

Compact Engineering ha desarrollado lámparas infrarrojas especiales que permiten secar los estucados a partir de la capa de sedimentación inicial y que son además especialmente eficientes energéticamente. Con los estucados de barrera, se pueden alcanzar altas velocidades de producción sin comprometer la calidad del papel. La rentabilidad es similar a la de los emisores infrarrojos alimentados por gas. Este artículo examina los principios físicos del secado de los estucados, en particular los de las capas de barrera. El artículo demuestra que la transferencia de calor eficiente y la transferencia de masa efectiva amplían el estrecho margen de maniobra de los fabricantes de papel en la producción de papeles de barrera. Además, se presenta un caso de aplicación para el secado de un estucado especial a base de alcohol polivinílico.

Secado de estucados de barrera

El secado del estucado es una parte crítica de la fabricación de papel. Al secar los estucados de barrera surgen dificultades especiales, ya que el proceso de secado también crea el efecto barrera. Si todavía hay agua debajo de la película formada en la superficie del estucado, ésta dañará la superficie tan pronto como se evapore. Por lo tanto, la curva de secado correcta es una parte esencial del secado de capas de barrera. En la mayoría de los casos, la velocidad de producción debe reducirse considerablemente en comparación con los estucados normales, ya que los estucados de barrera suelen tener un peso de estucado húmedo muy elevado. En casos especiales, la velocidad de producción es sólo un tercio o incluso un cuarto de la velocidad normal.

El secado optimizado de las capas de barrera a partir de la capa de sedimentación inicial evita la formación prematura de película en la superficie y la evaporación de toda el agua sin dañar posteriormente la barrera.

Mostramos los principios físicos del secado y su influencia en el secado de las barreras, pero también en estucados en general; y mostramos cómo se puede ampliar la ventana operativa, especialmente en términos de velocidad de producción.

1. Introducción

Las campanas de aire caliente muy largas se utilizan a menudo para secar las capas de barrera con el fin de calentar lentamente el revestimiento y evitar la formación prematura de película en la superficie. La desventaja es el tamaño de las máquinas y la baja velocidad de

producción. La mayoría de los fabricantes de papeles de barrera ya han encontrado que los emisores infrarrojos a gas son contraproductivos. Los emisores de infrarrojos eléctricos son la herramienta preferida, pero también en este caso existen diferentes conceptos con características de eficiencia energética diferentes.

2. Dificultades en el secado de barreras

Los estucados de barrera son particularmente difíciles de secar, y los fabricantes de papel a menudo se quejan de las pequeñas ventanas de operación de sus estucadoras. Además de las dificultades del secado normal de la capa, existe el problema de que el secado de la capa activa la barrera. Si la superficie se seca demasiado rápido, se produce una película prematura y sólo se puede evaporar más agua a través de la barrera, causando micro ampollas. Por esta razón, el secado con secadores de aire caliente de baja temperatura se ha convertido en el método de producción establecido, en el que la temperatura de la superficie se mantiene baja mediante velocidades lentas y secadores largos. De este modo, la temperatura en el estucado puede igualarse lentamente. Esto evita formación precoz de retícula a coste de una baja capacidad de producción.

Ya se ha discutido entre los fabricantes de papeles de barrera que los secadores infrarrojos a gas instalados delante de las campanas de aire caliente no deben utilizarse en las estucadoras con el fin de no poner en peligro la calidad de la barrera. Sin embargo, la mayoría de los usuarios no son conscientes de los principios físicos involucrados.

3. Principios físicos del secado

El secado es un proceso de dos pasos. El primero es la transferencia de energía al material a secar, el segundo paso es la transferencia de masa, donde el disolvente se evapora. En la fabricación y el estucado del papel, el agua se utiliza como disolvente. Idealmente, cuando el agua se evapora, la mayor parte de la energía se remueve del material que se está secando y la temperatura se reduzca.

La transferencia de energía puede tener lugar de diferentes maneras:

- **Conducción:** en la fabricación de papel, normalmente se realiza mediante cilindros calentados por vapor cuya superficie caliente calienta el material a secar por contacto directo y sólo puede utilizarse para estucados una vez que han alcanzado la inmovilización de los sólidos secos.
- **Radiación:** típicamente por infrarrojos. La radiación es normalmente la forma más costosa de transmisión de energía, pero en aplicaciones especiales es la más eficiente.
- **Convección:** por medio de un transmisor como el aire en un secador de aire caliente.

3.1. Secado del estucado por medio de aire caliente

Las campanas de aire caliente se utilizan después del cabezal de recubrimiento, el cual sopla aire caliente y seco sobre la superficie del material a secar y simultáneamente expulsa la humedad. Al calentar el estucado se debe tener cuidado de que la temperatura suba lo suficientemente despacio en las campanas de secado para controlar la migración al sustrato. Si la superficie se calienta demasiado rápido, la fase líquida del estuco fluye hacia el sustrato causando moteado, desempolvado, etc.

Con el secado de barrera, el aumento de temperatura debe ser más lento que con el secado normal del estucado. La energía ganada por el estucado debe ser similar a la que se pierde por evaporación. De lo contrario, la superficie del estucado se calienta demasiado rápido, lo que provoca el secado y un aumento de la temperatura por encima del punto de formación de la película. Una vez formada la película, el secado se detiene y cualquier resto de agua es empujada a través de la capa de barrera y causa micro ampollas.

3.2. Secado del estucado a través de radiación

En el secado de estucados, los radiadores infrarrojos se utilizan a menudo delante de las campanas de aire caliente para inmovilizar rápidamente el revestimiento e introducir energía debajo de la superficie en el sustrato. Se utilizan tanto emisores infrarrojos de gas como eléctricos.

3.2.1. Espectro de radiación de diferentes emisores infrarrojos

El infrarrojo es parte del espectro electromagnético. Las diferentes bandas de ondas de infrarrojos están determinadas por sus longitudes de onda que, a su vez, se rigen por su temperatura corporal negra. La radiación infrarroja se divide generalmente en tres (a veces cinco) bandas de ondas:

- **Infrarrojo de onda corta:** contiguo a la luz visible a una longitud de onda de 780 nm a 2 μm
- **Infrarrojo de onda media:** correspondientes a longitudes de onda entre 2 μm y 4 μm
- **Infrarrojo de onda larga:** entre 4 μm y 1 mm de longitud de onda

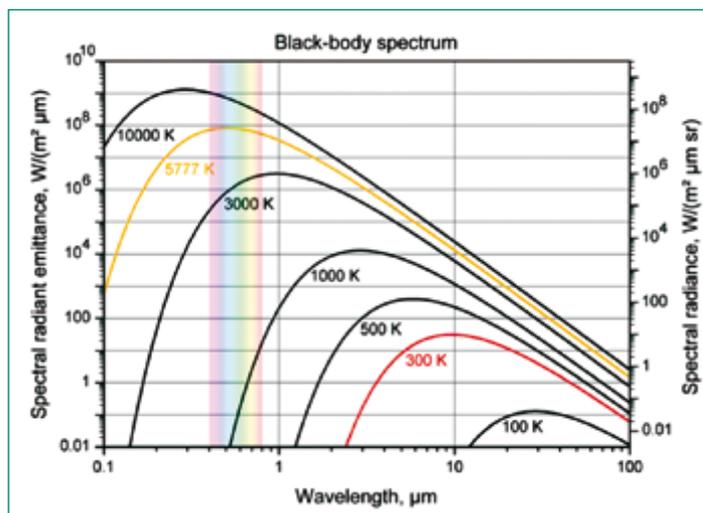


Fig. 1: Espectro de radiación de Planck para diferentes radiadores de cuerpo negro, con radiación espectral específica y radiación espectral. Amarillo: radiación del sol, rojo: radiación de la tierra en un día soleado.

Con una excepción, los emisores infrarrojos eléctricos tienen su radiación máxima a una longitud de onda de 1,18 μm en el infrarrojo cercano, a una temperatura del cuerpo negro de aproximadamente 2450 K. Los radiadores de gas funcionan, dependiendo de la versión, en longitudes de onda pico de entre 2,5 μm y 3,5 μm . Los emisores eléctricos optimizados

de Compact tienen su potencia máxima en el infrarrojo de onda corta a 1,45 μm de longitud de onda, lo que corresponde a una temperatura de unos 2000 K.

Cuanto más corta es la longitud de onda, mayor es la intensidad de radiación, que según la ley de Stefan Boltzmann aumenta con la cuarta potencia de la temperatura absoluta. Una duplicación de la temperatura significa una densidad de radiación dieciséis veces mayor. Por lo tanto, una temperatura más alta resultaría en un mejor secado si la absorción de IR no importara.

3.2.2. Absorción de la Radiación

La absorción de la radiación es sólo el primero de los cuatro pasos del proceso de secado. La absorción de la radiación por parte del sustrato y del estucado proporciona la energía necesaria para que se produzca el secado. El infrarrojo a la longitud de onda derecha estimula los enlaces intermoleculares en el recubrimiento, el agua y el sustrato.

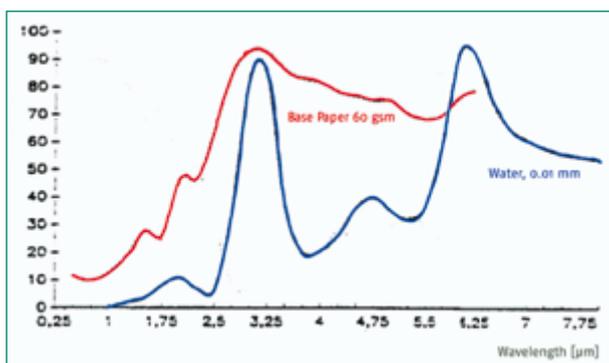


Fig. 2: Absorción de la radiación infrarroja por una fina capa de agua y un papel de base.¹

En 1991 Helmut Graab publicó la absorción de la radiación infrarroja por una capa de agua con un espesor de 10 μm y un papel de base, comparando diferentes sistemas emisores en el secado de estucados. La Ilustración 2 muestra que el agua tiene una absorción muy

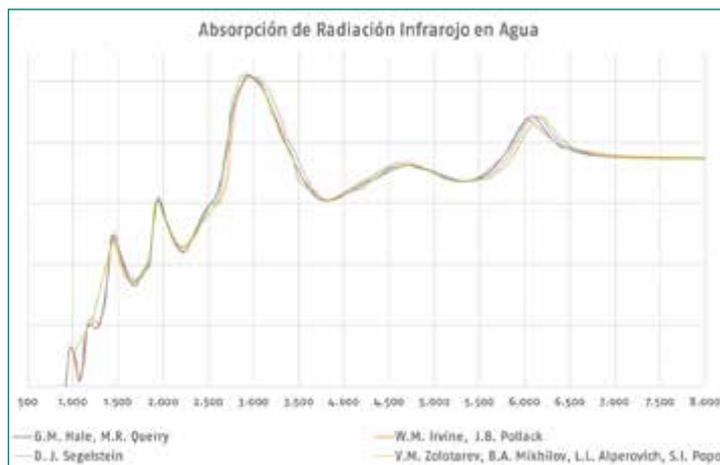


Fig. 3: Absorción de la radiación infrarroja por el agua en función de la longitud de onda.²³⁴⁵

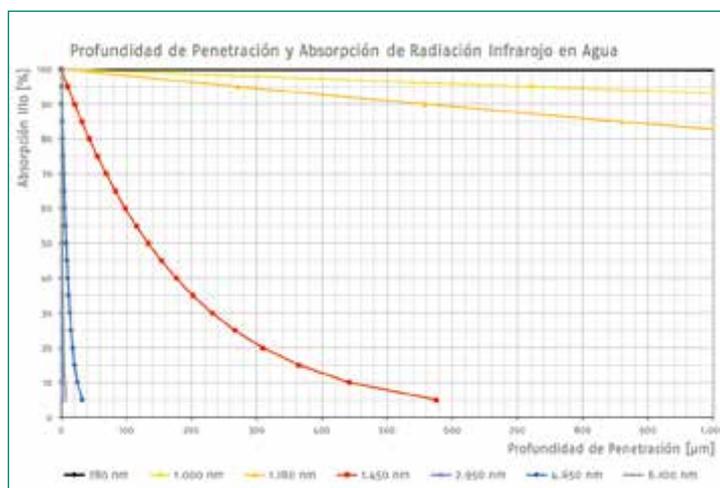


Fig. 4: Profundidad de penetración y absorción de la radiación infrarroja por el agua para longitudes de onda seleccionadas de emisores eléctricos convencionales y optimizados, profundidad de penetración 1.000 μm .

fuerte a una longitud de onda de aproximadamente 3,25 μm y 6,10 μm . En el rango de infrarrojo cercano, el pico de 1,45 μm no aparece en su gráfico del agua, pero está listado para el sustrato.

Publicaciones posteriores también muestran este pico en el rango cercano al infrarrojo (ver figura 3).

Para el secado de los revestimientos de barra, las longitudes de onda infrarrojas correctas deben proporcionar una mezcla de absorción y penetración de energía a la hoja. La longitud de onda pico ideal es de 1,45 μm .

3.2.3. Penetración de la radiación en el estucado y el sustrato

A 1,45 μm , la radiación es capaz de penetrar en el estucado y calentar la hoja por debajo.

Esto evita la migración a la hoja y asegura que el estucado empiece a secarse desde la interfaz estucado/hoja. La evaporación continua de la superficie del estucado mantiene la superficie fría y las capas de barrera abiertas para una mayor evaporación. La relación longitud de onda/penetración se describe en la ley de LambertBeer y se muestra en las ilustraciones 4 y 5 para longitudes de onda seleccionadas.

La ilustración 4 muestra muy claramente que la luz roja (780 nm) en el borde del infrarrojo penetra muy profundamente en el agua y apenas se absorbe. La luz infrarroja con una longitud de onda de 1180 nm –sobre la cual los emisores eléctricos comerciales irradian su máximo– también penetra muy profundamente. A una profundidad de 860 μm , sólo el 15 % de la radiación es absorbida y convertida en calor. El 80 % de la radiación de los radiadores eléctricos optimizados, que tienen una potencia máxima a una longitud de onda de 1450 nm, es absorbida por una profundidad de 310 μm .

La Ilustración 5 muestra la penetración de longitudes de onda seleccionadas de radiación infrarroja dentro de las primeras 20 μm de profundidad. Se muestra claramente que el 80 % de la onda infrarroja media con una longitud de onda de 2950 nm ya está absorbida a 0,7 μm de profundidad. En el segundo pico relevante del IR, a 6,1 μm , el 80 % de la radiación se absorbe a una profundidad de 3,6 μm . En el tercer pico del espectro MIR, a una longitud de onda de 4650 nm, el 80 % de la radiación se absorbe en 17,3 μm .

En promedio, el 80 % de la energía de los radiadores infrarrojos de gas se absorbe en los primeros 3 μm . En la práctica, esto conduce a un fuerte calentamiento de la superficie del estucado. La radiación no puede penetrar muy profundamente, por lo que el sustrato permanece prácticamente sin calentarse. Con un estucado de barrera a base de PVA de 15 a 20 g/m^2 de peso en húmedo, sólo se calienta el 15 % a 20 % superior del estucado. Esto conduce a un secado y calentamiento rápidos y, por lo tanto, a la formación prematura de una película en la superficie. Cualquier resto de agua que quede en la capa o en la lámina romperá la capa y destruirá la barrera.

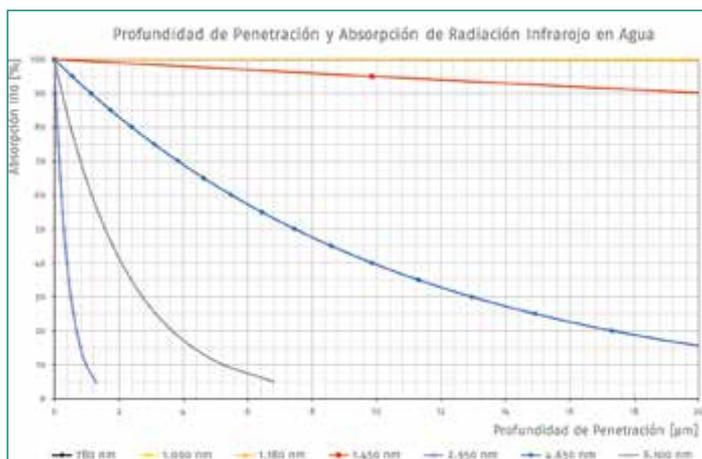


Fig. 5: Profundidad de penetración y absorción de la radiación infrarroja por el agua para longitudes de onda seleccionadas de emisores alimentados por gas a una profundidad de penetración de 20 μm .

3.2.4. Evaporación eficiente

El simple hecho de calentar la hoja no está secando. Para que se produzca el secado, es necesario eliminar el vapor de agua. Una capa laminar muy delgada se encuentra encima de la hoja, que se mueve con la hoja a una velocidad cercana a la de la producción. Si esta capa está saturada de vapor de agua, el secado se detiene y la hoja se calienta esencialmente para eliminar esta capa laminar con aire turbulento para eliminar la mayor cantidad de vapor de agua posible.

4. Secado de las barreras sin blísteres

Para una rápida inmovilización de la capa de sedimentación inicial del revestimiento, una gran parte de la energía debe ser emitida a longitudes de onda entre 1,4 μm y 1,8 μm , de modo que el revestimiento se seque desde abajo para evitar filmaciones prematuras.

Si el sustrato se calienta eficientemente, el secado de la barrera (como cualquier otro revestimiento) comienza desde la capa sedimentaria inicial. La formación de la película de la barrera sólo se completa cuando el agua se ha evaporado y la temperatura aumenta. Esto ocurre por último en la superficie del estucado. Los secadores deben ser capaces de evaporar suficiente vapor de agua para disipar el calor absorbido y evitar un aumento de la temperatura hasta la temperatura de formación de la película, independientemente de la humedad.

Compact Engineering ha desarrollado sus secadores XenTec para que a plena carga se

libere la máxima energía a una longitud de onda de $1,45 \mu\text{m}$. Las pérdidas a longitudes de onda inferiores a $1,3 \mu\text{m}$ se mantienen al mínimo, al tiempo que se garantiza una penetración muy profunda en el sustrato. Típicamente, tres cuartos o más de la energía calienta el sustrato. En comparación con las lámparas eléctricas convencionales, que sólo calientan la hoja con un 35 % de eficiencia, las lámparas XenTec convierten más del 60 % de la energía eléctrica utilizada para transferir el calor al sustrato y al revestimiento.

Al mismo tiempo, la capa límite laminar es reemplazada por aire caliente y seco antes de aplicar la energía radiante para aumentar la evaporación. Debajo del emisor, la capa laminar es turbulentamente perturbada por el aire de impacto y la capa laminar es reemplazada de nuevo inmediatamente después del emisor. De este modo se evita la saturación de la capa límite laminar. La evaporación rápida contribuye a la refrigeración del revestimiento, de modo que incluso los estucados difíciles, como los de papeles termo –a pesar de la densidad de energía extremadamente alta de los radiadores– no se calientan por encima de una temperatura crítica, sino que son enfriados por la entalpía de evaporación. Para optimizar la rentabilidad, este secador XenTec está idealmente situado como amplificador delante de las campanas de aire caliente para facilitar su trabajo y dejar la evaporación principal en manos del aire caliente más económico.

5. Caso de aplicación

Estucado de barrera basado en PVA

Se debe secar un estucado de barrera típico basado en PVA de alta viscosidad con un peso de $1,2 \text{ g/m}^2$ y un contenido de sólidos del 8 %, es decir, un peso de capa húmeda de 15 g/m^2 y un espesor de capa de aproximadamente $15 \mu\text{m}$. La máquina de recubrimiento tiene varios cabezales estucadores en ambos lados del papel. Hasta ahora, sólo se han utilizado secadores de aire caliente de gran tamaño. Sin embargo, el secado del estucado de barrera es el cuello de botella. En algunos casos, la velocidad de producción es entre un 60 % y un 70 % inferior a la de los recubrimientos normales. Como refuerzo entre el cabezal de recubrimiento y las campanas de aire caliente se utilizó un secador y un contrareflector XenTec Apollo. Se necesita un poco más de 50 cm de espacio de instalación en la dirección de la máquina.

El XenTec Apollo tiene una potencia de 160 kW/m y se evapora tanto como las lámparas de infrarrojos convencionales con una potencia de 320 a 350 W/m . Esto fue precedido por varios experimentos con emisores infrarrojos para aumentar el rendimiento. Se sabía que los quemadores de gas eran desventajosos. Con un emisor eléctrico convencional se puede aumentar la velocidad en un 3 %. A mayor rendimiento, la calidad del papel se veía afectada, ya que este emisor no permitía la evaporación inmediata del agua. Para alcanzar un periodo de recuperación razonable, la velocidad tendría



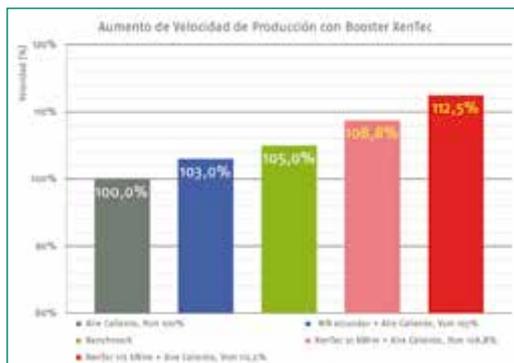


Fig. 6: Aumento de velocidad con XenTec Apollo como amplificador delante de las campanas de aire caliente.

que haber aumentado al menos un 5 %. Con el XenTec Apollo se logró un aumento de la velocidad de producción del 8,8 % y del 12,5 % a 91 kW/m y 115 kW/m respectivamente (Fig. 6). La calidad general mejoró (véase Fig.7). Esto se debe a la curva de temperatura durante el secado: la temperatura máxima se mantuvo entre 3 °C y 9 °C por debajo de la temperatura alcanzada con el uso exclusivo de las campanas de secado. La humedad también se ha reducido en un 0,5 %. Señal de que la velocidad de producción se puede aumentar aún más pero los otros cabezales de recubrimiento deben ser reforzados para este fin.

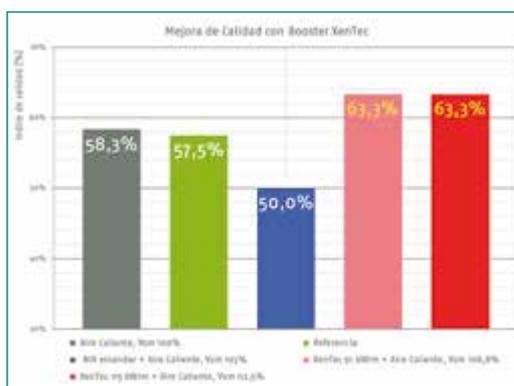


Fig. 7: Mejora de la calidad mediante el secado a partir de la capa de sedimentación inicial y la prevención de filmaciones prematuras de la superficie.

Soluciones de Procesamiento de Fibra

Tamizado, refinado y flujo de aproximación de la máquina de papel.

Lo cubrimos todo.

Visítanos en aft-global.com



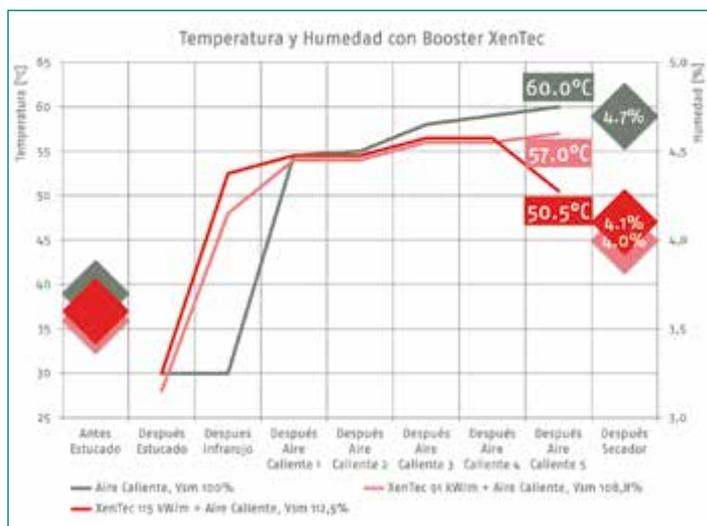


Fig. 8: El calentamiento del sustrato facilita el trabajo de las campanas de aire caliente. Estos pueden evaporar mucho mejor si el secado se inicia a partir de la capa sedimentaria inicial. La evaporación eficiente enfría el revestimiento.

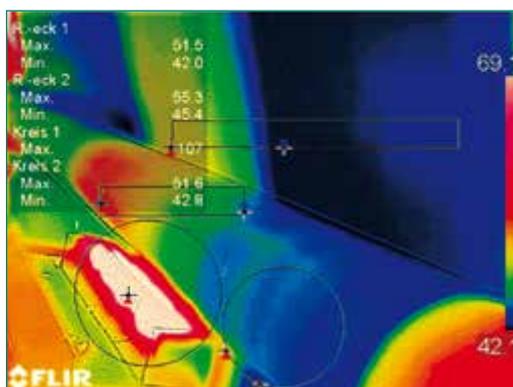


Fig. 9: Termografía de una instalación de prueba con XenTec Apollo como amplificador después de una estucadora de barrera.

El punto crítico es el secado temprano del estucado durante la fase de calentamiento. La termografía de una instalación experimental (Fig. 9) muestra claramente que un alto aporte de energía –y por lo tanto un alto rendimiento de evaporación– es posible si se extrae el calor del estucado y del sustrato lo más rápidamente posible. Con un concepto de secado adecuado, incluso es posible alcanzar una temperatura considerablemente más

baja en la bobina (ver Fig. 8) y evitar el bloqueo, que es particularmente común con los papeles barrera termosellables.

Esto previene la formación prematura de película y por lo tanto el daño a la barrera.

En el escaneo térmico se ve claramente que el XenTec Apollo calienta el recubrimiento sólo alrededor de 9 °C, a pesar del alto aporte de energía. En el ejemplo mostrado, esto significa un aumento de la velocidad de producción de un impresionante 20 %. Esto se garantiza mediante el secado de la capa sedimentaria inicial, lo que permite que el agua caliente se evapore de forma óptima de la superficie.

6. Resumen

Los retos para el fabricante de papel en la producción de papeles de barrera radican en las restricciones de secado y en la pequeña ventana operativa de las instalaciones de producción. El secado de las barreras conduce a su filmación y por lo tanto a una menor permeabilidad al agua y al vapor.

Si las condiciones físicas mencionadas se implementan correctamente, amplían considerablemente la ventana de trabajo. Seleccionando la longitud de onda adecuada y, por lo tanto, la profundidad de penetración óptima y la absorción de la radiación, así como la eliminación simultánea del agua evaporada, las barreras se secan desde su capa de sedimentación inicial, evitando así la formación precoz de un filme prematuro en la superficie.

Lo ideal es que el secador de infrarrojos adecuado se utilice como amplificador delante de las campanas de aire caliente. Esto permite alcanzar velocidades de producción más altas, una mejor rentabilidad y unas propiedades de producto óptimas del papel. ■

Wolf Heilmann, Produkte für die Papiererzeugung, Augsburg, Tim Klemz, Compact Engineering, Thirsk

Referencias

- Graab, Helmut: «Einfluss der Strahlertemperatur von Infrarotstrahlern auf die Trockenleistung», Wochenblatt für Papierfabrikation 19, 1991.
- Hale, G. M. and Querry, M.R.: «Optical constants of water in the 200 nm to 200 µm wavelength region», Appl. Opt. 12, 555-563, (1973).
- Irvine, W.M. and Pollack, J.B.: «Infrared optical properties of water and ice spheres», Icarus, 8, 324-360, (1968).
- Segelstein, D.J.: «The complex refractive index of water», University of Missouri Kansas City, (1981).
- Zolotarev, V.M., Mikhailov, B.A., Alperovich, L.L. and Popov, S.I.: Dispersion and absorption of liquid water in the infrared and radio regions of the spectrum, Optics and Spectroscopy, 27, 430-432, (1969).