



Contribuciones importantes de las telas formadoras para economía de energía en máquinas de papel - efectos de la estructura y tribología de las telas formadoras sobre la eficiencia energética

Resumen

La Industria de papel consume mucha energía. Gran parte de esta energía se usa solo para superar la fricción entre las vestimentas (PMC) y los elementos estáticos de la máquina de papel. Esta energía se desperdicia, pues no contribuye para el proceso de fabricación de papel. Se descubrió que es posible reducir significativamente estas pérdidas a través de la optimización de la estructura de la vestimenta y del uso de materiales alternativos. Combinando estas alternativas, se puede ahorrar hasta el 25% de la energía motora con la introducción de materiales alternativos, además del enorme potencial para ahorro de energía con la optimización de las estructuras de las telas formadoras.

Introducción

Energía definitivamente es una preocupación general de las industrias de manufactura, principalmente desde el punto de vista de los costos, además de la preocupación con la posible escasez en algunas áreas en un futuro cercano, con consecuentes aumentos de precio. Esta situación es especialmente relevante para la industria de papel, que consume mucha energía. La industria de celulosa y papel es la cuarta más grande consumidora mundial de energía, representando aproximadamente del 5 al 6% de toda la energía utilizada en aplicaciones industriales [1].

Los más importantes contribuyentes para el consumo de energía, o costo, en la fabricación de papel son la preparación de las fibras y celulosa, la carga de accionamiento de la máquina y la generación de vacío y vapor, así como el manejo de agua y limpieza de alta presión. La fricción es uno de los más grandes contribuyentes para el consumo y pérdida de energía. Eso se refiere a la fricción interna de motores, transmisiones, bombas, ventiladores, agitadores, tubos y cilindros, donde hay cierres de agua o aceite lubricante, láminas raspadoras, etc. Se estima [2] que entre el 15 al 25% de toda la energía consumida por la máquina de papel es solamente para superar la fricción, lo que representa más del 30% de la electricidad usada.

Gran parte de la energía consumida es atribuida a la fricción entre las vestimentas de la máquina de papel y los diversos elementos estáticos a lo largo de su recorrido. En la sección de formación de la máquina, la fricción de deslizamiento entre la tela formadora y los elementos de desagüe representa casi el 20% de toda la energía consumida en la sección [2]. Cálculos teóricos [3] sugieren que hasta el 80% de la carga de accionamiento en una sección híbrida de formación está relacionada a la fricción entre la tela y los elementos estadísticos de desagüe. En la sección de prensado, la fricción entre los fieltros y las cajas de succión representa aproximadamente el 16% de la carga de accionamiento, eso es más que el 5% de toda la energía consumida en esa sección. La mayor parte de la energía consumida en la sección de prensado está relacionada a la remoción de agua o vacío.

Eficiencia energética

Sección de formación

La energía consumida en la sección de formación está relacionada al vacío usado para el desagüe y la carga de accionamiento. La energía necesaria para mover la tela está relacionada

a los niveles de vacío, cuanto mayor el vacío, mayor la fuerza en las tapas de la caja de succión, lo que genera fricción. Se evidenció [4, 5] que el factor más importante en el vacío para el desagüe es la intensidad del vacío aplicado, seguido por el tiempo de permanencia sobre la caja de succión o tiempo de vacío para controlar o alcanzar un nivel eficiente de desagüe o contenido seco. Por lo tanto, si la velocidad aumenta, la intensidad del vacío también tiene que ser aumentada o la zona de succión tiene que ser más larga.

El contenido seco de la hoja al salir de la sección de formación normalmente es del 20% pero la hoja significativamente más seca antes de que ocurra la rehumidificación. Estudios muestran que no tiene sentido que la hoja alcance un nivel de secado superior a un porcentual del 15 al 22% [6, 7] en la sección de formación usando vacío. La cantidad de energía necesaria para remover más agua y exceder estos niveles de secado, aumenta drásticamente y, por eso, no se justifica económicamente, como lo muestra el Gráfico 1.

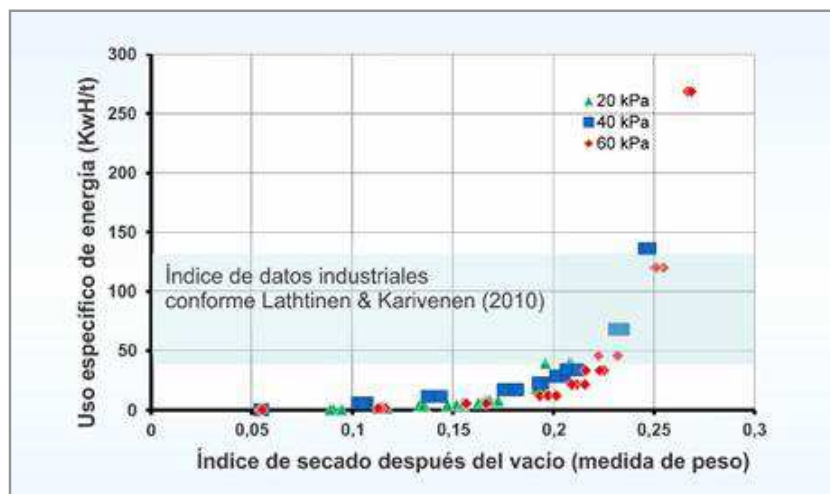


Gráfico 1: Contenido seco y energía necesaria para vacío en tres niveles diferentes 20, 40 y 60 kPa. El gráfico es una cortésia de Lars Nilsson Karlstad University, Suecia

Una "irritación" en el desagüe por succión inducida es la rehumidificación [8, 9]. La rehumidificación es el resultado del retorno del agua transportada por la tela hasta la hoja debido a efectos capilares consecuentes de un cambio instantáneo de la presión de liberación del vacío. El proceso de rehumidificación es difícil de prever, además de ser difícil cuantificar su impacto en términos de volumen absoluto de agua que se reabsorbe. Sin embargo, el contenido sólido de la hoja reduce del 3 al 5% [4] en la salida de la zona de vacío en el desagüe de la caja de succión al vacío. Rehumidificación es la pérdida del contenido seco obtenido debido al retorno de agua de la tela a la hoja, lo que significa que esta agua tendrá que ser retirada de la hoja nuevamente en la sección de prensado de la máquina o, en la peor de las hipótesis, en la sección de secado. La magnitud de la rehumidificación y al energía total utilizada varía de acuerdo con los tipos de papeles producidos, el tipo de equipo o, claro, las fuentes de energía disponibles.

Estructuras de las telas formadoras

La estructura de la tela formadora impacta significativamente en el soporte de las fibras y, consecuentemente, en su retención. Una tela formadora debe proveer buena estabilidad del papel y garantizar perfiles transversales y longitudinales uniformes. Desde el punto de vista del desagüe, la estructura de la tela formadora es menos importante después del desagüe inicial. Cuando la hoja alcanza cierto nivel de contenido sólido, el desagüe es controlado o

gobernado por la capa de fibra del papel simplemente porque este es el medio de restricción del flujo. Sin embargo, se descubrió que telas con mayor número de puntos de contacto, o altamente, más agujeros por área abierta, son más eficaces en el drenado del agua y dan mejor soporte en comparación a las telas de malla más gruesa con la misma área abierta. Una tela de superficie fina también es más fácil de mantener limpia, lo que requiere menos productos químicos para la limpieza. Telas más finas drenan agua más rápidamente, y lo más importante, retiene menos agua. Menor retención de agua impacta en la carga de accionamiento, pues volúmenes más altos de agua retenida aumentan el peso de la tela.

Cuanto a la rehumidificación, la estructura o el diseño de la tela es importante, pues los principales parámetros de control de rehumidificación en el desagüe con vacío se identificaron como [10, 11]: Estos fueron los parámetros que tuvieron más impacto en la definición de la capacidad de retención de agua en los espacios vacíos. Telas formadoras de estructuras con mayor espesor de triple capa normalmente proporcionan mejores propiedades que telas finas de doble capa, pero pierden contenido seco en la salida del formador, resultando en la reducción de la eficiencia y velocidad de la máquina. La rehumidificación definitivamente tiene un efecto negativo en el contenido seco de la hoja, pero es muy difícil medirlo con precisión. Además, el nivel de rehumidificación varía de acuerdo con las características de la tela, tipo de papel, configuración de la máquina, niveles de vacío, etc. [12]

Cuanto a la fricción o fuerza de arrastre, se supone que telas con monofilamentos de pasadas transversales largas (ICD) que unen largas distancias (vea algunos ejemplos en la Figura 1) en la parte inferior de la tela ayudan a extender la vida útil. El efecto del diseño de tejeduría sobre la fricción es más difícil de generalizar. Una estructura relativamente densa de pasadas transversales largas normalmente reduce el área abierta y puede resultar en un esfuerzo mayor que lo normal al aplicar vacío. Pero, claro que para una determinada tela, el desgaste de los monofilamentos aumenta el área de contrato causando la disminución de la carga específica, lo que resulta en menor carga de arrastre. La carga o mejor, carga específica -junto con la velocidad- son los dos principales componentes que controlan la fricción o la carga de arrastre.

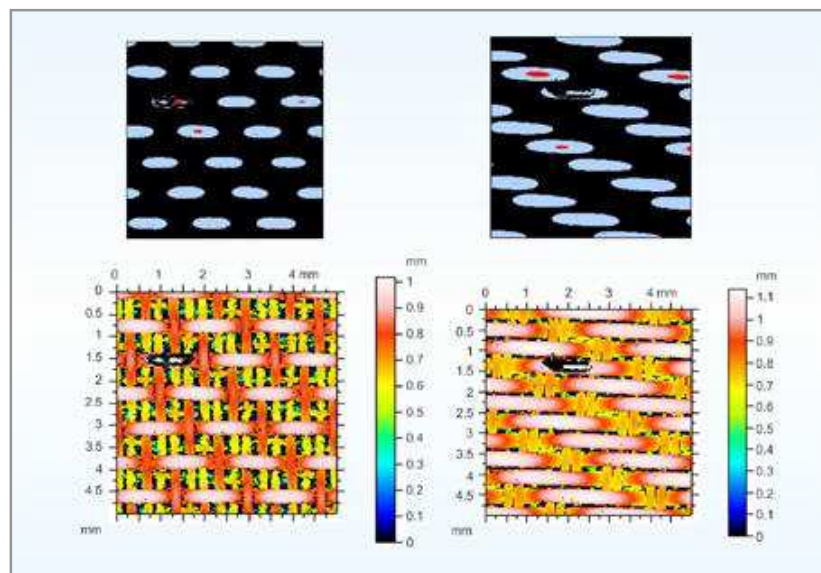


Figura 1: Área de contacto de los hilos transversales CD en telas con pasadas cortas y largas en la superficie de desgaste a una profundidad de 100µm. Pasada corta, área de contacto de 18% (izquierda) y pasada larga, área de contacto del 26% (derecha)

Se supone que pasadas longitudinales más largas pueden ser notadas como la manera preferida para reducir el desgaste de los monofilamentos. Eso se basa en el hecho de que cuando se los produce, los monofilamentos se tensan cuando se los prepara para alinear las moléculas para aumentar la elasticidad. Esta tensión puede ser 10 o incluso 11 veces superior. Estudios iniciales indican que la fricción o carga de arrastre es más o menos independiente de la dirección de desgaste de estos monofilamentos orientados. La fricción o carga de arrastre está más relacionado a propiedades morfológicas y térmicas de los hilos, como temperatura de transición vítrea, que con la dirección y grado de orientación molecular.

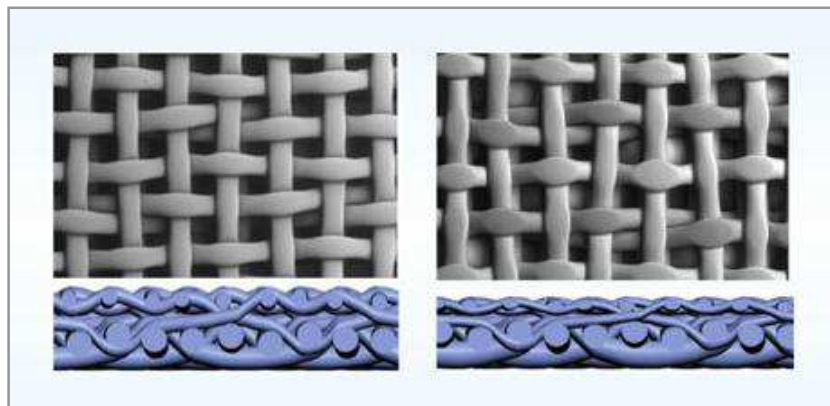


Figura 2: Imágenes de modelo de tomografía computadorizada por micro rayos X, incluyendo una imagen de la sección transversal y una microfotografía aproximada por microscopio electrónico (SEM) de una muestra no tratada (izquierda) y una muestra tratada (derecha)

El espesor y la permeabilidad de las telas formadoras son los dos factores más importantes con relación a la eficiencia de desague retención. Se mostró que aumentar el soporte de fibras de la tela y disminuir su espesor y volumen vacío interno con tratamiento en la superficie, como muestra la figura 2, puede generar un aumento del 1 al 2% de contenido seco de la hoja [10, 13]. Características estructurales de la superficie, como el número de puntos de contacto por unidad de área, también son factores significativos para mantener la tela limpia; cuando más fina, más limpia es su superficie. Eso también reduce los costos de la operación de la máquina, pues el número de rotura de hojas es menor y la necesidad de productos químicos para la limpieza puede ser reducida significativamente.

Materiales de las telas formadoras

Telas formadoras se vienen haciendo casi exclusivamente de materiales poliméricos o hilos de monofilamento desde el inicio de la década de 1970. Los polímeros más usados son los poliésteres (PET), y poliamidas (Principalmente PA 6e PA 6.6). Inicialmente se usaba casi que exclusivamente el PET, pero, debido a la creciente necesidad de telas formadoras más resistentes al desgaste, el PA 6 y el PA 6.6 se introdujeron transversalmente en el lado inferior de las telas. En estas telas, hilos de PET con alta elasticidad, se usan para dar estabilidad e hilos de PA para aumentar su vida útil. La introducción de poliamidas como método de prolongar la vida útil de la tela resultó en mayor fricción y consecuente mayor carga de arrastre. Por esto, la resistencia al desgaste de las telas formadoras junto con la fricción o carga de arrastre son balanceadas alternando hilos de PET y PA en varias combinaciones de tejeduría. El Gráfico 2 muestra la fuerza de fricción de las telas con todos los hilos de PET, con PA/PET [10] alternados y una mezcla de material conteniendo poliuretano (PUR). Las medidas se hicieron usando el mismo estilo de tela, pero variando los hilos transversales de su parte inferior. Como se ve, la tela hecha con todos los hilos de PET genera una fricción significativamente menor que las telas que también usan hilos de PA 6 o de una mezcla de materiales de PUR.

La introducción de los hilos con mezcla de PUR, normalmente mezclas de PET/PUR, se hizo inicial-

mente para aumentar la resistencia al desgaste, pero en muchos casos la fricción también se redujo. Como lo muestra el Gráfico 2, la fuerza de fricción de la tela hecha con hilos mezclando PET/PU es tan baja como la de la tela con todos los hilos de PET. Sin embargo, con el tiempo, la fuerza de fricción aumenta gradualmente a punto de quedarse un poco inferior a la de la tela hecha con hilos de PA. Eso se debe en gran parte al hecho de que los hilos con material de PET/PUR se deforman y, con eso, redujeron el área abierta de la tela, creando una fuerza normal superior en la tapa de caja de succión. El motivo de la deformación fue una combinación de temperatura (45°C) y aumento gradual de la carga compresiva.

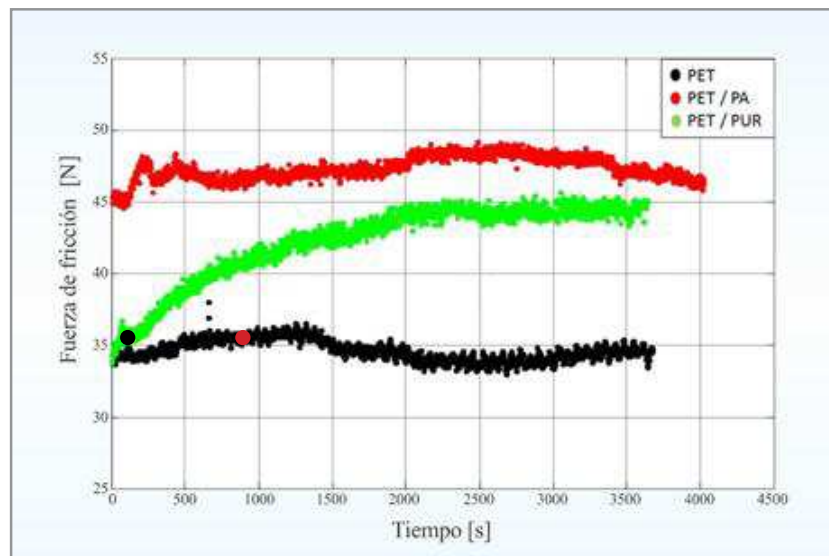


Gráfico 2: Fuerza de fricción (FMD) como una función del tiempo para la misma estructura de tela con tres combinaciones diferentes de hilos en la superficie de desgaste. 100% PET (●), PET/PA (●) y una mezcla de PET/PUR (●).

Recientemente, otros materiales y combinaciones de materiales se usaron en los hilos de la superficie de desgaste de las telas formadoras buscando reducir la fricción o carga de arrastre, manteniendo la resistencia a la abrasión para que la tela tenga la vida útil esperada. Un ejemplo relatado es el de monofilamentos hechos con mezclas PET y PA 6, la “mezcla” de PET y PA mencionada anteriormente se la hace en los monofilamentos. El efecto sobre el desempeño de la tela y carga es más o menos el mismo que usar una tela con monofilamentos alternados de PET y PA 6. Hasta el momento, hubo pocos relatos de los efectos de sinergia, como el mantenimiento de la elasticidad y resistencia al desgaste combinados, pero todavía estamos en la etapa inicial.

Seguramente habrá nuevos materiales y combinaciones de materiales disponibles para los hilos de monofilamento en un futuro cercano que reducirán significativamente más alto carga de arrastre y resultarán en telas formadoras con más eficiencia energética. El Gráfico 3 muestra la carga de arrastre como una función del tiempo de vida de la misma estructura (A y C), y una estructura B similar en la misma posición, pero con hilos de materiales diferentes en la superficie de desgaste de la tela formadora. La Tela A alterna monofilamentos de PA 6 y PET en la superficie de desgaste, mientras la Tela C tiene hilos hechos de un nuevo sistema de polímeros. Los monofilamentos de la superficie de desgaste de Tela B se hacen de una mezcla de PA 6 y PET. En esta posición específica fue posible reducir la carga de arrastre en hasta un 25% usando un hilo de material de baja fricción. Es posible ver también que hay un efecto del tiempo o desgaste involucrados con la reducción de la carga de arrastre del 25 al 40%, independiente del material usado desde el primer día hasta el fin de la vida útil de la tela por desgaste. Como se mencionó anteriormente, el desgaste aumentará gradualmente el área de contacto del hilo de la tela, disminuyendo así la contacto de la carga específica. Una superficie grande y plana de hilo/tela también es más fácil de lubricar que una superficie cóncava.

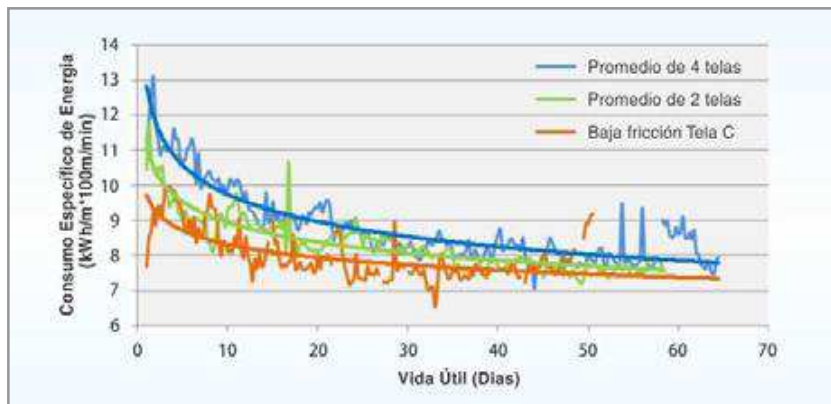


Gráfico 3: La relación entre el consumo específico de energía y la vida útil de la tela en una gap former de LWC de alta velocidad se la compara en tres diseños de telas formadoras. Se midió una reducción del 25% en el consumo de energía entre las telas A y C con o uso de hilos de "baja fricción" en la superficie de desgaste

El incentivo para introducir hilos de nuevos materiales o aleaciones polímeras es reducir las fuerzas de fricción entre la tela y los elementos cerámicos de la caja de alto vacío para generar cargas de arrastre menores. Claro que también es importante controlar el desgaste de la tela, pues poca fricción no siempre es lo mismo que poco desgaste: en la mayoría de las veces es lo opuesto. Por ejemplo, el politetrafluoroetileno (PTFE) es un polímero excelente desde el punto de vista de baja fricción, pero la resistencia al desgaste es muy mala. Además de materiales y estructura, efectos del ambiente de la máquina de papel como temperatura, pH, velocidad, fuerza normal, caja de succión, Superficie de la tapa del forming, elementos fijos, etc. también son importantes y tienen gran impacto en el desempeño de un determinado polímero o material. Por ejemplo, poliuretanos o mezclas conteniendo poliuretanos, vienen presentando poca fricción en niveles más elevados de pH (pH 8-9).

La fricción es proporcional a la fuerza normal para la mayoría de los polímeros, pero el nivel de fricción como función de la carga normal varía sustancialmente entre polímeros. Cuanto a la velocidad, la fricción no debe sufrir alteraciones con la velocidad de deslizamiento, pero normalmente la temperatura aumenta con la velocidad y eso cambia las condiciones de forma significativa. Eso también se acentuó debido al hecho de materiales poliméricos son buenos aislantes y no disipan bien el calor. La temperatura también altera el comportamiento de los polímeros, especialmente si excede o sobrepasa alguna temperatura de transición, además de transición vítrea. Las características de la mayoría de los polímeros también sufren alteraciones en función del grado de fatiga o impacto de la velocidad.

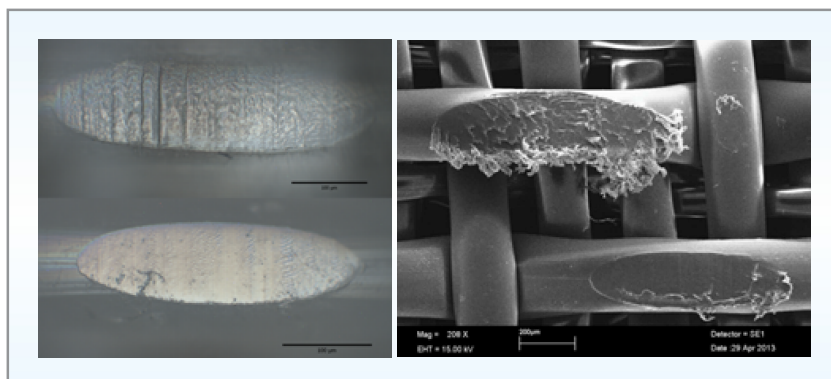


Figura 3: Microfotografías de microscopio electrónico (SEM) de los estándares de desgaste del PA 6 (arriba) y PET (abajo) rodando contra ZrO_2 . A la izquierda, fuerza normal de 30 N, 600 rpm por 600 s. A la derecha, fuerza normal de 30 N, 600 rpm por 2400 s

La diferencia en las características de desgaste y fricción del PET, PA y diversas mezclas son encontradas parcialmente en la morfología de estos materiales. El efecto de la fricción de materiales diferentes es obvio, pero no fue plenamente entendido y las influencias del ambiente, como temperatura y pH vuelven el cuadro más complejo. Se hicieron pruebas rodando una tela formadora sobre superficies cerámicas [14], ZrO_2 y SiC-E, bajo condiciones de humedad. La tela estaba prendida a una superficie giratoria y el elemento cerámico fue cargado contra la tela con la fuerza normal variando entre 15 y 60 N (0,22 y 0,47 MPa). La velocidad se mantuvo relativamente baja para controlar la temperatura, pero la frecuencia de rotación fue variada entre 1 y 10 Hz, lo que es comparable con la frecuencia que una tela formadora toca los elementos estáticos o rueda sobre las cajas de vacío de la máquina de papel. Hilos de PA 6 y PET mostraron comportamiento de desgaste diferentes cuando sometidos a superficies cerámicas (ZrO_2), como lo muestra la Figura 3 [14]. El PA 6 es más maleable que el PET, lo que obviamente es una ventaja con relación al índice de desgaste, pero genera más fricción, como se lo mostró anteriormente en el Gráfico 2 [13, 15]. Se notó que el coeficiente de fricción e índice de desgaste varían conforme la tela y diferentes materiales cerámicos. No se notaron grandes alteraciones en el coeficiente de fricción al variar o aumentar la fuerza de fricción normal. Al variar la velocidad, se notaron diferencias significativas en el coeficiente de fricción, que disminuía con el aumento de la velocidad. Se descubrió también que el coeficiente de fricción con el tiempo causa el pulimento de la superficie de material cerámicos. Sin embargo, es seguro que el efecto de este pulimento alcanzará un punto estable, pero eso no se verificó en el ámbito de este trabajo.

Conclusiones

Es delicado encontrar el equilibrio para controlar la fricción o carga de arrastre y el índice de desgaste de las telas formadoras alterando los materiales poliméricos. La mayoría de los materiales que tienen u ofrecen una carga de arrastre baja tiene un desgaste relativamente rápido. Pero, se mostró que la elección apropiada del material del hilo puede reducir la fricción de la tela o carga de arrastre en hasta un 25%. El mecanismo por detrás de la combinación entre desgaste y carga de arrastre todavía no fue completamente entendido. Tampoco se mostró que las condiciones del ambiente que opera la máquina, como el pH y la temperatura junto con varias fuerzas físicas y mecánicas, tienen un papel fundamental y es por eso también que no se puede hacer generalizaciones sobre la elección o recomendación de telas. Por lo tanto, el design de la tela y los materiales usados deben ser personalizados para cada situación o máquina.

La estructura de la tela también tiene un papel significativo, pues telas finas con área de contacto grande en la superficie de desgaste tienen la ventaja de reducir la carga de arrastre. Eso corresponde bien con el análisis de telas usadas que normalmente presentan la menor carga de arrastre al final de su vida útil o tiempo de servicio. Telas más finas con poco volumen vacío en la superficie también tienen la ventaja de reducir la rehumidificación de la hoja.

Referencias

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.



La llave
para liberar el potencial
de su máquina

KRAFTLINE
KRAFTLINE

Beneficios:

- Alta capacidad de drenaje
- Aumento del contenido seco en la salida de la mesa
- Aumento de retención y/o disminución del uso de agente de retención
- Reducción en el consumo de energía de refinación
- Reducción en el consumo de carga de accionamiento debido al hilo low drag

STUDIO LAMA