

## PRÁTICA DE OPERAÇÕES DE FORNOS ELÊTRICOS (\*)

Eng<sup>o</sup> *Joel Ramalho* (\*\*)

Deve-se a Wilhelm Von Siemens a primeira tentativa de fundir aço por meio do arco elétrico no ano de 1878.

No entretanto, só após os trabalhos de Heroult, Girod, Stasano e outros, já no começo deste século, foi praticamente possível utilizar o forno elétrico a arco como aparelho industrial para a fabricação de aços.

As vantagens do forno elétrico a arco direto são bem conhecidas de todos, porem permito-me repeti-las aqui, para clareza e boa compreensão do assunto.

- I — Alta qualidade e pureza do produto obtido, muitas vezes verificada na prática.
- II — A energia elétrica é transformada em calor diretamente sôbre o material a fundir, sendo portanto as perdas menores do que nos outros processos metalúrgicos.
- III — Regula-se a energia elétrica por meio de dispositivos relativamente simples, à vontade, modificando-se a tensão ou a corrente, podendo-se assim obter a temperatura mais desejável.
- IV — A não ser pequenas quantidades de carbono que podem ser absorvidas dos eletrodos, não se introduz no banho nenhuma outra matéria estranha, em virtude propriamente do processo metalúrgico, como em geral acontece com todos os outros processos.
- V — A carga fundida, devido ao trabalho do arco sôbre os componentes da escória modificando-os, e as correntes elétricas que atravessam o banho, sofre uma agi-

---

(\*) Trabalho apresentado à Primeira Reunião Geral da ABM, São Paulo, 27 de abril de 1944.

(\*\*) Membro ABM, engenheiro de Elevadores Atlas S.A., São Paulo.

tação contínua, favorecendo as trocas entre a escória e o metal de modo a tornar particularmente favorável o refino do metal, podendo-se, em consequência, obter aços de grande pureza e de qualidades excelentes.

- VI — Grande maleabilidade, o que permite trabalhar com cargas líquidas ou sólidas; com revestimentos básicos, neutros ou ácidos; em funcionamento contínuo ou intermitente.

## EQUIPAMENTO

Há vários tipos de fornos elétricos a arco, porem trataremos em resumo do forno elétrico a arco direto, tipo Heroult, o mais conhecido entre nós e o mais empregado universalmente.

A capacidade desses fornos é extremamente variavel, desde alguns quilos apenas, até os de 75 a 100 toneladas de carga, em uso corrente nos Estados Unidos.

Elevadores Atlas S.A. tem atualmente dois desses fornos, um de seis toneladas de carga para a nova fundição em São Caetano, e outro de três toneladas em funcionamento, produzindo peças fundidas de aço ao carbono, aços especiais ligados ao níquel, cromo, molibdênio, tungstênio, etc., e lingotes de aços especiais para ferramentas.

Esse forno é de construção Brown Boveri, com duas cubas e duas abóbadas para substituição rápida, regulação dos eletrodos manual e automática por comando eletro-hidráulico.

O transformador trifásico é de 1150 KVA de capacidade, com 6 taps no primário, dando no secundário 63, 75, 80, 110, 130 e 140 volts. A intensidade de corrente pode ser regulada desde 100 até 5.000 amperes por fase. Os eletrodos usados são de grafite, de 8" polegadas de diâmetro.

As duas cubas trabalham uma com revestimento de magnésita e a outra com revestimento de zircônio.

As paredes acima da linha da escória e a abóbada são de tijolos de sílica de fabricação nacional.

O forno é de carga manual auxiliado por uma ponte rolante de 5 toneladas com equipamento adequado.

A matéria prima, armazenada em lugar conveniente, é trazida para a plataforma de carga diante do forno por meio de carrinhos de mão e vagonetas.

Os lingotes e moldes são enchidos por meio de painéis de fundição com revestimento de tijolos de chamote e uma camada de argila refratária, de 4 toneladas de capacidade, em número de três para possibilitar o trabalho contínuo.

Essas painéis são de vasamento por baixo, com válvula refratária de chamote e tampão de grafite, acionado por um sistema de alavancas.

## CONSTRUÇÃO DA SOLA

A construção da sola é sempre um problema que tem merecido intensos estudos e atenções em todos os países. Essa parte do forno está sujeita a condições severíssimas de trabalho, choques durante a carga, altas temperaturas, ação corrosiva da escória, variações de temperaturas, etc., podendo apresentar em consequência buracos e fendas por onde ha infiltração do metal ou da escória, fontes de grandes perturbações no funcionamento normal do forno, ocasionando mesmo a destruição parcial ou total da sola com a consequente paralização do funcionamento.

Embora não tenha ainda obtido uma sola ideal, alguns anos de experiência têm-nos ensinado a obter com materiais nacionais uma sola que pode trabalhar satisfatoriamente.

Há várias maneiras de formar uma sola, sendo as principais as três seguintes: —

- I — Forma-se o apizado todo de uma vez, seca-se e ligam-se os eletrodos para a sinterização.
- II — Forma-se a sola por camadas sucessivas, cinterizando-se as diversas camadas umas sobre as outras.
- III — Colocam-se dois eletrodos sobre tijolos de magnesita a uma certa altura do fundo, liga-se a corrente e quando a temperatura for suficiente vae-se entrando o material que cinterisa sucessivamente.

Este último processo é o que dá melhores resultados com solas de magnesita comum.

Temos construído nossas solas de maneira seguinte: constrõe-se primeiro a sub-sola com uma fiada de tijolos de chamote, sôbre os quais colocam-se algumas camadas de tijolos de magnesita. Prolongam-se os tijolos de magnesita lateralmente pelas paredes até duas ou três fiadas acima da linha da escória.

As paredes acima dessa linha são revestidas com tijolos de sílica ou com tijolos magnesita *Metalcase*.

As juntas devem ser as menores possíveis, não se usando massa alguma, apenas molhando os tijolos em silicato de sódio e ajustando-os.

A sola de zircônio faz-se com o mineral apropriado, finamente dividido, 90% malha 100, com um pouco de água e melação, para dar a consistência necessária ao apizoamento.

O material espalhado sobre a sola em camadas de 1 a 2 polegadas é bem socado com martelos pneumáticos, até a espessura e contornos requeridos.

Deixa-se secar ao ar por 1 a 2 dias, continuando-se depois a secagem por mais 20 a 24 horas com fogo de lenha.

Retiram-se as cinzas, coloca-se uma boa camada de coque e liga-se o arco, aquecendo-se até a temperatura em que as paredes de sílica e a abóbada dão sinais de começo de fusão.

Mantem-se essa temperatura por 10 a 12 horas, no fim das quais a sola terá uma boa camada cinterizada, podendo suportar uma carga de aço e com a continuação das operações ficará completamente cinterizada.

## OPERAÇÃO DO FÓRNO

*Matérias Primas* — Como matéria prima usa-se toda espécie de sucata de aço, cavacos, lingotes de gusa, ferro ligas, minérios de ferro e de manganês; calcáreo, cal e spato-fluor para a formação das escórias, carburantes e agentes desoxidantes.

*Carga do forno* — Selecionado o material para uma carga, entra em primeiro lugar o material mais pesado, em seguida o médio e o mais leve por fim.

A maneira de compor a carga e a colocação do material no forno tem grande importância para o bom funcionamento da operação, prevenindo-se a quebra de eletrodos motivada pela má colocação de blocos pesados que, ao fundir-se parcialmente, caem sobre os eletrodos quebrando-os, ou a interrupção do arco pela má condutibilidade dos materiais sujos, engaiolados ou muito oxidados.

Com a carga e no fundo coloca-se uma parte do calcáreo, sendo a maior parte deste, bem como toda a cal necessária, introduzidos à medida que o material vai se fundindo.

Si a sucata é muito oxidada e a maior parte em pedaços finos, regra geral entre nós, é necessário carregar-se uns 10 a 15% de gusa, ou ajuntar à carga carvão de madeira suficiente para se produzir uma boa ebulição após a fusão com a introdução de

minério de ferro. Essa ebulição por uns 30 a 40 minutos, embora retarde a carga e consuma energia, é necessária para a eliminação dos gases dissolvidos e limpeza do aço.

Para facilitar o trabalho da ebulição deve-se agitar com o rodo próprio, por várias vezes, o banho.

No primeiro período de fusão usa-se a tensão mais alta para atingir a maior parte da carga lateralmente, logo que esta esteja em grande parte fundida, usa-se a tensão média, empregando-se a mais baixa para o refino.

A tensão mais elevada, si fosse usada após a fusão, produziria um desgaste exagerado das paredes e da abóbada.

Logo que haja uma boa porção de material fundido na parte central do forno, começa-se a puxar o restante do material próximo às paredes e a empurrar o que está junto às portas para as vizinhanças dos eletrodos, facilitando-se deste modo a fusão desses blocos mais afastados, evitando-se assim uma elevação exagerada de temperatura.

Uma vez fundido todo o material, começa o refino, eliminando-se nessa fase os elementos oxidáveis, tais como excesso de silício, excesso de manganês, fósforo e carbono.

A viscosidade, a basicidade, a temperatura do banho e o teor de óxido de ferro da escória precisam ser controlados para se ter um trabalho correto de oxidação, sem muita demora e sem perigo de superoxidação do banho.

Esses fatores são todos facilmente controlados pela experiência e a prática.

Uma vez atingido o grau de oxidação que se deseja, tira-se uma amostra, envia-se ao laboratório para controle; estando tudo correto, retira-se a escória, carbura-se o banho, si for necessário, com coque em pó ou eletrodos moídos, prepara-se outra escória para a segunda fase do refino, isto é para a desoxidação e eliminação do enxofre e dos gases dissolvidos.

Essa escória é composta de cal viva, spato-fluor e coque moído em proporções convenientes. Essas proporções são corrigidas de carga para carga.

A viscosidade, a basicidade e o aspecto dessa escória devem ser vigiados e mantidos a custa de adições de cal, de spato-fluor ou de carvão em pó.

Nesta fase o forno deve ficar o mais possível fechado, para que a atmosfera interior se mantenha altamente redutora e haja eliminação rápida dos óxidos de ferro e de manganês da escória, e pela lei do equilíbrio químico, eliminação desses mesmos óxidos do banho metálico.

A ação do arco sôbre os componentes da escória provoca a formação de carbureto de cálcio que elimina por sua vez o enxofre e os gases dissolvidos no banho.

Tendo a escória trabalhado por algum tempo, retira-se uma amostra do metal para análise rápida de carbono, manganês e outros elementos, quando possível, si for necessário.

Recebido o resultado, fazem-se as últimas correções necessárias, as adições de ferro manganês, ferro silício, e de outras ligas que podem ser calculadas quantitativamente visto ser o aproveitamento, mesmo dos elementos oxidáveis, tais como vanádio, tungstênio, cromo etc., praticamente total.

Na fase de desoxidação o banho deve ser agitado algumas vezes para favorecer as trocas entre o metal e a escória e homogeneização do metal.

Uma vez entradas todas as ligas previamente calculadas, retiram-se amostras para exame de solidês, forjabilidade e de temperatura.

Estando tudo correto, faz-se a corrida, enchem-se os moldes cu as lingoteiras.

O processo anteriormente resumido é o mais indicado quando se usa sucata comum, bastante oxidada, tendo diversas impurezas que devem ser eliminadas.

Usando-se material limpo, cuja composição seja conhecida, pode-se abreviar muito o processo, fazendo-se a fusão sem oxidação e sem remoção de escória, eliminando-se apenas pelo refino final, pequenas porções de óxidos metálicos e enxofre.

Ha ainda casos em que se faz apenas uma oxidação parcial sem introdução de minério e remoção da primeira escória e formação de outra para a desoxidação.