

Apêndice F

Fuligem e coque

Apêndice F – Fuligem e coque

F.1. Fuligem

“O material orgânico residual formado em chamas é denominado fuligem e se constitui de partículas, de formato próximo ao esférico e de diâmetro médio na faixa de 200 a 400 Angstroms, constituídas basicamente de carbono e hidrogênio na proporção molar próxima à 9:1.

A emissão de fuligem é indesejável tanto do ponto de vista ambiental como de conservação de energia; inclusive parte dessas emissões pode se constituir de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos carcinogênicos. Por outro lado, partículas de fuligem são a principal causa da luminosidade das chamas e sua formação é promovida quando se quer maximizar a transferência de calor por radiação da chama para as paredes da câmara de combustão, pois ao contrário de gases como CO_2 e H_2O , que só emitem radiação em determinados comprimentos de onda, a fuligem emite e absorve ao longo de toda o espectro, inclusive na região visível.

Portanto, em alguns casos, é interessante inibir a formação de fuligem na chama e em outros promover e, numa região subsequente à chama, destruir, via oxidação, de forma a contemplar os aspectos poluição e troca de calor por radiação.

Os mecanismos de formação e oxidação da fuligem são ainda pouco conhecidos, existindo inclusive, controvérsias em relação a uma série de pontos. No processo de formação são identificados, basicamente, os seguintes estágios: formação dos precursores, nucleação, coagulação e crescimento superficial, e aglomeração.

Esses estágios de geração e de crescimento da partícula, que constituem o processo de formação de fuligem, são frequentemente seguidos por um estágio de oxidação. Portanto, a eventual emissão de fuligem em sistemas de combustão, dependerá de um balanço entre os processos de formação e queima.

Quanto à influência de parâmetros na formação e na emissão de fuligem na queima de combustíveis líquidos, de maneira geral, pode-se apontar a seguinte tendência: quanto maior a taxa de evaporação da gota, menor será a quantidade de fuligem formada. Para compreensão dessa tendência, deve-se considerar:

- *A fuligem é formada por polimerização em ambiente redutor dos produtos da pirólise do combustível;*
- *Esse ambiente existe na camada limite em torno da gota;*
- *Quanto maior o ritmo de evaporação, menor será o tempo de residência dos voláteis na camada limite;*
- *Além disso, praticamente toda volatilização se dará próximo ao bocal do queimador – região de alta temperatura e concentração de O_2 , o que facilita a oxidação da fuligem formada.*

Os principais efeitos que propiciam maior taxa de evaporação da gota e, conseqüentemente, menor comprimento de chama; menor distância entre o bocal do queimador e o ponto de ignição, são os seguintes:

- *Diminuição do diâmetro médio da gota;*
- *Aumento do índice de rotação do queimador;*
- *Aumento da temperatura da câmara de combustão;*
- *Aumento da relação ar primário/ar estequiométrico;*
- *Aumento do coeficiente de ar total.*

Quanto à emissão de fuligem, será função, basicamente, da quantidade da distribuição granulométrica das partículas que atingem a frente da chama, e das condições locais. Assim, genericamente, o processo tenderá a não emitir fuligem, caso esta atinja o topo da chama em pequena quantidade, tenha diâmetro reduzido, encontre temperatura e teor de O_2 relativamente altos e ainda, permaneça nessa região por um tempo suficiente para sua completa oxidação.

A figura F.1 ilustra um experimento em que se estudou a oxidação completa de uma partícula de fuligem de 100 Å (Angstroms) em função dos seguintes parâmetros: tempo de residência, temperatura e pressão parcial de O_2 . Na figura, nota-se que, para a partícula ser totalmente consumida, para cada pressão parcial de O_2 , até uma dada temperatura, são necessários tempos de residência cada vez menores conforme se aumenta a temperatura; tal fato pode ser intuitivamente entendido. Atingida determinada temperatura, diferente para cada pressão parcial de O_2 , a dependência temperatura-tempo de residência passa a ser exatamente oposta, ou seja, temperaturas maiores exigem maiores tempos de residência; tal fato é explicado considerando-se que a fuligem, ao atingir determinada temperatura, relativamente alta e cujo valor será função da composição da atmosfera que circunda a partícula, sofrerá alterações de estrutura de forma a se tornar mais resistente à difusão do oxigênio. Nota-se também, que para temperaturas inferiores a, aproximadamente, 1800 K, o processo é relativamente independente da pressão parcial de O_2 . Tal fato é explicado considerando-se que, mesmo no caso da menor pressão (0,01 atm) a exigência estequiométrica já é atendida e, inclusive, quantidades adicionais de oxigênio terão efeito adverso à medida que acarretarão em redução na temperatura. Para temperaturas superiores a 1800 K, a pressão parcial de O_2 passa a ter forte influência de forma que, mantida a temperatura, maiores pressões parciais permitem a operação com menores tempos de residência. A explicação para isso pode ser atribuída não ao aspecto estequiométrico, mas sim à influência de uma atmosfera mais ou menos oxidante no ponto de deformação da estrutura da partícula de fuligem” (IPT, 2002).

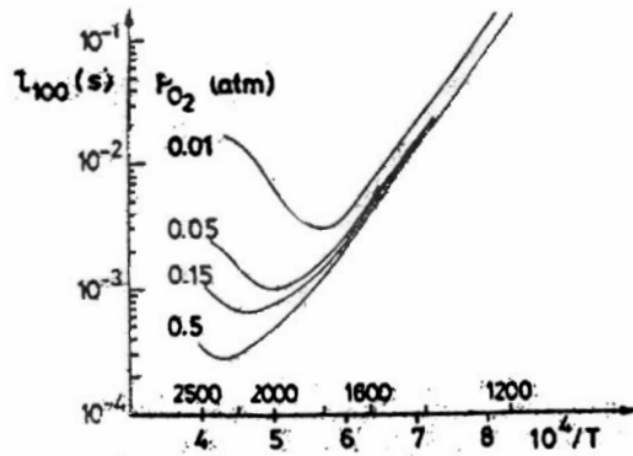


Figura F.1 – Efeito da temperatura e da pressão parcial de oxigênio no tempo necessário à oxidação completa de uma partícula de fuligem de diâmetro igual a 100 Å (Angstroms) (IPT, 2002).

“De maneira geral, pode-se dizer que um processo de combustão que tenha condições favoráveis à formação de fuligem, muito provavelmente tenha, também, alta propensão à emissão de material particulado.

Infelizmente, poucos trabalhos experimentais foram feitos a cerca do assunto, principalmente experiências que envolvam o levantamento dos perfis de concentração de fuligem ao longo de chamas.” (IPT, 2002)

F.2. Coque

“As partículas de coque numa câmara de combustão provêm das gotas originadas da nebulização do combustível. Tais partículas poderão ser emitidas para a atmosfera, via corrente gasosa, caso não se oxidem completamente na câmara de combustão. As taxas de emissão de coque são função da natureza do combustível, das características do sistema de combustão e das variáveis operacionais do processo.” (IPT, 2002)