

SÔBRE O EMPRÊGO DE SINTER DE MINÉRIO DE FERRO EM ALTOS FORNOS

Tharcisio D. de Souza Santos (1)

Nos últimos anos vem se generalizando nos principais países produtores de ferro o emprêgo de sinter de minério de ferro na carga dos altos fornos. As vantagens principais são: o aumento da produção do alto forno, a diminuição de consumo de redutor, o maior valor térmico dos gases, o maior contrôle e uniformidade de composição do gusa e a diminuição na produção de poeiras. Tôdas essas vantagens resultam, em última análise, da melhoria de superfície específica e da redução incipiente que se verificam no processo de sinterização. Em consequência a carga fica melhor "condicionada" para a seqüência de fenômenos que têm lugar no alto forno. Examinam-se as condições de aplicação dos processos de sinterização aos minérios brasileiros empregando-se moinha de carvão vegetal e enumeram-se as vantagens que traria a utilização de sinter nos altos fornos nacionais.

A eficiência do alto forno resulta em grande parte da eficiência com que se verificam as trocas térmicas e a difusão entre a coluna ascendente de gases redutores e a coluna descendente da carga.

Deixando de lado a questão de dimensionamento do redutor — suscetível na prática de pequeno contrôle, sobretudo quando se emprega carvão vegetal — o único contrôle sôbre a eficiência das trocas térmicas e da difusão reside na granulometria e no "condicionamento" da carga de minério e fundentes. Há uma certa porosidade ótima para a qual se verificam em melhores condições as reações e as trocas térmicas. Cargas mais porosas tendem a receber menos calor (e em consequência são mais quentes os gases na saída do alto forno); cargas menos porosas tendem, ao contrário, a oferecer maior resistência à passagem dos gases e disso resultam menores velocidades de redução e maiores perdas em poeiras, a serem ulteriormente recuperadas nos aparelhos de lavagem e detecção.

(1) Professor Interino de Metalurgia dos Metais Não Ferrosos, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, S. P.

Em conseqüência, parece natural que uma carga constituída de grânulos soldados uns aos outros e oferecendo uma superfície específica incomparavelmente maior que a dos minérios compactos, deve ser reduzida em condições de muito maior eficiência do que uma carga formada por minérios e fundentes naturais, muito mais compactos.

No que se refere aos minérios de ferro a prática brasileira tem sido a de empregar principalmente canga, minério concrecionado formado pela diagênese de óxidos hidratados de ferro. As condições de percolação que governam a migração dos óxidos hidratados para a superfície determinam a formação das concreções e o minério possui uma razoável superfície específica. Essa é a razão da preferência que têm merecido no Brasil as cangas para os altos fornos. Infelizmente o processo diagenético implica, por sua natureza em: 1) conterem as cangas apreciáveis teores de água combinada, 2) conterem teor considerável em fósforo, muito superior ao do minério primário.

Outro minério de ferro utilizado com êxito no Brasil é a chapinha, itabirito limonítico. Sob o ponto de vista de sua gênese, a chapinha é minério sub-secundário, pois que apresenta limonitização parcial. Decorre que sua superfície específica é melhor que a dos minérios compactos sem contudo atingir o valor das cangas; em contraposição, apresenta a vantagem sobre a canga de ter menores teores de água e de fósforo.

Os minérios compactos, itabiritos e hematitas compactos, muito embora de excelente composição, não vem sendo empregados em nossos altos fornos (a não ser em pequena proporção nas cargas de alguns dos maiores altos fornos em funcionamento) pela razão exclusiva de sua superfície específica ser pequena por demais; são minérios excessivamente compactos.

Não deixa de ser paradoxal que, tendo nós no Brasil de recorrer até agora ao uso do mais puro dos combustíveis, empreguemos os piores dos nossos minérios, porque só êsses possuem superfície específica adequada para a redução.

Visando a sinterização a correção da superfície específica e na realidade podem-se conseguir sinters cujas superfícies específicas variam entre amplos valores — segue-se que a sinterização permite a utilização de minérios mais ricos e mais puros.

Constitue assim, a melhoria da superfície específica o fator de principal importância para o emprego dos sinters.

A sinterização da-se preferivelmente sobre cargas finas, genêricamente para diâmetros máximos de cerca de 5mm. Em conseqüência, são idealmente adaptados para a sinterização os finos resultantes de britamento

e classificação e os minérios friáveis que constituídos essencialmente de hematita lamelar, tendem a se desintegrar facilmente em poeira, tanto pela alteração de intemperismo como pelos transportes. As jacutingas, itabiritos de alto teor em hematita lamelar parcialmente alteradas, constituem excelentes minérios para sinterização e conhece-se a importância dos depósitos desse minério sobretudo no centro de Minas Gerais.

O processo de sinterização exige um combustível fino, intimamente misturado à carga. Esse combustível é obviamente a moinha de carga vegetal, um sub-produto das usinas siderúrgicas nacionais cujo aproveitamento tem sido muito pequeno até agora. A manipulação do carvão vegetal, das medas aos altos fornos, produz grande quantidade de moinha, quantidade variável com o número de operações de carga e descarga, tipo de transporte, umidade do carvão e tempo de armazenamento. Numa usina sob sua direção o signatário verificou que a perda de carvão vegetal sob forma de moinha era de cerca de 6%; nessa usina as condições locais reduzem a um mínimo o número de operações de manipulação e o armazenamento era geralmente limitado a pouco mais que uma semana; além disso, o carvão vegetal apresentava excelentes características físicas e era produzido em fornos de alvenaria. Parece provável que o volume total de moinha nas usinas siderúrgicas seja bastante superior àquele valor.

Encontra assim a sinterização dos minérios de ferro na moinha de carvão vegetal o combustível adequado, e a utilização desse combustível que na realidade não é aproveitado (*) virá fazer com que seja economizado o carvão vegetal de boas características para a redução, como se viu.

VANTAGENS RESULTANTES DO EMPRÊGO DE SINTER NOS ALTOS FORNOS

Estudam-se agora com maior detalhe as vantagens que resultam do emprêgo de proporções variáveis de sinters, fluxados ou não, nos altos fornos.

Maior produção do alto forno

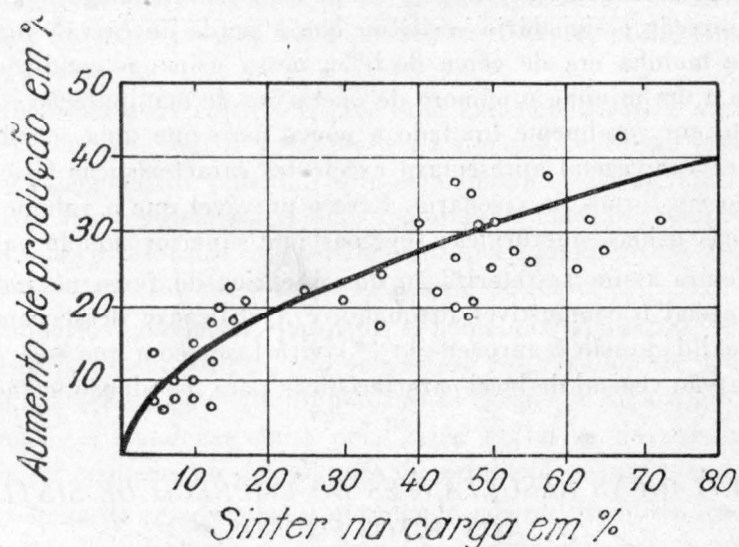
O emprêgo de sinter aumenta a produção do alto forno pela razão de a melhor superfície específica e a apreciável redução parcial diminuir o consumo específico de redutor. Sendo a capacidade de um alto forno

(*) Se forem de 10% as perdas em moinha, em 1944 teriam sido perdidas nada menos de 110.000m³ de moinha, cerca de 25.000 t somente nas 14 usinas siderúrgicas em funcionamento naquele ano.

função principalmente de sua capacidade de queima de carvão, segue-se que aumentará a produção de gusa se diminuir, como acontece, o consumo de carvão por tonelada de gusa.

O aumento da produção depende evidentemente, além do perfil do forno, da proporção de sinter na carga (variável de acôrdo com as condições econômicas até cargas constituídas quase que exclusivamente por sinter fluxado) e das características do sinter.

Tem se verificado que o aumento de produção cresce com a proporção de sinter. Entretanto o crescimento não é linear. Cresce inicialmente de forma mais acentuada para proporções de sinter até as vizinhanças de 60% para continuar a crescer em seguida mas menos marcadamente.



(Fig. 1)

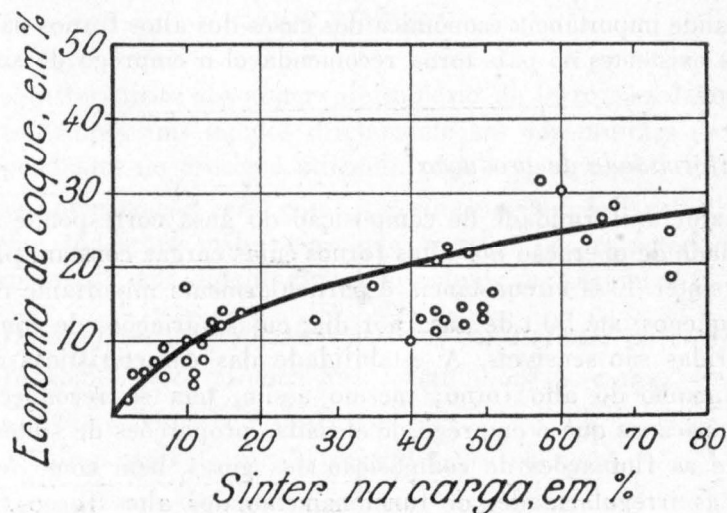
Shallock (1) representou em gráfico uma série de pontos obtidos em várias usinas; tal curva está reproduzida na fig. 1.

A questão da proporção ótima de sinter na carga é uma questão econômica, a qual só pode ser determinada pelo exame detalhado das condições especiais de cada usina. Contudo, e de uma maneira geral, considera-se que quanto maior a porcentagem de sinter utilizado na carga maior a produção e menor o consumo de carvão e que quanto mais se aproxima de 100% de sinter na carga melhores as características técnicas e econômicas da operação (2).

Diminuição de consumo de redutor:

A diminuição de consumo de redutor decorre da melhoria da superfície específica e da redução parcial que pode ser conseguida nos sinters de minério de ferro em certas condições. A melhoria da superfície específica favorece a difusão do óxido de carbono para dentro do grânulo da carga. A redução parcial age evidentemente no mesmo sentido, antecipando as reações.

Em consequência, baixam consideravelmente os consumos de redutor nos altos fornos cujas cargas contêm sinter e de uma maneira geral, diminuem os consumos à medida que aumentam as proporções de sinter na carga. A fig. n.º 2 representa uma grande série de dados observados em



(Fig. 2)

diversas usinas por Shallock (1). Constatase que diminui o consumo de redutor mais fortemente para proporções de sinter até da ordem de 50% para depois diminuir de forma menos acentuada.

Consumos efetivos de redutor entre 600 e 720 kg de coque por tonelada de gusa têm sido freqüentemente obtidos em usinas que empregam sinters em proporções entre 80 e 50% de sua carga (3).

Maior valor térmico dos gases

Resultando da sinterização a eliminação completa da umidade e da água de constituição dos minerais de ferro do minério, segue-se que deixam os gases dos altos fornos de serem diluídos pela proporção de vapor d'água

daquela origem. Além disso, se se adicionar às cargas dos fornos de sinterização o calcário necessário à constituição do leito de fusão, os carbonatos presentes irão ser calcinados quase que inteiramente durante a sinterização. Dessa forma, os gases resultantes dos altos fornos deixarão de apresentar a proporção de anidrido carbônico daquela origem. A consequência final é o enriquecimento apreciável dos gases dos altos fornos em seu valor térmico.

Deixando de lado a questão da umidade do minério, variável com as estações e com o armazenamento, os minérios de ferro utilizados no Brasil atualmente contêm proporções apreciáveis de água combinada, que chegam a cerca de 7%. Somente a eliminação dessa água combinada constitui por si um enriquecimento apreciável dos gases dos altos fornos.

A grande importância econômica dos gases dos altos fornos nas usinas integradas existentes no país torna recomendável o emprêgo de sinter nos altos fornos.

Maior uniformidade de produção

A maior uniformidade de composição do gusa corresponde a maior uniformidade de operação dos altos fornos cujas cargas constam principalmente de sinter. Essa circunstância é particularmente importante nos altos fornos pequenos, até 50 t de gusa por dia, cujas variações de composição entre corridas são sensíveis. A estabilidade das características aumenta com o tamanho do alto forno; mesmo assim, tem se reconhecido nas usinas americanas que o emprêgo de elevadas proporções de sinter atenua fortemente as flutuações de composição dos gusas, bem como tendem a diminuir as irregularidades de funcionamento dos altos fornos.

A razão de cargas constituídas de sinter garantirem um funcionamento mais regular e assegurar gusas de composição mais próximas em corridas seguidas reside em a superfície específica da carga se manter em faixa de muito menor variação do que quando se utilizam minérios e frondentes in natura.

Menor produção de poeiras

O emprêgo de sinter diminui também fortemente a proporção de poeiras por tonelada de gusa produzida, em virtude de estarem aglomeradas as partículas que tenderiam a ser sopradas fora pelos gases ascendentes na coluna.

Mesmo quando se empregam sinters finos, a proporção de poeiras se mantém muito abaixo dos valores encontrados nas usinas que empregam

minérios in natura que sofreram antes uma classificação prévia. Sobre-tudo os minérios que contêm água combinada, como as cangas, tendem a se desintegrar ou crepitar pela brusca eliminação de água na descida da coluna. Assim sendo, mesmo minérios previamente classificados para eliminação de poeiras, tendem, durante a descida da carga, a produzir poeiras em proporções apreciáveis.

No processo de sinterização, a aglomeração e a solda dos grânulos se faz logo em seguida à desidratação e por essa forma fica grandemente atenuada a possibilidade de produção de poeiras na descida da carga.

FATORES QUE DETERMINAM AS CARACTERÍSTICAS DOS SINTERS

As características dos sinters de minério de ferro são determinadas por muitos fatores, uns ligados diretamente aos constituintes da carga e outros dependentes do processo utilizado para a sinterização.

Numa apresentação geral como a desta contribuição é difícil abordar devidamente tôdas as influências que regulam as características dos sinters. Apesar da dificuldade são os principais, os seguintes fatores:

- a) composição granulométrica dos constituintes da carga
- b) composição química dos constituintes da carga
- c) teor em umidade da carga
- d) proporção de carvão vegetal na carga
- e) espessura da carga
- f) volume de ar que atravessa a carga
- g) depressão parcial no sistema

A composição granulométrica dos constituintes da carga engloba as influências dos minérios empregados, do calcáreo e do carvão vegetal. As granulometrias desses constituintes influenciam as características dos sinters e a economia do processo e pode se dizer que para cada minério ou para cada mistura de minérios há uma composição granulométrica ótima, para a qual se verifica a sinterização em melhores condições.

A mesma observação pode ser estendida aos outros fatores e a consequência final é que para cada minério, ou para cada mistura de minérios, deve ser estudada a influência dos outros fatores de forma a se produzir um sinter das melhores características para ser utilizado nos altos fornos.

Os quatro fatores enumerados, *a*, *b*, *c* e *d*, devem ser investigados em cada caso, para que se consigam, em melhores condições, as características desejadas para os sinters.

Os fatores *e*, *f* e *g*, dependem principalmente do processo a ser empregado e das características mecânicas do aparelhamento e devem ser determinados tendo em vista as propriedades da carga a ser sinterizada.

OS PROCESSOS DE SINTERIZAÇÃO

Generalidades sôbre os fornos de sinterização

Todos os fornos de sinterização modernos se baseiam no processo do "brest down roasting", desenvolvido simultaneamente por A. S. Dwight e R. L. Lloyd em 1913 na usina de Perth Amboy no Estado de New Jersey, para minérios de chumbo. Os processos anteriores, chamados "processos de conversão" empregavam insuflação vertical, "up roasting".

O processo consiste essencialmente em se obter uma massa sinterizada, isto é, de grânulos incipientemente soldados uns aos outros, pela ignição progressiva de uma carga úmida de minério e carvão, convenientemente proporcionada, sôbre uma grelha e de tal forma que o ar e os gases de combustão percorram-na gradualmente, de cima para baixo, forçados por um exaustor ligado à base dessa grelha.

O processo Dwight-Lloyd (conhecido também para a sinterização de minérios de ferro pelo nome processo American Ore Reduction Co) emprega uma grelha movel, contínua, que passa com velocidade variável sôbre um recinto (a caixa de vento) ligado ao exaustor. A ignição da carga é feita por uma cortina de queimadores de óleo atomizado colocado logo no princípio (no sentido do movimento da grelha movel) da caixa de vento. A descarga do sinter dá-se na extremidade plana superior da grelha, logo sôbre a polia de volta da grelha. Esse processo pode ser classificado como processo contínuo, no qual sôbre a grelha, em sua parte plana superior, existe sempre carga em curso de sinterização e em resfriamento ao ar. Esses fornos são máquinas de grande produção e que por isso mesmo exigem apreciável mecanização.

Uma modificação óbvia dêsse processo consiste em se empregar grelhas fixas. O processo passa a ser logicamente intermitente. Feita a ignição, por um carro movel dotado de um ou mais maçaricos a óleo (ou a gás de alto forno ou de gasogênio) a carga é sinterizada progressivamente de cima para baixo sôbre a grelha fixa. A carga estará sinterizada

quando a zona de sinterização atingir o nível do topo da grelha, quando o forno é descarregado para ser iniciado outro ciclo. Dois tipos principais de fornos empregam essa variante, o processo Greenawalt e o processo Mace.

O processo Greenawalt emprega, essencialmente, grandes unidades (até 23m² de área de sinterização) grandes espessuras de carga (até 55 cm) e por isso exigem grandes depressões na caixa de vento (até 120 cm de água) o que corresponde a utilizar exaustores em série, cada qual acionado por motor de 250 HP.

O processo Mace vem sendo utilizado com grande êxito em instalações relativamente pequenas em usinas de chumbo e cobre. São unidades relativamente pequenas e que trabalham nas condições de espessura de carga e de depressão comparáveis às utilizadas no processo Dwight Lloyd. Na realidade, pode ser dito com propriedade que o processo Mace corresponde ao processo Dwight-Lloyd se se paralizar a grelha movel, que é característica deste último processo. Suas vantagens, para as condições do Brasil, são: 1) unidades pequenas, que por isso dispensam grande mecanização; 2) emprêgo moderado de mão de obra; 3) flexibilidade, que torna possível ajustar à medida do necessário o funcionamento; 4) baixo custo inicial de instalação.

CARACTERÍSTICAS DOS SINTERS

Variam as características dos sinters com as variáveis examinadas anteriormente. Convém agora considerar suas características em relação à intensidade de sinterização, ao índice de redução parcial e em relação à granulometria do sinter.

Intensidade de sinterização. A intensidade de sinterização engloba a noção de grau de solda dos grânulos constituintes de carga uns aos outros. Dadas as variáveis em jogo, é difícil medir essa grandeza. Entretanto, ao mínimo de intensidade de sinterização corresponde sinter apenas incipientemente sinterizada, mas soldando-se os grânulos aos adjacentes. Resulta sinter friável, de pequena resistência mecânica e essa intensidade pode ser qualificada, para maior concisão, de “baixa”.

A diferentes condições da carga e do processo, correspondem diferentes intensidades de sinterização. No extremo, as intensidades máximas correspondem à fusão localizada que determina o coalescimento dos grânulos originais em concreções maiores. À essa intensidade extrema pode

ser adotado o qualificativo “alta”. Convém notar que essas noções não incluem qualquer concêito acerca das modificações de composição, visto que outros são os fatores que as determinam.

Na realidade, a intensidade de sinterização poderia ser medida pela profundidade atingida na sinterização, muitas vêzes acompanhada de recristalização dos minerais originais. É entretanto difícil essa verificação e por êsse motivo preferiu o autor considerá-la qualitativamente.

Os sinters “baixos”, na realidade insuficientemente sinterizados, são indesejáveis em virtude de lhes faltar resistência mecânica. Os sinters “altos”, excessivamente sinterizados, apresentam também o inconveniente de, por serem muito resistentes, oferecem granulometria tal que passa a ser deficiente o contato com os gases redutores na coluna, e além disso, apresentam maior espessura para a penetração dos gases redutores. O aspecto sob o ponto de vista da granulometria será abordado mais adiante. Cumpre notar ainda que os sinters “altos” apresentam um início de escorificação e os silicatos ferrosos que podem vir a ser formados, ainda que incipientemente, constituem uma grande desvantagem para a redução.

A experiência mostra, ainda que qualitativamente, que há uma região ótima de intensidade de sinterização, dentro da qual se obtém o melhor balanceamento entre a resistência mecânica e a redutibilidade. Às menores intensidades correspondem sinters friáveis; às maiores, sinters menos redutíveis e de granulometria desfavorável, resultante que é da coalescência dos grânulos constituintes.

Índice de redução parcial. É naturalmente desejável que o sinter apresente a maior proporção possível de óxidos menos oxidados de ferro. A vantagem de uma carga que, com propriedade, tem sido qualificada em metalurgia de chumbo de “pre digerida” (2) é evidente. Tem mesmo sido largamente utilizada recentemente na pirometalurgia de certos metais não ferrosos, chumbo, cobre e estanho principalmente.

Melhora a eficiência do alto forno com a carga pre-digerida visto que êle passa apenas a completar a ação redutora já iniciada no processo de sinterização e dentro das melhores condições de superfície específica. Fôsse possível obter, no caso extremo, uma esponja de ferro — tão adiantada houvesse sido a redução parcial — passaria o alto forno a funcionar como aparelho de fusão. Essa condição não é verificada completamente nos altos fornos, muito embora alguns fornos de cuba para redução de sinters de chumbo, de cobre e de estanho, se aproximem bastante de verdadeiros aparelhos de fusão.

O índice de redução parcial pode ser definido como a porcentagem de oxigênio eliminado no processo de sinterização em relação ao oxigênio total existente combinado ao ferro na carga original.

É influenciado principalmente pelos seguintes fatores:

1) natureza do minério, 2) sua granulometria, 3) porcentagem de carvão, 4) altura da carga de sinterização, 5) vazão do exaustor. As variáveis 3 a 5 influenciam a temperatura (mais propriamente o andamento da curva temperatura-tempo no ponto considerado da carga) e a manutenção de condições redutoras necessárias antes e depois de se verificar o máximo de temperatura no ponto considerado.

É evidente que os fatores 1 e 2 influenciam apreciavelmente o índice de redução parcial, visto que, a determinadas condições de altura de carga, de proporção de carvão e de vazão do exaustor, a cargas de diferentes minérios e a cargas de diferentes granulometrias de mesmos minérios correspondem diferentes profundidades de penetração da difusão CO para Fe_xO_y .

O autor não tem experiência acerca de cargas constituídas por magnetita e por isso nada pode afirmar acerca de seu comportamento durante o processo de sinterização das jacutingas, extremamente finas (% abaixo de 100 mesh) é elevado o valor do índice, dependendo das outras variáveis. Já para as cargas, esses índices são consideravelmente menores, possivelmente devido a eliminação da água combinada, por sua tensão de vapor, atenuar o coeficiente de difusão do CO para dentro do grânulo(3).

Granulometria dos sinters. Considerando agora a granulometria dos sinters, isto é, seu dimensionamento tal como resulta da descarga dos fornos para o carregamento nos altos fornos, é evidente que deve existir uma certa faixa para a qual é mais eficiente a redução e para a qual se verifica em melhores condições as reações e as trocas térmicas. Convém frisar aqui que a granulometria do sinter, tal como considerada, é independente da noção de superfície específica. Sinters de igual superfície específica podem ser britados de forma a apresentarem granulometrias muito diferentes. É evidente que na prática a granulometria do sinter depende estreitamente da intensidade de sinterização. Um sinter "alto" tende a ser excessivamente resistente: na descarga sobre as grelhas moveis que irão separar os retornos, irá se fragmentar em grandes blocos (muitas vezes de mais de 50cm de diâmetro máximo). Ao contrário um sinter "baixo" tende a se subdividir excessivamente, resultando carga por demais fina para o funcionamento do alto forno.

À primeira vista parece que o melhor sinter para o alto forno deva ser o sinter de grande resistência e que se fragmente em grandes blocos. O autor estranhou mesmo ao constatar a baixa intensidade de sinterização na produção de sinter na usina da Youngstown-Sheet & Tube Co, em Youngstown, Ohio, Estados Unidos. Entretanto, é óbvio que o sinter de grande diâmetro médio constitua carga por demais aberta para o alto forno, tornando-se desfavorável o contacto da carga com os gases ascendentes.

Em uma usina americana (3) foram experimentados em períodos diferentes e no mesmo alto forno sinters grosso e fino. Esses sinters correspondiam à mesma intensidade de sinterização e suas granulometrias foram propositadamente diferenciadas. Numa experiência, durante um mês, em que o sinter era: + 2" 20%, — 2" + 1" 40% e — 1" 40%, o consumo médio de coque foi de 890 kgt de gusa e a temperatura dos gases na saída do alto forno variaram entre 370 e 410°C. Em outra experiência, de igual período o sinter era + 2" 0.87%, — 2" + 1" 8.74% e — 1" 90.39% e o consumo de coque baixou a 595 kg/t de gusa (durante uma semana se manteve em torno de 580 kg/t) e a temperatura dos gases na saída oscilou entre 180 e 210°C.

Resulta assim que o sinter deve ser razoavelmente fino. Aliás essa constatação parece natural, se se lembrar que cargas finas, como a do exemplo, são na realidade muito mais porosas do que cargas correspondentes de minérios in natura.

CONCLUSÕES

1. O emprêgo de cargas constituídas por apreciável proporção de sinter assegura baixo consumo de redutor por tonelada de gusa, aumenta a produção de gusa do alto forno melhora a composição dos gases, diminui a quantidade de finos a ser recuperada como poeira nos aparelhos de purificação de gases e, finalmente, atenua as oscilações de composição.
2. O emprêgo de sinter permite aproveitar minérios finos geralmente de diâmetro máximo inferior a 1cm, que resultam das operações de britamento, classificação e transporte de minérios de ferro.
3. A sinterização constitui o processo que torna possível utilizar com grandes vantagens minérios pulverulentos ou friáveis.

4. Permitindo a sinterização corrigir a superfície específica, torna-se possível o aproveitamento eficiente dos minérios compactos de elevada pureza e de teor muito baixo em fósforo.

5. O combustível para a sinterização é a moinha de carvão vegetal, a qual atualmente não é aproveitada nas usinas siderúrgicas nacionais.

6. A sinterização constitui o processo para, além das vantagens enumeradas em 1, produzir gusas especiais de baixo teor em fósforo a partir de hematitas compactas ou de magnetitas de teor extremamente baixo nesse elemento.

7. A não ser em circunstâncias especiais, o custo adicional da sinterização compensa com ampla margem as vantagens que resultam de seu emprêgo, enumeradas em 1.

REFERÊNCIAS

- (1) E. W. Shallock — *Thirty Years of Iron Sintering*, Blast Furnace & Steel Plant, Fev. 1940.
- (2) C. E. Agnew — *Smelting Sinter in the Blast Furnace*, Steel, 15 e 22 Fev. 1943.
- (3) R. S. Sweetser — *Smelting Sintered Magnetite*, trabalho inedito cedido pelo seu autor em Jun. 1943.