



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

(21) **PI0614020-3 A2**

(22) Data de Depósito: 08/06/2006
(43) Data da Publicação: 01/03/2011
(RPI 2095)



(51) *Int.Cl.:*
F27B 3/04
C22B 15/00

(54) Título: **MÉTODO E DISPOSITIVO PARA EXTRAIR UM METAL DE UMA ESCÓRIA CONTENDO O METAL**

(30) Prioridade Unionista: 08/06/2005 DE 10 2005 026 589.8,
16/05/2006 DE 10 2006 022 779.4

(73) Titular(es): SMS DEMAG AG

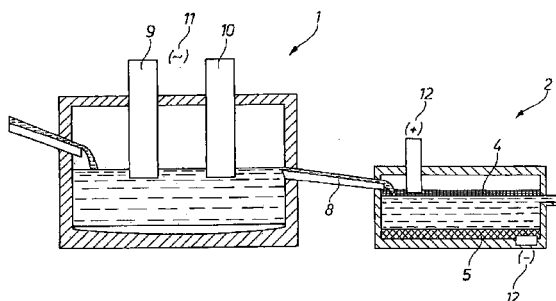
(72) Inventor(es): ANDRZEJ WARCZOK, DIETER BORGWARDT,
GABRIEL ANGEL RIVEROS URZUA, JÜRGEN KUNZE, ROLF
DEGEL

(74) Procurador(es): Orlando de Souza

(86) Pedido Internacional: PCT EP2006005497 de 08/06/2006

(87) Publicação Internacional: WO 2006/131372 de 14/12/2006

(57) Resumo: METODO E DISPOSITIVO PARA EXTRAIR UM METAL DE UMA ESCÓRIA CONTENDO O METAL A invenção se refere a um método para extrair um metal de uma escória contendo o metal, em que a escória contendo metal liquefeito é aquecida em pelo menos um forno a arco voltaico (1, 2). A fim de desenvolver um método aperfeiçoado para extrair, de modo particular, cobre da escória, a invenção prevê que a escória contendo metal seja aquecida em um primeiro forno (1) na forma de um forno elétrico de CA ou CC, e que a massa fundida do primeiro forno (1) seja transferida para um segundo forno (2) na forma de um forno elétrico de CC. A invenção também se refere a um dispositivo para extrair um metal de uma escória contendo o metal.



**MÉTODO E DISPOSITIVO PARA EXTRAIR UM METAL DE UMA ESCÓRIA
CONTENDO O METAL**

A invenção se refere a um método para extrair um metal de uma escória contendo o metal, onde a escória contendo metal liquefeito é aquecida em pelo menos um forno a arco voltaico. Além disso, a invenção se refere a um dispositivo para extrair um metal de uma escória contendo metal.

Minério de cobre e escória são produzidos, através do derretimento de concentrados de cobre. A escória contém cobre, não só na forma derretida, como também na forma de inclusões minerais mecanicamente dissolvidas. Existem dois métodos principais para beneficiamento da escória. A flotação de escória após a têmpera, trituração e moagem, e a redução pirometalúrgica da escória líquida.

O beneficiamento pirometalúrgico da escória é realizado principalmente em três variantes, a saber:

1) em um forno a arco voltaico de CA por redução com coque e eletrodos, preaquecimento da escória e sedimentação,

2) em fornos giratórios cilíndricos, horizontais, por injeção de um agente redutor, p. ex., em um forno beneficiador de escória tipo *Teniente*,

3) em conversor vertical com injeção de um agente redutor, p. ex., *TBRC* ou *Isasmelt*.

O beneficiamento da escória necessita da redução de magnetita, para liberar as inclusões em suspensão e possibilitar sua precipitação, e permitir a co-redução de óxido contendo cobre.

O beneficiamento da escória de cobre, realizado

com mais freqüência em fornos a arco voltaico de CA, necessita de fornos relativamente grandes, devido ao tempo de redução e sedimentação demandado, o qual corresponde de 3 a 8 horas. Ele provoca um consumo relativamente alto de energia específica, devido à forte influência específica da perda de calor. O beneficiamento da escória em um forno a arco voltaico é realizado como método em lotes ou semicontínuo. A flexibilidade do forno a arco voltaico no controle da temperatura permite um correto preaquecimento da escória. Porém, a formação de inclusões metálicas dispersadas de cobre como produto da redução de óxido contendo cobre, em conjunto com uma parte de inclusões menores de minério de cobre, limita a separação de fases e a recuperação suficiente de cobre.

Um método para recuperar metais de escórias metálicas, de modo particular, de escórias de ferro/ cobre em um forno de fusão, é conhecido através da US 4.110.107. A escória derretida é introduzida num forno a arco voltaico, onde ocorre uma fundição. Uma unidade injetora de carbono é empregada, para introduzir carbono na região inferior do banho de massa fundida. O fundente, como p. ex. CaO, é igualmente introduzido no banho. Após a redução, o metal é retirado do forno.

Um método semelhante para recuperação, de modo particular de níquel e uma mistura de níquel/cobre a partir de uma massa fundida de escória, é conhecido através da US 4.036.636. Neste caso, magnetita na escória é reduzida com materiais contendo carbono. Com isso, ocorre uma misturação da escória com um misturador mecânico durante a realização da redução da escória.

Através da WO 01/49890 é conhecido um método para produção de cobre empolado diretamente a partir de concentrado de sulfato de cobre, onde o cobre é extraído de minério de cobre finamente moído e resfriado em um vaso de reação em presença de oxigenação. A oxigenação ocorre por injeção de ar oxigenado, onde o teor de oxigênio corresponde a pelo menos 50%. Cobre empolado, também conhecido como 'cobre soprado', é cobre soprado não-refinado. Cobre possui, no estado derretido, uma capacidade solvente mais elevada para gases, do que o metal sólido. Na solidificação, os gases se precipitam no cobre como pequenas bolhas (*blister* em inglês).

A US 4.060.409 mostra um sistema pirometalúrgico, com o qual material no estado derretido pode ser retido. O sistema compreende um vaso para contenção do material, onde um número de células de mesmo tamanho é formado no interior do vaso. Além disso, é prevista uma pluralidade de agitadores mecânicos, para poder agitar o material derretido.

A US 6.436.169 divulga um método para operação de um forno fundidor de cobre, onde uma substância contendo ferro é alimentada com um teor de ferro superior a 80%, que compreende uma densidade de 3,0 a 8,0; o diâmetro das partículas se situa, aqui, entre 0,3 e 15 mm. Escória de cobre contendo ferro é alimentada à substância contendo ferro. Em seguida, é realizada uma redução de Fe_3O_4 para FeO .

Um dispositivo para redução contínua de cobre é conhecido através da EP 0 487 032 B1. Ele compreende um forno de fusão para derretimento e oxidação de concentrado

de cobre, para extrair uma mistura de minério e escória. Além disso, um forno separador é previsto para separação do minério, da escória. O minério separado da escória é oxidado em um forno conversor para obtenção de cobre bruto.

5 Meios de calha para sangria de massa fundida conectam o forno de fundição, o forno separador e o forno conversor. Fornos anódicos são previstos para refino do cobre obtido no forno conversor. Uma conexão entre o forno conversor e os fornos anódicos é obtida com um meio de calha para
10 sangria de cobre bruto.

Um método para fusão contínua de cobre é conhecido através da EP 0 487 031 B1. Também aqui são previstos um forno de fusão, um forno separador e um forno conversor, que são ligados entre si por meio de um meio de
15 ligação de fluxo. Além disso, são previstos fornos anódicos, em estão em ligação de fluxo com um forno conversor. O concentrado de cobre é alimentado ao forno de fusão, onde ocorre uma fusão e oxidação do concentrado para produção de uma mistura de minério bruto e escória. Em
20 seguida, a mistura de minério bruto e escória é alimentada ao forno separador, onde ocorre uma separação do minério bruto, da escória. A seguir, o minério bruto separado da escória é conduzido ao forno conversor, onde ele é oxidado para produção de cobre bruto. O cobre bruto flui, então,
25 para um dos fornos anódicos, onde o cobre é produzido.

Os métodos anteriormente conhecidos para extrair um metal de uma escória contendo metal são ainda passíveis de melhorias, no que concerne a sua eficiência. Assim, a invenção tem como tarefa apresentar um método melhorado
30 para recuperação, de modo particular, de cobre, de

escórias.

A solução dessa tarefa por parte da invenção é caracterizada pelo fato da escória contendo metal ser aquecida em um primeiro forno na forma de um forno elétrico de CA ou CC, e da massa fundida do primeiro forno ser transferida para um segundo forno na forma de um forno elétrico de CC.

De preferência, o primeiro forno é na forma de um forno elétrico de CA. É previsto de maneira vantajosa, que o metal a ser extraído é cobre, o qual se encontra em uma escória contendo cobre.

Por conseguinte, a invenção se refere à recuperação de cobre, a partir da massa fundida e da conversão das escórias de cobre por uma redução de escória em duas etapas e sedimentação no forno a arco voltaico de CA e forno de redução a canal de CC, de preferência com agitação eletromagnética, conforme será visto mais tarde.

O método proposto pode ser também aplicado, para recuperar metais, como chumbo, zinco, platina ou níquel, de suas respectivas escórias.

No primeiro forno na forma de um forno elétrico de CA ocorre, de preferência, uma pré-redução da escória e uma precipitação de minério metálico, de modo particular, minério de cobre, onde no segundo forno na forma de forno elétrico de CC ocorre uma redução profunda de escória e uma remoção de inclusões.

No segundo forno na forma de forno elétrico de CC ocorre, de maneira vantajosa, uma precipitação eletrolítica do metal a ser extraído.

Uma melhoria considerável do processo de extração

permite ser ainda alcançada, quando for ainda previsto, que no segundo forno na forma de forno elétrico de CC ocorra uma agitação eletromagnética da escória durante a extração do metal. Para produção da agitação eletromagnética, pode ser empregado pelo menos um eletroímã sobre a escória existente no segundo forno. De modo alternativo, pode ser ainda empregado pelo menos um ímã permanente para isso. Pelo menos um ímã deverá produzir, de preferência, um campo magnético entre 50 e 1.000 Gauss, onde o campo magnético compreende pelo menos uma parte da seção transversal da massa fundida e da área dos eletrodos no segundo forno.

Um agente redutor, de modo particular coque, é de preferência alimentado ao primeiro forno durante o aquecimento.

Material contendo carbono, de modo particular coque, pode ser alimentado de tal modo à massa fundida no segundo forno, que uma camada do material contendo carbono se forme com espessura essencialmente constante, onde a camada faz contato com uma ligação elétrica atuando como anodo.

Uma camada de minério metálico, de modo particular minério de cobre, pode ser mantida com espessura essencialmente constante na região inferior sob a massa fundida no segundo forno, onde a camada faz contato com uma ligação elétrica atuando como catodo.

O dispositivo, de modo particular para execução do método, de acordo com a invenção, é caracterizado pelo fato de compreender um primeiro forno na forma de um forno elétrico de CA ou CC e um segundo forno na forma de um forno elétrico de CC, onde um meio de ligação para massa

fundida, de modo particular uma calha para fluxo, é previsto entre o primeiro forno e o segundo forno.

O primeiro forno é, de preferência, na forma de um forno elétrico de CA. Ele pode compreender dois 5 eletrodos, que são imersos na massa fundida existente no primeiro forno, e são ligados a uma fonte de CA. O segundo forno pode compreender dois eletrodos em forma de placa, que são dispostos se estendendo horizontalmente na área superior e na área inferior da massa fundida existente no 10 segundo forno, e são ligados a uma fonte de CC. O eletrodo existente na área superior pode ser formado como leito de coque, que se acha ligado a um contato elétrico, de modo particular a um eletrodo de grafite. O eletrodo existente na área inferior pode ser formado como camada de minério 15 metálico, de modo particular minério de cobre, que se acha ligada a um contato elétrico, de modo particular a um eletrodo de grafite. O segundo forno é, de preferência, formado como forno de indução a canal. Por último, o dispositivo possui, de preferência, imãs, de modo 20 particular eletroímãs, nas áreas laterais do segundo forno, cujas linhas de campo magnético para direção de corrente se encontram em pelo menos alguns dos elementos condutores de corrente, pelo menos parcialmente em ângulo reto. Para isso, pode ser gerada uma força de Lorentz, que gera o 25 efeito agitador eletromagnético.

Assim, a invenção propõe uma redução de escória em duas etapas, e a remoção do cobre em dois fornos a arco voltaico. O primeiro forno, o forno a arco voltaico de corrente trifásica, serve para a pré-redução da escória e a 30 precipitação do minério de cobre, seguido por uma redução

profunda de escória e remoção de inclusões em um forno de redução a canal de CC com agitação eletromagnética. O emprego de agitação eletromagnética, a qual melhora a transferência de massa para a superfície de redução e a coalescência das inclusões, em conjunto com eletrólise de escória e fenômenos eletrocinéticos, possibilita um beneficiamento ativo da escória e alta recuperação de cobre.

Um exemplo de execução da invenção é mostrado nos desenhos. São mostrados:

na fig. 1, uma ilustração esquemática de um forno a arco voltaico com corrente trifásica e um forno de redução a canal com CC, e

na fig. 2a e

na fig. 2b, a vista frontal em corte e a vista lateral em corte do forno de redução a canal com CC para redução profunda de escória e remoção de inclusões, através do emprego de um leito de coque e minério de cobre fluido, como eletrodo.

Na fig. 1 pode ser visto um primeiro forno 1 na forma de um forno de CA, ao qual se conecta um segundo forno 2 na forma de um forno de CC. A massa fundida de escória de cobre, preparada no forno 1, é conduzida, através de um meio de ligação 8 na forma de uma calha para massa fundida, ao segundo forno 2.

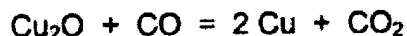
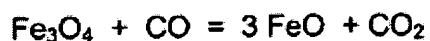
Dois eletrodos 9 e 10 na forma de eletrodos de grafite, ligados a uma fonte de CA 11, são imersos no primeiro forno 1 e, na verdade, na massa fundida de escória existente nesse forno.

O segundo forno 2 possui uma entrada de escória

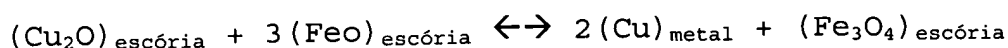
16 para a escória 15, bem como uma saída de escória 17. Dois eletrodos 4 e 5 na forma de placas são instalados no segundo forno 2. Ambos os eletrodos 4, 5 são acoplados a uma fonte de CC 12, através de ligações elétricas na forma de um eletrodo de contato de grafite 6 ou 7. O eletrodo superior 6 disposto na horizontal é conectado ao pólo positivo da fonte de CC 12, e serve como anodo. De maneira correspondente, o eletrodo inferior 5, igualmente disposto na horizontal, é conectado ao pólo negativo da fonte de CC 12, e serve assim como eletrodo. O cobre é extraído através de um processo eletrolítico.

Conforme pode ser percebido na fig. 2, o segundo forno 2 é na forma de um forno de redução a canal. Bobinas elétricas 13 e 14 são dispostas lateralmente em torno de núcleos metálicos, que assim formam eletroímãs 3. Com esses imãs é gerado um efeito de agitação eletromagnética, que agita a massa fundida no segundo forno 2 (ver abaixo).

De acordo com o processo inventivo, escória fluida é processada essencialmente no forno a arco voltaico de CA 1 (forno de CA). Magnetita e óxido contendo cobre reagem na escória com o carbono dos eletrodos de grafite 9, 10 e com o coque adicionado, de acordo com as equações:



A redução de óxido contendo cobre é limitada pela co-redução de magnetita. As condições da co-redução são determinadas pelo balanço desta reação:



O teor de cobre na massa fundida de escória se

situa entre 2 e 10% e o teor de magnetita, entre 10 e 20%, dependendo do processo de fundição e dos arenitos gerados.

O primeiro passo do tratamento da escória no primeiro forno de CA 1 se concentra na redução de magnetita até um valor de 7 a 8% e a um teor de cobre de 0,8 a 1,2%, o que demanda um consumo de energia por unidade de 50 a 70 kWh/t, dependendo da composição original da escória. O grau de redução de escória, acima citado, permite encurtar o tempo de redução em cerca de 50%, o que corresponde a uma elevação dupla das capacidades de tratamento no forno. A escória é vazada continuamente, ou a intervalos regulares, para o segundo forno de redução a canal com CC 2 (forno de CC).

O leito de coque 4 na superfície superior da escória, com o qual o eletrodo de grafite 6 estabelece contato com a fonte de CC 12, possui a função de anodo, e o minério fluido 5 em contato com o bloco de grafite 7 é um catodo no forno de redução a canal com CC 2.

No lado de entrada no forno, dois blocos de imã permanente são dispostos na janela do vaso do forno e, na verdade, a meia altura da camada de escória. A atuação conjunta de um campo magnético horizontal não-uniforme, com um campo elétrico vertical constante, não-uniforme, induz os gradientes da força de Lorentz atuante sobre a escória.

A força de Lorentz, que atua em todo volume elementar de líquido condutor, como p. ex., escória fluida, em campos elétricos constantes e magnéticos permanentes cruzados, altera claramente a densidade relativa do líquido:

$$\gamma_A = \gamma \pm j \times B$$

sendo: γ_A - densidade relativa aparente em $N\ m^{-3}$;
 γ - densidade relativa em $N\ m^{-3}$;
 j - densidade de corrente em um líquido, em $A\ m^{-3}$;
 B - indução magnética em T.

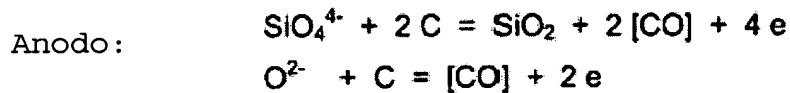
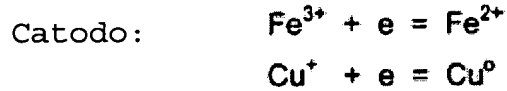
5 Com a força acima citada em presença de uma densidade de corrente de 200 a 2.000 A/m^2 e uma intensidade de campo magnético de 0,005 a 0,1 Tesla, a velocidade da escória possui uma ordem de grandeza de uma a duas vezes superior, em comparação com as velocidades convencionais
 10 naturais. Ela desloca a escória na região do imã em intensa rotação, pelo qual a transmissão magnética na superfície de coque é melhorada e a redução é acelerada. Na alta temperatura de redução da escória (1.200 a 1.300°C), as reações na redução da magnetita e co-redução do óxido
 15 contendo cobre são controladas pela transferência de massa, e a agitação da escória eleva consideravelmente a velocidade da redução.

Além disso, a agitação da escória impede a formação de fluido estagnado e homogeneiza a escória. A
 20 agitação da escória na primeira etapa do método para remoção de inclusões é benéfica, pelo qual a possibilidade de sua incrustação e sua coalescência é aumentada.

O movimento da escória eleva a possibilidade da incrustação de inclusões de minério e de cobre metálico,
 25 pelo qual sua coalescência e precipitação são melhoradas. A segunda parte do forno a canal 2 é submetida a um intenso movimento de escória, e permite uma sedimentação serena das inclusões.

Devido à estrutura iônica da escória fluida, a
 30 corrente contínua estimula a eletrólise da escória. Redução

catódica e oxidação anódica resultam na redução de magnetita, precipitação de cobre e formação de monóxido de carbono sobre os eletrodos, de acordo com as reações:



A decomposição catódica da magnetita e a precipitação de cobre elevam toda a velocidade da redução de magnetita e remoção de cobre. A precipitação de CO como produto anódico forma outros centros da redução de magnetita.

A força atuando adicionalmente sobre inclusões metálicas, como resultado da aparente alteração da densidade relativa da escória e da interação da corrente no metal e do campo magnético, é igual a:

$$F_{\text{EMB}} = 2 \pi j B r^3$$

sendo: F_{EBF} - força elevadora em N;
 15 j - densidade de corrente em A/m²;
 B - indutância do campo magnético em T;
 r - raio da inclusão em m.

A interação do campo elétrico com a carga superficial na superfície da inclusão permite o deslocamento das gotículas metálicas ao longo das linhas de campo elétrico; a velocidade de deslocamento, conhecida como fenômeno do movimento da capilaridade elétrica, é descrita pela fórmula de Levich:

$$v_{\text{EM}} = \frac{\epsilon E r}{2 \eta_s \left(1 + \frac{r}{2 \kappa w} \right)}$$

25 sendo: v_{EM} - velocidade de deslocamento em m s⁻¹;

- ε - carga superficial em coulomb m^{-2} ;
 E - intensidade do campo elétrico em $V m^{-1}$;
 η_s - viscosidade da escória em Pa s;
 κ - condutância específica da escória em $\Omega^{-1} m^{-1}$;
5 w - resistência da interface metal/escória em Ωm^2 .

Com base na densidade de carga elétrica, a velocidade de deslocamento do metal ou das inclusões minerais é reduzida com o raio da gotícula, de acordo com a fórmula citada. A velocidade de deslocamento é
10 consideravelmente maior, do que a precipitação por parte da força da gravidade, em presença de inclusões menores.

O processamento da escória em campos elétricos e magnéticos cruzados se beneficia de uma série de fenômenos, através dos quais o processo de beneficiamento da escória
15 se torna muito intenso e eficaz. A agitação eletromagnética da escória eleva a transferência de massa, pelo qual a redução da escória é agilizada e a coalescência das inclusões é promovida. A eletrólise simultânea da escória atua, com a redução catódica da magnetita e óxido de cobre
20 e a formação anódica de monóxido de carbono, como agente redutor adicional. O movimento eletrocapilar das inclusões favorece sua coalescência e promove a remoção de inclusões da escória.

Exemplo:

25 A escória de uma fundição de concentrado em um redutor de minério autógeno compreende 4% de Cu e 15% de Fe_3O_4 . A escória é vazada a cada 3 horas, e conduzida, através de uma calha, ao forno a arco voltaico com corrente trifásica 1 de 9,5 MVA. A quantidade de produção de escória
30 compreende 30t/h, isto correspondendo a um processamento de

90 t em cada ciclo. O consumo de coque corresponde a cerca de 8 kg/t e o consumo de energia, a cerca de 70 kWh/t, correspondendo a um consumo médio de potência de 6,3 MW. Após uma hora, começa o vazamento de escória no forno a arco voltaico ao longo de um período de 2 horas. A escória com um teor de 1,1% Cu e 7% Fe_3O_4 é transportada com uma câmara por uma calha 8 ao forno a arco voltaico com CC 2, cuja câmara possui 4 m de comprimento e 1 m de largura. O forno de redução a canal para beneficiamento semicontínuo da escória é ilustrado na fig. 2. A escória escoava por 2 horas continuamente através do forno de redução a canal 2. Com um espelho de escória de 1 m, o tempo médio de permanência corresponde a cerca de 30 minutos. Com perdas de calor no forno de 1 GJ/h, o consumo de corrente da unidade corresponde a cerca de 35 kWh/t, e consumo de potência necessária, a 1 MW. Com uma tensão estimada de 100 V, a intensidade de corrente se situa em uma ordem de grandeza de 10kA. O consumo estimado de coque é de 2 kg/t. A escória acabada corresponde a 0,5% Cu e 4% magnetita. O consumo total de energia corresponde a 105 kWh/t, e o consumo de coque, a 10 kg/t.

O método inventivo funciona, de acordo com o exemplo de execução, portanto, como beneficiamento da escória de cobre em duas etapas, em fornos a arco voltaico.

Pode ocorrer um carregamento periódico ou contínuo da escória no primeiro forno a arco voltaico 1. Nesse forno 1, os eletrodos de grafite ou de carbono são introduzidos na escória derretida, e através deles é realizada uma alimentação de corrente. Coque ou um outro agente redutor é adicionado sobre a superfície da escória.

O controle da temperatura de escória no forno beneficiador de escória ocorre através de controle do consumo de potência. Por último, ocorre uma sangria dos materiais extraídos na forma de minério de cobre e cobre metálico.

5 Uma sangria periódica ou contínua da escória também pode ocorrer no forno de redução a canal com CC 2. Uma corrente contínua é aplicada entre a camada de coque atuando como anodo na superfície da escória, e o minério líquido atuando como catodo. O campo magnético sobreposto,
10 localizadamente limitado, o qual é gerado pelo eletroímã ou ímã permanente, é empregado para colocar a escória em movimento. Coque é carregado sobre a superfície da escória, a fim de manter constante a espessura de camada do coque, e para manter condições favoráveis de contato elétrico com os
15 eletrodos de grafite ou carbono. Também aqui pode ocorrer uma sangria contínua ou periódica da escória acabada, beneficiada. Da mesma forma, pode ocorrer uma sangria periódica do minério de cobre, ou do minério de cobre em conjunto com cobre metálico. Além disso, uma camada de
20 cobre, ou de minério de cobre, é mantida no fundo do forno como catodo líquido, onde o catodo permanece em contato com um bloco de grafite.

A escória de cobre pode constituir aquela escória, que é extraída pela fusão dos concentrados de
25 cobre em minério de cobre, ou diretamente em cobre empolado, bem como aquela escória, que é extraída pela conversão de minério de cobre.

Como primeiro forno a arco voltaico 1, um forno a arco voltaico de corrente trifásica com CA, ou um forno a
30 arco voltaico com CC, pode ser empregado.

A indução de um campo magnético gerado por ímãs permanentes ou eletroímãs se situa, de preferência, na faixa de 50 a 1.000 Gauss, onde o campo magnético permanente cobre uma parte da seção transversal da escória fluida na região do(s) eletrodo(s) em contato com o leito de coque.

Como eletrodos são empregados, de preferência, eletrodos de grafite ou carbono. A localização dos eletrodos permite que as linhas de corrente cruzem as linhas do campo magnético. O posicionamento ideal dos eletrodos conduz a que as linhas de corrente se estendam transversalmente às linhas de campo magnético.

Conforme explicado, a camada do metal ou do minério metálico líquido sob a escória se acha em contato com um eletrodo de grafite ou semelhante, o qual exerce a função do catodo; a camada de carbono ou de coque na superfície da escória está em contato com um eletrodo de grafite ou semelhante, que exerce a função do anodo.

A intensidade da corrente contínua se situa, de preferência, na faixa de 500 a 50.000 A, dependendo do tamanho do redutor para beneficiamento da escória, da quantidade de escória e da temperatura.

Embora o método proposto seja previsto, de preferência, para extrair cobre, ele pode ser também empregado para outros metais, como para chumbo (Pb), zinco (Zn), platina (Pt) ou níquel (Ni).

Por intermédio da redução da escória em duas etapas e da remoção do cobre em dois fornos a arco voltaico, é alcançado que o primeiro forno a arco voltaico com corrente trifásica possa ser empregado para pré-redução

da escória e precipitação do minério de cobre, seguido por uma redução profunda de escória e remoção de inclusões no forno de redução a canal de CC, com agitação eletromagnética. O emprego de agitação eletromagnética, o qual melhora a transferência de massa sobre a superfície de redução e a coalescência das inclusões, em conjunto com eletrólise de escória e fenômenos eletrocinéticos, possibilitam um beneficiamento eficiente da escória e uma alta recuperação de cobre.

10 Lista de Referências:

- 1 primeiro forno (forno de CA)
- 2 segundo forno (forno de CC)
- 3 eletroímã
- 4 eletrodo (anodo)
- 15 5 eletrodo (catodo)
- 6 conexão elétrica (eletrodo de grafite)
- 7 conexão elétrica (eletrodo de grafite)
- 8 meio de ligação
- 9 eletrodo
- 20 10 eletrodo
- 11 fonte de CA
- 12 fonte de CC
- 13 bobina elétrica
- 14 bobina elétrica
- 25 15 escória
- 16 entrada de escória
- 17 saída de escória

REIVINDICAÇÕES

1. Método para extrair um metal de uma escória contendo o metal, a escória contendo metal liquefeito sendo aquecida em pelo menos um forno a arco voltaico (1, 2),
5 **CARACTERIZADO** pelo fato da escória contendo metal ser aquecida em um primeiro forno na forma de um forno elétrico de CA ou CC (1) e da massa fundida do primeiro forno (1) ser transferida para um segundo forno (2) na forma de um forno elétrico de CC.

10 2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato do primeiro forno (1) ser na forma de um forno elétrico de CA.

15 3. Método, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **CARACTERIZADO** pelo fato do metal a ser extraído ser cobre (Cu), o qual se encontra em uma escória contendo cobre.

4. Método, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **CARACTERIZADO** pelo fato do metal a ser extraído ser chumbo (Pb), zinco (Zn), platina (Pt) ou níquel (Ni), o qual se encontra em uma escória.

20 5. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2, 3 ou 4, **CARACTERIZADO** pelo fato de, no primeiro forno na forma de um forno elétrico de CA (1), ocorrer uma pré-redução da escória e uma precipitação de minério metálico, de modo particular, minério de cobre, e
25 de, no segundo forno na forma de forno elétrico de CC (2), ocorrer uma redução profunda de escória e uma remoção de inclusões.

30 6. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2, 3, 4 ou 5, **CARACTERIZADO** pelo fato de, no segundo forno na forma de forno elétrico de CC (2),

ocorrer uma precipitação eletrolítica do metal a ser extraído.

7. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2, 3, 4, 5 ou 6, CARACTERIZADO pelo fato de, no segundo forno na forma de forno elétrico de CC (2), ocorrer uma agitação eletromagnética da escória durante a extração do metal.

8. Método, de acordo com a reivindicação 7, CARACTERIZADO pelo fato de, para produção da agitação eletromagnética, ser empregado pelo menos um eletroímã (3) sobre a escória existente no segundo forno (2).

9. Método, de acordo com a reivindicação 7, CARACTERIZADO pelo fato de, para produção da agitação eletromagnética, ser empregado pelo menos um ímã permanente sobre a escória existente no segundo forno (2).

10. Método, de acordo com a reivindicação 8 ou 9, CARACTERIZADO pelo fato de pelo menos um ímã produzir um campo magnético entre 50 e 1.000 Gauss, e do campo magnético compreender pelo menos uma parte da seção transversal da massa fundida e da área dos eletrodos (4, 5) no segundo forno (2).

11. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ou 10, CARACTERIZADO pelo fato de um agente redutor, de modo particular coque, ser alimentado ao primeiro forno (1) durante o aquecimento.

12. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 ou 11, CARACTERIZADO pelo fato de material contendo carbono, de modo particular coque, ser alimentado de tal modo à massa

fundida no segundo forno (2), que uma camada do material contendo carbono se forma com espessura essencialmente constante, onde a camada faz contato com uma ligação elétrica (6) atuando como anodo (4).

5 13. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ou 12, CARACTERIZADO pelo fato de uma camada de minério metálico, de modo particular minério de cobre, ser mantida com espessura essencialmente constante na região inferior sob a
10 massa fundida no segundo forno (2), onde a camada faz contato com uma ligação elétrica (7) atuando como catodo (5).

 14. Dispositivo para extrair um metal de uma escória contendo o metal, de modo particular para execução
15 do método, de acordo com as reivindicações 1 a 13, CARACTERIZADO por compreender um primeiro forno na forma de um forno elétrico de CA ou CC (1) e um segundo forno (2) na forma de um forno elétrico de CC, onde um meio de ligação (8) para massa fundida é previsto entre o primeiro forno
20 (1) e o segundo forno (2).

 15. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 14, CARACTERIZADO pelo fato do primeiro forno (1) ser na forma de um forno elétrico de CA.

 16. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 14
25 ou 15, CARACTERIZADO pelo fato do primeiro forno (1) compreender dois eletrodos (9, 10), que são imersos na massa fundida existente no primeiro forno (1), e são ligados a uma fonte de CA (11).

 17. Dispositivo, de acordo com qualquer uma das
30 reivindicações 14, 15 ou 16, CARACTERIZADO pelo fato do

segundo forno (2) compreender dois eletrodos em forma de placa (4, 5), que são dispostos se estendendo horizontalmente na área superior e na área inferior da massa fundida existente no segundo forno (2), e são ligados a uma fonte de CC (12).

18. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 17, CARACTERIZADO pelo fato do eletrodo (4) existente na área superior ser formado como leito de coque, que se acha ligado a um contato elétrico (6), de modo particular a um eletrodo de grafite.

19. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 17 ou 18, CARACTERIZADO pelo fato do eletrodo (5) existente na área inferior ser formado como camada de minério metálico, de modo particular minério de cobre, que se acha ligada a um contato elétrico (7), de modo particular a um eletrodo de grafite.

20. Dispositivo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 14, 15, 16, 17, 18 ou 19, CARACTERIZADO pelo fato do segundo forno (2) ser formado como forno de indução a canal.

21. Dispositivo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 14, 15, 16, 17, 18, 19 ou 20, CARACTERIZADO pelo fato de ímãs, de modo particular eletroímãs (3), serem dispostos nas áreas laterais do segundo forno (2), cujas linhas de campo magnético para direção de corrente se encontrarem em pelo menos alguns dos elementos condutores de corrente (4, 5), pelo menos parcialmente em ângulo reto.

Fig. 1

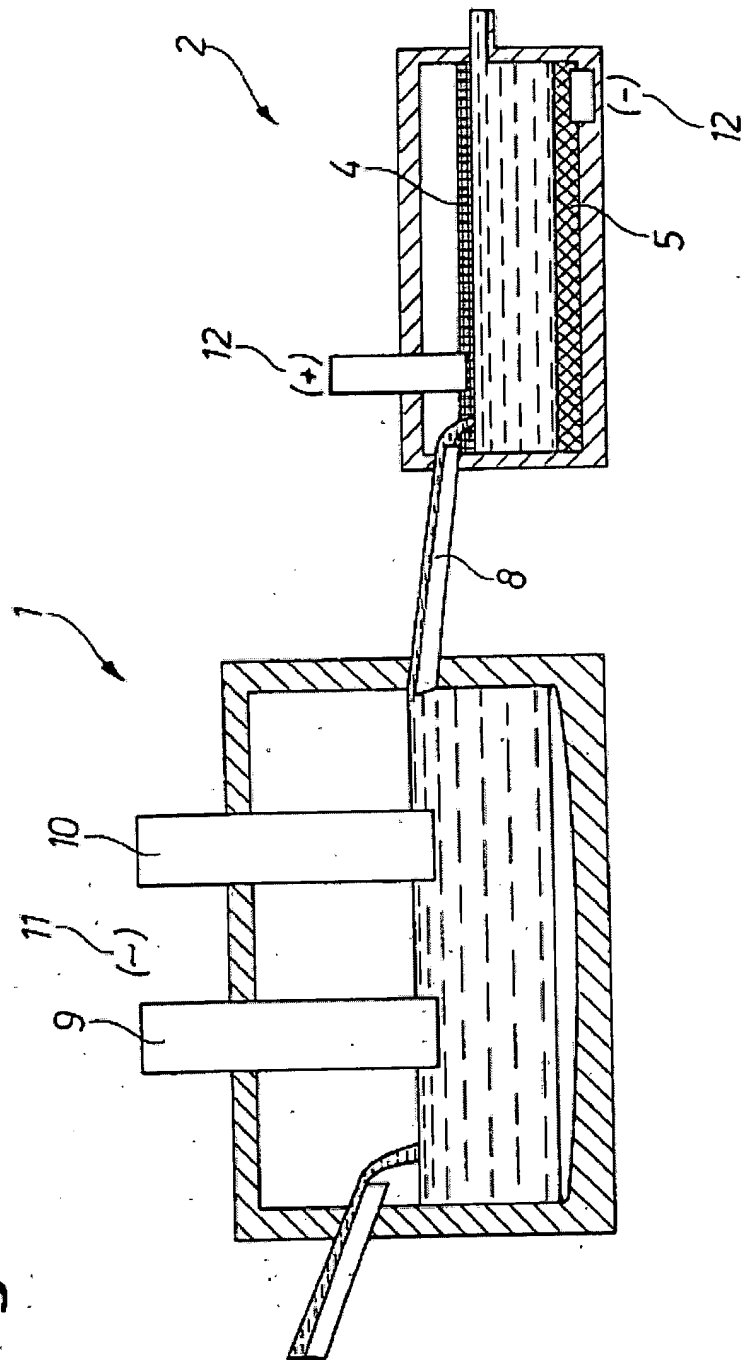


Fig. 2b

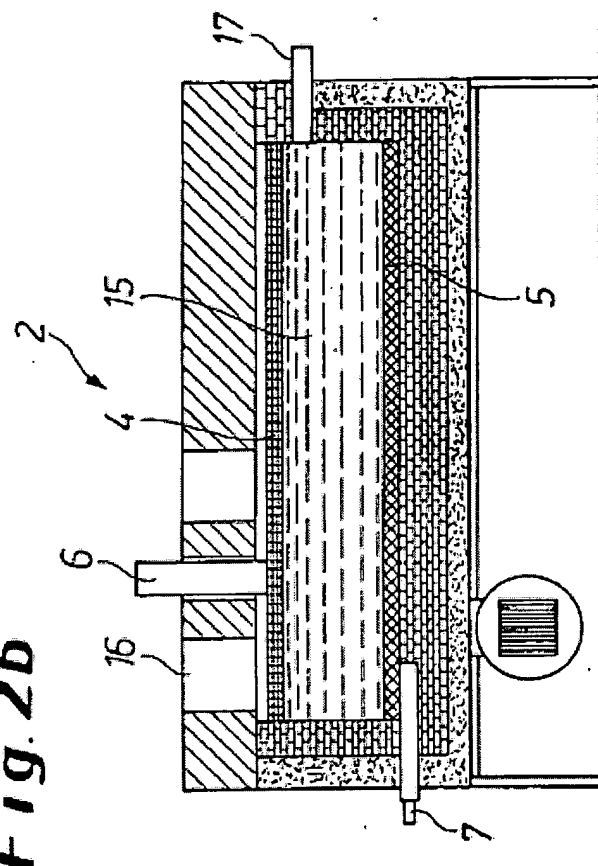
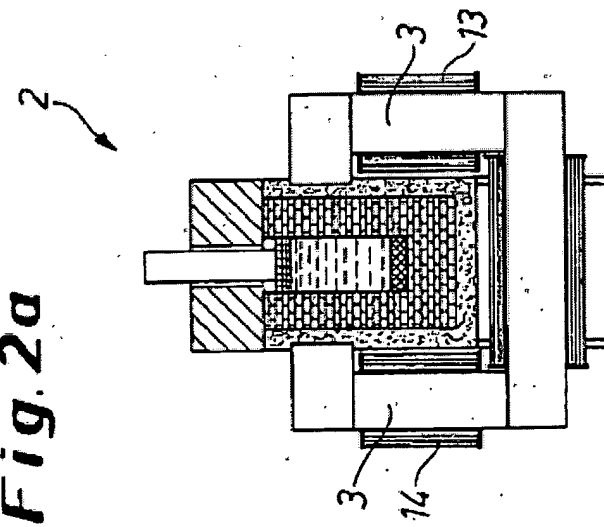


Fig. 2a



**MÉTODO E DISPOSITIVO PARA EXTRAIR UM METAL DE UMA ESCÓRIA
CONTENDO O METAL**

A invenção se refere a um método para extrair um metal de uma escória contendo o metal, em que a escória contendo metal liquefeito é aquecida em pelo menos um forno a arco voltaico (1, 2). A fim de desenvolver um método aperfeiçoado para extrair, de modo particular, cobre da escória, a invenção prevê que a escória contendo metal seja aquecida em um primeiro forno (1) na forma de um forno elétrico de CA ou CC, e que a massa fundida do primeiro forno (1) seja transferida para um segundo forno (2) na forma de um forno elétrico de CC. A invenção também se refere a um dispositivo para extrair um metal de uma escória contendo o metal.