



**República Federativa do Brasil**  
Ministério da Indústria, Comércio Exterior  
e Serviços  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) PI 1107247-4 B1**

**(22) Data do Depósito: 28/01/2011**

**(45) Data de Concessão: 09/10/2018**



---

**(54) Título:** PROCESSO TERMOMECÂNICO PARA OBTENÇÃO DE AÇOS FERRÍTICOS COM GRÃOS ULTRAFINOS

**(51) Int.Cl.:** C21D 8/02; C21D 8/00; C22C 38/00

**(73) Titular(es):** UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO-UNESP. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. FUNDAÇÃO DE AMPARO A PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO

**(72) Inventor(es):** ALESSANDRO ROGER RODRIGUES; CLEITON LAZARO FAZOLO DE ASSIS; OSCAR BALANCI; OTAVIO VILLAR DA SILVA NETO

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 28/01/2011

## **PROCESSO TERMOMECÂNICO PARA OBTENÇÃO DE AÇOS FERRÍTICOS COM GRÃOS ULTRAFINOS**

**[001]** Trata o presente relatório descritivo da patente de invenção de uma inédita tecnologia de processo termomecânico para obtenção de aços ferríticos com grãos ultrafinos, de concepção inovadora e dotado de importantes melhoramentos tecnológicos e funcionais, segundo os mais modernos conceitos de engenharia e de acordo com as normas e especificações exigidas, revestindo-se de características próprias e dotadas com requisitos fundamentais de novidade e atividade inventiva, fazendo resultar uma série de reais e extraordinárias vantagens técnicas, práticas e econômicas.

### **[002] ESTADO DA TÉCNICA**

**[003]** O documento de patente PI 0408922-7 depositado em 05/03/2004 intitulado *processo para o tratamento termomecânico de aço* sendo que o material de base é aquecido a uma temperatura acima da temperatura de recristalização, a estrutura é austenitizada, mantida com compensação de temperatura, depois é moldado e, finalmente, é resfriado bruscamente e temperado para formar martensita, sendo que, o material de base é formado por barras de aço redondas, cuja temperatura de recristalização é compensada através do comprimento da barra em um forno de compensação, que depois são moldadas através de laminação inclinada, permanecendo, em essência, retas, sendo que, após a ultrapassagem do grau de moldagem crítico, são executados processos de recristalização dinâmicos. Em seguida, as barras de aço redondas, para a recristalização estática completa, são submetidas a um reaquecimento acima da temperatura de Ac3, e concluindo, são resfriadas bruscamente e temperadas para formar martensita.

**[004]** O documento de patente PI 9104664-5 depositado em

28/10/1991 intitulado *processo para a produção de aço elétrico de grão orientado regular, de baixo carbono no banho e alto silício* tendo uma medida padrão final de 0,35 mm a cerca de 0,15 mm, incluindo as etapas de estabelecimento de uma tira a quente de aço ao silício, e remoção da carepa da tira a quente, se necessário. O aço ao silício é laminado a frio a uma medida padrão intermediária, a uma temperatura de encharque de cerca de 900°C a cerca de 930°C. Depois disso o aço ao silício é resfriado em um primeiro estágio de laminação a frio, a uma taxa de cerca de 280°C a cerca de 585°C por minuto, diminuindo para cerca de 595°C +/- 30°C. O aço ao silício é então submetido a um segundo estágio de resfriamento rápido, resfriando para cerca de 315°C a cerca de 540°C, a uma taxa de resfriamento de cerca de 1390°C a cerca de 1945°C por minuto, seguido por uma têmpera em água. O aço ao silício é laminado a frio para a medida padrão final, descarbonetado, revestido com um separador de recozimento e recozido final. Preferivelmente, mas opcionalmente, a tira a quente é recozida antes da primeira laminação a frio. Preferivelmente, mas opcionalmente, o aço ao silício na medida padrão final, antes da descarbonetação, é submetido a um tratamento de recozimento ultra-rápido, a uma taxa maior do que 100°C por segundo, a uma temperatura maior do que 675°C.

**[005]** O documento de patente PI 8507245-1 depositado em 05/08/1985 intitulado *liga de aço com altíssimo teor de carbono e respectivo processamento* ensina uma composição de carbono em um teor entre 0,6 por cento em peso, aproximadamente, e o limite máximo da solubilidade do carbono em austenita; de silício em um teor desde cerca de até cerca de 7 por cento, em peso; de uma quantidade eficaz de um elemento de estabilização que atua no sentido de estabilizar os carbonetos de ferro contra a grafitização na presença de silício; e do

restante em ferro. Prefere-se que o silício esteja presente em um teor de cerca de 3 por cento em peso, e que o elemento de estabilização seja o cromo. O aço com altíssimo teor de carbono pode ser processado para uma forma que seja adequada a modelagem superplástica subsequente, mediante qualquer técnica que reduza a dimensão dos respectivos grãos para cerca de 10 microns ou menos, e, de preferência, para cerca de 0,4 até cerca de 2 microns. O silício e o elemento de estabilização servem para produzir uma série de partículas de carboneto de ferro estáveis, destinadas a manterem o tamanho fino dos grãos durante o processamento superplástico, e a aumentarem a temperatura eutetóide, de modo que se possa realizar o processamento superplástico com elevados índices de tração e níveis de tensão reduzidos, sob temperatura elevada.

**[006]** O documento de patente PI 9608672-6 depositado em 01/06/1996 intitulado *aço ferrítico e processo para sua fabricação e utilização* ensina um aço de múltiplas fases, possuindo uma estrutura predominantemente de ferrita poligonal, que inclui uma segunda fase dura livre de perlita, enriquecida de carbono, contendo martensita e/ou bainita e/ou austenita residual. Este aço possui alta rigidez, boa processabilidade e qualidade de superfície melhorada, após a moldagem a quente. A invenção também refere-se a um processo de fabricação deste aço e sua utilização.

**[007]** O documento de patente PI 0605810-8 depositado em 22/12/2006 intitulado *composição de aço de baixo carbono para fins de condução elétrica e aço de baixo carbono resultante que pode ser conformado por laminação de planos ou não-planos* ensina que, mais precisamente, a presente composição de aço de baixo carbono é aplicada na fabricação de aço do tipo utilizado em barramentos de cubas de redução eletrolítica para produção de alumínio primário e

outras aplicações equivalentes, onde as medidas de condutividade elétrica do aço são consideradas como parâmetros importantes em função dos altos gastos com energia elétrica; o aço em sua nova composição não só melhora a condutividade elétrica como pode vir a ser produzido por laminação de planos ou de não-planos, garantindo versatilidade em relação à quantidade solicitada pelo cliente.

#### **[008] DESCRIÇÃO RESUMIDA DO OBJETO DA PRESENTE PATENTE**

**[009]** Para gerar aços baixo carbono com grãos ultrafinos, o produto alvo do refino necessita passar por duas fases, nesta ordem: condicionamento microestrutural e processamento termomecânico. A etapa de condicionamento microestrutural reside em temperar a peça em forno a 900 °C por 30 minutos de encharque e resfriamento brusco em água, visando obter uma estrutura martensítica fina. A etapa de processamento termomecânico baseia-se em aquecer a peça a uma temperatura entre 700 e 760 °C por 12 minutos e realizar 3 passes de laminação com redução de 20% e taxa de deformação de 0,1 s<sup>-1</sup> em cada passe, com retorno ao forno entre os passes sob o mesmo intervalo de temperatura (700-760 °C) e com tempo de permanência no forno de 6 minutos. Para finalizar o processo de refino de grão, faz-se um recozimento da peça a 800 °C por 1 hora e resfriamento em água.

**[010]** É, pois, um dos objetivos da presente patente aumentar a resistência mecânica de materiais tidos como não-nobres sem a necessidade de adição de elementos de liga.

**[011]** Outro objetivo da presente patente é alcançado na medida em que a tecnologia ora proposta é aplicada em materiais mais espessos que os encontrados atualmente no mercado.

**[012]** Avaliar a usinabilidade destes materiais, já que possuem maior volume e permitirão uma vasta gama de aplicações em produtos

usinados é outro objetivo da presente patente.

**[013]** Para complementar a presente descrição, de modo a obter uma melhor compreensão das características da presente patente, e de acordo com uma preferencial realização prática da mesma, acompanha a descrição, em anexo, um conjunto de desenhos, onde de maneira exemplificada embora não limitativa, se representa o seguinte:

**[014]** A figura 1 ilustra de forma gráfica a rota de tratamento térmico para o condicionamento microestrutural e para o processamento termomecânico de laminação para a obtenção do aço com grãos ultrafinos;

**[015]** A figura 2 mostra a peça no estado bruto, considerada na condição “como recebido” (CR);

**[016]** A figura 3 mostra o produto com grãos ultrafinos obtido do processo de laminação a morno (MG), com microestrutura refinada;

**[017]** A figura 4 mostra imagem da microestrutura no estado bruto (CR);

**[018]** A figura 5 mostra imagem da microestrutura refinada (MG).

**[019]** O processo de refino de grão em chapas de aço baixo carbono ocorre integralmente por sequências controladas, em tempo e temperatura, de ciclos de laminação e tratamento térmico. Num primeiro estágio, o material da peça é submetido a um processo de condicionamento microestrutural visando viabilizar a microestrutura do material para o posterior refino de grão, fase conhecida como processamento termomecânico.

**[020]** A seguir descreve-se detalhadamente as etapas do refino de grão:

**[021]** a) Têmpera a 900 °C por 30 minutos de encharque com resfriamento em água com agitação.

**[022]** b) Aquecimento das amostras entre 700 e 760 °C por 12 minutos.

**[023]** c) Primeiro passe de laminação, a uma taxa de deformação de

0,1 s<sup>-1</sup>, com redução de 20% na espessura, sendo 25 mm de espessura inicial, 5 mm de redução da espessura e de 20 mm de espessura final.

**[024]** d) Reaquecimento das amostras entre 700 e 760 °C por 6 minutos.

**[025]** e) Segundo passe de laminação, a uma taxa de deformação de 0,1 s<sup>-1</sup>, com redução de 20% na espessura, sendo 20 mm de espessura inicial, 4 mm de redução da espessura e de 16 mm de espessura final.

**[026]** f) Reaquecimento das amostras entre 700 e 760 °C por 6 minutos.

**[027]** g) Terceiro passe de laminação, a uma taxa de deformação de 0,1 s<sup>-1</sup>, com redução de 20% na espessura, sendo 16 mm de espessura inicial, 3,2 mm de redução da espessura e de 12,8 mm de espessura final.

**[028]** h) Recozimento das amostras a 800 °C por 1 hora com posterior resfriamento em água.

**[029]** A tabela a seguir confirma a caracterização microestrutural e mecânica das amostras, apresentando o tamanho de grão médio e a resistência à tração de cada condição do material.

<b>Condição da Amostra</b>	<b>Tamanho de Grão [μm]</b>	<b>Resistência à Tração [MPa]</b>
CR	10,8 ± 3,80	630
MG	1,7 ± 0,32	1000

**[030]** Não se tem conhecimento de nenhum processamento termomecânico para obtenção de aços ferríticos com grãos ultrafinos que reúna conjuntamente, todas as características construtivas e funcionais acima relatadas, e que diretamente ou indiretamente, é ou foi tão efetivo quanto o processo objeto da presente patente.

**[031]** Tendo sido descrita e ilustrada a presente invenção, é para ser compreendido que a mesma pode sofrer inúmeras modificações e

variações em sua forma de realização, desde que tais modificações e variações não se afastem a partir do espírito e escopo da invenção, tal como definido no quadro reivindicatório.



## REIVINDICAÇÃO

**1 - PROCESSO TERMOMECÂNICO PARA OBTENÇÃO DE AÇOS FERRÍTICOS COM GRÃOS ULTRAFINOS**, caracterizado pelo fato de, num primeiro estágio, o material da peça ser submetido a um processo de condicionamento microestrutural visando viabilizar a microestrutura do material para o posterior refino de grão, compreendido pelas seguintes etapas:

- a) Têmpera a 900 °C por 30 minutos de encharque com resfriamento em água com agitação;
- b) Aquecimento das amostras entre 700 e 760 °C por 12 minutos;
- c) Primeiro passe de laminação, a uma taxa de deformação de 0,1 s<sup>-1</sup>, com redução de 20% na espessura, sendo 25 mm de espessura inicial, 5 mm de redução da espessura e de 20 mm de espessura final;
- d) Reaquecimento das amostras entre 700 e 760 °C por 6 minutos;
- e) Segundo passe de laminação, a uma taxa de deformação de 0,1 s<sup>-1</sup>, com redução de 20% na espessura, sendo 20 mm de espessura inicial, 4 mm de redução da espessura e de 16 mm de espessura final;
- f) Reaquecimento das amostras entre 700 e 760 °C por 6 minutos;
- g) Terceiro passe de laminação, a uma taxa de deformação de 0,1 s<sup>-1</sup>, com redução de 20% na espessura, sendo 16 mm de espessura inicial, 3,2 mm de redução da espessura e de 12,8 mm de espessura final;
- h) Recozimento das amostras a 800 °C por 1 hora com posterior resfriamento em água.

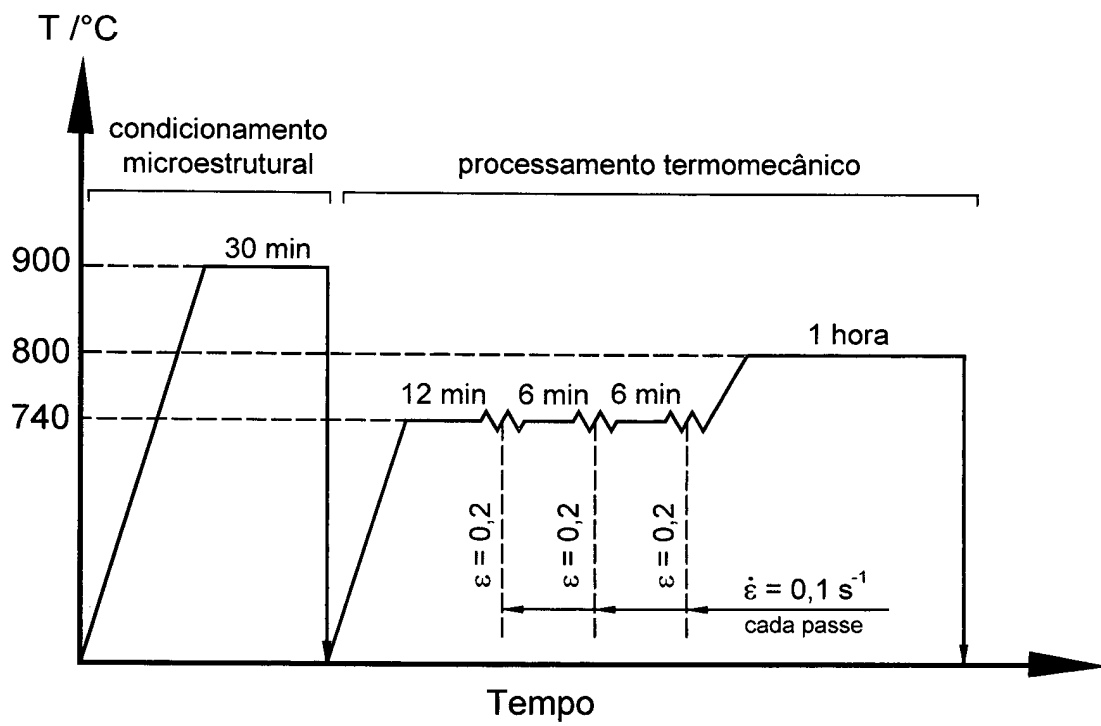


FIGURA 1

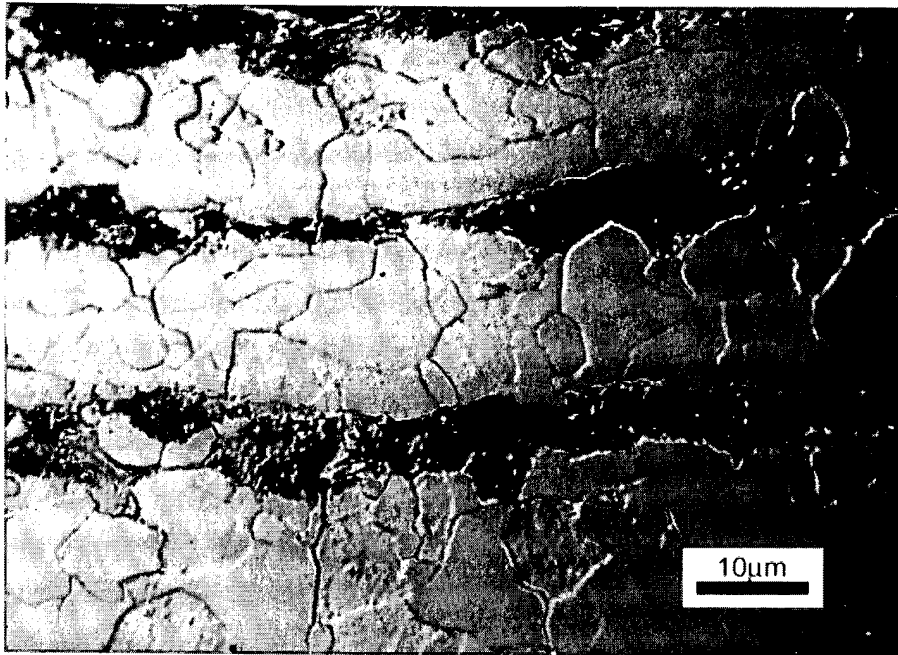


FIGURA 2

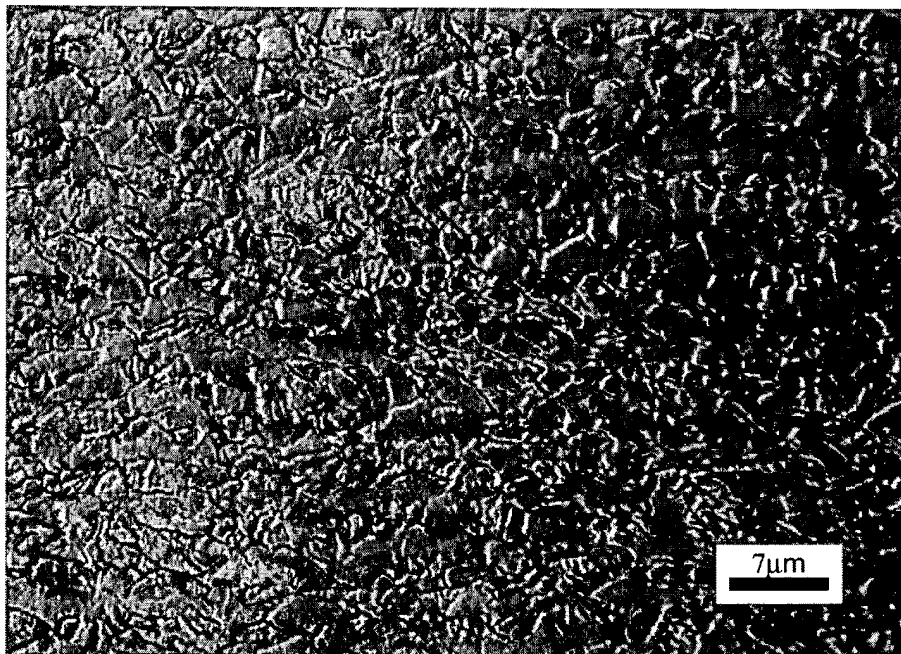


FIGURA 3