

O SIGNIFICADO DA MEDIDA DE RIGIDEZ DE CARTÃO

Anna Lúcia Mourad

Importância da rigidez do cartão durante seu uso

O desempenho das embalagens de cartão está correlacionado com suas propriedades físico mecânicas como resistência ao arrebentamento, rasgo, dobramento, tração, compressão, rigidez, torção, flexão e abaulamento. Dentre essas, a resistência à flexão ou rigidez tem se mostrado um importante parâmetro de performance. A rigidez do cartão confere resistência à compressão e abaulamento dos cartuchos.

A rigidez do cartão também tem um importante papel tanto no processo de confecção do cartucho, quanto no uso final do mesmo. Um cartão com rigidez adequada facilita a sua maquinabilidade nas etapas de formação do cartucho e mantém os painéis planos no processo de dobramento. Durante o uso, um cartão rígido evita o abaulamento dos painéis do cartucho, proporcionando proteção para produtos sem formato definido como granulados, pós e líquidos. A rigidez do cartão pode ser medida de diferentes maneiras, produzindo resultados com diferentes significados.

Definições

Antes da abordagem sobre o significado físico-mecânico da rigidez é importante definir previamente o exato significado de termos correlatos:

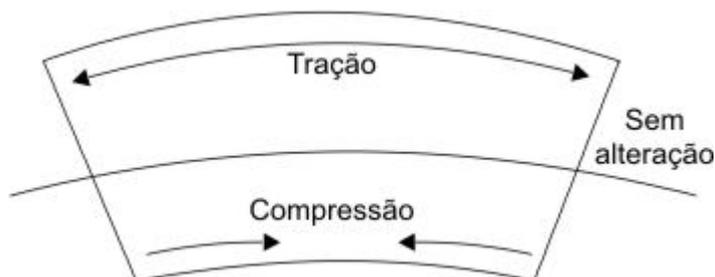
Momento de flexão: é o trabalho em milinewtons*metros (força multiplicada pela distância na qual a mesma é aplicada) requerido para defletir um corpo de prova sob condições específicas de ensaio.

Resistência à flexão: é a força em Newtons necessária para defletir um corpo-de-prova retangular, fixo em uma das extremidades, sob um ângulo específico, quando a força é aplicada próxima à extremidade livre do corpo-de-prova, normal ao plano que inclui a extremidade livre do corpo-de-prova, o ponto de fixação e o ponto ou linha da aplicação da força. A resistência à flexão varia com o ângulo, com a largura do corpo-de-prova, ou a distância entre a extremidade da fixação e o ponto de aplicação da força.

Rigidez (ou rigidez a flexão): é o grau que o papel ou cartão resiste flexionado quando sujeito a uma força de flexão em seu uso, ou sob um equipamento específico como o de Rigidez Taber. Uma unidade de rigidez Taber corresponde a 1gf.cm ou 0,098066 milinewtons metros.

Significado físico mecânico da rigidez

Sendo o cartão um material viscoelástico, a resistência à flexão é uma propriedade da resistência elástica que está relacionada ao fluxo de propriedades do material dentro da região elástica de estiramento. Os fatores básicos que a determinam são a espessura e o módulo elástico da folha. O módulo de elasticidade depende da capacidade da camada convexa externa de estirar e da camada côncava interna de sofrer compressão quando a folha está sendo flexionada.



Para uma unidade de largura de uma folha homogênea, a resistência à flexão aumenta com o cubo da espessura, de acordo com a seguinte equação:

$$R = \frac{E \cdot I}{a} = \frac{E \cdot e^3}{12} \quad (1)$$

Onde:

I = momento de inércia ($I = a \cdot e^3 / 12$) da área de seção transversal da folha, m^4

e = espessura da folha, m

a = largura da amostra, m

E = módulo de elasticidade, Pa ou N/m^2

R = Rigidez a flexão, $N \cdot m$

Assim, a rigidez à flexão do cartão é o produto de um parâmetro intrínseco do material (módulo de elasticidade ou módulo de Young, E) e um fator geométrico (I). Conseqüentemente, estes dois fatores têm importante papel na rigidez resultante de um cartão. A rigidez em flexão, medida em unidades de Newton metros, pode ser simplesmente considerada como uma medida do momento de flexão.

Quando a espessura "e" é expressa em termos da gramatura e densidade D ($D = G/e$), a equação (1) fornece uma fórmula para a rigidez em termos de G e D, também em unidades de Newton metros.

$$R = \frac{E \cdot I}{a} = \frac{E \cdot e^3}{12} = \frac{E}{D^3} \cdot \frac{G^3}{12} \quad (2)$$

Com esta equação pode-se prever como alterações de processo e matéria-prima podem alterar as propriedades finais do cartão.

Fatores que afetam a rigidez

Como já mencionado em artigo anterior (Mourad, 1999) o parâmetro de negociação principal de cartão deveria ser em relação à sua rigidez e não somente em relação à sua gramatura. Assim, a preocupação do fabricante de cartões deve estar sempre direcionada a produzir cartões com rigidez necessária com a menor gramatura possível.

Gramatura e densidade

A equação (2) mostra que a rigidez à flexão aumenta na proporção do cubo da gramatura (G) para um mesmo tipo de polpa com E constante. Por outro lado, se a gramatura é mantida constante, (R) é diretamente proporcional à razão (E/D^3). Além disso, a rigidez à flexão varia diretamente com a densidade para espessura e gramatura constantes. O aumento da densidade alcançado por calandragem raramente aumenta a rigidez em flexão. A calandragem seca sempre resulta numa diminuição da rigidez, uma vez que a espessura é diminuída, D é aumentada e E geralmente não se altera.

Além da espessura, da densidade e da gramatura, há outros fatores que afetam a rigidez do cartão. Estes incluem o tipo de polpa, seu rendimento e grau de refino, prensagem úmida, estiramento úmido, conteúdo de cargas, calandragem e conteúdo de umidade da folha. Novamente, muitos destes fatores estão correlacionados e afetam a medida final da rigidez.

Tipo de fibra

A espécie de madeira utilizada também afetam a rigidez. Cartão feito de polpas de fibra curta são geralmente mais rígidos que aqueles produzidos com fibras longas.

Processo de polpação

Para mesmas espécies de madeira, uma polpa quimimecânica de alto rendimento produzirá uma folha mais rígida, devido ao grande volume da fibra, que uma polpa química de baixo rendimento para uma mesma gramatura. Entretanto, para uma mesma espessura, a polpa química de baixo rendimento produz uma folha com rigidez superior em função do seu maior módulo de elasticidade, aumento de densidade e ligação entre as fibras. Assim, para uma espessura constante, a rigidez da folha decresce na seguinte ordem de polpação: sulfito, kraft, soda, quimitemomecânica, moinho de pedra.

Polpas obtidas por moinhos de pedra podem ter rigidez superior por gerar folhas mais espessas (fibras mais volumosas) e alto conteúdo de fibras muito finas, o que também melhora a ligação das fibras, produzindo maiores E (módulo elástico).

Grau de refino

Por exemplo, um aumento no grau de refino de uma polpa kraft reduz o CSF (Canadian standard freeness) da polpa ao mesmo tempo que aumenta a densidade da folha para uma espessura constante. Contrariamente, um baixo grau de refino pode produzir uma rigidez superior sob pressão úmida constante em função do aumento no módulo de elasticidade.

Aditivação

A ligação das fibras pode ser melhorada pela adição de agentes ligantes como amido e silicato de sódio. A adição de qualquer um destes agentes induz a um aumento na rigidez.

Assim, as equações de (1) e (2) possibilitam que a rigidez em flexão de vários produtos possa ser avaliada em termos de e , D , G e E . Isto é necessário porque variações nestes três fatores produzem grandes diferenças tanto no momento de inércia (I), como no

módulo de elasticidade (E) para diferentes áreas de corpo-de-prova. Mudanças em E e I afetam a rigidez à flexão resultante.

A rigidez também é afetada pelas propriedades intrínsecas das fibras. Em papéis finos, a rigidez é dependente em maior grau da rigidez individual das fibras. Em cartões espessos, o grau de ligação da fibra tem um papel mais importante. Entretanto, para comparações precisas, a espessura, a gramatura e a densidade devem ser consideradas.

Dentre os parâmetros de teste, a velocidade de estiramento, o grau de tração além do limite elástico do corpo-de-prova, o peso e o conteúdo de umidade do corpo-de-prova podem afetar as medidas de E e conseqüentemente o cálculo da rigidez à flexão em vários graus. Todos estes fatores podem ser medidos e levados em consideração na interpretação da resistência a flexão de um cartão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Mourad, A.L. Cartão: Gramatura ou Rigidez? **Informativo CETEA**, v.11, n.2, 1999.

Koran, Zoltan and Kamdem, D.P. **The Bending stiffness of paperboard**. [S.L.]: TAPPI, 1989. p.175-179.

TAPPI - **T489 om-99**. The bending resistance (stiffness) of paper and paperboard (Taber-type tester in basic configuration). In: 2002 - 2003 TAPPI TEST METHODS. Atlanta, 6p.