

A importância da exaustão nos sistemas de cura ultravioleta

copyright 2005 © por Márcio Moraes – pesquisador VisionCure® e Alphacure®
27/06/2005

É perceptível, através de um rápido inventário junto aos fabricantes de equipamentos, que a utilização de sistemas de exaustão de calor é relevante aos processos de cura por emissão ultravioleta. Todos os equipamentos que trabalham em regime de esteira (drive-thru) utilizam alguma forma de exaustão, seja para retirar o calor produzido pela lâmpada em trabalho, seja para retirar os vapores de evaporação do substrato.

Porém, minha experiência em campo, traz uma consideração importante: a maioria dos equipamentos, seja para o setor moveleiro ou ainda para o setor gráfico, operam com sistema de estrangulamento de vazão mecânico. Isto quer dizer que o incremento ou decremento da taxa de vazão da exaustão se dá pela abertura ou obstrução do duto, normalmente através de uma escotilha regulável na abertura da ventoinha/turbina.

O grande problema é que tal escotilha, na grande maioria dos casos, vem desde o fabricante do equipamento, aberta ao máximo, ou próximo disto, o que quer dizer que não está cumprindo papel nenhum, por permitir passagem total de ar. Afinal, se existe tal dispositivo mecânico, por que não utilizá-lo?

A resposta para tal dilema talvez deva considerar a série de aspectos referentes à estabilização térmica e elétrica de uma lâmpada de média pressão de vapor de mercúrio, igualmente chamada lâmpada UV.

Primeiramente temos de considerar como se distribui a potência consumida por uma lâmpada deste tipo e principalmente os tipos de perda de potência, a saber:

- radiação: a mais importante ao processo pois é ela quem vai sensibilizar a tinta/verniz. Não é uma perda propriamente dita, mas o objetivo do emissor
- condução: aquela que se dá pela transmissão da temperatura do arco para a parede interna do bulbo da lâmpada, por meio do gás de partida
- convecção: perda vinculada ao movimento do gás de partida (normalmente um gás raro), que pode ser de diferente intensidade em função do posicionamento da lâmpada ou movimentação da mesma durante o processo
- difusão: perda vinculada ao deslocamento, mesmo que raro, de elétrons do arco central para a região periférica, que fica entre a parede do bulbo e o feixe central, também chamada de *espaço anular negro*, em função de sua forma e (quase) ausência de elétrons livres.

De todas estas formas de perdas de potência, excluída a perda por radiação (*Prad*), que é o objetivo da lâmpada UV, as demais vão reduzindo a taxa de emissão do sistema.

Tanto observações empíricas, como cálculos, levam a conclusão, em sistemas de cura com lâmpadas posicionadas na horizontal (e sem movimento axial), que o somatório destas demais perdas se situa entre 8 e 12 w/cm. Assim, para facilitar a sistematização, nos valem do valor de 10 w/cm como pressuposto de perdas não vinculadas à emissão uv, ou seja, à radiação.

É importante mencionar as perdas acima, pois o uso de sistemas que, por exemplo, trabalhem com altas taxas de exaustão, ou ainda, com lâmpadas em movimento, ou posicionadas na vertical, encontrarão perdas diferentes, o que comprometerá a intensidade da emissão do sistema.

Precisamos reiterar que nem toda a emissão (espectro) produzido pela lâmpada UV é útil ao processo de polimerização de tintas e vernizes e que, por mais puro que seja o quartzo empregado, sua taxa de transmissão na faixa (UVA até UVV) fica entre 92 e 95%. Assim, o devido controle de materiais estranhos depositados sobre o vidro garante boa emissão, de modo que devemos lembrar que a exaustão (sem limpeza) é a responsável por parte do transporte destes materiais indesejados.

Entretudo, mesmo levando em consideração as perdas pela transmissão do vidro e ainda o comportamento do espectro de emissão UV (desenho da distribuição da energia nos diferentes comprimentos de onda), devemos voltar ao tema do *espaço anular negro*.

O *espaço anular negro*, como dito anteriormente, é o espaço vazio (preenchido com poucos mm de gás raro) situado entre o arco da lâmpada e a parede interna do bulbo. Tal espaço, sendo compatível à intensidade do arco (A/cm²) e ao diâmetro interno do bulbo, absorve parte da emissão gerada no plasma. Assim, pode-se estimar que a potência (útil) radiada por uma lâmpada UV de média pressão pode ser expressa nos seguintes termos:

$$Prad = 0,72 x (P - 10)$$

Na formula acima, tanto *Prad* como *P*, são expressos em w/cm, sendo que *P* expressa a potência da lâmpada, relativa ao comprimento de cura (comprimento de arco). O “10” mencionado na fórmula se refere a todas as demais perdas anteriormente elencadas.

Observando-se atentamente a fórmula podemos concluir num primeiro momento que na medida em que formos reduzindo a potência da lâmpada (seja pela redução da tensão ou da corrente) teremos a potência de radiação igualmente diminuída, posto que as demais perdas são constantes (10 w/cm), independentemente do tipo de lâmpada.

Façamos um cálculo exemplificatório, para a lâmpada típica do setor moveleiro, com arco de 50 polegadas (127cm) e potência de 10kW.

$$Prad = 0,72 \times (P - 10)$$

$$P = 10.000 \text{ W} : 127 \text{ cm} = 78,74 \text{ w/cm}$$

$$Prad = 0,72 \times (78,74 - 10)$$

$$Prad = 49,49 \text{ w/cm}$$

O resultado, nos leva a pensar que a potência total máxima de radiação UV de uma lâmpada deste tipo é de 49,49 w/cm, neste caso, com o arco de 127cm, a potência da lâmpada, na faixa UV, é de 6285,60 W. Assim, para um consumo de 10kW, a lâmpada, na melhor situação de uso, emite energia luminosa no espectro UV, na ordem de 6,29 kW.

A emissão máxima de uma lâmpada está intimamente ligada ao alcance dos valores nominais (de projeto) de tensão (estabilizada), corrente (estabilizada) e frequência (em nosso caso admitida senoidal entre 50 e 60 Hz). A lâmpada acima mencionada foi projetada para uma tensão estabilizada de 1570V, com corrente de 7,0 A. Isto nos leva a uma potencia 10990VA, ou 10000W (se aplicarmos o fator de potência típico deste projeto).

Caso tenhamos, por qualquer motivo tensão estabilizada ou corrente menor, igualmente teremos menor potência. Veja o exemplo.

$$Prad = 0,72 \times (P - 10)$$

$$U = 1480V \text{ (problemas na exaustão : indicador de excesso)}$$

$$I = 5,3 \text{ A (problemas na fonte, transformador, indutor ou capacitores)}$$

$$P = 1480V \times 5,3 \text{ A} \times f.p. = 7844 \times 0,91 = 7138 \text{ w}$$

$$P = 7.138 \text{ W} : 127 \text{ cm} = 56,20 \text{ w/cm}$$

$$Prad = 0,72 \times (56,20 - 10)$$

$$Prad = 33,27 \text{ w/cm}$$

Percebemos que uma leve redução na tensão e corrente pode provocar baixa considerável na radiação. Reduzindo a potência de 10kW para 7,138kW (menos 28,6%), tivemos uma redução na radiação de 49,49 w/cm para 33,27 w/cm (menos 32,8%). Tais perdas não consideram as relacionadas ao eventual baixo rendimento dos refletores.

Excluídos eventuais alterações na corrente em decorrência de transformadores mal rebobinados, ou capacitores danificados, pensaremos agora a influência da exaustão na tensão estabilizada da lâmpada.

São vários, os fatores, que contribuem para um determinado nível de tensão estabilizada, a saber:

- diâmetro interno do bulbo
- comprimento do arco
- pressão do vapor de mercúrio
- pressão do gás de partida
- corrente do sistema
- formato de onda da corrente elétrica
- posição da lâmpada
- rotação do bulbo
- temperatura da parede do bulbo

De todos estes fatores, o que mais nos interessa no presente artigo é o último, justamente por ser a exaustão a grande responsável pelo nível de temperatura da parede do bulbo de quartzo.

A temperatura do vidro vai depender muito da temperatura do arco, e esta última, dependerá da quantidade de mercúrio presente no bulbo, bem como da potência da lâmpada.

Na lâmpada aqui analisada (arco 127cm e potência de 10kW), a temperatura do arco é de aproximadamente 4585°C e a do gás raro é de 4496°C e a do bulbo (sem exaustão) é de 765°C.

Como a alta temperatura é prejudicial ao processo são empregados sistemas de exaustão, a fim de que toda a energia térmica gerada pela lâmpada não seja refletida diretamente sobre o substrato.

É prudente mencionar que a temperatura externa medida e descrita anteriormente (765°C), refere-se a uma lâmpada de vapor de mercúrio puro, ou seja, sem adição de outros metais.

A adição de haletos metálicos (como gallium) ao mercúrio, para obtenção de outros espectros de emissão, provoca mudança na temperatura da descarga (temperatura do arco). Logo a temperatura do bulbo tenderá a ser ligeiramente menor, o que deve ser compensado por uma menor taxa de exaustão, afinal sabe-se que a manutenção da “ideal” temperatura de trabalho no bulbo, garante a potência radiada da lâmpada. Assim, pode-se concluir que as perdas por condução, que são na ordem de 10 w/cm nas lâmpadas de mercúrio, podem chegar a 15 w/cm nas lâmpadas aditivadas.

Discutido os aspectos que interferem na temperatura do bulbo e sabendo que tal temperatura é proporcional à tensão estabilizada, precisamos identificar qual a temperatura ideal, para que tenhamos a tensão ideal.

É inviável a colocação de sensores de contato sobre o bulbo, sob pena de danificá-lo. Igualmente é inviável a utilização de sensores de temperatura por infravermelho pois a reflexão dos refletores ou ainda a intensidade do arco provocariam erros de medida. Desta forma, uma boa alternativa seria a de medir a temperatura do ar, na saída da exaustão, que seria, em última análise, um parâmetro de medida indireta da temperatura do bulbo.

Se conectarmos um voltímetro no secundário do transformador (nos dois cabos que alimentam a lâmpada) e darmos partida no sistema teremos inicialmente uma tensão baixa (em torno de 200 a 300V) que irá subindo proporcionalmente ao incremento da temperatura do bulbo, fenômeno devido ao aumento da pressão interna do vapor de mercúrio.

A tensão, no caso analisado, deveria subir até, no máximo 1570V (+50V), que é a tensão nominal de projeto de tal lâmpada. Caso seja encontrada tensão estabilizada menor que os 1570V, ressalvadas outras variáveis como subtensão na entrada, podemos proceder com o estrangulamento da exaustão. Este ato provoca ligeiro aquecimento no bulbo, conseqüente aumento na pressão do mercúrio, e por fim aumento na tensão estabilizada. O estrangulamento da exaustão deve se limitar até o ponto em que se atinjam os 1570V.

Por outro lado, caso tenhamos inicialmente tensão superior aos 1570V devemos proceder com maior exaustão, seja pela abertura da escotilha, ou pela limpeza dos dutos e refletores. A abertura do fluxo de ar deve se limitar até o ponto onde a tensão caia para os 1570V.

Precisamos considerar que o desgaste do equipamento ocasionará envelhecimento dos refletores, obstrução dos dutos, desbalanceamento das ventoinhas e outros fatores que comprometerão a taxa de exaustão. Assim, o correto monitoramento da tensão de trabalho garante que a exaustão e os demais componentes do sistema estão em bom funcionamento. Devo ressaltar que não basta ajustar periodicamente a taxa de exaustão, para a correta manutenção da tensão de trabalho, se os demais componentes do sistema UV estão danificados.

A temperatura do ar na saída da exaustão normalmente não excede os 40°C. Porém, cada projeto determinará tal temperatura, pois a temperatura do substrato não pode ser alta sob pena de danificá-lo.

Há casos em que a temperatura no substrato tem de ser suficientemente baixa para que a alta taxa de exaustão comprometa a estabilização térmica e elétrica da lâmpada. Nestes casos sugere-se a utilização de outros tipos de refletores, que absorvam a emissão infravermelha, pois tecnicamente não se pode reduzir a potência da lâmpada (tensão x corrente / comprimento de arco) em níveis inferiores a 30 w/cm sob pena de extinguir o arco.

Um bom sistema para controle automatizado e dinâmico da exaustão poderia contar com um transformador de potência e de corrente, que informariam tais valores a um CLP. Este controlador, por sua vez, iria comparar os níveis encontrados aos previamente registrados (em função dos dados de projeto da lâmpada) e emitiria um sinal de saída (digital ou analógico) para um inversor de frequência. Este inversor, assim, aumentaria a rotação ou a reduziria, de acordo com a necessidade, segundo os valores encontrados nos TPs e TCs. Tal sistema iria resolver a situação decorrente da variável temperatura externa e ainda parte do problema relacionado à subtensão de entrada de rede. Fica a sugestão aos fabricantes...