Le revêtement, à l'intérieur comme à l'extérieur

Fernando Dantas.

Technology Manager Tissue chez Buckman, Fernando Dantas explique comment améliorer l'élimination du condensat Yankee, en prévenant la formation de dépôts dans les parties internes du séchoir. A la clé : une efficacité maximale du film appliqué sur la surface extérieure, d'où des gains en énergie et un produit de meilleure qualité.

Le secteur du papier, et en particulier les experts en crêpage, débattent fréquemment des vertus des différents types de coating pour améliorer la qualité du tissue en termes d'épaisseur (Bulk) et de douceur, ainsi que pour renforcer les propriétés adhésives des films, qui permettent de parvenir à une protection maximale de la surface du Yankee à traiter. Toutefois, si l'essentiel de l'attention est consacré à la couche de coating externe du sécheur Yankee, on néglige souvent les éléments internes de ce dernier et sa coque interne, où l'uniformité et la constance dans l'élimination de la couche de condensat influencent de manière importante l'efficacité du transfert de chaleur. L'objectif de cet article est donc de donner un aperçu des méthodes qui permettent d'améliorer l'opération d'élimination du condensat Yankee, en prévenant la formation de dépôts dans les parties internes du séchoir Yankee et, ainsi, d'assurer une efficacité maximale du film appliqué sur la surface extérieure, qui permet de garantir efficacité énergétique et qualité du produit.

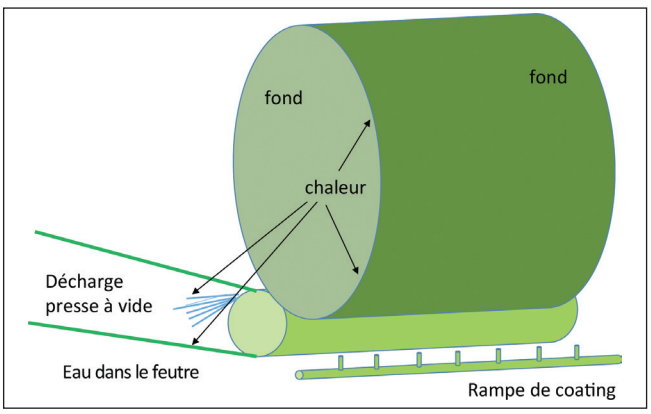


Fig. 1.

Un des sujets mis en avant, par exemple, est la cause principale de formation de facettes (Chatter) sur la surface du séchoir Yankee et leur impact sur la production générale de la machine. D'importants efforts ont été déployés afin de comprendre les interactions entre revêtements, qualité de la composition, chimie de la partie humide et éléments autour de la machine (presse à cylindres aspirants, agents de crêpage ou types de lames de crêpage/nettoyage et leur ajustement), de manière à parvenir au meilleur compromis en termes de qualité et de productivité de la machine. De l'autre côté de la coque Yankee, la qualité des condensats et de la vapeur peut affecter les performances du film appliqué sur la surface externe et conduire à l'apparition d'une zone à température non uniforme qui entraîne une application différente et inégale du film sur la surface du sécheur Yankee et, au final, l'apparition de facettes (Chatter). Comme nous le savons, l'énergie qui alimente le sécheur prend la forme de vapeur destinée à sécher la feuille. La quantité de vapeur qui se condense détermine la quantité de chaleur transférée. Toutefois, ce transfert passe par plusieurs étapes de perte ou résistance qui peuvent être illustrées par le coefficient de conductance thermique suivant. La résistance est l'inverse de la conductance exprimée par la formule suivante :

Ud = 1/Rd, où Rd représente la résistance globale au transfert de chaleur

Alors,

Rd = 1/Ud = condensats R + échelle R+ coque R+ revêtement R + feuille R

Notre attention se portera essentiellement sur la manière de garantir l'efficacité de l'élimination du condensat du Yankee au fil du temps, afin de maintenir une température uniforme sur toute la largeur du sécheur et permettre des conditions optimales de mise en place du revêtement.

Un des aspects les plus importants à garder à l'esprit est que tous les Yankee ne se ressemblent pas. Il en existe deux types : les nervurés (ribbed) et à coque pleine. Notre discussion porte essentiellement sur la première catégorie : les Yankees nervurés. Une coque de séchage nervurée est composée de couches nervurées alternées qui s'enroulent autour de la circonférence de la coque interne pour former des sillons. Les condensats sont collectés dans les sillons à l'aide de pailles, laissant les nervures exposées à la vapeur. C'est ici que se trouve l'un des points essentiels à un fonctionnement efficace de la machine : si cette élimination n'est pas correctement effectuée, cela entraînera un effet d'isolation qui impactera de manière négative le transfert de chaleur.

L'une des causes les plus communes de la baisse de l'efficacité de l'élimination du condensat des rainures est la corrosion potentielle des pailles et la formation de magnétite qui obstrue le flux ascendant des condensats dans ces dernières. Cette réaction se produit lorsque le potentiel électrochimique

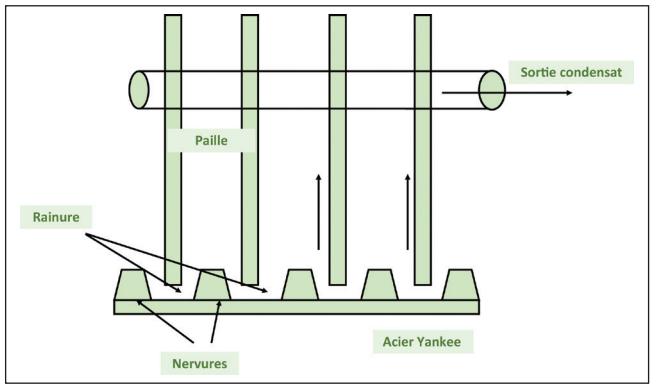


Fig. 2.

E_h et le pH de la vapeur subissent un changement important de basique à acide. Même si un traitement approprié est apporté à la chaudière, ce problème se produit généralement dans le circuit circulaire court du Yankee, où le condensat est séparé au niveau du réservoir séparateur et redirigé *via* un thermocompresseur dans la ligne de vapeur principale qui alimente le Yankee en vapeur.

Une fois les conduites obstruées, le flux de condensat qui transite par les pailles se trouve considérablement réduit, entraînant un transfert de chaleur inadapté sur cette zone et, en conséquence, réduisant la température de surface du Yankee. Cette baisse de la température de surface a un impact significatif sur les conditions de mise en place du revêtement et affecte l'uniformité du film, ce qui entraîne soit des problèmes de fonctionnement de la machine (pannes, impact sur la durée de vie de la lame), soit des problèmes de qualité du produit final, conséquences de l'apparition de zones de crêpage médiocres.

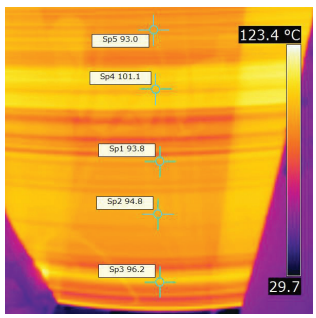


Fig. 3. Exemple d'une température de surface homogène favorisant des conditions optimales pour application de coating.

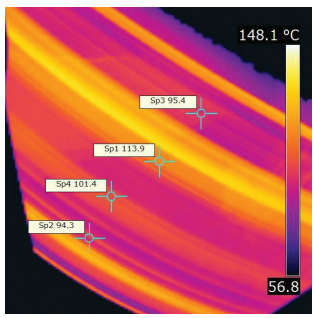


Fig. 4. Situation de profil de température à éviter, qui impacte négativement les conditions d'application du coating.

Les adhésifs de revêtement dépendent de la température de surface pour mener leur action, soit d'évaporation de l'humidité, soit de réticulation du film, s'il s'agit d'un adhésif thermoformé. La Tg, ou température de transition vitreuse, est souvent mentionnée pour décrire les caractéristiques de l'adhésif, qui représente l'un des éléments du revêtement. Il est important de profiler l'ensemble des éléments et états du Yankee qui pourraient affecter le profil d'humidité et qui dictent le niveau de performances du système de revêtement d'une machine, en termes de rhéologie et de ductilité. Une reproduction de conditions similaires sur l'ensemble de la largeur du Yankee est ici souhaitée, afin de parvenir à une performance de revêtement et à des caractéristiques de feuille optimales sur cette direction.

Comment les dépôts surviennent-ils dans le système de condensat ?

Un aspect important à prendre en compte est que, bien que l'oxygène puisse être absent, le fer subit une corrosion dans l'eau. Dans les systèmes de condensat, le fer joue le rôle d'anode et est donc oxydé, en transférant ses électrons à la cathode. La cathode en eau pure est un proton ou ion d'hydrogène (H^+). Lorsque le fer est oxydé, les électrons sont transférés de la surface en fer aux ions d'hydrogène, produisant des ions ferreux. La réaction chimique est détaillée ci-dessous.

Fe (ion ferreux) + $2H^+$ (ion d'hydrogène) → Fe^{2+} (ion ferreux) + H_2 (hydrogène gazeux)

Comme indiqué précédemment, le potentiel électrochimique de la vapeur dans des conditions spécifiques déterminera la réaction ultérieure des ions ferreux (Fe^{2+}). L'hydroxyde ferreux $Fe(OH)_2$ est formé à basse température par la réaction entre les ions ferreux et l'eau. À la température de condensation, le dépôt d'hydroxyde ferreux continue à réagir pour former des cristaux de magnétite de surface (Fe_3O_4).

$3Fe(OH)_2$ (hydroxyde ferreux) → Fe_3O_4 (magnétite) + $2H_2O$ (eau) + H_2 (hydrogène gazeux)

Au-delà de 150 °C, le Fe^{2+} forme spontanément de la magnétite sans formation préalable de $Fe(OH)_2$. La magnétite prend la forme d'une couche non poreuse et adhérente sur la surface du métal.

$3Fe^{2+}$ (ion ferreux) + $4H_2O$ (eau) → Fe_3O_4 (magnétite) + $4H_2$ (hydrogène gazeux)

La formation de magnétite est à l'origine d'une obstruction des pailles qui réduit le flux ascendant de condensat aspiré depuis les rainures du Yankee nervuré. Le problème peut empirer lorsque cette couche d'oxydation, qui est due à une baisse du pH dans le système de condensat, entraîne sa dissolution, laquelle sera à l'origine d'un problème de corrosion.

La principale cause de baisse du pH est attribuée à la présence de dioxyde de carbone dans le système. Le CO_2 entre suite à une fuite d'air ou au caractère alcalin de l'eau d'alimentation. Bien qu'une partie de cette alcalinité puisse être ôtée par un chauffage de désaération bien utilisé, la plus grande partie est convertie en CO_2 dans la chaudière et transmise à la vapeur. Quand cette dernière se condense, le dioxyde de carbone se dissout et réduit le pH, en augmentant la concentration en ions d'hydrogène de la manière indiquée par la séquence de réaction suivante :

CO_2 (dioxyde de carbone) + H_2O (eau) → H_2CO_3 (acide carbonique)

Un pH bas entraîne une perte de métal généralisée plutôt que

les arrachements localisés provoqués par la corrosion à l'oxygène. Afin de réduire la corrosion du système de condensat induite par le faible pH, il est nécessaire d'abaisser la concentration en contaminants acides dans le condensat. L'alcalinité de l'eau utilisée peut être réduite à l'aide de plusieurs méthodes de traitement externe. Cette baisse de l'alcalinité impliquera une diminution de la teneur en dioxyde de carbone dans la vapeur et le condensat.

Traitement des circuits circulaires courts pour systèmes de condensat Yankee

Ainsi, les systèmes de condensat, et en particulier les circuits circulaires courts Yankee, placés entre le séparateur et le thermocompresseur, peuvent être traités chimiquement pour réduire à la fois l'accumulation de magnétite et la corrosion métallique. Ce traitement consiste en un suivi en ligne du pH et en l'ajout d'agents de traitement spécifiques – qui peuvent inclure des amines de neutralisation, de protection par film, des passivateurs d'oxygène métalliques – et qui sont à même de prévenir l'apparition des problèmes.

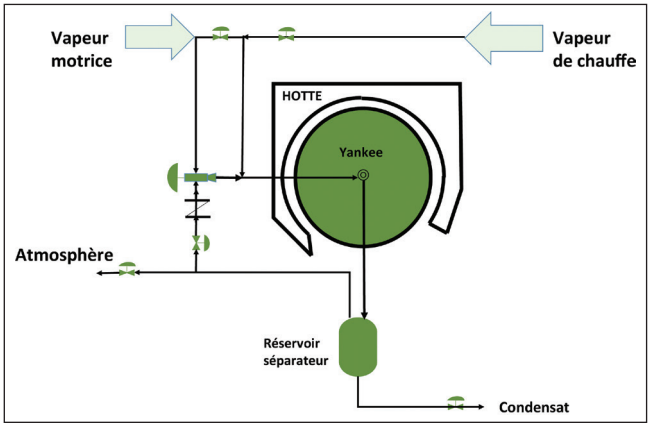
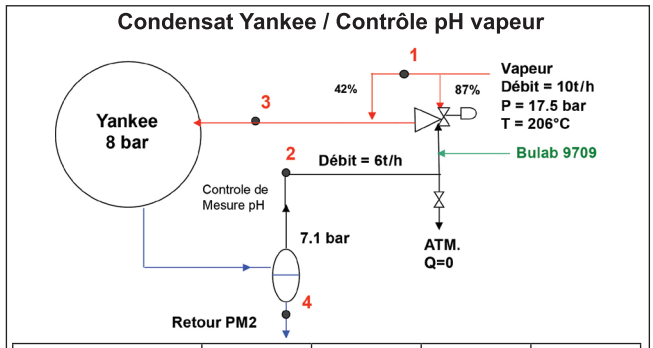


Fig. 5.

Les amines de neutralisation sont utilisées pour la neutralisation de l'acide (H^+) généré par la dissolution du dioxyde de carbone ou d'autres contaminants acides présents dans le condensat. Ces amines s'hydrolysent au contact de l'eau et génèrent les ions d'hydroxyde requis pour la neutralisation :

$R\text{-}NH_2$		H_2O		$R\text{-}NH_3^+$		OH
amine de neutralisation	+	eau	<<	ion aminé	+	ion d'hydrogène

En régulant le taux d'apport en amines de neutralisation, il est possible d'augmenter le pH du condensat jusqu'à la valeur désirée. Un aspect important à prendre en considération pour la conception du traitement des systèmes de condensat à circuit circulaire Yankee est la répartition des types d'amines entre les phases vapeur et liquide, comme facteur important de succès du traitement. Lorsque la vapeur se condense, les contaminants acides peuvent soit rester dans la vapeur, soit se dissoudre dans la phase liquide. Certains contaminants comme le dioxyde de carbone restent essentiellement en phase vapeur tandis que d'autres, comme l'acide chlorhydrique, sont en grande partie transférés dans la phase liquide.



	Entrée vapeur (1)	Recirculation vapeur (2)	Entrée Yankee (3)	Retour chaudière (4)
pH	7,05	5,95	6,25	9,65
Fe ppm	0,015	0,103	0,155	0,005
Conductivité µs/cm	48,1	278	125,5	45,5

Fig. 6.

Les amines de neutralisation doivent être choisies en fonction de leur répartition, également appelée rapport de répartition (RR), ainsi que de leur capacité à "chasser" les contaminants acides. Ce choix doit être adapté au système de condensat et aux contaminants présents.

$$RR = \frac{\text{amine en phase vapeur}}{\text{amine en phase liquide}}$$

Par exemple, pour un système de condensat Yankee à circuit court, les amines dont le RR est supérieur à 1,0 seront nécessaires pour produire une concentration d'amines plus importante en phase vapeur qu'en phase liquide. Si le traitement de la chaudière est correctement contrôlé, les condensats qui retournent dans cette dernière sont alors déjà traités à l'aide des amines adaptées et donc le rapport de distribution sera supérieur à 1,0 afin de produire une concentration d'amines plus importante en phase liquide qu'en phase vapeur.

La stabilité thermique des amines est également un autre aspect important à prendre en considération, essentiel au succès du traitement. De plus, les rapports RR ne représentent pas des constantes physiques mais dépendent de la température et du pH. Une bonne connaissance du système et une étude préalable sont nécessaires à la conception du traitement et au choix du produit le mieux adapté.

Ainsi, le contrôle du pH du circuit court du système de condensat Yankee destiné à ajuster le niveau de traitement chimique est une mesure préventive qui permet d'assurer une bonne élimination du condensat de l'intérieur de la coque du Yankee. Il garantit un transfert de chaleur efficace sur l'ensemble de la surface et permet au programme de revêtement de fonctionner de manière optimale. La conjonction d'un programme de revêtement personnalisé et d'un traitement efficace de la vapeur et du condensat est au cœur d'une bonne prévention des facettes (chatter) sur la surface et de l'amélioration du fonctionnement et de la qualité de la machine.

FERNANDO DANTAS
Technology Manager Tissue
Buckman Europe, Middle East, N. Africa