\text{C}$ se pueden conseguir mejoras correspondientes de las propiedades magnéticas con un paso de mantenimiento de temperatura situado alrededor de $750 - 775 \text{ }^\circ\text{C}$ en la curva de recocido.

65 Después de abandonar la zona crítica del segundo paso del enfriamiento, durante el tercer paso se puede realizar el enfriamiento de manera acelerada. A este respecto, en el respectivo momento del tercer paso del enfriamiento se puede determinar el gradiente de enfriamiento CR_3 entonces respectivamente óptimo con una tolerancia de $\pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$

del siguiente modo:

$$CR_3 = 3,4 \cdot t_{\text{rápido}} - 70$$

con $t_{\text{rápido}}$ [s]: respectivo momento del enfriamiento para el que se ha de determinar el gradiente de enfriamiento CR_3 a ajustar; $CR_3 \leq 0$ °C/s. Normalmente, a este respecto la duración del tercer paso del enfriamiento asciende a 14 - 30 segundos.

Otra configuración ventajosa de la invención está caracterizada por que el enfriamiento se ajusta a partir de un momento situado 5 - 10 segundos antes de alcanzar la temperatura de Curie T_C y hasta un momento situado 5 - 10 segundos después de alcanzar la temperatura de Curie T_C con un gradiente de enfriamiento CR_2 cerca del mínimo gradiente de enfriamiento $CR_{2\text{MÍN}}$. De este modo se evita de forma segura la generación de tensiones térmicas en el material que podría producirse en caso contrario a causa de la capacidad de calor específico no lineal en el intervalo de temperaturas crítico de T_C del material de fleje respectivamente procesado. La generación que tiene lugar en el área de la temperatura de Curie del orden ferromagnético necesita energía que entonces no está disponible para el cambio de la temperatura. Al reducirse de acuerdo con la invención el gradiente de enfriamiento en este intervalo de temperaturas, se minimiza el potencial para la generación de tensiones internas.

Asimismo contribuye a la optimización adicional de las propiedades del fleje de acero procesado de acuerdo con la invención que el enfriamiento se lleve a cabo a partir de un momento situado 5 - 15 segundos antes de alcanzar la temperatura T_{C-80} °C con un gradiente de enfriamiento CR_2 que se ajusta cerca del mínimo gradiente de enfriamiento $CR_{2\text{MÍN}}$. Gracias a esta medida en relación con la homogeneidad de temperatura se crean condiciones iniciales óptimas a lo largo de la anchura del fleje para el tercer paso de enfriamiento terminado a continuación. Como resultado, esta medida lleva de esta manera a una planicidad óptima del fleje laminado en caliente tratado térmicamente de acuerdo con la invención.

Se puede evitar una oxidación del fleje de acero durante el recocido también en una forma de proceder de acuerdo con la invención al llevarse a cabo el recocido continuo en una atmósfera de gas protector. Esta atmósfera de gas protector puede tener un efecto asimismo de forma en sí conocida de descarburación para conseguir contenidos minimizados de C en el fleje de acero terminado.

De acuerdo con una primera variante de la etapa de recocido se calienta el fleje de acero durante el recocido continuo en un único paso de calentamiento a la temperatura de recocido. A este respecto, para el calentamiento del fleje de acero se puede emplear un equipo de calentamiento rápido que calienta el fleje de acero en el intervalo de 20 - 450 °C en una atmósfera de gas de combustión calentada de forma abierta con una velocidad de calentamiento de más de 100 °C/s. Gracias al rápido calentamiento se causa una oxidación de la superficie que unifica la absorción de energía durante todo el proceso de recocido y minimiza de este modo las diferencias de temperatura a lo largo de la anchura del fleje.

De acuerdo con una variante alternativa de la etapa de recocido se lleva a cabo el calentamiento del fleje de acero a la temperatura de recocido en al menos dos pasos. Por ello se asegura un calentamiento uniforme del fleje de acero a la máxima temperatura.

Ha resultado particularmente adecuado en relación con una optimización de las propiedades del fleje de acero obtenido que los pasos de mantenimiento de temperatura se ajusten alrededor de T_C y antes de T_{C-80} °C mediante disminución de la temperatura de la cámara del horno durante 3 a 10 s antes del respectivo paso de mantenimiento de temperatura 30 - 200 °C por debajo de la temperatura de la cámara del horno de las siguientes temperaturas de la cámara del horno. De este modo se generan mayores transferencias de energía que amplían las posibilidades de la posterior reducción de acuerdo con la invención de los gradientes de enfriamiento en el material.

La forma de proceder de acuerdo con la invención es especialmente adecuada para flejes de acero que están producidos a partir de aceros con contenidos de Si %Si y contenidos de Al %Al para los que se cumple $\%Si + 2 \times \%Al \leq 6,6$ % en peso y cuya capacidad de calor específico media C_P a T_C muestra un aumento no lineal.

El procedimiento de acuerdo con la invención posee una mayor amplitud de tolerancia frente a rugosidades de superficie variables en el lado superior e inferior a lo largo de la anchura del fleje. De este modo, con la forma de proceder de acuerdo con la invención se pueden garantizar reducidas tensiones internas y una buena planicidad incluso en flejes de acero en los que a lo largo de la anchura del fleje los números de crestas en la superficie rugosa (R_{Pc}) varían de 100 a 300 y los valores de R_z , de 2 a 7 μm.

También se demuestra que con la forma de proceder de acuerdo con la invención incluso con estructuras heterogéneas dotadas de tensión residual después del proceso de recocido se pueden garantizar reducidas dispersiones magnéticas (desviación típica) por debajo del 1,2 % para el cambio de la intensidad de campo coercitivo gracias a un recocido sin tensión posterior a 650 °C.

Incluso con estructuras de partida homogéneas dotadas de tensión residual después del proceso de recocido la invención posibilita reducidas dispersiones magnéticas (desviación típica) por debajo del 1,0 % para el cambio de intensidad de campo coercitivo gracias a un recocido sin tensión posterior a 650 °C frente a un recocido sin pasos de mantenimiento. Además se muestra una mejora en los valores medios en el cambio de intensidad de campo coercitivo gracias al recocido sin tensión de < 5 % a < 2,5 %.

También se ha podido comprobar que con la forma de proceder de acuerdo con la invención se pueden conseguir pérdidas por histéresis magnética $P_{1,5}$ (polarización de 1,5 T) el 5 - 10 % menores para el material recocido frente a un enfriamiento convencional lineal llevado a cabo de manera convencional (sin parada de enfriamiento de acuerdo con la invención). También se pueden conseguir valores de polarización hasta el 1 % mayores a 2500 y 5000 A/m para el material tratado térmicamente de acuerdo con la invención.

Además, la invención frente a un fleje de acero procesado de forma convencional dio mayores valores de permeabilidad a 1,0 y 1,5 T de polarización.

Se pueden conseguir valores particularmente ventajosos de permeabilidad a 1,0 y 1,5 T de polarización con una mejora de hasta el 20 % en caso del procesamiento de acuerdo con la invención para aleaciones de chapa magnética, para cuyo contenido de Si %Si y contenido de Al %Al se cumple $0,9 \% \leq \%Si + 2 \times \%Al \leq 1,8 \%$ en peso.

Además, el fleje de acero tratado térmicamente de acuerdo con la invención presenta generalmente valores de intensidad de campo coercitivo hasta el 40 % menores a 2500 y 5000 A/m para el material recocido frente al enfriamiento convencional que se realiza de forma lineal (sin parada de enfriamiento de acuerdo con la invención).

Asimismo se ha podido comprobar que con la forma de proceder de acuerdo con la invención en todo caso se ajustan estrangulamientos simétricos y alargamientos asociados a esto en dirección de recocido (dirección longitudinal de fleje) a lo largo de la anchura del fleje con ondulaciones reducidas del borde para el material recocido.

Finalmente, el material enfriado después del recocido de acuerdo con la invención presenta frente al material que se ha enfriado de forma convencional de manera lineal una mayor tolerancia en relación con la influencia de contenidos residuales de carbono sobre el envejecimiento magnético. De este modo con una exposición durante cuatro años a temperatura ambiente en el caso del material generado de acuerdo con la invención resultó una pérdida por histéresis magnética solo como máximo un 5 % mayor frente a un aumento de pérdida por histéresis magnética que aparece en el procedimiento convencional de enfriamiento del 10 - 20 %. Esto se cumple en particular cuando se limita el contenido de carbono a menos de 30 ppm, habiendo resultado que en el caso de chapas magnéticas, para cuyo contenido de Si %Si y contenido de Al %Al se cumple $\%Si + 2 \times \%Al \geq 1,8 \%$ en peso, se ajusta la mejora de acuerdo con la invención incluso con contenidos de carbono de hasta 50 ppm.

A continuación se explica con más detalle la invención mediante dibujos que representan ejemplos de realización. Muestran respectivamente de forma esquemática:

La Figura 1 una instalación para el tratamiento térmico de fleje de acero laminado en frío;

La Figura 2 un horno de paso continuo empleado en la instalación de acuerdo con la Figura 1.

La instalación A estructurada de forma convencional para el tratamiento térmico de un fleje de acero S laminado en frío comprende en dirección de avance de fleje B de forma sucesiva un equipo de rebobinado C, un depósito de entrada D, un horno de paso continuo E, un equipo de enfriamiento F conectado al horno de paso continuo E, un depósito de salida G y un equipo de bobinado H.

El horno de paso continuo E está dividido en 26 zonas de horno 1 a 26 atravesadas sucesivamente en dirección de avance de fleje B, que se convierten respectivamente de forma directa unas en otras, de las cuales la zona de horno 1 está asignada a la entrada de horno $E_{entrada}$ y la zona de horno 26, a la salida de horno E_{salida} . Las zonas de horno 1 a 12 a este respecto forman una sección de calentamiento de tubo de radiación E_A , mientras que las zonas de horno 13 - 26 forman conjuntamente una sección de enfriamiento por radiación E_K . Cada zona de horno 1 - 26 individual se puede regular con respecto a las temperaturas T_o existentes en su interior.

El equipo de enfriamiento F conectado directamente a la salida del horno de paso continuo E está configurado de forma también en sí conocida como equipo de enfriamiento rápido por chorro de gas protector. Para la comprobación del efecto de la invención se han tratado térmicamente en la instalación A flejes de acero de chapa magnética laminados en frío de 0,5 mm de espesor y 1265 mm de anchura, que se habían producido a partir de una aleación de acero que en un primer ejemplo (ejemplo 1) contenía el 1,3 % en peso de Si y el 0,15 % en peso de Al, en un segundo ejemplo (ejemplo 2) el 3,0 % en peso de Si y el 0,4 % en peso de Al así como en un tercer ejemplo (ejemplo 3) el 0,15 % en peso de Si y el 0,1 % en peso de Al, presentando cada una de las aleaciones de acero además en la suma hasta el 1 % en peso de contenidos de Mn, P, Cr, Ni y en la suma hasta el 0,1 % en peso de

5 contenidos de C, N, S, resto hierro e impurezas inevitables. Los flejes compuestos correspondientemente se han laminado en caliente de forma convencional en primer lugar hasta flejes laminados en caliente y a continuación de forma también convencional se han laminado en frío hasta el espesor final. Los flejes de acero de chapa magnética S laminados en frío, suministrados como bobinas I, se han desenrollado en el equipo de rebobinado C y se han conducido al horno de paso continuo E a través del depósito de fleje D. Allí se han calentado en primer lugar en las primeras 12 zonas de horno 1 - 12 hasta que, al abandonar la zona de horno 12, presentaban a lo largo de su corte transversal de fleje una temperatura uniforme de al menos 800 °C.

10 El control de la respectiva temperatura de horno T_o en las zonas de horno 1 a 12 a este respecto se realizó de tal manera que la temperatura a la entrada del fleje de acero S en la zona de horno 13 se encontraba por encima de la temperatura de Curie T_C crítica que en el ejemplo 1 ascendía a 740 °C, en el ejemplo 2 a 746 °C y en el ejemplo 3 a 767 °C.

15 En la zona de horno 14 se ha ajustado una temperatura de horno T_o claramente menor que en las zonas de horno 13 y 15 adyacentes para asegurar el menor cambio posible de temperatura del fleje al pasar a través de esta zona de horno 14. La consecuencia de esto fue que la temperatura de fleje T_B se había mantenido esencialmente constante aproximadamente hasta la zona de horno 19. Entonces, a partir de la zona de horno 20 la temperatura de horno T_o local hasta la zona de horno 22 había descendido de nuevo claramente, de tal manera que por ejemplo en la zona de horno 22 también se había enfriado la temperatura de fleje T_B a una temperatura situada más de 80 °C por debajo de la temperatura de Curie. La temperatura de horno T_o en las zonas de horno 23 a 26 se encontraba frente a la temperatura de horno T_o en la región de la zona de horno 22 en un nivel claramente superior, de tal manera que a lo largo de las zonas de horno 23 - 26 disminuyó solo ligeramente la temperatura de fleje T_B . Después de la salida del horno de paso continuo E y entrada en el equipo de enfriamiento F, entonces el fleje se ha enfriado de forma acelerada mediante exposición a una corriente de gas.

25 En el diagrama 2 está aplicada para un fleje de acero S_E tratado térmicamente de acuerdo con la invención la respectiva temperatura de fleje T_B a lo largo de las zonas de horno 1 a 26. Las entradas que se refieren al fleje de acero S_E tratado térmicamente de acuerdo con la invención están indicadas por cuadrados vacíos. Adicionalmente, en el diagrama 2 para un fleje de S_K enfriado de forma convencional de manera lineal está aplicada la respectiva temperatura de fleje T_B a lo largo de las zonas de horno 1 a 26. Los valores de temperatura establecidos para el fleje de acero S_K calentado y enfriado convencionalmente están indicados mediante círculos. Los gradientes de temperatura CR_1 , CR_2 , CR_3 ajustados durante el tratamiento térmico de acuerdo con la invención y convencional están indicados en la siguiente tabla.

Gradiente	De acuerdo con la invención	Convencional
CR_1	-2 °C/s	- 4,8 °C/s
CR_2	De T_C-80 a T_C-66 :-0,9 °C/s De T_C-66 a T_C+10 :-1,1 °C/s	- 4,8 °C/s
CR_3	-9,14 °C/s	12,21 °C/s

35 En el diagrama 1 están aplicadas para el fleje de acero S_E tratado térmicamente de acuerdo con la invención y procesado de forma convencional las respectivas temperaturas de horno T_o a lo largo de la zona de horno 1 - 26 respectivamente asignada. A este respecto, las temperaturas T_o establecidas para el fleje de S_E procesado de acuerdo con la invención están indicados por cuadrados vacíos y las temperaturas T_o ajustadas para el fleje de acero S_K tratado térmicamente de forma convencional mediante círculos.

40 Las propiedades de los flejes de acero tratados térmicamente de acuerdo con la invención y de manera convencional están enfrentadas en la siguiente tabla:

	Tratado térmicamente de acuerdo con la invención			Tratado térmicamente de forma convencional		
	1	2	3	1	2	3
Ejemplo						
Ondulación de borde [%]	< 1	< 1	< 1	< 1,5	< 1,5	< 1,5
$P_{1,5}$ [W/kg]	4,8	4,2	7,3	5,2	4,8	7,8
J_{2500} [T]	1,68	1,623	1,646	1,67	1,606	1,630
μ 1,0	5800	6000	3850	4800	3700	3400
μ 1,5	3200	2000	1800	2800	1400	1600

Se muestra una clara superioridad de la planicidad (ondulación de borde) y de las propiedades magnéticas del fleje de acero S_E tratado térmicamente de acuerdo con la invención.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el tratamiento térmico de flejes de acero que están producidos a partir de un acero que contiene Si y/o Al a condición de que para el contenido de Si %Si y el contenido de Al %Al se cumpla %Si + 2 x %Al ≤ 6,6 % en peso, hasta el 2,5 % en peso de Mn, opcionalmente uno o varios elementos del grupo "P, Cr, Ni" con contenidos de, respectivamente, hasta el 1 % en peso, opcionalmente de uno o varios elementos del grupo "C, N, S" con contenidos de, respectivamente, hasta el 0,1 % en peso y como resto hierro así como impurezas inevitables, en el que los flejes de acero en primer lugar se recuecen de forma continua y a continuación se enfrían de manera controlada en al menos tres pasos, **caracterizado**

- **por que** el primer paso del enfriamiento llega de la máxima temperatura de fleje $T_{m\acute{a}x}$ hasta una temperatura T_{C+50} °C situada 50 °C por encima de la temperatura de Curie T_C y el fleje de acero se enfría durante este primer paso del enfriamiento con un gradiente de enfriamiento CR_1 de -38 °C/s a -1 °C/s,
- **por que** el segundo paso del enfriamiento llega de la temperatura T_{C+50} °C hasta una temperatura T_{C-80} °C que se encuentra 80 °C por debajo de la temperatura de Curie T_C y el fleje de acero se enfría durante el segundo paso del enfriamiento con un gradiente de enfriamiento CR_2 que se encuentra en un intervalo cuyos límite superior $CR_{2M\acute{A}X}$ y límite inferior $CR_{2M\acute{I}N}$ se determinan del siguiente modo:

$$CR_{2M\acute{I}N} = 3 \cdot \pi \cdot \left(\cos \left(2 \cdot (T_{fleje} - T_c) \frac{\pi}{2^6} \cdot \left((T_{fleje} - T_c) \left(\frac{\pi}{2^6} \right)^2 + 1 \right) \right) - 1 \right) - \pi$$

$$CR_{2M\acute{A}X} = \pi \cdot \left(\cos \left(2 \cdot (T_{fleje} - T_c) \frac{\pi}{2^6} \cdot \left((T_{fleje} - T_c) \left(\frac{\pi}{2^6} \right)^2 + 1 \right) \right) + 1 \right) - \pi$$

y

- **por que** en el tercer paso del enfriamiento, que comienza por debajo de la temperatura T_{C-80} °C, se enfría de forma acelerada con un gradiente de enfriamiento CR_3 de hasta -85 °C/s.

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el gradiente de enfriamiento CR_3 ajustado durante el tercer paso del enfriamiento en el respectivo momento $t_{r\acute{a}pido}$ se determina con una tolerancia de ± 20 °C del siguiente modo:

$$CR_3 = 3,4 \cdot t_{r\acute{a}pido} - 70$$

con $t_{r\acute{a}pido}$ [s]: respectivo momento del enfriamiento para el que se ha de determinar el gradiente de enfriamiento CR_3 a ajustar; $CR_3 \leq 0$ °C/s.

3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado por que** la duración del tercer paso del enfriamiento asciende a 14 - 30 segundos.

4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el enfriamiento a partir de un momento situado 5 - 10 segundos antes de alcanzar la temperatura de Curie T_C y hasta un momento situado 5 - 10 segundos después de alcanzar la temperatura de Curie T_C se ajusta con un gradiente de enfriamiento CR_2 cerca del mínimo gradiente de enfriamiento $CR_{2M\acute{I}N}$.

5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el enfriamiento a partir de un momento situado 5 - 15 segundos antes de alcanzar la temperatura T_{C-80} °C se lleva a cabo con un gradiente de enfriamiento CR_2 que se ajusta cerca del mínimo gradiente de enfriamiento $CR_{2M\acute{I}N}$.

6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** se lleva a cabo el recocido continuo en una atmósfera de gas protector.

7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado por que** la atmósfera de gas protector tiene un efecto de descarburación.

8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el fleje de acero se calienta durante el recocido continuo en un paso de calentamiento a la temperatura de recocido.

9. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, **caracterizado por que** para el calentamiento del fleje de acero se emplea un equipo de calentamiento rápido que calienta el fleje de acero en el intervalo de 20 - 450 °C en una

atmósfera de gas de combustión calentada de forma abierta con una velocidad de calentamiento de más de 100 °C/s.

5 10. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado por que** el calentamiento del fleje de acero a la temperatura de recocido se lleva a cabo en al menos dos pasos.

10 11. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizado por que** se ajustan pasos de mantenimiento de temperatura alrededor de T_c y antes de $T_c - 80$ °C mediante la disminución de la temperatura de la cámara de horno durante 3 a 10 s antes del respectivo paso de mantenimiento de temperatura 30 - 200 °C por debajo de la temperatura de la cámara de horno de las siguientes temperaturas de la cámara de horno.

12. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** para el contenido de Si %Si y el contenido de Al %Al se cumple $0,9 \% \text{ en peso} \leq \%Si + 2 \times \%Al \leq 1,8 \% \text{ en peso}$.

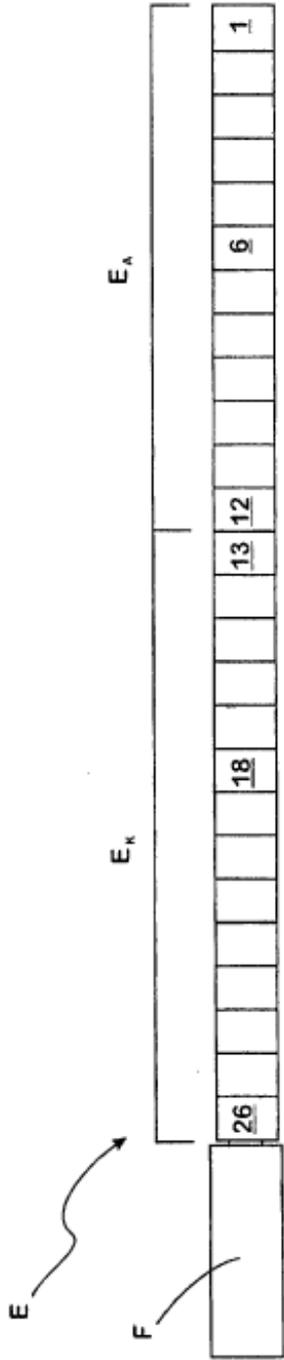


Fig. 2

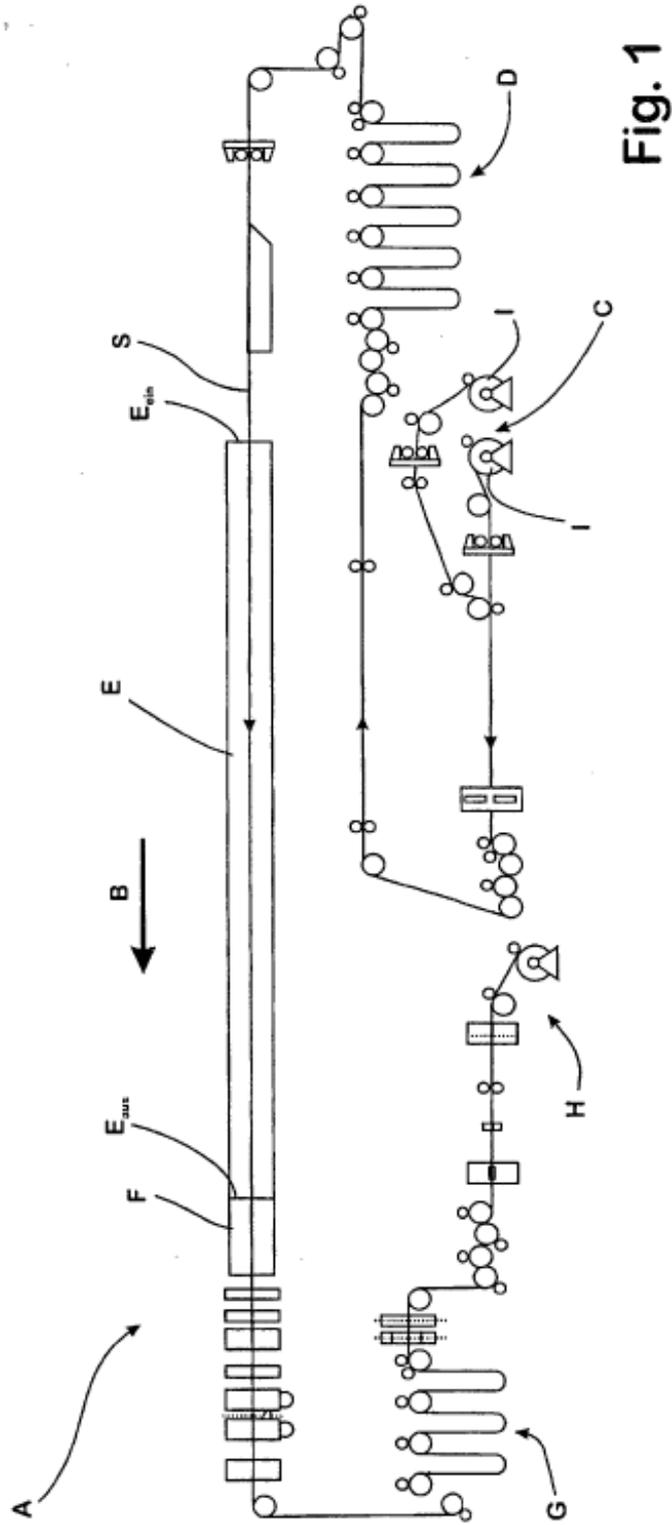
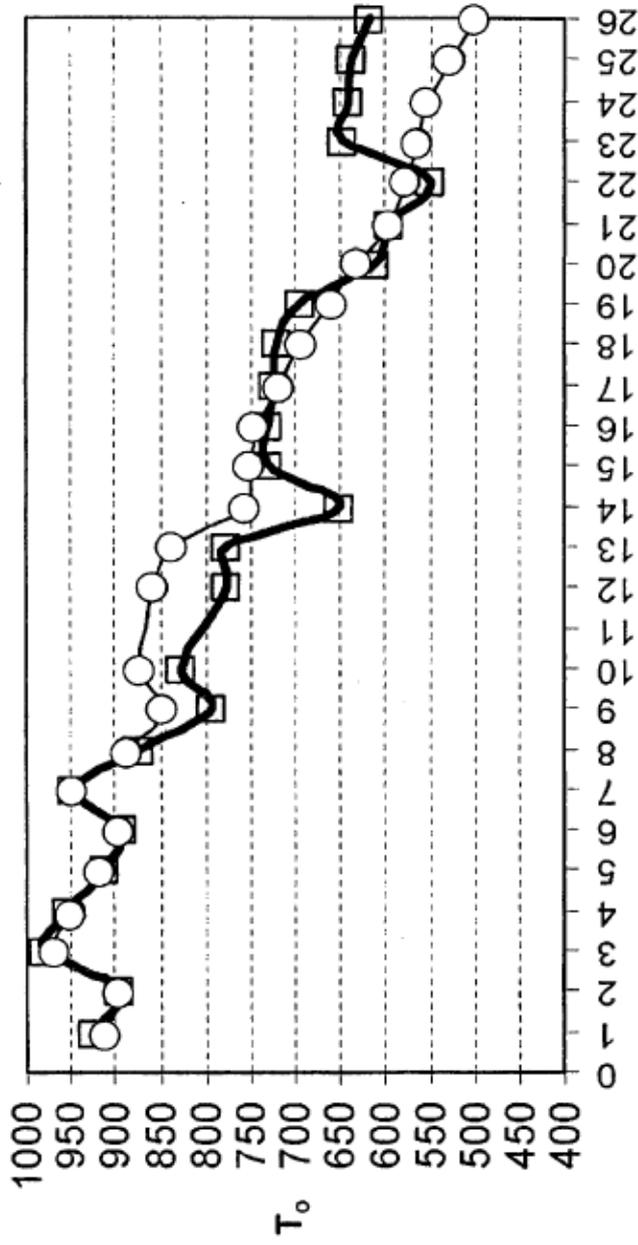
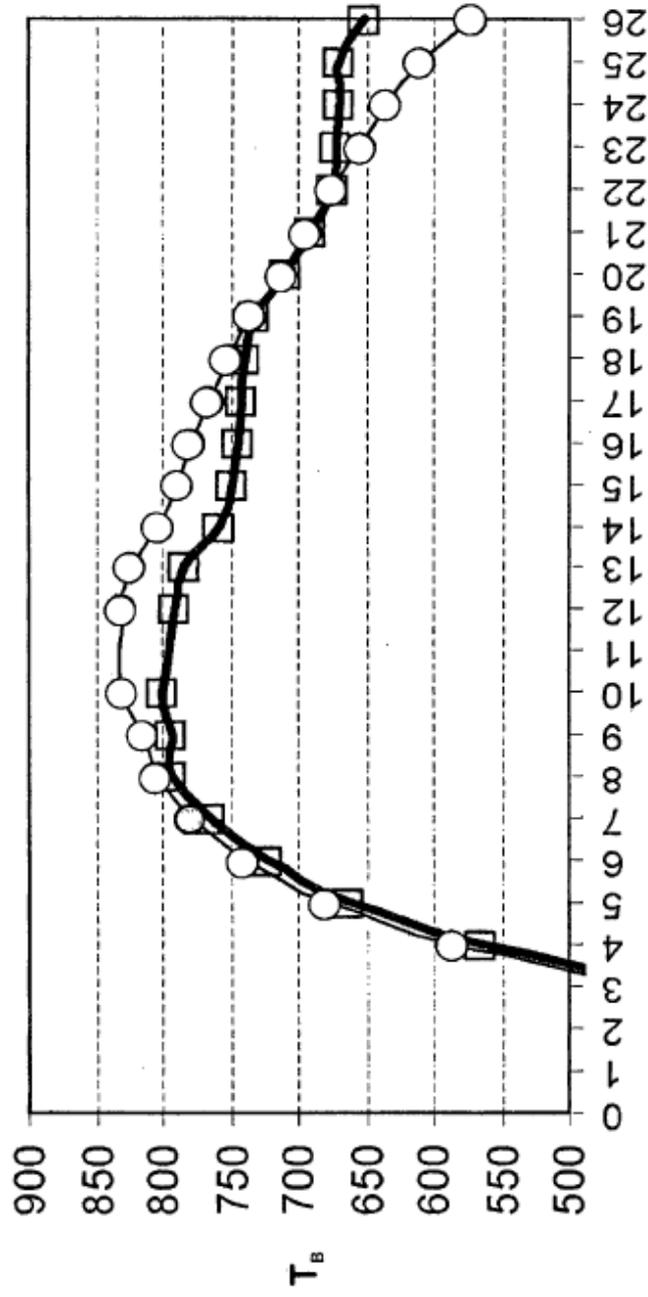


Fig. 1



Diag. 1



Diag. 2