

FABRICAÇÃO DO FERRO-SILÍCIO COM EMPREGO DE CARVÃO DE VAPOR GROSSO NACIONAL ⁽¹⁾

JOSÉ GONÇALVES FILHO ⁽²⁾
RUBENS CORRÊA DA SILVEIRA ⁽³⁾

RESUMO

Os Autores divulgam os resultados que obtiveram na fabricação de ferro-silício em fornos elétricos trifásicos na Fábrica da CSN, usando como redutor carvão de vapor grosso nacional. Apresentado na Comissão "G" do XVII Congresso, o trabalho despertou muito interesse; às perguntas formuladas no plenário, os Autores prestimosamente respondem através de uma "Discussão Escrita", dada a seguir.

1. INTRODUÇÃO

Com a presente contribuição, visam os Autores divulgar os resultados que obtiveram na fabricação de ferro-silício em fornos elétricos trifásicos na Fábrica de Ferro-Ligas da Companhia Siderúrgica Nacional, em Conselheiro Lafaiete, MG, com o emprego de carvão de vapor grosso nacional. O resultado obtido na fabricação de ferro-silício com esse carvão, para êle abre campo na fabricação de ligas de manganês.

2. MATÉRIAS PRIMAS

A fabricação de ferro-silício consiste na redução da sílica pelo carbono, em presença de ferro, em quantidade proporcional

(1) Contribuição Técnica n.º 483. Apresentada na Comissão "G" do XVII Congresso da ABM; Rio de Janeiro, julho de 1962.

(2) Engenheiro de Minas, Metalurgista e Civil; Chefe da Fábrica de Ferro-Ligas da CSN; Lafaiete, MG.

3. Membro da ABM; Engenheiro de Minas, Metalurgista e Civil; Sub-Chefe da Fábrica de Ferro-Ligas da CSN; Lafaiete, MG.

ao teor de silício que se deseja obter na liga. As matérias primas por nós utilizadas são as seguintes:

QUARTZO, para o qual exigimos teor mínimo de sílica de 97%, teor máximo de alumina de 1% e granulometria máxima 70 mm e mínima 20 mm.

FERRO, é obtido de sucata, minério de ferro ou carepa. Sempre que possível é preferível utilizar-se sucata de aço ou de ferro, devido ao seu alto teor em ferro, bem como exigir baixo consumo de redutor e de energia elétrica. O minério de ferro e a carepa como matérias primas, além de exigirem maior consumo de redutor e de energia elétrica que a anterior, têm seu emprêgo limitado pelo teor de silício da liga que se quer obter. Ainda quanto ao minério de ferro, deve-se exigir teor mínimo em alumina. Evidentemente, o emprêgo destas matérias primas fica também subordinado às disponibilidades locais.

REDUTOR — Usamos coque, isolado ou em mistura com carvão vegetal, e, mais recentemente, com carvão de vapor grosso nacional. Um bom redutor, de um modo geral, deve ter as seguintes características: baixa umidade; baixo teor em cinzas e em matérias voláteis; boa resistência à compressão e boa porosidade; baixa condutividade elétrica (fornos elétricos) e fácil reatividade.

3. EMPRÊGO DO CARVÃO DE VAPOR GROSSO

Uma boa marcha do forno é obtida pelo contrôlo rigoroso da profundidade dos eletrodos no interior da carga. As principais anormalidades que poderiam advir de uma posição irregular dos mesmos, seriam:

- *Para eletrodo alto* — Perdas excessivas de calor por irradiação e por volatilização (matérias primas); corridas frias (soleira fria) e queima do carvão na superfície.
- *Para eletrodo baixo* — Perda por volatilização do produto elaborado; zonas frias no tampo do forno e freqüentes curtos circuitos provocados pelos movimentos do banho.

Uma profundidade média será obtida pelo balanceamento conveniente entre as condições: condutividade elétrica da carga e voltagem entre fases. A condutividade da carga irá depender, principalmente, da granulometria, umidade e composição das ma-

térias primas. Se utilizarmos quartzo e sucata praticamente uniformes, como em nosso caso, a maior ou menor condutividade da carga irá resultar da maior ou menor condutividade do redutor empregado. Pela ordem decrescente de suas condutividades elétricas, os redutores por nós utilizados são: coque metalúrgico; coque forja; coque moinha e carvão vegetal.

Condutividades elétricas médias seriam obtidas pela mistura adequada de dois ou mais redutores dos tipos considerados, desde que a quantidade de carbono necessária à redução da sílica introduzida e demais óxidos, permaneça constante.

Já obtivemos resultados satisfatórios misturando-se com coque-forja o carvão vegetal na proporção 1:1,5 em pêso.

As dificuldades encontradas num abastecimento constante de carvão vegetal, nos levaram durante muito tempo, a trabalhar somente com coque forja, o que ocasionava durante a operação, formação de crostas com maior frequência. Recentemente, tendo chegado ao nosso conhecimento o uso em países europeus, do carvão de vapor grosso em fornos elétricos de redução para fabricação de ferro-silício, misturado com coque na proporção de 1:1 em pêso, resolvemos usá-lo também em nossa operação. Obtivemos ótimos resultados na fabricação de ferro-silício 45% e, mais recentemente, também na do ferro-silício 75%, fabricação esta muito dificultosa quando se usa somente coque forja.

O carvão de vapor grosso nacional, por nós utilizado, apresenta em média a seguinte análise, em %: umidade total — 1,6; enxôfre — 2,6; matérias voláteis — 26,3; carbono fixo — 43,4 e cinzas — 30,3.

A análise média das cinzas é a seguinte, em %: SiO_2 — 55,22; Fe_2O_3 — 11,53; Al_2O_3 — 31,67; CaO — 0,70; MgO — 0,40; SO_3 — 0,48.

A sua granulometria é variável de 5/16" a 1 1/2". Entre os inconvenientes do emprêgo do carvão de vapor grosso nacional, a nosso ver, os dois mais importantes seriam: quantidade excessiva de cinza e alto teor em enxôfre.

Relativamente à cinza na fabricação do ferro-silício, seus óxidos são reduzidos em maior ou menor quantidade e passam para a liga ou escória; quanto ao enxôfre, mais da metade do total introduzido volatiliza-se facilmente devido à alta temperatura reinante, parte escorifica-se e uma pequena parcela (aproximadamente 5%) fixa-se na liga. A volatilização do enxôfre é tanto maior quanto maior fôr o teor de Si na liga.

4. RESULTADOS

As especificações das ligas de ferro-silício indicam, geralmente, para ferro-silício 45%: $S \leq 0,05\%$. Em nosso caso, usando-se somente coque como redutor, vimos obtendo Fe Si 45% com teor em S de 0,04%.

Evidentemente, a relação carvão de vapor para coque, deve ser determinada de modo a se obter a liga com o teor de enxôfre dentro da especificação. A proporção 1:1, usada em outros países, refere-se, como é óbvio, para o carvão de vapor grosso local. Conseguimos bons resultados com as relações:

<i>Fe Si:</i>	<i>Carvão vapor/coque:</i>
45%	1 : 1
75%	1 : 1

Com isto o teor de S na liga subiu de 0,02%.

5. CONCLUSÕES

Desde que começámos a usar carvão de vapor grosso misturado com coque, verificamos que:

- O carvão de vapor grosso, em forno elétrico e fabricando ferro-silício, substitui perfeitamente o carvão vegetal, para o qual dia a dia vimos sentindo dificuldade na sua aquisição.
- Há economia de quartzo (0,4%).
- Devido à maior porosidade da carga, esta desce mais facilmente, não havendo formação de crostas.
- Verificamos a inexistência de quebras de eletrodos, com corridas quentes e uniformes devido os eletrodos trabalharem próximo ao banho.

*

O sucesso obtido na fabricação do ferro-silício abre campo para que o carvão de vapor nacional venha a ser também empregado na fabricação de ligas de manganês.

AGRADECIMENTO

Os Autores agradecem à Companhia Siderúrgica Nacional a autorização dada para a publicação deste trabalho.

DISCUSSÃO ESCRITA (*)

1 — Nos eletrodos Soderberg a superfície de oxidação é reduzida, ao mínimo, pela proteção que exerce a camisa de aço. Por outro lado, a baixa reatividade de seus constituintes, por si só é uma garantia para baixo consumo, por oxidação na superfície.

O consumo excessivo de eletrodo, é muitas vezes ocasionado por falta de redutor na carga; o quartzo neste caso, é reduzido em parte pelo próprio carbono do eletrodo. A carga apresentaria também maior resistência elétrica, haveria penetração excessiva dos eletrodos, com menor produção e conseqüentemente maior consumo de pasta por tonelada de liga produzida.

Eletrodos rubros, seriam provenientes de ocorrências de altas densidades de corrente ou mesmo de mau contacto das placas porta-corrente com os eletrodos.

2 — O controle automático foi introduzido nos modernos fornos elétricos, com a finalidade de se manter uma uniformidade de marcha, a qual seria bastante difícil, operando-o sob controle manual. Com o forno operando sob o regime automático e se a regulação do mesmo fôr a impedância constante, como em nosso caso, o eletrodo será elevado automaticamente se ocorrer no forno corrente excessivamente alta e baixado, caso contrário. O automático funciona assim, com a finalidade de assegurar uma constância na corrente e potência absorvida, com um grau de estabilidade suficiente para manter, dentro de certos limites, as perturbações sobre a rede de alimentação e o processo eletro-térmico. Sabemos que quando a resistência ôhmica dos materiais constituintes da carga é muito elevada, os eletrodos tendem a aproximar sua extremidade do fundo do forno, e, quando esta resistência é baixa, ocorre o contrário.

Para que se possa contornar êstes inconvenientes, seria necessário adotar voltagens secundárias, altas para o primeiro caso e baixas para o segundo. Se apenas com a variação da voltagem não fôr possível manter a posição dos eletrodos, dentro de limites toleráveis, seria então necessário efetuar uma regulação da carga, de modo a torná-la mais ou menos condutora, conforme a necessidade.

3 — O teor de enxôfre das ligas de ferro-silício por nós obtidas, como é óbvio, era menor quando empregávamos como redutor coque-carvão vegetal; aumentou quando passámos a empregar somente coque e mais ainda quando da utilização da mistura redutora coque-carvão de vapor. Foi observado ainda que o teor de enxôfre caía à medida que se aumentava o teor de silício da liga. O teor de enxôfre por nós citado é médio, pois obtivemos valores menores e maiores conforme a marcha do forno.

4 — Sob o ponto de vista econômico, para melhor apreciação, haverá necessidade de se determinar a expressão de equivalência, entre os custos de ferros-silícios obtidos com emprêgo de carvão vegetal e com emprêgo do carvão de vapor grosso.

(*) Os Autores, ante um apanhado taquigráfico defeituoso da Discussão do trabalho, preferiram dar respostas escritas às perguntas formuladas, dando-lhes maior clareza e precisão.

As parcelas componentes do custo por tonelada de liga vão expressas no quadro abaixo:

Discriminação	Fe Si c/ carvão vegetal			Fe Si c/ carvão de vapor		
	Cons. p/ t de Fe Si (U)	Custo p/ Unidade (U)	Custo p/ t de Fe Si 45%	Custo p/ t de Fe Si (U)	Custo p/ Unidade (U)	Custo p/ t de Fe Si (U)
Quartzo	A ₂	a	A ₂ a	A ₁	a	A ₁ a
Sucata	B ₂	b	B ₂ b	B ₁	b	B ₁ b
Coque	C ₂	c	C ₂ c	C ₁	c	C ₁ c
Carvão de vapor	—	—	—	D ₁	d ₁	D ₁ d ₁
Carvão vegetal .	D ₂	d ₂	D ₂ d ₂	—	—	—
Energia elétrica .	E ₂	e	E ₂ e	E ₁	e	E ₁ e
Mão de obra ...	F ₂	f	F ₂ f	F ₁	f	F ₁ f
Manutenção	—	—	M ₂	—	—	M ₁
Eletrodos	H ₂	h	H ₂ h	H ₁	h	H ₁ h
Gases	I ₂	i	I ₂ i	I ₁	i	I ₁ i

Neste quadro não foram computadas as despesas com Administração, materiais diversos e despesas indiretas, por serem idênticas, quer se use um ou outro tipo de redutor.

Chamando Δ a diferença entre os custos por tonelada obtida com um e outro redutor; teremos:

$$\Delta = (A_2 - A_1) a + (B_2 - B_1) b + (C_2 - C_1) c + D_2 d_2 - D_1 d_1 + (E_2 - E_1) e + (F_2 - F_1) f + (H_2 - H_1) h + M_2 - M_1 + (I_1 - I_2) i$$

Se Δ = 0 — Haverá equivalência.

Se Δ > 0 — Vantagem econômica para o emprêgo do carvão de vapor grosso.

Se Δ < 0 — Vantagem econômica para o emprêgo do carvão vegetal.

No nosso caso temos, de uma maneira aproximada:

$$\Delta = 73a + \frac{400}{W} d_2 - 360 d_1 - 170 c + 417 e \tag{1}$$

desde que consideremos:

$$B_2 - B_1 = 0; \quad F_2 - F_1 = 0; \quad H_2 - H_1 = 0;$$

$$I_1 - I_2 = 0 \quad \text{e} \quad M_2 - M_1 = 0$$

Na realidade todas estas diferenças são positivas, apenas ($I_1 - I_2$) podendo realmente ser considerada nula pelo fato dos gases não serem utilizados, em nosso caso.

Na expressão (1), W é rendimento de utilização do carvão vegetal, pois, como é sabido, ocorrem grandes perdas deste tipo de redutor, durante as operações de armazenamento, transporte e carregamento.

A expressão (1) obtida merece restrições, pois que existem pontos negativos para o emprêgo do carvão vegetal e que não estão computados na mesma, como por exemplo:

- 1) A grande quantidade de finos formada durante o trabalho da carga no forno, ocasiona sôpros e formação de «pontes», com freqüência;
- 2) Maior trabalho durante o manuseio;
- 3) Dificuldade de obtenção (nosso caso).

Encerrando, podemos afirmar que temos utilizado economicamente o carvão de vapor grosso, pois se na realidade ocorre $\Delta < 0$, é verdade que o valor absoluto de Δ para nós, não é elevado e assim sendo, pequeno aumento no custo do produto seria compensado por uma satisfatória operação e boa produção.

5 — As considerações anteriores temos ainda a acrescentar que o carvão de vapor grosso foi também por nós empregado, e de maneira econômica, na fabricação de Ferro-Manganês, Ferro-Cromo e Ferro-Gusa. Nestes casos, a formação de escória básica (com presença de CaO e MnO aumentando a solubilidade do enxôfre na escória) e o C, Si, Mn e P (diminuindo a solubilidade dos sulfetos no metal) contribuem para melhor dessulfuração.

6 — As especificações de ferro-silício, por nós adotadas, não fazem restrições ao teor de alumínio da liga e geralmente ocorre:

$$\text{Al} \simeq 0,5\% \text{ no Fe Si } 45\%$$

$$\text{Al} \simeq 2,5\% \text{ na Fe Si } 75\%$$

A exigência de 1% máximo de alumina no quartzo é pelo simples fato de não podermos fazer exigências quanto ao seu teor no carvão de vapor grosso e desejarmos que a quantidade total introduzida, por carga, não ultrapasse certos limites recomendados pela prática. É sabido que apenas 50%, aproximadamente, da alumina introduzida é reduzida para alumínio, que se incorpora à liga, o restante 50% indo formar com outros óxidos escória indesejável pelo seu alto ponto de fusão e cuja tendência seria acumular no fundo do forno, elevando-o e ocasionando dificuldades nas corridas e na marcha do forno, com conseqüente

queda do rendimento do processo. Esta escória não fluiria com o banho metálico, motivo pelo qual procuramos limitar a alumina das matérias primas, mais pela escória e menos pelo receio de alto teor de alumínio na liga, o que às vezes é desejável.

7 — A sucata utilizada em nossos fornos para a fabricação de ferro-silício, é de boa qualidade e procedência conhecida. Podemos, portanto, dizer que não há cromo no ferro-silício por nós fabricado. Seria possível a contaminação do ferro-silício, pelo cromo, na transição da fabricação de ligas.