
EMBALAGENS DE VIDRO: RESISTÊNCIA MECÂNICA E FADIGA

Quando se considera a resistência mecânica de qualquer produto de vidro, seja ele uma embalagem, um vidro de janela ou uma lente de óculos, informações detalhadas sobre a distribuição de tensões na superfície do produto durante o seu uso são muito importantes. Estas informações devem incluir os efeitos da distribuição de tensão em função do formato e da espessura do produto ao longo de seu uso. Quando se consideram as implicações destas informações, é sempre importante lembrar que a resistência do produto de vidro irá, provavelmente, diminuir durante o seu uso, como resultado da formação de danos mecânicos na sua superfície.

Apesar do considerável progresso que tem sido conseguido na aplicação de métodos numéricos para se calcular as tensões em artigos de vidro, detecta-se, ainda, a necessidade de desenvolver e utilizar ensaios físico-mecânicos de laboratório a fim de simular o desempenho das embalagens em laboratório, evitando, dessa forma, que embalagens defeituosas ou mal projetadas sejam comercializadas. Por meio desses ensaios pode-se avaliar a resistência mecânica inicial do vidro, logo após ser fabricado, pois é sabido que a resistência inicial da embalagem depende do grau de injúrias que recebeu durante a fabricação. A extensão dos danos não é uniforme e, portanto, pode variar de uma região para outra durante a produção:

Ensaaios simuladores de linha de produção ou de envasamento têm sido utilizados largamente pelas indústrias vidreiras, onde representam uma ferramenta essencial ao controle de qualidade. Neste ensaio, simulam-se, em condições aceleradas, as características de impacto e as condições de abrasão existentes em uma linha de acondicionamento. Atualmente, este ensaio também tem sido utilizado para avaliação do desempenho de diferentes desenhos de embalagens, bem como, para a avaliação da eficiência de proteção de tratamentos superficiais e de soluções redutoras de atrito utilizadas

nas linhas de processamento (esteiras transportadoras).

Apesar dos esforços dedicados à criação de desenhos adequados e de inúmeros ensaios de laboratório, fraturas de embalagens ocorrem e podem causar ferimentos ao consumidor; neste caso, é importante detectar se a quebra foi devido a um defeito de fabricação ou se foi devido ao mau trato da embalagem durante o seu uso. Esse tipo de questão pode sempre ser respondido pela técnica da análise de fratura de embalagens de vidro.

Pesquisas têm mostrado que a resistência mecânica de vidro pode ser influenciada pelos seguintes fatores:

1. A condição mecânica da superfície - A natureza e o grau de severidade das abrasões presentes.
2. O tipo e o tempo de duração das tensões (cargas) aplicadas.
3. As condições ambientais - A temperatura e a composição química do meio no qual a amostra é ensaiada.
4. A condição química da superfície a ser ensaiada - A presença ou ausência de filmes adsorvedores e o estágio de envelhecimento da superfície danificada.

Dos quatro fatores acima citados, o primeiro do ponto de vista quantitativo, é o mais importante.

A resistência à ruptura do vidro, logo após ser formado, isto é, sem sofrer nenhum contato mecânico com outros materiais, é superior a 7500MPa. Analisando-se o histórico de amostras com resistência inferiores a esse valor, observou-se que a redução neste valor foi devida a sua exposição ao contato mecânico com outros materiais durante a fabricação. Em adição a essa avaliação, verificou-se que a maior parte dessas injúrias tinha sua origem na superfície externa do que na parte interna do vidro.

De acordo com Griffith, a resistência mecânica do vidro está diretamente relacionada à profundidade das trincas localizadas na sua superfície (Figura 1) e é demonstrada pela seguinte equação (1):

$$\sigma_m = \left(\frac{2 \cdot \gamma \cdot E}{\pi \cdot C} \right)^{-0,5} \quad (1)$$

onde σ_m é a resistência mecânica do vidro, E é o módulo de elasticidade, γ é a energia superficial e C é a profundidade da trinca.

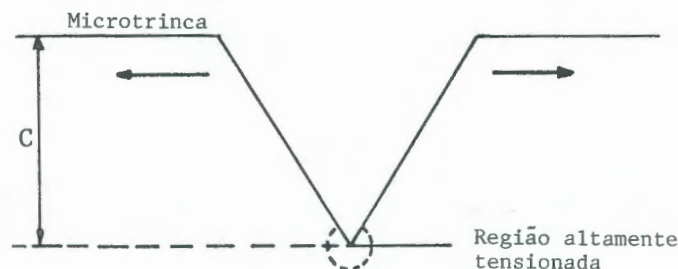


FIGURA 1. Ilustração esquemática de uma microtrinca localizada na superfície do vidro.

O entendimento da função e do comportamento de tais trincas é, portanto, indispensável à compreensão básica da resistência mecânica do vidro.

O segundo fator, o tipo e o tempo de duração da tensão aplicada são importantes devido à existência da fadiga estática no vidro.

Os resultados obtidos em diferentes ensaios dependem das condições específicas sob as quais eles são realizados. Não se pode distinguir a resistência à ruptura do vidro de modo preciso, antes de se considerar as variações nos métodos de ensaio e a adoção de um procedimento padrão. O principal fator responsável por esta variação é a taxa de aumento da carga, pois as tensões de quebra dependem do tempo de aplicação da carga.

Se uma carga constante for aplicada a uma garrafa, uma das três situações pode ocorrer:

- Ela pode quebrar imediatamente;
- Ela pode resistir indefinidamente;
- Ela quebrará após um intervalo de tempo.

Isto quer dizer que ao aplicar uma pressão em uma garrafa, por um longo período de tempo, achar-se-á que o material parece menos resistente que se aplicar uma pressão por um curto período de tempo. Se chamarmos σ_t como a resistência mecânica do vidro, em uma pressão de duração t, pode-se escrever que:

$$\log t = a + b \log \sigma_t \quad (2)$$

A Figura 2 mostra uma curva experimental que demonstra essa equação; o vidro, quando solicitado durante 24 horas, será aproximadamente 50% mais frágil que se o for por um intervalo de apenas 1 segundo.

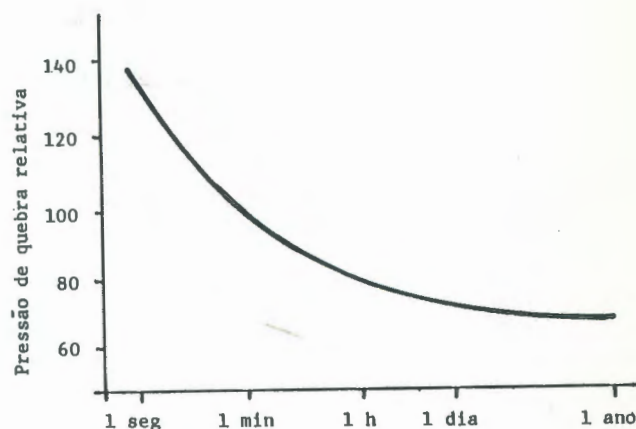


FIGURA 2. Efeito do intervalo de carga na resistência à pressão interna (escala do tempo logarítmica).

Chama-se este fenômeno de fadiga estática. A razão deste fenômeno é que, durante a carga, a trinca na superfície tende a crescer vagarosamente por causa do ataque químico na sua extremidade pelo vapor de água na atmosfera. Os átomos na extremidade da trinca estão altamente tensionados, quando uma carga é aplicada ao vidro, o que torna esta área muito vulnerável ao ataque químico.

De acordo com a equação (1) de Griffith, a resistência mecânica do vidro, σ_m , decresce com o aumento da profundidade da trinca; então, se o tempo de aplicação de pressão for longo o suficiente, o vidro quebrará. Por essa razão adota-se, por exemplo, como padrão nos ensaios de resistência à pressão interna, uma taxa de aumento da pressão igual a 1 minuto.

Felizmente, o efeito da fadiga estática somente ocorre em determinados níveis superiores a um mínimo valor como, por exemplo, 1/3 do tempo de resistência do produto. Portanto, para valores de carga menos elevados, este fenômeno pode ser desprezível. Entretanto, fica claro que este é um importante fenômeno que deve ser considerado quando se avalia a resistência mecânica de embalagens de vidro que acondicionam bebidas carbonatadas de elevada pressão interna.

O terceiro e quarto fatores acima mencionados estão intimamente relacionados aos dois primeiros. Deste modo o efeito das condições mecânicas e ambientais a que será submetido o vidro afetará de sobremaneira a sua resistência mecânica devido à formação de danos na sua superfície, com posterior desenvolvimento de trincas.

XAVIER, R.L.