



Contribuições importantes das telas formadoras e feltros para economia de energia em máquinas de papel - parte II - efeitos da estrutura e tribologia das telas formadoras sobre a eficiência energética

Resumo

A Indústria de papel consome muita energia. Grande parte desta energia é usada apenas para superar o atrito entre as vestimentas (PMC) e os elementos estáticos da máquina de papel. Esta energia é desperdiçada, pois não contribui para o processo de fabricação de papel. Descobriu-se que é possível reduzir significativamente estas perdas através da otimização da estrutura da vestimenta e do uso de materiais alternativos. Combinando estas alternativas, pode-se economizar até 25% da energia motora com a introdução de materiais alternativos, além do enorme potencial para economia de energia com a otimização das estruturas das telas formadoras.

Introdução

Energia definitivamente tem sido uma preocupação geral das indústrias de manufatura, principalmente do ponto de vista dos custos, além da preocupação com a possível escassez em algumas áreas num futuro próximo, com consequentes aumentos de preço. Esta situação é especialmente relevante para a indústria de papel, que consome muita energia. A indústria de celulose e papel é a quarta maior consumidora mundial de energia, representando aproximadamente 5 a 6% de toda a energia utilizada em aplicações industriais [1].

Os maiores contribuintes para o consumo de energia, ou custo, na fabricação de papel são a preparação das fibras e celulose, a carga de acionamento da máquina e a geração de vácuo e vapor, bem como o manuseio de água e limpeza de alta pressão. O atrito é um dos maiores contribuintes para o consumo e perda de energia. Isso se refere ao atrito interno de motores, transmissões, bombas, ventiladores, agitadores, tubos e cilindros, onde há vedações de água ou óleo lubrificante, lâminas raspadoras, etc. Estima-se [2] que entre 15 a 25% de toda a energia consumida pela máquina de papel é apenas para superar o atrito, o que representa mais de 30% da eletricidade usada.

Grande parte da energia consumida é atribuída ao atrito entre as vestimentas da máquina de papel e os diversos elementos estáticos ao longo do seu percurso. Na seção de formação da máquina, o atrito de deslizamento entre a tela formadora e os elementos de desaguamento representa quase 20% de toda a energia consumida na seção [2]. Cálculos teóricos [3] sugerem que até 80% da carga de acionamento em uma seção híbrida de formação está relacionada ao atrito entre a tela e os elementos estáticos de desaguamento. Na seção de prensagem, o atrito entre os feltros e as caixas de sucção representa aproximadamente 16% da carga de acionamento; isso é mais que 5% de toda a energia consumida nessa seção. A maior parte da energia consumida na seção de prensagem está relacionada à remoção de água ou vácuo.

Eficiência energética

Seção de formação

A energia consumida na seção de formação está relacionada ao vácuo usado para o desaguamento e a carga de acionamento. A energia necessária para mover a tela está relacionada aos níveis de vácuo; quanto maior o vácuo, maior a força nas tampas da caixa de sucção, o que gera atrito. Foi evidenciado [4, 5] que o fator mais importante no vácuo para o desaguamento é a intensidade do vácuo aplicado, seguido pelo tempo de permanência sobre a caixa de sucção ou tempo de vácuo para controlar ou atingir um nível eficiente de

desaguamento ou teor seco. Portanto, se a velocidade aumentar, a intensidade do vácuo também tem que ser aumentada ou a zona de sucção tem que ser mais longa.

O teor seco da folha ao sair da seção de formação normalmente é de 20%, mas a folha fica significativamente mais seca antes de ocorrer a reumidificação. Estudos mostram que não faz sentido a folha atingir um nível de secagem superior a um percentual de 15 a 22% [6, 7] na seção de formação usando vácuo. A quantidade de energia necessária para remover mais água e exceder estes níveis de secagem aumenta drasticamente e, por isso, não se justifica economicamente, como mostra o Gráfico 1.

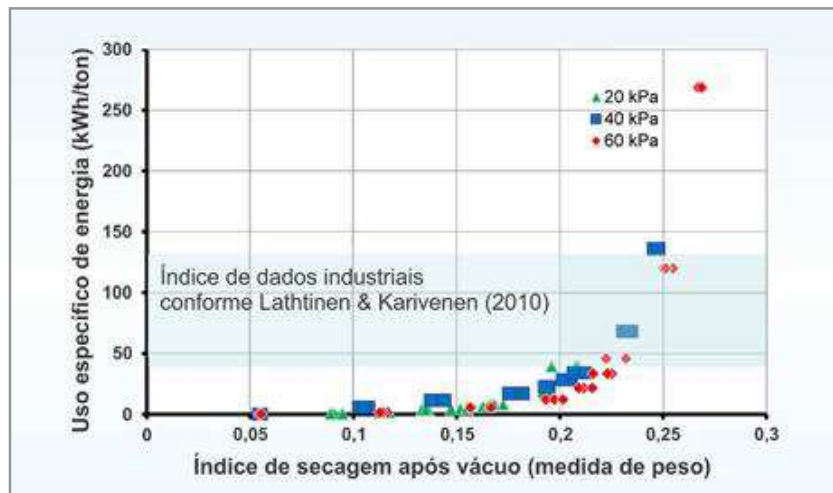


Gráfico 1: Teor seco e energia necessária para vácuo em três níveis diferentes 20, 40 e 60 kPa. O gráfico é uma cortesia da Lars Nilsson Karlstad University, Suécia

Uma "irritação" no desaguamento por sucção induzida é a reumidificação [8, 9]. A reumidificação é resultado do retorno da água transportada pela tela até a folha devido a efeitos capilares consequentes de uma mudança instantânea da pressão de liberação do vácuo. O processo de reumidificação é difícil de prever, além de ser difícil quantificar o seu impacto em termos de volume absoluto de água que é reabsorvida. Porém, o conteúdo sólido da folha reduz de 3 a 5% [4] na saída da zona de vácuo no desaguamento da caixa de sucção a vácuo. Reumidificação é a perda de teor seco obtida devido ao retorno de água da tela para a folha, o que significa que esta água terá que ser retirada da folha novamente na seção de prensagem da máquina ou, na pior das hipóteses, na seção de secagem. A magnitude da reumidificação e a energia total utilizada varia de acordo com os tipos de papéis produzidos, o tipo de equipamento e, claro, as fontes de energia disponíveis.

Estruturas das telas formadoras

A estrutura da tela formadora impacta significativamente no suporte das fibras e, consequentemente, na sua retenção. Uma tela formadora deve prover boa estabilidade e garantir perfis transversais e longitudinais uniformes do papel. Do ponto de vista do desaguamento, a estrutura da tela formadora é menos importante após o desaguamento inicial. Quando a folha atinge certo nível de conteúdo sólido, o desaguamento é controlado ou governado pela camada de fibra do papel simplesmente porque este é o meio de restrição do fluxo. No entanto, descobriu-se que telas com maior número de pontos de contato, ou alternativamente, mais furos por área aberta, são mais eficazes na drenagem de água e dão melhor suporte em comparação às telas de malha mais grossa com a mesma área aberta. Uma tela de superfície fina também é mais fácil de manter limpa, o que requer menos produtos químicos para a limpeza. Telas mais finas drenam água mais rapidamente e, o mais importante, retêm menos água. Menor retenção de água impacta na carga de acionamento, pois volumes mais

altos de água retida aumentam o peso da tela.

Quanto à reumidificação, a estrutura ou design da tela é importante, pois os principais parâmetros de controle de reumidificação no desaguamento com vácuo foram identificados como [10,11]: espessura da tela, volume vazio interno e permeabilidade. Estes foram os parâmetros que tiveram maior impacto na definição da capacidade de retenção de água nos espaços vazios. Telas formadoras de estruturas mais espessas de laje tripla normalmente proporcionam melhores propriedades do que telas finas de laje dupla, mas perdem teor seco na saída do formador, resultando na redução da eficiência e velocidade da máquina. A reumidificação definitivamente tem um efeito negativo no teor seco da folha, mas é muito difícil mensurá-lo com precisão. Além disso, o nível de reumidificação varia conforme as características da tela, tipo de papel, configuração da máquina, níveis de vácuo, etc. [12]

Quanto ao atrito ou força de arrasto, supõe-se que telas com monofilamentos de passadas transversais longas (CD) que ligam longas distâncias (veja exemplos na Figura 1) na parte inferior da tela ajudam a estender a sua vida útil. O efeito do desenho de tecelagem sobre o atrito é mais difícil de generalizar. Uma estrutura relativamente densa de passadas transversais longas normalmente reduz a área aberta e pode resultar em um esforço maior que o normal ao aplicar vácuo. Mas, é claro que para uma determinada tela, o desgaste dos monofilamentos aumenta a área de contato causando a diminuição da carga específica, o que resulta em menor carga de arrasto. A carga, ou melhor, carga específica – junto com a velocidade – são os dois principais componentes que controlam o atrito ou carga de arrasto.

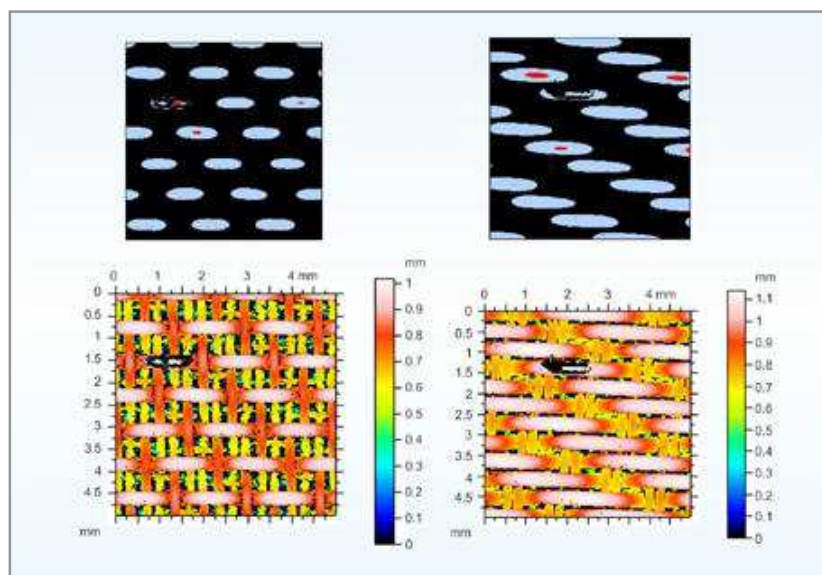


Figura 1: Área de contato dos fios transversais CD em telas com passadas curtas e longas na superfície de desgaste a uma profundidade de 100µm. Passada curta, área de contato de 18% (esquerda) e passada longa, área de contato de 26% (direita)

Supõe-se que passadas longitudinais mais longas podem ser percebidas como a maneira preferida para reduzir o desgaste dos monofilamentos. Isso se baseia no fato de que quando são produzidos, os monofilamentos são tensionados quando preparados para alinhar as moléculas para aumentar a elasticidade. Esta tensão pode ser 10 ou até 11 vezes maior. Estudos iniciais indicam que o atrito ou carga de arrasto é mais ou menos independente da direção de desgaste destes monofilamentos orientados. O atrito ou carga de arrasto está mais relacionado a propriedades morfológicas e térmicas dos fios, como temperatura de transição vítrea, do que com a direção e grau de orientação molecular.

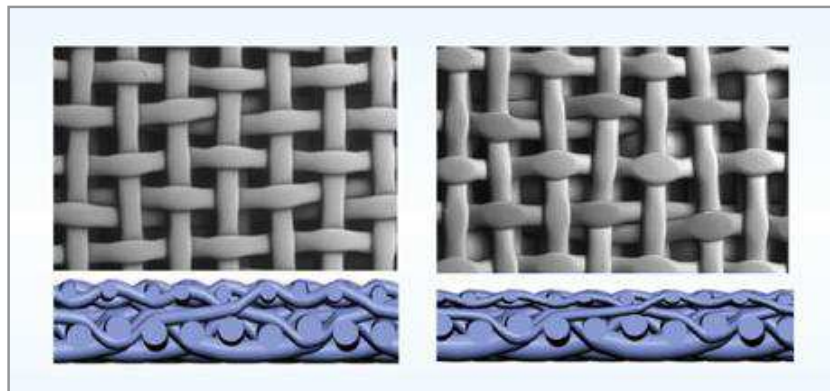


Figura 2: *Imagens modelo de tomografia computadorizada por micro raios X, incluindo uma imagem da seção transversal e uma microfotografia aproximada por microscópio eletrônico (SEM) de uma amostra não-tratada (esquerda) e uma amostra tratada (direita)*

A espessura e a permeabilidade das telas formadoras são os dois fatores mais importantes com relação à eficiência de desaguamento retenção. Foi mostrado que aumentar o suporte de fibras da tela e diminuir a sua espessura e volume vazio interno com tratamento na superfície, como mostra a Figura 2, pode gerar um aumento de 1 a 2% do teor seco da folha [10, 13]. Características estruturais da superfície, como o número de pontos de contato por unidade de área, também são fatores significativos para manter a tela limpa; quanto mais fina, mais limpa é a sua superfície. Isso também reduz os custos de operação da máquina, pois o número de quebras de folha é menor e a necessidade de produtos químicos para a limpeza pode ser reduzida significativamente.

Materiais das telas formadoras

Telas formadoras têm sido feitas quase exclusivamente de materiais poliméricos ou fios de monofilamento desde o início da década de 1970. Os polímeros mais usados são os poliésteres (PET), e poliamidas (principalmente PA 6 e PA 6.6). Inicialmente usava-se quase exclusivamente o PET, mas, devido à crescente necessidade de telas formadoras mais resistentes ao desgaste, o PA 6 e o PA 6.6 foram introduzidos transversalmente no lado inferior das telas. Nestas telas, fios de PET com alta elasticidade são usados para dar estabilidade e fios de PA para aumentar a sua vida útil. A introdução de poliamidas como método de prolongar a vida útil da tela resultou em maior atrito e consequentemente maior carga de arrasto. Por isso, a resistência ao desgaste das telas formadoras junto com o atrito ou carga de arrasto são balanceadas alternando fios de PET e PA em várias combinações de tecelagem. O Gráfico 2 mostra a força de atrito de telas com todos os fios de PET, com PA/PET [10] alternados e uma mistura de material contendo poliuretano (PUR). As medidas foram feitas usando o mesmo estilo de tela, porém variando os fios transversais de sua parte inferior. Como se vê, a tela feita com todos os fios de PET gera um atrito significativamente menor que as telas que também usam fios de PA 6 ou de uma mistura de materiais de PUR.

A introdução de fios com mistura de PUR, normalmente misturas de PET/PUR, foi feita inicialmente para aumentar a resistência ao desgaste, mas em muitos casos o atrito também foi reduzido. Como mostra o Gráfico 2, a força de atrito da tela feita com fios misturando PET/PU é tão baixa quanto a da tela com todos os fios de PET. Porém, com o tempo, a força de atrito aumenta gradualmente a ponto de ficar um pouco inferior à da tela feita com fios de PA. Isso se deve em grande parte ao fato de que os fios com material de PET/PUR se deformaram e, com isso, reduziram a área aberta da tela, criando uma força normal maior na tampa da caixa de sucção. O motivo da deformação foi uma combinação de temperatura (45°C) e aumento gradual da carga compressiva.

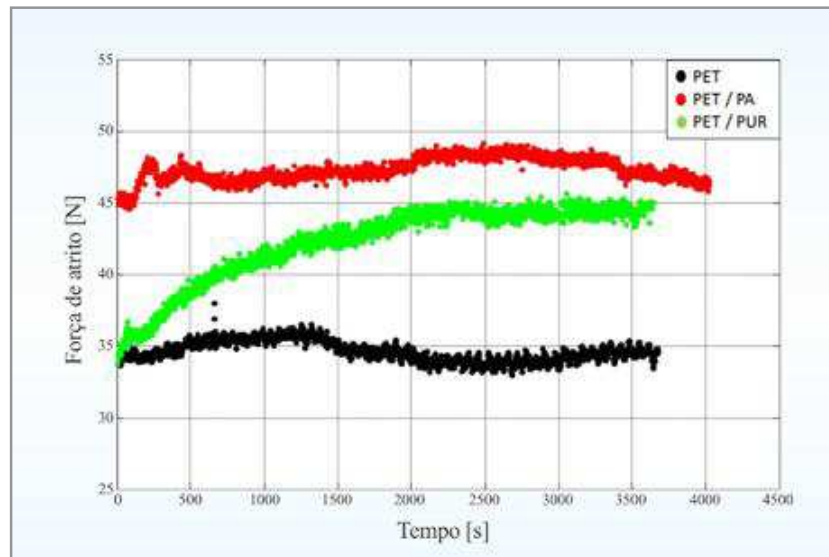


Gráfico 2: Força de atrito (FMD) como uma função do tempo para a mesma estrutura de tela com três combinações diferentes de fios na superfície de desgaste. 100% PET (●), PET/PA (●) e uma mistura de PET/PUR (●)

Recentemente, outros materiais e combinações de materiais foram usados nos fios da superfície de desgaste das telas formadoras visando reduzir o atrito ou carga de arrasto, mantendo a resistência à abrasão para que a tela tenha a vida útil esperada. Um exemplo relatado é o de monofilamentos feitos com misturas PET e PA 6, sendo que a “mistura” de PET e PA mencionada anteriormente é feita nos monofilamentos. O efeito sobre o desempenho da tela e carga é mais ou menos o mesmo que usar uma tela com monofilamentos alternados de PET e PA 6. Até o momento, houve poucos relatos dos efeitos de sinergia, como a manutenção da elasticidade e resistência ao desgaste combinados, mas ainda estamos na fase inicial.

Certamente haverá novos materiais e combinações de materiais disponíveis para fios de monofilamento num futuro próximo que reduzirão significativamente a carga de arrasto e resultarão em telas formadoras com maior eficiência energética.

O Gráfico 3 mostra a carga de arrasto como uma função do tempo de vida da mesma estrutura (A e C), e uma estrutura B similar na mesma posição, mas com fios de materiais diferentes na superfície de desgaste da tela formadora. A Tela A alterna monofilamentos de PA 6 e PET na superfície de desgaste, enquanto a Tela C tem fios feitos de um novo sistema de polímeros. Os monofilamentos da superfície de desgaste da Tela B são feitos de uma mistura de PA 6 e PET. Nesta posição específica foi possível reduzir a carga de arrasto em até 25% usando um fio de material de baixo atrito.

É possível ver também que há um efeito do tempo ou desgaste envolvidos com a redução da carga de arrasto de 25 a 40%, independente do material usado desde o primeiro dia até o fim da vida útil da tela por desgaste. Como foi mencionado anteriormente, o desgaste aumentará gradualmente a área de contato do fio e da tela, diminuindo assim a carga específica. Uma superfície grande e plana de fio/tela também é mais fácil de lubrificar do que uma superfície côncava.

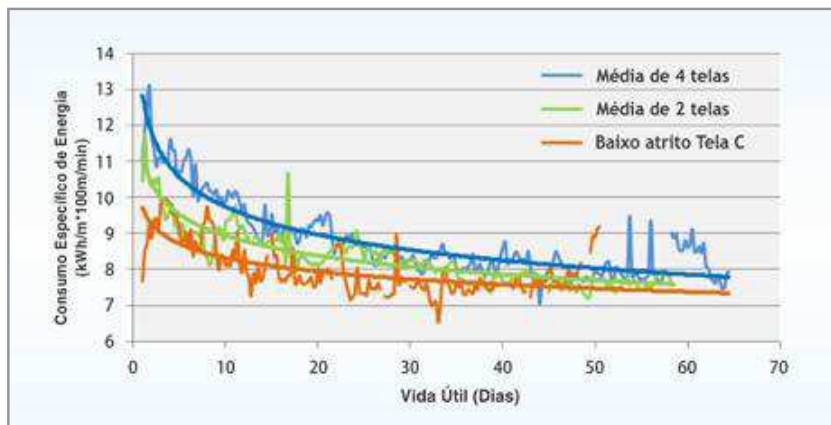


Gráfico 3: A relação entre o consumo específico de energia e a vida útil da tela em uma gap former de LWC de alta velocidade é comparada em três designs de telas formadoras. Foi mensurada uma redução de 25% no consumo de energia entre as telas A e C com o uso de fios de "baixo atrito" na superfície de desgaste.

O incentivo para introduzir fios de novos materiais ou ligas polímeras é reduzir as forças de atrito entre a tela e os elementos cerâmicos da caixa de alto vácuo para gerar cargas de arrasto menores. É claro que também é importante controlar o desgaste da tela, pois pouco atrito nem sempre é o mesmo que pouco desgaste: na maioria das vezes é o oposto. Por exemplo, o politetrafluoretileno (PTFE) é um polímero excelente do ponto de vista de baixo atrito, mas a resistência ao desgaste é muito ruim. Além de materiais e estrutura, efeitos do ambiente da máquina de papel como temperatura, pH, velocidade, força normal, caixa de sucção, superfície da tampa do contador, elementos fixos, etc. também são importantes e têm grande impacto no desempenho de um determinado polímero ou material. Por exemplo, poliuretanos ou misturas contendo poliuretanos têm apresentado pouco atrito em níveis mais elevados de pH (pH 8-9).

O atrito é proporcional à força normal para a maioria dos polímeros, mas o nível de atrito como função da carga normal varia substancialmente entre polímeros. Quanto à velocidade, o atrito não deve sofrer alterações com a velocidade de deslizamento, porém normalmente a temperatura aumenta com a velocidade e isso muda as condições de forma significativa. Isso também se acentuou devido ao fato de materiais poliméricos serem bons isolantes e não dissiparem bem o calor. A temperatura também altera o comportamento dos polímeros, especialmente se exceder ou ultrapassar alguma temperatura de transição, além da de transição vítrea. As características da maioria dos polímeros também sofrem alterações em função do grau de fadiga ou impacto da velocidade.

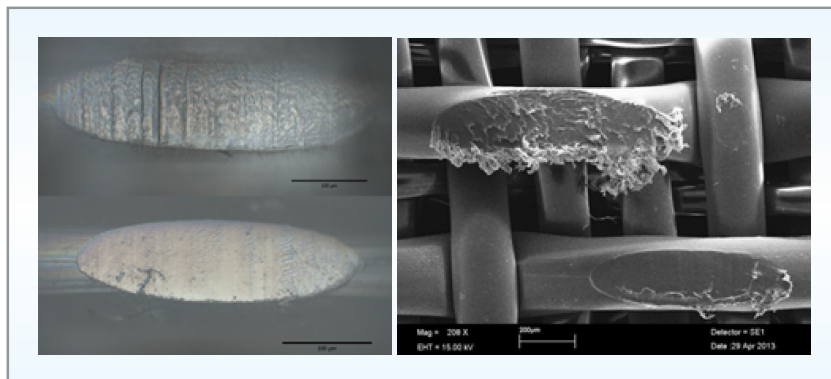


Figura 3: Microfotografias de microscópio eletrônico (SEM) dos padrões de desgaste do PA 6 (acima) e PET (abaixo) rodando contra ZrO_2 . À esquerda, força normal de 30 N, 600 rpm por 600s. À direita, força normal de 30 N, 600 rpm por 2400s.

A diferença nas características de desgaste e atrito do PET, PA e diversas misturas são encontradas parcialmente na morfologia destes materiais. O efeito do atrito de materiais diferentes é óbvio, mas não foi plenamente entendido e as influências do ambiente, como temperatura e pH tornam o quadro mais complexo. Foram feitos testes rodando uma tela formadora sobre superfícies cerâmicas [14], ZrO_2 e SiC-E, sob condições de umidade. A tela estava presa a uma superfície giratória e o elemento cerâmico foi carregado contra a tela com a força normal variando entre 15 e 60 N (0,22 e 0,47 MPa). A velocidade foi mantida relativamente baixa para controlar a temperatura, mas a frequência de rotação foi variada entre 1 e 10 Hz, o que é comparável com a frequência que uma tela formadora toca os elementos estáticos ou roda sobre as caixas de vácuo da máquina de papel. Fios de PA 6 e PET mostraram comportamento de desgaste diferentes quando submetidos a superfícies cerâmicas (ZrO_2), como mostra a Figura 3 [14]. O PA 6 é mais maleável do que o PET, o que obviamente é uma vantagem em relação ao índice de desgaste, porém gera maior atrito, como foi mostrado anteriormente no Gráfico 2 [13, 15].

Percebeu-se que o coeficiente de atrito e índice de desgaste variam conforme a tela e diferentes materiais cerâmicos. Não foram percebidas grandes alterações no coeficiente de atrito ao variar ou aumentar a força normal. Ao variar a velocidade, foram percebidas diferenças significativas no coeficiente de atrito, que diminuía com o aumento da velocidade. Descobriu-se também que o coeficiente de atrito com o tempo causa o polimento da superfície de material cerâmico. No entanto, é certo que o efeito deste polimento atingirá um ponto estável, mas isso não foi verificado no escopo deste trabalho.

Conclusões

É delicado achar o equilíbrio para controlar o atrito ou carga de arrasto e o índice de desgaste das telas formadoras alterando os materiais poliméricos. A maioria dos materiais que têm ou oferecem uma carga de arrasto baixa têm um desgaste relativamente rápido. Porém, foi mostrado que a escolha apropriada do material do fio pode reduzir o atrito da tela ou carga de arrasto em até 25%. O mecanismo por trás da combinação entre desgaste e carga de arrasto ainda não foi completamente entendido. Também foi mostrado que as condições do ambiente que opera a máquina, como o pH e a temperatura, junto com várias forças físicas e mecânicas, têm um papel fundamental e é por isso também que não se pode fazer generalizações sobre a escolha ou recomendação de telas. Portanto, o design da tela e os materiais usados devem ser customizados para cada situação ou máquina.

A estrutura da tela também tem um papel significativo, pois telas finas com área de contato grande na superfície de desgaste têm a vantagem de reduzir a carga de arrasto. Isso corresponde bem com a análise de telas usadas que normalmente apresentam a menor carga de arrasto ao final de sua vida útil ou tempo de serviço. Telas mais finas com pouco volume vazio na superfície também têm a vantagem de reduzir a reumidificação da folha.

Perfil do autor:

José Erothides M. Villas Boas é formado em Engenharia Química pela UNICAMP, com Pós-Graduação em Celulose e Papel pela USP/FDTE, Gerenciamento de Marketing pela FURB/INPG e Gestão Estratégica pela UNICAMP. Iniciou suas atividades na Ripasa Celulose e Papel em 1984 e na Albany em 1989. Atualmente é Coordenador de Aplicação Técnica - Formação.

Referências

1. IEA, Tracking Industrial Energy Efficiency and CO2 emissions. Energy Indicators. In support of the G8 Plan of Action. International Energy Agency; 2007, p 324.
2. Holmberg, K., Roope, S., Laitinen, T., Andersson, P. and Jäsberg A. "Global Energy Consumption Due to Friction in Paper Machines. Submitted to Tribology International December 12, 2012
3. Niva, T. "Viiraosanengiatehokkaaatajotavat/Efficient Operation in the Wire Section" MSc (Tech) thesis (in Finnish), University of Oulu, Oulu Finland, 2008.
4. Åslund, P., Volmhoff, H., Waljanson, A. "External Rewetting After Suction Box Dewatering", Nordic Pulp and Paper Research Journal Vol. 23 no. 4/2008, pp.409-441.
5. Neun, J.A., "Performance of High Vacuum Dewatering Elements in the Forming Section", TAPPI Journal Vol. 77 pp.133-138, Sept. 1994.
6. Nilsson L. "Air Flow Through Paper During Suction Box Dewatering" 18th Int. Drying Symposium (IDS 2012) Xiamen, China, 11-15 November 2012.
7. Räisänen, K. "Vacuum Systems" Papermaking Part 1, Stock Preparation and wet End, Editor Paulapuro, H., Helsinki 2000, pp. 416-430.
8. Attwood, B.W. "A study of vacuum box operation", Paper technology 3, 1962, pp. 144-153.
9. Brauns, O. and Oskarsson, R. "Om avvattning och luftgenomströmning vid suglådor och sugvals" Svensk Papperstidning, 56 (18), pp 691-696.
10. Danielsson M. and McVey D. "Energy Efficiency Contributed By Novel Paper Machine Clothing". TAPPI PaperCon April 27-May 1, 2013 Atlanta Georgia, USA.
11. Granevald, R., Nilsson, L., Stenström, S., "Impact of Different Fabric parameters on Sheet Solids During Vacuum Dewatering", Nordic Pulp and Paper Research Journal Vol. 19 no. 4/2004, pp. 429-433.
12. Moller, R., Fagerholm, L. "Paper Machine Clothing as a Key Contributor for Energy Savings in Paper and Board Machines" 2008 PAPTAC Conference Montreal, Canada
13. Danielsson M., Martinsson L., McVey D. "Enhanced Capabilities in Wet-end Paper Machine Clothing". TAPPI Paper-Con 2011, May 1-4, 2011 Northern Kentucky Center, Kentucky, Cincinnati, USA.
14. Elo R. and Heldin L., Method Evaluation "Tribology Between a Forming fabric and Ceramics", Ångströmlaboratoriet, May, 2013, internal report.
15. Räisänen, K. "Vacuum Systems" Papermaking Part 1, Stock Preparation and wet End, Editor Paulapuro, H., Helsinki 2000, pp. 416-430.



A chave para libertar
o potencial da sua máquina
está ainda melhor.

KRAFTLINE
KRAFTLINE

Benefícios:

- Alta capacidade de drenagem
- Ganho de teor seco após a formação
- Redução no consumo de energia de refinação
- Aumento de retenção e/ou diminuição do uso de agente de retenção
- Redução do consumo de carga de acionamento devido ao fio de *low drag* (LD)



ALBANY
INTERNATIONAL