

República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI 1004950-9 A2**

(22) Data de Depósito: 03/09/2010
(43) Data da Publicação: 03/07/2012
(RPI 2165)



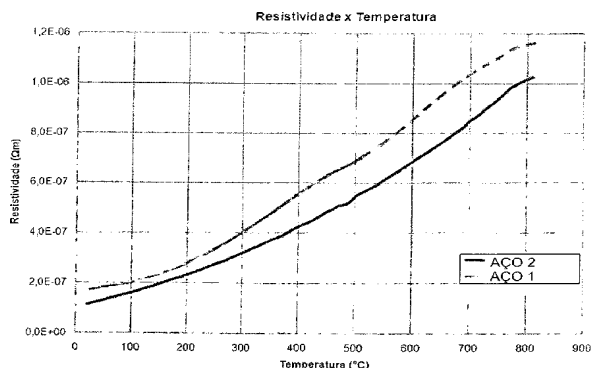
(51) *Int.Cl.:*
C22C 38/04
C22C 38/02

(54) Título: COMPOSIÇÃO DE AÇO DE BAIXO CARBONO PARA FINS DE CONDUÇÃO ELÉTRICA EM CUBAS DE REDUÇÃO ELETROLÍTICA E CORRELATOS

(73) Titular(es): INCOTEP INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE TUBOS ESPECIAIS DE PRECISÃO LTDA

(72) Inventor(es): FRANCISJONES MARINO LEMES, LUIZ EUGÊNIO BASSI, MARCELO GONÇALVES

(57) Resumo: COMPOSIÇÃO DE AÇO DE BAIXO CARBONO PARA FINS DE CONDUÇÃO ELÉTRICA EM CUBAS DE REDUÇÃO ELETROLÍTICA E CORRELATOS. Mais particularmente trata-se de um aço de baixo carbono, cuja composição química utiliza $C < 50$ ppm na obtenção de barramentos catódicos (1), pinos anódicos (2) para, por exemplo, produção de alumínio primário (Al) através de circuito elétrico previsto nas cubas eletrolíticas (Cb); a nova composição de aço de baixo carbono para fins de condução elétrica em cubas de redução eletrolítica e correlatos visa ser até 50% mais condutivo que os materiais convencionais reduzirem as perdas elétricas em até 33%, mantendo, contudo, as resistências físicas típicas do aço convencional, atingindo, assim maior eficiência elétrica na operação de redução eletrolítica da alumina.



“COMPOSIÇÃO DE AÇO DE BAIXO CARBONO PARA FINS DE CONDUÇÃO ELÉTRICA EM CUBAS DE REDUÇÃO ELETROLÍTICA E CORRELATOS”.

CAMPO DE APLICAÇÃO

Trata a presente invenção de uma nova
5 composição de aço de baixo carbono para fins de condução elétrica em cubas de redução eletrolítica e correlatos, mais precisamente a presente composição de aço foi desenvolvida para ser aplicada na construção de barras catódicas (ou barras coletoras) e suportes anódicos (hastes e pinos anódicos) que configuram componentes das cubas de redução
10 eletrolítica HALL-HEROULT para produção de alumínio primário, visando ser até 50% mais condutivo que os materiais convencionais reduzindo as perdas elétricas em até 33%, mantendo, contudo, as propriedades mecânicas e físicas típicas do aço convencional, atingindo, assim maior eficiência elétrica na operação de redução eletrolítica da alumina.

15 FUNDAMENTOS DA TÉCNICA

É de conhecimento que a obtenção do alumínio primário sob a forma de lingotes é convencionalmente feito com a introdução da alumina em pó num forno especial, denominado cuba eletrolítica ou cuba Hall-Héroult, onde, na qual a alumina (Al_2O_3 - óxido
20 de alumínio), obtida pelo refino da bauxita, é dissolvida num banho de criolita e sais fluoretos, que tem a função de controlar a temperatura, densidade e resistividade do banho e a solubilidade da alumina.

As cubas eletrolíticas possuem dois componentes principais: o anodo (eletrodo positivo) e o catodo (eletrodo
25 negativo). Os principais materiais constituintes do catodo são: a barra catódica e os blocos de grafite. Durante o seu uso em cubas industriais de redução eletrolítica, o catodo tem vida útil típica de 5 a 8 anos, pois os blocos de grafite e o material refratário de revestimento do forno absorvem parte dos componentes do banho. A absorção, principalmente

da criolita, prejudica a integridade dos materiais do catodo, em alguns casos causando a sua fratura.

O processo de redução da alumina se desenvolve pela passagem de corrente elétrica no banho de alumina e criolita, que flui do catodo para o anodo, fazendo com que a alumina seja decomposta em alumínio e oxigênio. O alumínio se deposita no catodo sob a forma líquida, sendo retirado periodicamente das cubas através de sifonamento, sendo então transferido em cadinhos para os chamados fornos de espera. Daí o metal segue para máquinas lingoteiras, sendo conformado e resfriado para a produção de lingotes de alumínio primário.

De uma forma mais aprofundada, a redução eletrolítica da alumina na cuba de Hall-Héroult é descrita segundo a equação geral do processo:



Segundo a lei fundamental de Faraday aplicada na eletrólise do Al, a massa de alumínio “m”, depositada no catodo é proporcional à intensidade de corrente “i” ao tempo de eletrólise “t” (sendo “k” uma constante), conforme a equação:

$$m = K \cdot i \cdot t$$

Isto indica que durante a eletrólise do Al deve haver uma voltagem ótima para a operação da célula, objetivando-se uma amperagem necessária para que ocorra a redução eletrolítica da alumina.

Considerações termodinâmicas sobre o processo de redução de alumina numa cuba Hall-Héroult indicam que, para condições de equilíbrio (também conhecida por ‘condições reversíveis’) da reação de redução, ainda que considerando-se uma condição de eficiência de corrente de 100% no processo, são necessárias voltagens de

1,15 a 1,25 V. Esta voltagem é referente à mínima energia elétrica necessária para a redução da alumina para produção de Al primário.

Entretanto, a voltagem real numa cuba é substancialmente maior do que essa, pois há fatores que ocorrem no processo de redução que também representam consumos energéticos associados às necessidades de suprimentos energéticos adicionais. Esses fatores são: (a) sobre-tensões (catódica e anódica); (b) perdas ôhmicas no eletrólito; e (c) perdas ôhmicas nos eletrodos (catodo e anodo).

Estima-se que perdas ôhmicas no eletrodo catódico (barra coletora) podem atingir valores de 0,68 V, representando até quase 15% da voltagem total de operação de uma cuba de produção de Al primário.

Conclui-se, portanto, que existe grande interesse na possibilidade de redução de perdas elétricas nestas barras, de modo a se reduzir a perda catódica total, assim diminuindo o consumo de energia elétrica no processo de produção de Al primário.

Há que salientar que os eletrodos (catodos-barras coletoras e anodos – pinos) são sempre confeccionados em aço baixo carbono e que a propriedade mais importante a se considerar é a resistividade (ou, também, a condutividade) elétrica do material da referida barra coletora ou do pino anódico.

Como é de conhecimento, aços carbono são essencialmente ligas de ferro e carbono, onde os teores de carbono variam em função da aplicação a que se destinam. Por exemplo, o aço de baixo teor de carbono tem em sua composição de 0,02% a 0,3% de C. Este tipo de aço tem aplicações mais simples e são geralmente usados em vigas estruturais para obras de engenharia, sendo usados, também, como matéria prima a ser laminada em planos ou não-planos, obtendo-se chapas ou barras para aplicações diversas.

Uma composição de aço tipicamente utilizada no barramento do catodo de cuba eletrolítica (barras coletoras ou catódicas) é do aço tipo 1010 ou 1020 que consiste, basicamente, a título exemplificativo, dos seguintes elementos constitutivos em peso: C (Carbono) - 0,15%; Mn (Manganês) - 0,36-0,38%; Si (Silício) - 0,24-0,26%; S (Enxofre) - 0,006-0,010% e P (Fósforo) - 0,018-0,028%.

Por causa das propriedades mecânicas, químicas, físicas e, fundamentalmente, das propriedades elétricas dos barramentos de aço convencionais que compõe o catodo e o anodo, a relativamente baixa condutividade elétrica do aço convencional tem contribuído para o elevado consumo de energia elétrica, com base no descrito anteriormente.

Desta maneira, para se poder melhorar a condutividade elétrica na barra coletora é preciso fazer com que a resistividade elétrica do material que será usado na sua fabricação seja minimizada. O mesmo é válido para o caso dos anodos ou pinos anódicos.

ANÁLISE DO ESTADO DA TÉCNICA

Existem diversos trabalhos que abordam esse tema, já que há muito interesse em se avaliar, controlar e minimizar a voltagem durante a operação de uma cuba de redução de Alumínio.

Este interesse é relacionado com o contínuo desejo de se minimizar o consumo de energia elétrica nas células nas fábricas, já que o consumo de energia elétrica na redução de Al é muito grande e é diretamente proporcional à voltagem de operação da cuba. Por tal razão, sempre existe o máximo interesse em se minimizar a voltagem de operação das cubas, porque disso decorre uma real economia de consumo de energia elétrica no processo, tornando a operação de redução do Al mais eficiente e lucrativa.

Normalmente, considera-se que a voltagem

total, 'Vtotal', da cuba Hall-Hérault é a somatória de diferentes parcelas, como mostrado na equação genérica:

$$V_{total} = V_{rev} + V_{sobre} + V_{ohm}$$

onde:

5 V_{rev} = Tensão, ou voltagem, do processo de redução eletroquímico (chamada de tensão reversível, de decomposição ou de equilíbrio);

V_{sobre} = Tensão devida às sobre-tensões (sobre-tensões de polarizações anódicas e catódica);

10 V_{ohm} = Tensão devida às perdas ôhmicas ou resistivas (no eletrólito, no anodo e no catodo).

Na verdade, cada um desses dois últimos termos também representa a somatória de diferentes componentes que causam perdas na eficiência energética na operação, e o objetivo desta solicitação direciona-se às perdas de origem ôhmica, ou seja, as perdas devidas às resistências elétricas que os materiais envolvidos na operação de redução eletrolítica apresentam.

Do ponto de vista física, uma cuba de redução de alumina Hall-Hérault pode ser considerada como um circuito elétrico através do qual uma corrente elétrica flui. O fluxo de elétrons pelo 20 circuito é, em última análise, o responsável pelas reações físico-químicas ocorrentes para a produção do Al atômico.

O circuito elétrico numa cuba será, portanto, responsável pela eficiência energética (e também econômica) do processo de redução numa dada instalação industrial.

25 Assim sendo, é óbvio que a condutividade elétrica ao longo do circuito elétrico deve ser a maior possível, para que a redução eletrolítica seja a mais eficiente, consumindo a menor energia possível. A voltagem numa cuba, portanto, será tanto menor quanto mais eficiente for o circuito elétrico pelo qual passa a corrente, e esse é o

objetivo de todos operadores numa empresa que produz Al primário.

Uma breve pesquisa ao banco de dados de patentes nacionais e internacionais revelou a preocupação citada acima, pois que diversos são os documentos que tratam do assunto. Em particular, são trazidos ao conhecimento técnico os documentos norte-americanos US 6231745 e US 5976333 que tratam de aperfeiçoamentos em redutor eletrolítico e respectivos métodos de obtenção do alumínio, onde, em cada um deles, ao seu modo, são incluídos insertos de cobre nos barramentos catódicos, visando otimizar a condutividade elétrica do conjunto.

A requerente já possui um outro pedido de patente em trâmite junto ao INPI, de n. PI 0605810-8 (2006) onde foi apresentada uma outra composição de aço baixo carbono com as objetivos similares ao que ora aqui se reivindica, porém este inovado apresenta-se com bem maior eficiência e menor custo de produção.

Outro ponto relevante, tratado na patente anterior, consiste no fato de que barras de aço de baixo carbono, com teores de C < 0,08 e de Mn < 0,3 são, geralmente, obtidas pelo processo da laminação de produtos longos, conhecidos por “não-planos”, originando barras (redondas, quadradas, chatas) ou perfis (cantoneiras, vigas U e I, trilhos, dormentes metálicos, etc.), incluindo-se, a estas, as barras empregadas nos barramentos das cubas de redução eletrolítica do alumínio.

Por outro lado, aços de baixo carbono C < 0,015 são obtidos através de processo de laminação a quente, conhecidos por “planos”, originando chapas ou placas de determinada espessura, do tipo utilizada na conformação de peças de veículos (capôs, portas, laterais, entre outras).

O pedido de 2006, supra mencionado,

apresentou um aço para aplicação em barramento de cuba de Hall-Hérault cuja obtenção pode ser realizada através de laminação de “plano”, ou seja, na forma de placas laminadas que, podem ser cortadas na largura desejada, garantindo maior flexibilidade em relação à
5 disponibilidade de fornecimento em maior escala destes produtos laminados a serem aplicados como elementos de condução elétrica em catodos (e também anodos) em cubas de redução eletrolítica de alumínio.

BREVE DESCRIÇÃO DO INVENTO

10 Visando trazer ainda mais melhorias ao mercado, a requerente, atuante na área de pesquisas e desenvolvimento de materiais metalúrgicos, otimizou a composição para o aço com baixo carbono alcançando novos atributos, novas propriedades e novas qualidades do novo aço, sendo que em particular, o mesmo tem
15 aplicação objetiva como barramentos (catodo) de cubas de redução eletrolítica, podendo, inclusive, ser utilizado como pino ou hastes de anodo, reduzindo, consideravelmente, o consumo de energia elétrica para a produção de alumínio primário.

Testes realizados no IPT (Instituto de Pesquisas
20 Tecnológicas) analisaram amostras de barras de aço carbono laminadas a quente (“plano”), sendo uma amostra obtida de uma composição química de baixo carbono, usualmente fornecida no mercado, outra amostra referente à composição prevista no pedido PI 0605810-8 da mesma requerente e uma amostra da nova composição química para aço, onde
25 os resultados buscaram comparar as propriedades básicas de dureza, microestrutura e resistividade elétrica entre as composições analisadas, sendo o resultado mais importante revelado refere-se à resistividade elétrica, tal como segue:

Elementos do Aço	Composição 1 (de mercado) % em peso	Composição 2 PI 0605810-8 % em peso	Composição 3 (inovada) ppm ou % em peso
C	0,15	0,015	< 50 ppm
Mn	0,36-0,38	0,054	< 0,3 %
Si	0,24-0,26	0,07	< 0,3%
S	0,006-0,010	0,011	< 0,05%
P	0,018-0,028	0,0012	< 0,1%

De modo a fazer uma caracterização básica entre o aço inovado e o aço de baixo carbono (tipicamente com 0,10 a 0,15% C) usual de mercado foram produzidas amostras de cada um dos aços, as quais foram extraídas de placas maiores, de dimensões de 250x50x5 mm.

- 5 Deste material de prova foram retiradas amostras para caracterização metalográfica e para medidas de dureza (ver fotomicrografias na figura 6) e de resistividade elétrica (figura 5), sendo que a resistividade foi avaliada em diferentes temperaturas no intervalo entre 25 e 800°C.

- 10 As fotomicrografias apresentadas na figura 6 mostram a microestrutura típica do aço inovado. Nestas figuras pode-se observar que a microestrutura deste aço é totalmente ferrítica. As durezas, medidas através de microdureza Vickers com carga de 100gf a 1000gf, foram quantificadas e a tabela 1, a seguir, mostra os resultados obtidos:

	Dureza HV 100	Dureza HV 1000
Média (desvio de padrão)	101 (2)	102 (2)

- 15 Pode-se observar que os valores de dureza são praticamente iguais e correspondem á dureza típica dos aços ferríticos isentos de encruamento. Durezas desta magnitude são, também, normalmente encontradas em aços de baixo carbono, usados em barras coletoras.

20

O ensaio de resistividade elétrica, por sua vez,

foi feito utilizando-se o método das quatro pontas, representado no esquema da figura 4, onde é aplicada uma voltagem entre os pontos “C” e “C1” e mede-se a resistência elétrica em “R” entre “P” e “P1” que distanciam-se em 20 cm, No ponto “T” insere-se um termopar para a
 5 medição exata de temperatura. Os corpos-de-prova assim preparados foram colocados num forno elétrico tipo mufla, e, então, submetidos a diversos aquecimentos em temperaturas variando entre ambiente e 800°C. Para a medição da resistência elétrica (a partir da qual se quantificava a resistividade elétrica), os corpos-de-prova foram
 10 submetidos a patamares isotérmicos dentro do forno, para se avaliar, precisamente, as resistividades nas respectivas temperaturas de interesse.

Os resultados de medições das resistividades elétricas dos aços de baixo carbono, avaliadas pelo ensaio de quatro
 15 pontos, nas diversas temperaturas selecionadas, estão apresentados na tabela 2 abaixo, onde o aço 1 corresponde ao aço de mercado e o aço 2 corresponde ao aço de composição inovada.

Tabela 2

Temperatura (°C)	Resistividade Aço 1 (usual) $\rho_1(\Omega m)$	Resistividade Aço 2 (inovado) $\rho_2(\Omega m)$
25	$1,72 \times 10^{-7}$	$1,13 \times 10^{-7}$
50	$1,84 \times 10^{-7}$	$1,29 \times 10^{-7}$
100	$2,02 \times 10^{-7}$	$1,55 \times 10^{-7}$
200	$2,80 \times 10^{-7}$	$2,29 \times 10^{-7}$
300	$4,03 \times 10^{-7}$	$3,17 \times 10^{-7}$
400	$5,58 \times 10^{-7}$	$4,16 \times 10^{-7}$
500	$6,86 \times 10^{-7}$	$5,35 \times 10^{-7}$
600	$8,50 \times 10^{-7}$	$6,71 \times 10^{-7}$
700	$10,40 \times 10^{-7}$	$8,39 \times 10^{-7}$

800	$11,50 \times 10^{-7}$	$10,21 \times 10^{-7}$
-----	------------------------	------------------------

Observa-se, através da tabela 2 e do gráfico da figura 5, que o aumento da temperatura acarreta um aumento de resistividade do aço de nova composição.

Sabe-se que a temperatura faz variar a condutividade elétrica e, portanto, também a resistividade elétrica, de modo que, com o aumento da temperatura, há um conseqüente aumento da resistividade elétrica do aço de nova composição.

Na figura 5 pode-se ver a comparação entre as resistividades elétricas do aço inovado e do aço convencional de baixo carbono, de modo a se verificar a substancial melhora de desempenho elétrico. Por exemplo, na temperatura ambiente, a resistividade do aço convencional é aproximadamente 50% maior do que a do aço inovado. Esses dados demonstram, claramente, que o novo aço apresenta substancial ganho em termos de consumo energético da operação de redução, pois a voltagem da cuba irá sofrer sensível redução.

Pode-se estimar que reduções nas perdas ôhmicas catódicas da ordem 25-50 mV podem causar reduções de consumo de energia elétrica. Da comparação entre os valores de resistividade elétrica de uma aço de baixo carbono convencional e do aço de nova composição, fica evidente que a utilização deste último, em cubas de redução Hall-Héroult, acarretará significativa melhora na eficiência energética no processo de redução da alumina, o que, em última análise, significará a economia anual de alguns milhões de dólares na operação de produção de Al primário.

O aço de nova composição, assim como o previsto no pedido de patente PI 0605810-8, pode ser obtido por meio de laminação a quente de produto 'plano', ou seja, na forma de placa laminada que pode ser cortada na dimensão desejada (largura, altura e

comprimento), mantendo a garantia de maior flexibilidade em relação à disponibilidade de fornecimento em maior escala destes produtos laminados a serem aplicados como elementos de condução elétrica em catodos (e também anodos) em cubas de redução eletrolítica de
5 alumínio.

DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A complementar a presente descrição de modo a obter uma melhor compreensão das características do presente invento e de acordo com uma preferencial realização prática do mesmo,
10 acompanha a descrição, em anexo, um conjunto de desenhos, onde, de maneira exemplificada, embora não limitativa, se representou o seguinte:

a figura 1 representa uma vista esquemática de uma cuba eletrolítica, onde podem ser vistos os barramentos (catodos) e
15 os pinos (anodos) a serem confeccionados com a nova composição de aço de baixo carbono;

as figuras 2 e 3 ilustram, a título de exemplo, uma barra coletora e um pino confeccionados com o aço inovado;

a figura 4 é a representação esquemática do
20 método das quatro pontas utilizado para a medição de resistência elétrica;

a figura 5 representa o gráfico da variação da resistividade elétrica em relação à variação da temperatura entre o aço usual de baixo carbono (composição de mercado) e o aço com a
25 composição inovada; e

a figura 6 mostra duas fotomicrografias de microestruturas típicas (estrutura ferrítica) do aço inovado.

DESCRIÇÃO DETALHADA DO INVENTO

A presente invenção se refere a uma nova

"COMPOSIÇÃO DE AÇO DE BAIXO CARBONO PARA FINS DE CONDUÇÃO ELÉTRICA EM CUBAS DE REDUÇÃO ELETROLÍTICA E CORRELATOS", mais particularmente trata-se de um aço de ultra baixo carbono, em cuja composição química aparecem os principais elementos químicos dos aços
5 comuns: carbono, manganês, silício, enxofre e fósforo, bem como outros elementos utilizados, por exemplo, na obtenção alumínio primário (Al) através de circuito elétrico previsto nas cubas eletrolíticas (Cb), compostas por barramentos catódicos (1), pinos anódicos (2), onde se introduz a bauxita (B) e o minério (M).

10 Segundo a presente invenção, a composição química utilizada na composição do aço de baixo carbono utilizado na confecção de barramento catódico (1) e pino anódico (2) e/ou outros elementos em aço utilizados para otimizar resistividade e condutividade elétrica apresenta o limite máximo expresso em partes por milhão (ppm)
15 ou em porcentagem em peso (%) dos seguintes elementos químicos principais: C < 50 ppm; N < 30 ppm; Mn < 0,3%; Si < 0,3%; S < 0,05%; P < 0,1%; Ti < 0,07%; Nb < 0,03% e Al < 0,1%. Outros elementos comuns ao aço não têm limites definidos.

A composição do aço de ultra baixo carbono
20 inovada permite a laminação a quente de produtos 'não-planos', para obtenção de produtos na forma de barras ou perfis, bem como pela laminação a quente de produtos 'planos' (placas ou chapas grossas), em ambos os casos, para o caso de produção de barras coletoras, permitindo-se a obtenção de barras laminadas de seção retangular que
25 podem adotar combinações nos seguintes limites:

(i) espessura (T) = $T_{\min}$ 60mm e $T_{\max}$ = 170mm, e

(ii) largura (W) = $W_{\min}$ 110mm e $W_{\max}$ 260mm.

Para o caso de produção de pinos (e hastes) usados nos anodos não há limitação dimensional dos produtos laminados a quente.

Os produtos assim obtidos via laminação a quente de produtos 'planos' ou 'não-planos' podem também sofrer tratamentos térmicos de recozimento para condicionamento de
5 microestrutura de modo a minimizar o resistência elétrica (e portanto a resistividade elétrica). As condições de tratamento térmico são: temperatura entre 700 e 850°C e tempos de 2 a 4 horas.

É importante entender que a presente invenção não limita sua aplicação aos detalhes e etapas aqui descritos. A mesma é
10 capaz de outras modalidades e de ser praticada ou executada em uma variedade de modos, ficando entendido que a terminologia empregada tem a finalidade de descrição e não de limitação.

REIVINDICAÇÕES

1ª) "COMPOSIÇÃO DE AÇO DE BAIXO CARBONO PARA FINS DE CONDUÇÃO ELÉTRICA EM CUBAS DE REDUÇÃO ELETROLÍTICA E CORRELATOS", mais particularmente trata-se de um aço de ultra baixo carbono cuja composição química traz os principais elementos químicos encontrados em produtos siderúrgicos comuns: carbono, manganês, silício, enxofre e fósforo, bem como outros elementos utilizados, por exemplo, na obtenção alumínio primário (Al) através de circuito elétrico previsto nas cubas eletrolíticas (Cb), compostas por barramentos catódicos (1), pinos anódicos (2), onde se introduz a bauxita (B) e o minério (M); caracterizado pela composição química do aço de baixo carbono utilizada na composição do aço de baixo carbono em questão apresentar o limite máximo (expresso em partes por milhão e em porcentagem em peso) dos seguintes elementos químicos principais: C < 50 ppm; N < 30 ppm; Mn < 0,3%; Si < 0,3%; S < 0,05%; e P < 0,1%; Ti < 0,07%; Nb < 0,03% e Al < 0,1%.

2ª) "COMPOSIÇÃO DE AÇO DE BAIXO CARBONO PARA FINS DE CONDUÇÃO ELÉTRICA EM CUBAS DE REDUÇÃO ELETROLÍTICA E CORRELATOS", de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela barra catódica (ou barra coletora) (1) ser confeccionada com o aço cujo carbono é especificado < 50 ppm.

3ª) "COMPOSIÇÃO DE AÇO DE BAIXO CARBONO PARA FINS DE CONDUÇÃO ELÉTRICA EM CUBAS DE REDUÇÃO ELETROLÍTICA E CORRELATOS", de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo pino anódico (2) ser confeccionado com o aço cujo carbono é especificado < 50 ppm.

4ª) "COMPOSIÇÃO DE AÇO DE BAIXO CARBONO PARA FINS DE CONDUÇÃO ELÉTRICA EM CUBAS DE REDUÇÃO ELETROLÍTICA E CORRELATOS", de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela laminação a quente

adotar combinações de barras nos seguintes limites: (i) espessura (T) = $T_{\min}$ 60mm e $T_{\max}$ = 170mm e (ii) largura (W) = $W_{\min}$ 110mm e $W_{\max}$ 260mm.

FIG.1

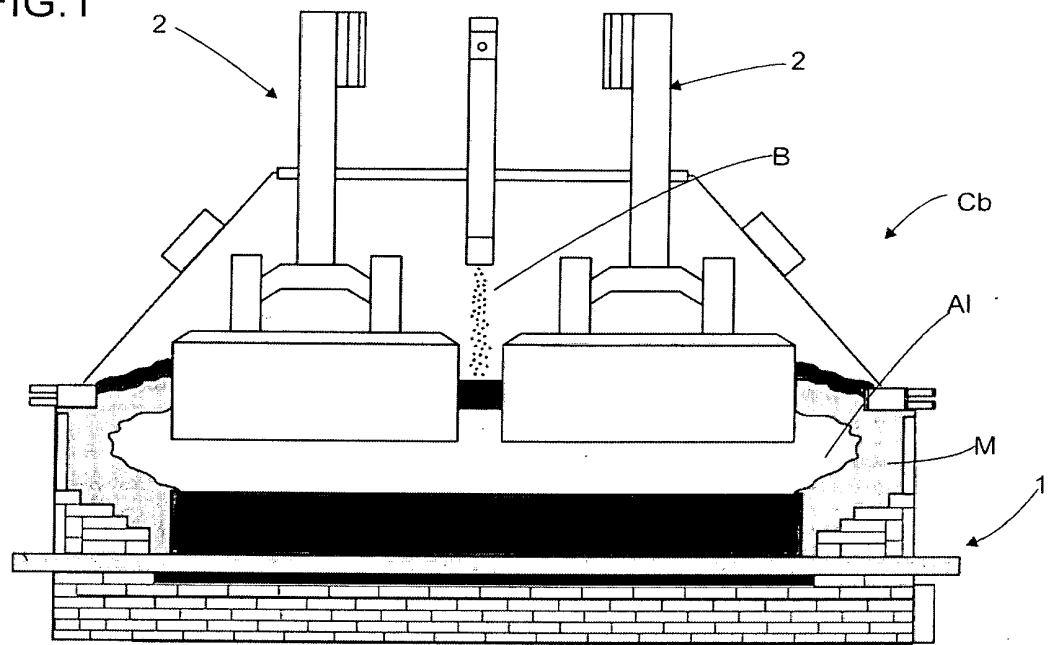


FIG.2

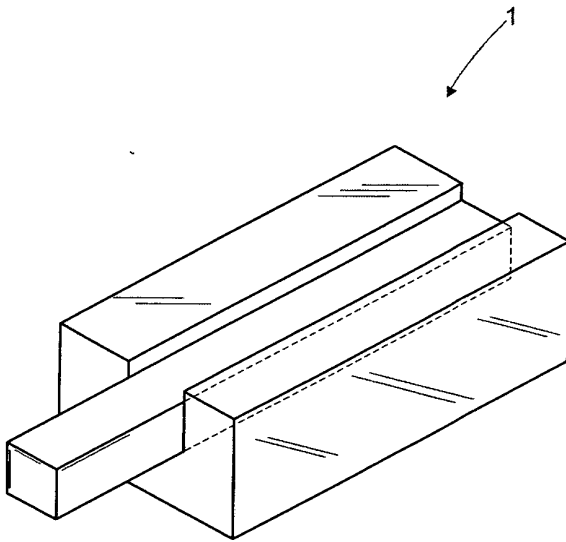


FIG.3

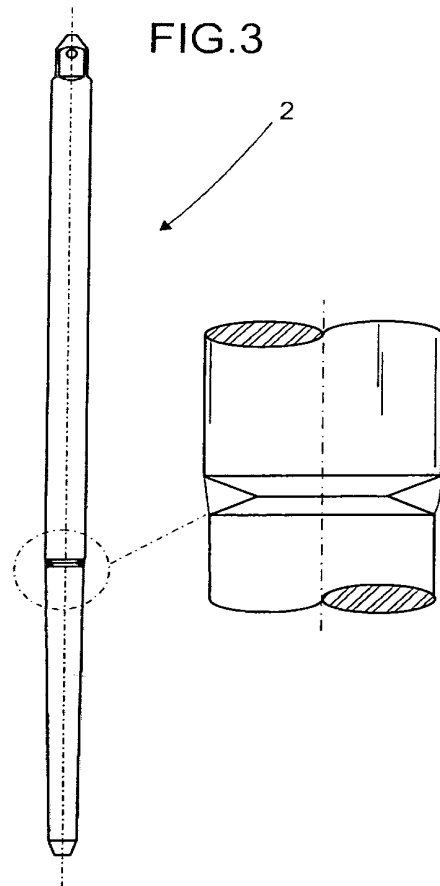


FIG.4

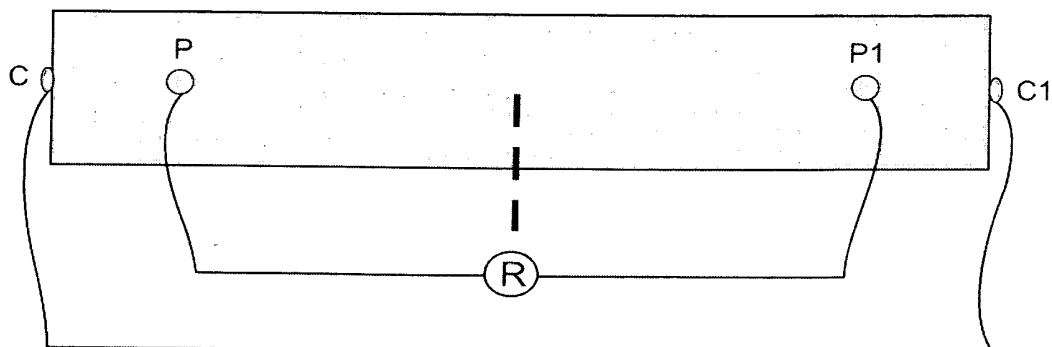


FIG.5

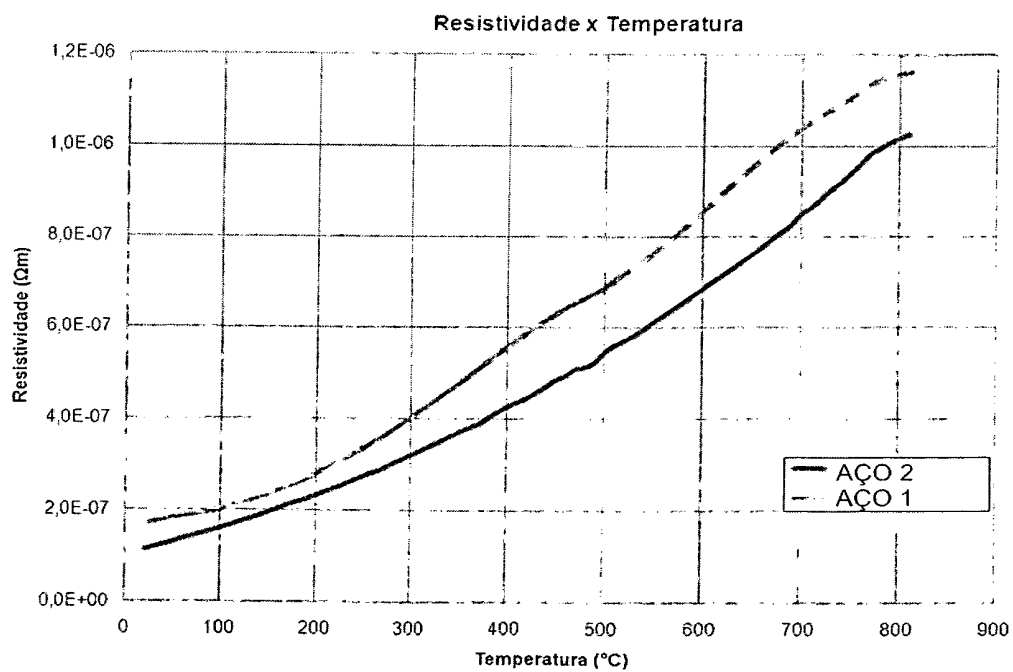
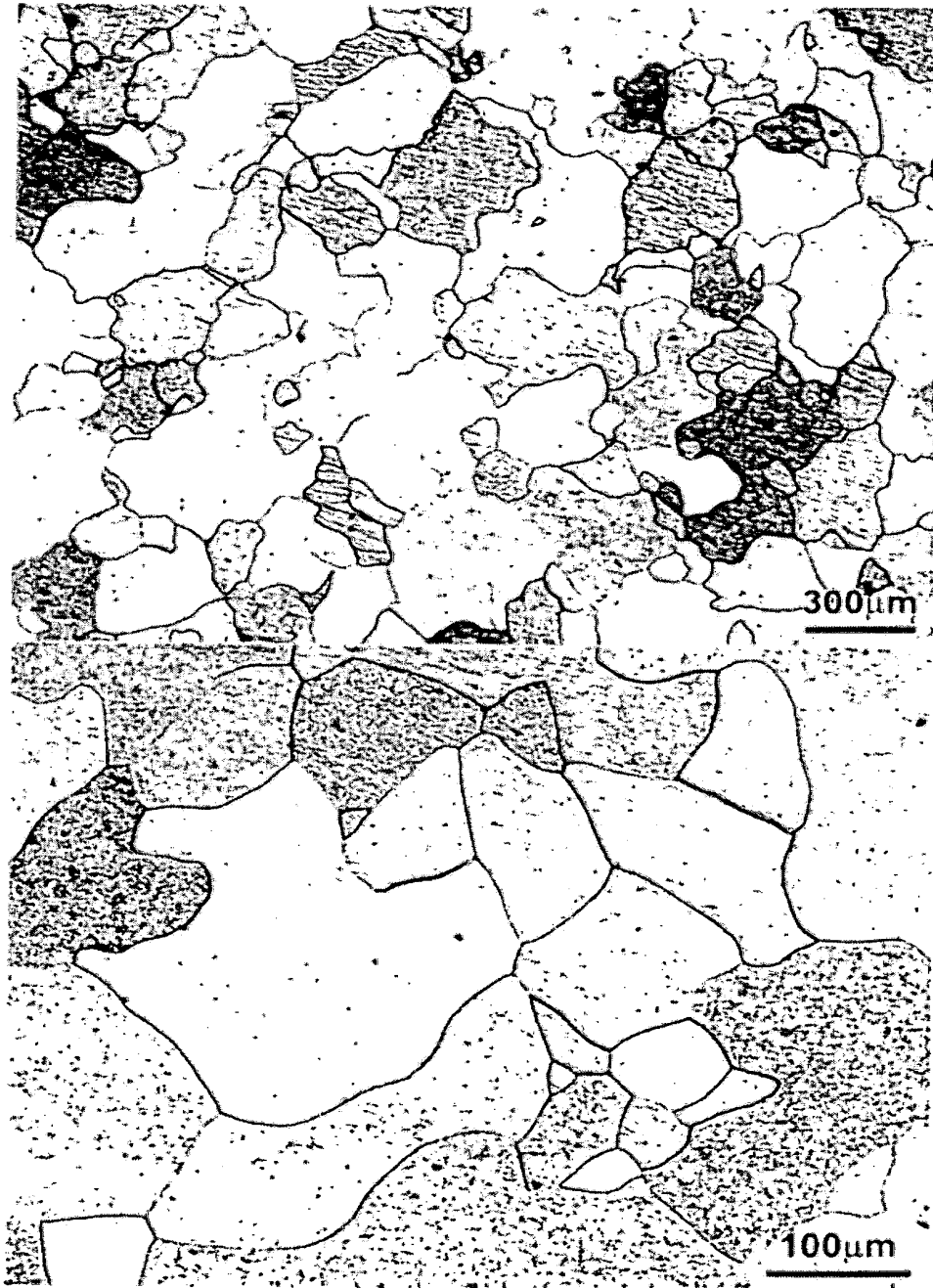


FIG.6



RESUMO

"COMPOSIÇÃO DE AÇO DE BAIXO CARBONO PARA FINS DE CONDUÇÃO ELÉTRICA EM CUBAS DE REDUÇÃO ELETROLÍTICA E CORRELATOS", mais particularmente trata-se de um aço de baixo carbono, cuja composição química utiliza $C < 50$ ppm na obtenção de barramentos catódicos (1), pinos anódicos (2) para, por exemplo, produção de alumínio primário (Al) através de circuito elétrico previsto nas cubas eletrolíticas (Cb); a nova composição de aço de baixo carbono para fins de condução elétrica em cubas de redução eletrolítica e correlatos visa ser até 50% mais condutivo que os materiais convencionais reduzirem as perdas elétricas em até 33%, mantendo, contudo, as resistências físicas típicas do aço convencional, atingindo, assim maior eficiência elétrica na operação de redução eletrolítica da alumina.