

Combustão de madeira e controle de poluição em cerâmicas

Engenheiro Mecânico Harald Blaselbauer

A geração de calor para os processos de queima e secagem em cerâmicas vermelhas, realizada pela combustão de hidrocarbonetos, é em síntese, a oxidação de carbono e hidrogênio com oxigênio, produzindo como resultado a liberação calor e a produção de gases de combustão, vapor de água e material particulado.

Os hidrocarbonetos apresentam composição predominante de compostos à base de hidrogênio e carbono, abundantes na natureza. A maioria das cerâmicas vermelhas utiliza como fontes de energia térmica madeira de eucalipto, pinus, bagaço de cana, bambu, capim elefante e raramente gás natural ou óleo BPF (combustíveis de origem fóssil).

A predominância das empresas deste segmento opta pela utilização de madeira de eucalipto ou pinus sob a forma de toras (lenha), cepilhos, cavacos ou pó, em função dos seguintes fatores:

- Disponibilidade;
- Custo;
- Renovável e auto-sustentável.

É importante conhecer as reações de oxidação que ocorrem na combustão e suas conseqüências, observando que cada componente químico do combustível apresenta mecanismos específicos de oxidação.

1. COMPOSIÇÃO DA MADEIRA:

A análise da composição química elementar da madeira, proveniente de diversas espécies, obteve a seguinte composição média na base seca:

CARBONO - C - 49 a 50 % (combustível)

HIDROGÊNIO - H - 6 % (combustível)

OXIGÊNIO - O - 44 %

NITROGÊNIO - H - 0,1 A 1 %

CINZAS: 0,2 % produzidos por substâncias incombustíveis.

Encontram-se outros elementos químicos em pequenas quantidades tais como: cálcio, potássio, sódio e magnésio.

Relacionamos abaixo os mecanismos de oxidação dos componentes da madeira:

1.1 CARBONO:

REAÇÃO N. 1: $C + O_2 = CO_2 + 8.050 \text{ Kcal /kg de C}$

A reação completa de oxidação do carbono ocorre quando há disponibilidade de oxigênio suficiente. Observamos que nesta reação ocorre a maior liberação de calor por Kg de C. Portanto, ao oxidar um átomo de carbono será inevitavelmente produzida uma molécula de gás carbônico ou dióxido de carbono.

No entanto quando não há oxigênio em quantidade suficiente ocorre a combustão incompleta do carbono que libera uma quantidade reduzida de calor, como podemos observar na reação abaixo:

REAÇÃO N. 2: $2C + O_2 = 2CO + 2.380 \text{ Kcal/kg de C}$

Comparando a reação n. 2 com a n.1, observamos as seguintes diferenças:

- Disponibilização de apenas 29,6% do calor liberado em relação à reação n. 1, aumentando o consumo de combustível;
- O monóxido de carbono é inflamável, portanto passível de uma nova combustão, conforme a reação n. 3 (a seguir);
- O monóxido de carbono CO é um gás insípido, inodoro, incolor. Daí se conclui que é impossível detectar sua presença em um ambiente sem a utilização de analisadores eletrônicos de gases. Além de elevar o consumo para gerar o calor necessário ao processo, o monóxido de carbono é extremamente tóxico. Ao ser inalado tem o poder de impedir a troca de gases pelo sangue, provocando a intoxicação. A exposição de um indivíduo a uma concentração de 2.000 PPM por uma hora provoca desmaio e perda de consciência, se este período for prolongado causará a morte.

1.2 HIDROGÊNIO:

A queima de hidrogênio libera alta carga de calor e resulta em vapor de água.



1.3 UMIDADE:

A umidade é um fator muito importante na combustão de madeira. Após o corte, a madeira contém em média 50 a 60 % de umidade. Estocada em local coberto após seis a oito meses sofre uma redução para 15 a 20 %. Para observar a importância da umidade no poder calorífico do cavaco picado de madeira tomamos como base a geração de 1.000.000 Kcal, comparando o consumo de madeira nas diversas faixas de umidade.

% UMIDADE	PODER CALORÍFICO POR Kg DE CAVACO	CONSUMO EM KG PARA GERAR 1.000.000 KCAL	AUMENTO NO CONSUMO EM RELAÇÃO AO CAVACO COM 10% DE UMIDADE
10	3930	254,45	
15	3675	272,11	6,94%
20	3425	291,97	14,74%
25	3175	314,96	23,78%
30	2925	341,88	34,36%
35	2675	373,83	46,92%
40	2425	412,37	62,06%
45	2175	459,77	80,69%
50	1920	520,83	104,69%
55	1670	598,80	135,33%
60	1420	704,23	176,76%
65	1170	854,70	235,90%

Em algumas cerâmicas de São Paulo os cavacos são acondicionados e protegidos contra intempéries em galpões especialmente construídos para este fim com capacidade de armazenamento de até 8.000 m3.

Pás carregadeiras removem as pilhas de cavacos de cinco a seis vezes ao dia, proporcionando contato do produto com o ar e sua secagem natural, reduzindo a umidade de 40% para patamares que variam de 10 a 20 %, gerando reduções no consumo de madeira e melhorando o processo de queima pela queda da quantidade de vapor de água no interior dos fornos.

Observaremos que a utilização de uma quantidade menor de combustível implica de forma direta a redução de elementos na atmosfera.

1.4 EXCESSO DE AR PARA COMBUSTÃO:

A combustão é o processo de reações químicas produzidas durante a oxidação completa ou parcial do carbono, hidrogênio e enxofre contidos em um combustível. A análise destas reações é calculada através de balanço de massas e de balanço térmico. No balanço de massas leva-se em consideração a quantidade de ar empregada para a combustão, sendo a referência a quantidade mínima exata para reagir completamente com o combustível, chamada de quantidade estequiométrica.

A quantidade ideal de ar para combustão de um sistema é definida estequiometricamente, que é a reação de oxidação teórica que determina a quantidade exata de moléculas de oxigênio necessária para efetuar a completa oxidação de um combustível.

No balanço térmico são analisadas as quantidades de calor liberadas, a temperatura da combustão e a quantidade de calor perdido na exaustão. O controle da quantidade de ar utilizada na combustão é muito importante para a obtenção de uma reação equilibrada. Toda combustão trabalha com um excesso de ar de combustão para garantir a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação de 100% dos hidrocarbonetos.

Para o cavaco de madeira este excesso pode ser até 70%, no entanto, na prática não são raros os casos em que estes percentuais ultrapassam 200 a 400%, provocando o aumento indesejável da massa dos gases de combustão, resfriando-os, o que requer a queima de uma quantidade complementar de combustível para manutenção da temperatura do processo.

1.5 QUALIDADE DA COMBUSTÃO:

Como demonstramos acima, a qualidade da combustão e o controle da umidade são fatores importantes para a redução do consumo específico de madeira por tonelada de argila queimada. A qualidade da combustão somente pode ser mensurada com a utilização de analisadores dos gases, que definem a eficiência da combustão através da análise da composição química dos gases, que varia em função dos equipamentos utilizados para a queima, e que apresenta rendimento variável entre 60 a 93%.

Os gases de combustão são compostos por:

CO₂ - gás carbônico ou dióxido de carbono. A redução na emissão é desejável em virtude do efeito estufa provocado pelo excesso deste gás na atmosfera.

CO - monóxido de carbono, que apesar de combustível poderia ser requeimado, no entanto como se encontra misturado aos gases a requeima não é possível tecnicamente.

H₂O - Água.

Cinzas - As cinzas são produzidas pela presença de elementos na madeira que são incombustíveis, apresentam características específicas e se apresentam sob a forma de material particulado (MP).

Fuligem - Além das cinzas produzidas pela combustão normal, a combustão incompleta promove condições para a geração de fuligem, em muitas vezes sob a forma de carbono não queimado, apresentando-se sob a forma de material particulado de coloração negra ou acinzentada, com composição granulométrica da ordem de 1 a 30 microns (1 microns corresponde a um milésimo de mm).

Compostos de NO_x: Os equipamentos para queima do combustível podem produzir óxidos de nitrogênio que liberados na atmosfera se recombina com outros compostos, produzindo elementos altamente corrosivos, ocorrendo com mais frequência na queima de combustíveis líquidos.

2.0 CONTROLE DA POLUIÇÃO:

Conceitualmente a poluição é a liberação de substâncias e/ou elementos sólidos, líquidos ou gasosos em um ambiente, alterando o seu equilíbrio e as condições saudáveis de vida para o ser humano, a fauna e a flora. Os

padrões de qualidade do ar definem as concentrações máximas legalmente estabelecidas para um poluente na atmosfera, garantindo a proteção da saúde e do meio ambiente. Os padrões de qualidade do ar são baseados em estudos científicos dos efeitos produzidos por determinados poluentes e são fixados em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA é o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA, instituído pela Lei 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto 99.274/90. Uma vez produzido o CO₂ é liberado para a atmosfera e não há nenhuma forma de transformá-lo, a não ser por reações fotossintéticas realizadas por plantas e algas.

2.1 MEDIDAS INDIRETAS NO CONTROLE DE POLUIÇÃO DO AR:

- Impedir a geração de poluente com proibição da realização de queimadas;
- Diminuir a quantidade gerada pela racionalização da utilização de combustível.

2.2 - MEDIDAS DIRETAS NO CONTROLE DE POLUIÇÃO DO AR:

Dependendo da aplicação e do tipo de poluente produzido pelo processo podem ser dimensionados vários equipamentos, desde lavadores de gases com coluna vertical ou horizontal, lavadores tipo Venturi, ciclones ou multiciclones, precipitadores eletrostáticos, filtros de mangas, entre outros. O que definirá o tipo de equipamento mais adequado para cada aplicação será:

- o tipo de poluente com relação a sua constituição: sólido, líquido ou gasoso;
- a quantidade em massa (t/hora) de cada componente produzido pela combustão;
- a forma para neutralização ou retenção dos poluentes produzidos;
- a eficiência é definida pela relação entre a quantidade de poluente na saída e entrada da chaminé, onde cada componente deverá ser limitado ao máximo permitido por lei;
- a presença de gases inflamáveis, explosivos, corrosivos ou alcalinos e suas respectivas concentrações.

No caso de material particulado, devem ser definidas:

1. Concentração de material produzido pela fonte poluidora em g/Nm³;
2. Densidade específica aparente do material particulado (t/m³) (sem compactação);
3. Faixa granulométrica dos poluentes produzidos (microns);
4. Faixa de umidade;
5. Temperatura dos gases na chaminé.

Na prática as cerâmicas devem realizar o controle das emissões de materiais particulados e dos níveis de CO (monóxido de carbono) dentro dos limites exigidos. Quando se utiliza o óleo BPF ou carvão mineral com concentrações expressivas de enxofre, devem ser monitorados os limites máximos, exigindo a instalação de equipamentos para neutralização destes compostos. A escolha do melhor método de controle deve ser precedida da análise dos poluentes e suas respectivas concentrações.

A- LAVADORES DE GASES:

Os lavadores de gases são colunas horizontais ou verticais, dotados de circuitos hidráulicos compostos por: bomba, rede hidráulica, bicos pulverizadores e tanque para armazenamento da água ou solução recirculante, lavagem dos contaminantes com água ou soluções.

São utilizados de forma mais freqüente em instalações para neutralização de gases corrosivos com baixas concentrações de materiais particulados e faixas granulométricas superiores a 250 microns.

Utilizados para a retenção de gases com baixas concentrações de materiais particulados, apresentam algumas desvantagens operacionais importantes:

- Baixa eficiência de coleta para particulados com frações finas, o que não garante a obtenção dos níveis de emissões máximas exigidos pelos órgãos ambientais;
- Elevado consumo de água pela evaporação provocada pelo contato dos gases quentes com o fluido recirculante;
- Elevado índice de manutenção com paradas programadas e não programadas, para remoção do material acumulado no fundo do tanque e limpeza do circuito hidráulico e seus componentes.

B - CICLONES E MULTICLONES



Os ciclones e multiclones são coletores inerciais que impõem uma força centrífuga no interior de cilindro com entrada tangencial, projetando as partículas do fluxo de ar contra suas paredes, removendo-as do fluxo de gases. São equipamentos utilizados para material particulado com frações grossas entre 80 a 200 microns.

Apresentam as seguintes desvantagens:

- Baixa eficiência de coleta para particulados com frações finas;
- A eficiência de ciclones e multiclones está diretamente relacionada à sua geometria e a velocidade tangencial produzida no interior do cilindro principal, diretamente relacionado à eficiência de coleta.

C - FILTROS DE MANGAS TIPO JATO-PULSANTE



A utilização de elementos filtrantes têxteis é a mais recomendada para a retenção de materiais particulados presentes em fluxos gasosos, com predominância granulométrica entre 3 a 50 microns. Os elementos filtrantes são fabricados em tecidos técnicos, costurados em formatos cilíndricos, denominados comercialmente como "mangas filtrantes". A principal variável que determinará o tamanho de um filtro de mangas é a relação definida entre a vazão volumétrica e a área filtrante total disponível, também chamada de taxa ou velocidade de filtração, definida em $m^3/m^2/min$.

A velocidade de filtração é definida mediante o fornecimento das seguintes variáveis:

- Vazão volumétrica de gases a serem filtrados (m^3/h);
- Concentração de material particulado presente no fluxo de gases;
- Tipo de contaminantes e a determinação de suas características físico químicas;
- Faixa granulométrica do material particulado;
- Densidade específica aparente;
- Temperatura dos fluxos de gases;
- Quantidade residual máxima de material particulado na descarga do filtro;
- Capacidade de fluidização;

- Selecionar a fibra têxtil mais apropriada, podendo adotar desde um poliéster a um tecido fabricado com fibra 100 % teflon.

A velocidade de filtração pode variar de 0,10 a 4,0 m³/m²/min. Os filtros de mangas utilizados para fins industriais apresentam áreas filtrantes de 10 m² a 1.000 m², podendo chegar a 10.000 m² para aciarias e mineradoras.

Fonte: Revista Novacer – Junho 2010 – Edição 05