

ĐIỀU CHỈNH ĐỘ DÀY GIẤY THEO CHIỀU NGANG TẠI BỘ PHẬN ÉP QUANG

■ KS Dương Văn Chiến

Trung tâm Nghiên cứu và Phát triển
Hiệp hội Giấy và Bột giấy Việt Nam

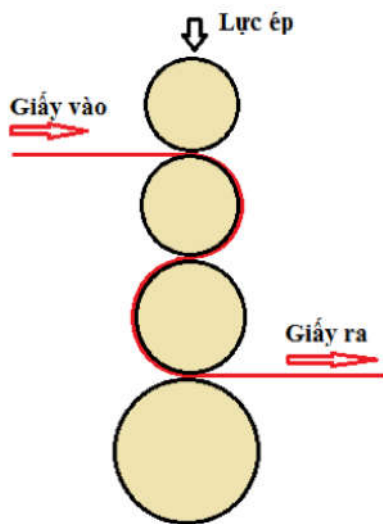


Ép quang là bộ phận cuối cùng của máy xeo trước khi vào cuộn. Ép quang ảnh hưởng trực tiếp tới các tính chất bề mặt của sản phẩm giấy như độ dày, độ nhẵn, độ nhám. Do đó vai trò của ép quang trong quá trình sản xuất rất quan trọng. Đặc biệt, đối với trường hợp sản xuất giấy sử dụng cho in ấn thì mục đích chính của ép quang là tăng độ nhẵn, giảm độ nhám bề mặt để đạt được kết quả in tốt. Còn đối với trường hợp sản xuất giấy tráng phủ cần sử dụng ép quang cả trước và sau tráng phủ. Ép quang trước tráng phủ để điều chỉnh độ dày, độ nhẵn của giấy đồng đều trước khi vào tráng làm cho kết quả tráng phủ tốt hơn. Trong khuôn khổ bài viết này chỉ nêu những phương pháp đang sử dụng hiện nay trên thế giới để điều chỉnh độ dày của giấy theo chiều ngang.

PHẦN 1: CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU CHỈNH ĐỘ DÀY CỦA GIẤY THEO CHIỀU NGANG TẠI BỘ PHẬN ÉP QUANG

Sơ lược quá trình ép quang giấy trên máy xeo

Phần lớn các máy xeo hiện nay được trang bị hệ thống ép quang. Tại bộ phận ép quang bằng giấy đi qua và được ép bởi 2 hoặc nhiều lô ép quang (Hình 1), khi đó tờ giấy bị tác động bởi lực ép cơ học và tính chất bề mặt của tờ giấy thay đổi. Khi qua ép quang tính chất bề mặt của tờ giấy đáp ứng được các yêu cầu của các công đoạn phía sau như độ bóng, độ nhẵn, độ nhám, độ dày. Để điều chỉnh độ dày của giấy lực ép của ép quang phải được kiểm soát và điều chỉnh để duy trì độ ổn định. Lực ép càng lớn thì độ dày của giấy càng giảm, độ nhẵn tăng và độ nhám giảm. Khi lực ép thay đổi thì các chỉ tiêu này cũng thay đổi theo. Do vậy vấn đề quan trọng được đặt ra là phải duy trì sự ổn định của các chỉ tiêu này trên toàn bộ tờ giấy (đại diện là chỉ tiêu độ dày).



Hình 1: Máy ép quang 4 lô

Trong quá trình sản xuất để duy trì sự ổn định của độ dày tờ giấy theo chiều dọc cần thiết phải duy trì sự ổn định của lực ép vào lô ép quang. Đối với mỗi loại ép quang có phương pháp điều chỉnh và duy trì lực ép ổn định phù hợp. Còn đối với chiều ngang của băng giấy thì việc kiểm soát, điều chỉnh rất phức tạp vì lực ép tại các vị trí trên toàn bộ chiều rộng khe ép (chiều dài lô) không đồng đều với những lý do sau: lô ép quang bị võng giữa (đặc biệt với khổ máy lớn), lô ép quang bị mòn không đều trong quá trình sản xuất. Trong trường hợp khe hở hay lực ép trên toàn khe ép không

đồng đều sẽ dẫn đến độ dày của giấy theo chiều ngang không đồng đều gây ra các ảnh hưởng sau:

- Đối với giấy khi qua ép quang trước tráng phủ, độ dày không đều sẽ làm cho lượng chất tráng phủ lên giấy trong quá trình tráng không đều dẫn đến tiêu tốn dịch tráng và tính chất in ấn của giấy sau tráng không đồng đều, từ đó dẫn đến có thể gây hỏng sản phẩm in.

- Đối với sản phẩm giấy in thì các chỉ tiêu về tính chất bề mặt không đồng đều trong lô hàng dẫn đến chất lượng in ấn không đều.

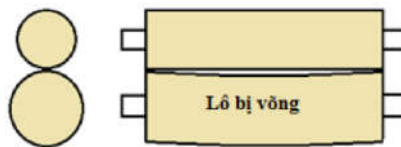
- Độ dày không đều dẫn đến giấy bị nhăn tại cuộn và phần gia công phía sau, cuộn giấy chặt, lỏng không đều, xô giấy dẫn đến nhăn, tỷ lệ giấy bỏ nhiều.

Vì vậy, việc điều chỉnh, kiểm soát độ dày giấy theo chiều ngang rất quan trọng.

Các phương pháp điều chỉnh độ dày của giấy theo chiều ngang

1. Điều chỉnh bằng mài trung cao lô ép quang

Trong quá trình hoạt động các lô ép đè lên nhau, lực ép từ trên xuống làm cho các lô phía dưới (đặc biệt là lô cuối) có xu hướng bị võng ở giữa (Hình 2). Lực ép càng lớn, chiều dài lô càng lớn thì độ võng càng cao. Do lô võng nên khe hở tại vị trí giữa lô lớn hơn khe hở 2 đầu lô và giấy ở giữa bị ép với lực ép nhỏ hơn lực ép 2 đầu lô. Vì vậy độ dày giấy ở giữa lớn hơn độ dày 2 mép giấy.



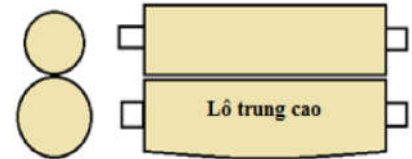
Hình 2: Lô ép quang bị võng

Để khắc phục hiện tượng này, các lô ép quang bên dưới thường được mài "trung cao" (đường kính giữa lô lớn hơn hai đầu) để bù khi lô bị võng (Hình 3). Độ trung cao phụ thuộc nhiều vào lực ép và chiều dài lô. Khi hoạt động phần giữa lô võng xuống, do đường kính ở giữa lô lớn hơn 2 đầu nên bù được độ võng và khe hở ở giữa lô bằng với 2 đầu lô, khi đó giấy sẽ được ép đồng đều hơn (Hình 4). Kết quả là độ dày, độ nhám của tờ giấy

đồng đều theo chiều ngang.



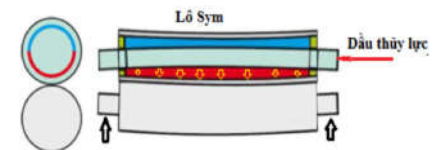
Hình 3: Lô ép quang mài trung cao



Hình 4: Khe ép đều sau khi mài trung cao lô ép quang

2. Điều chỉnh bằng lô Sym

Giải pháp mài lô trung cao cải thiện được vấn đề giấy ép không đều do võng lô nhưng để mài được độ trung cao phù hợp là việc rất khó, hơn nữa mỗi độ trung cao chỉ phù hợp với 1 lực ép nhất định, nếu lực ép không duy trì được ổn định, phù hợp với độ trung cao đã mài thì khe hở giữa các lô vẫn không đồng đều, do đó độ dày của giấy không đều. Để giải quyết vấn đề này, vào những năm 60 của thế kỷ 20 công nghệ ép quang bằng lô Sym đã ra đời. Lô Sym (Swimming roll) được cấu tạo gồm trục cố định, vỏ lô bằng thép quay quanh trục. Khi hoạt động, khoảng không giữa trục và vỏ được bơm dầu thủy lực với áp lực cao vào để điều chỉnh "độ trung cao" của lô (Hình 5).

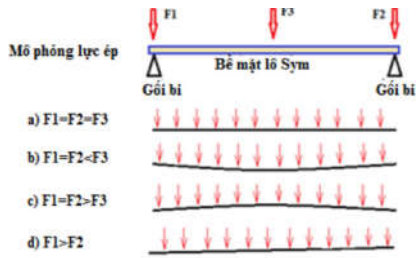


Hình 5: Khe ép với lô Sym

Lô Sym cho phép kiểm soát việc phân phối lực ép trên chiều dài lô, nhờ đó khắc phục được việc phải mài lô ép quang đạt độ trung cao phù hợp. Do vậy, lô Sym còn được gọi là lô điều chỉnh độ trung cao. Lô Sym được trang bị hệ thống dầu thủy lực bơm vào trong lô để điều chỉnh bề mặt lô phù hợp bù cho việc võng lô ép, từ đó không phải mài trung cao như trong công nghệ ép quang thường. Khi làm việc, bề mặt lô Sym được ép vào lô ép cùng cặp và bị tác động của 3 lực ép: lực ép từ hệ thống xy lanh lên 2 đầu lô và lực ép dầu thủy lực bên trong lô Sym tác động lên toàn bộ bề mặt lô.

Khi có 3 lực ép tác động lên lô ép thì phân bố lực ép phụ thuộc vào giá trị lực ép từng vị trí.

Hình 6 mô phỏng tác động của các lực lên bề mặt lô ép và phân bố lực ép trong các trường hợp thay đổi lực ép.



Hình 6: Phân bố lực ép lên bề mặt lô Sym

Như trên Hình 6 cho thấy, lực ép được phân bố đều trên bề mặt lô Sym khi lực ép 2 đầu lô bằng lực ép trong lô. Khi đó khe hở đồng đều trên toàn bộ chiều dài lô và giấy được ép đều. Trong trường hợp lực ép do xy lanh ở 2 đầu lô nhỏ hơn lực ép từ trong lô Sym, bề mặt lô Sym sẽ lồi ra, khe ép ở khu vực giữa lô sẽ nhỏ hơn khe ép tại khu vực 2 đầu lô, do đó giấy đi qua khu vực giữa lô sẽ bị ép mạnh hơn nên độ dày của giấy sẽ nhỏ hơn so với 2 đầu lô. Ngược lại, nếu lực ép đầu thủy lực từ trong lô Sym nhỏ hơn lực ép của xy lanh tại 2 đầu lô, bề mặt lô Sym sẽ bị lõm vào, dẫn đến khe hở tại khu vực giữa lô sẽ lớn hơn tại khu vực 2 đầu lô, do đó giấy đi qua 2 đầu lô được ép mạnh hơn nên độ dày của giấy tại 2 đầu lô sẽ nhỏ hơn so với giữa lô. Trường hợp lực ép tại 2 đầu lô không được duy trì ổn định, đầu lô nào có lực ép xy lanh lớn hơn thì khe ép nhỏ hơn, giấy được ép nhiều hơn, khi đó chiều dày của giấy sẽ nhỏ hơn. Như vậy, để giấy được ép đồng đều thì lực ép tại 3 điểm phải được điều chỉnh phù hợp.

Điều chỉnh độ dày giấy bằng lô Sym (điều chỉnh 3 điểm): Để điều chỉnh độ dày của giấy bằng lô Sym trước hết cần thiết phải có giá trị đo độ dày của giấy theo chiều ngang. Việc đo độ dày có thể được thực hiện thông qua hệ thống đo của QCS (nếu có trang bị) hoặc thông qua việc xác định mẫu thực tế. Căn cứ vào giá trị đo, người vận hành có thể điều chỉnh áp lực dầu ở 2 đầu ép và áp lực dầu trong lô Sym. Cụ thể, có các trường hợp sau:

- Trường hợp độ dày hai mép giấy không đều nhau thì phải tăng áp lực

dầu ở phía dày hoặc giảm áp lực dầu ở phía mỏng hơn.

- Trường hợp 2 mép giấy đều nhau nhưng ở giữa dày hơn thì phải tăng áp lực dầu ở giữa hoặc giảm áp lực dầu 2 đầu.

- Trường hợp 2 mép giấy đều nhau nhưng ở giữa mỏng hơn thì phải giảm áp lực dầu ở giữa hoặc tăng áp lực dầu 2 đầu.

Còn trong trường hợp 2 mép giấy và ở giữa đều nhau nhưng tại các vị trí khác độ dày khác với độ dày 2 mép và ở giữa thì không thể điều chỉnh được bằng phương pháp này.

Hạn chế của hai phương pháp điều chỉnh trên

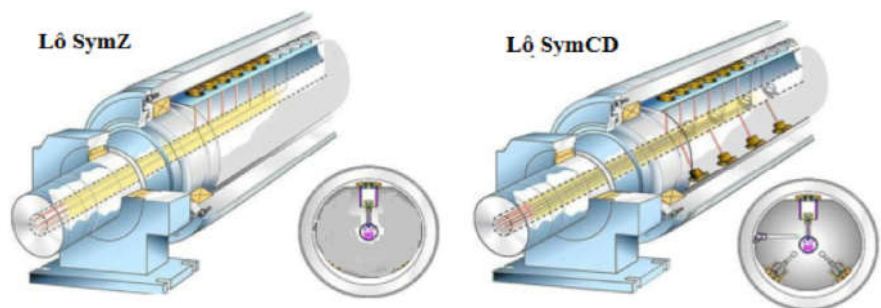
Trong thực tế sản xuất, dù là lô mài trung cao hay điều chỉnh bằng lô Sym thì trong quá trình bề mặt lô tiếp xúc với giấy không thể tránh khỏi các tạp chất như bụi, cát sạn. Các tạp chất này theo thời gian làm mòn bề mặt lô ép quang dẫn đến bề mặt lô không phẳng, do đó khe hở không đều trên toàn bộ chiều dài lô (Hình 7).



Hình 7: Khe ép khi lô bị mòn

Từ đó độ dày của giấy cũng như các tính chất bề mặt không đồng đều. Với nguyên nhân này thì 2 biện pháp điều chỉnh trên không thể giải quyết được. Để tiếp tục duy trì hoạt động, các lô này phải được tháo ra mài lại bề mặt đảm bảo theo yêu cầu. Việc này gây lãng phí thời gian chạy máy, làm giảm năng suất và tăng chi phí bảo dưỡng, mài lô.

Để giải quyết vấn đề phát sinh này,



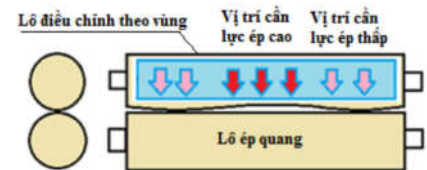
Hình 9: Lô SymZ và lô SymCD (Valmet)

trong những năm 80-90 của thế kỷ trước, các nhà nghiên cứu đã tìm ra nhiều giải pháp để khắc phục, thay thế các công nghệ trên nhằm ngày càng nâng cao chất lượng sản phẩm giấy. Trong các nghiên cứu đó có công nghệ điều chỉnh bằng lô điều chỉnh theo vùng và công nghệ điều chỉnh gián tiếp bằng phương pháp gia nhiệt vào lô hiện đang được sử dụng trên thế giới.

3. Điều chỉnh bằng lô điều chỉnh theo vùng

a) Nguyên lý

Công nghệ điều chỉnh bằng lô điều chỉnh theo vùng dựa trên cơ sở tính chất dẻo của thép. Tức là khả năng thép thay đổi hình dáng kích thước khi chịu tác dụng của ngoại lực. Nguyên lý này được áp dụng vào lô điều chỉnh theo vùng. Tại những vị trí bề mặt lô bị mòn nhiều sẽ được gia ép từ bên trong lô với áp lực lớn, khi đó bề mặt lô sẽ giãn ra và giảm khe hở ép, tại những vị trí lô bị mòn ít được gia ép với áp lực nhỏ, khi đó bề mặt lô co lại và tăng khe hở ép. Việc này giúp ổn định khe hở giữa các lô từ đó duy trì ổn định được độ dày của giấy (Hình 8).



Hình 8: Gia ép theo vị trí vào lô điều chỉnh theo vùng

b) Lô điều chỉnh theo vùng và phương pháp gia ép

Lô điều chỉnh theo vùng có 2 loại, lô SymZ (Swimming zonewise controlled crown roll) và lô SymCD (Swimming shoewise controlled crown roll). Các



lô này gồm một trục cố định với vỏ thép quay quanh trục khi hoạt động. Giữa trục và vỏ là khoang chứa dầu thủy lực. Khoang chứa dầu được chia thành nhiều khoang nhỏ. Mỗi khoang tương ứng với 1 vùng điều chỉnh và có 1 đường dầu tới. Ở giữa trục có nhiều ống phân phối dầu tới từng vùng bên trong lô, mỗi ống phân phối được nối với đường ống dầu từ hệ thống cung cấp dầu thủy lực từ bên ngoài (Hình 9).

Hệ thống cung cấp dầu bao gồm bơm dầu thủy lực cao áp, hệ thống đường ống, hệ thống van điều chỉnh áp lực dầu và các bộ đo áp suất dầu cho mỗi đường ống dầu vào lô. Để gia ép cho từng vùng trong lô, bơm dầu sẽ hoạt động và đưa dầu vào từng vùng trong lô. Áp lực dầu vào từng vùng trong lô sẽ được đo bằng đồng hồ đo áp suất và được điều chỉnh bằng van điều chỉnh áp suất.

c) Tự động hóa việc điều chỉnh độ dày giấy bằng lô điều chỉnh theo vùng

Với hệ thống trên cho phép người vận hành điều chỉnh được độ dày của giấy theo chiều ngang. Người vận hành có thể lấy mẫu để xác định độ dày, từ đó căn cứ kết quả đo để điều

chỉnh đóng hay mở van dầu từng vùng. Tuy nhiên với cách này sẽ không điều chỉnh được liên tục và tự động. Để điều chỉnh liên tục và tự động hệ thống cần bổ sung thêm các thiết bị như thiết bị đo độ dày trực tuyến, thiết bị điều khiển tự động.

Thiết bị đo: Để điều chỉnh được độ dày cần phải có hệ thống đo độ dày theo chiều ngang trực tuyến. Do phần lớn các nhà máy giấy đều có lắp đặt hệ thống QCS nên thông thường hệ thống điều khiển độ dày sẽ sử dụng lại kết quả đo độ dày của QCS. Trong trường hợp chưa có thì bắt buộc phải lắp đặt hệ thống QCS để đo độ dày theo chiều ngang.

Thiết bị điều khiển tự động: Là các thiết bị tự động hóa dùng để xử lý thông tin và điều khiển các thiết bị chấp hành.

Việc đo độ dày của giấy được thực hiện bởi hệ thống QCS và giá trị độ dày theo chiều ngang của giấy được gửi tới thiết bị điều khiển tự động của hệ thống. Tại đây thiết bị điều khiển tự động sẽ phân tích dữ liệu và chuyển giá trị độ dày từ QCS thành giá trị độ dày tương ứng với từng vùng điều khiển của lô điều chỉnh theo vùng. Từ

giá trị này hệ thống sẽ tự động tính toán và đưa ra các giá trị điều khiển. Hệ thống sẽ chuyển tín hiệu để điều chỉnh áp suất dầu vào trong từng vùng của khoang dầu thông qua van điều chỉnh áp suất dầu. Tại những vị trí độ dày lớn hệ thống sẽ điều chỉnh tăng áp suất dầu, khi đó lực ép vào bề mặt lô tại vị trí đó sẽ cao và bề mặt lô giãn ra làm cho khe hở ép nhỏ đi nên độ dày giấy giảm. Tại những vị trí có độ dày thấp hệ thống sẽ giảm áp suất dầu, do đó lực ép tại vị trí này thấp và bề mặt lô sẽ co lại làm cho khe hở ép tăng nên giấy dày lên.

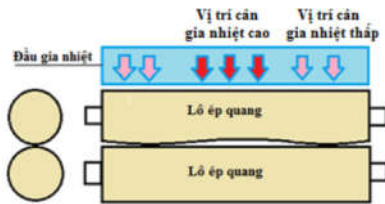
4. Công nghệ điều chỉnh gián tiếp hỗ trợ ép quang

Như phân tích ở phần trên, điều khiển độ dày giấy tại ép quang bằng công nghệ ép quang sử dụng lô SymZ và SymCD có những ưu điểm vượt trội so với điều khiển bằng lô Sym. Tuy nhiên công nghệ lô SymZ và SymCD còn nhiều hạn chế do chi phí đầu tư ban đầu lớn hơn, việc sửa chữa, bảo dưỡng, thay thế, vận hành phức tạp hơn. Do đó công nghệ sử dụng lô Sym đã, đang và sẽ tiếp tục được sử dụng rộng rãi trên thế giới cũng như ở Việt Nam. Để khắc phục hạn chế của công

nghe điều khiển bằng lô Sym, các nhà sản xuất đã nghiên cứu và phát triển công nghệ điều chỉnh độ dày của giấy theo chiều ngang gián tiếp bằng gia nhiệt lô ép quang để hỗ trợ cho việc điều chỉnh bằng lô Sym.

a) Nguyên lý

Công nghệ điều chỉnh gián tiếp dựa trên cơ sở giãn nở của vật liệu theo nhiệt độ. Ở nhiệt độ cao thì vật liệu giãn nở ra và ở nhiệt độ thấp thì co lại (Tỷ lệ giãn nở nhiệt của loại thép làm ép quang là $11,5 \times 10^{-6} \text{ mm/mm/}^\circ\text{C}$). Nguyên lý này được áp dụng để gia nhiệt lô ép quang. Tại những vị trí bề mặt lô bị mòn nhiều sẽ được gia nhiệt đến nhiệt độ phù hợp, khi đó vật liệu sẽ nở ra và đường kính lô tại vị trí đó tăng lên và ngược lại. Việc này giúp ổn định khe hở giữa các lô từ đó duy trì ổn định được độ dày của giấy (Hình 10).

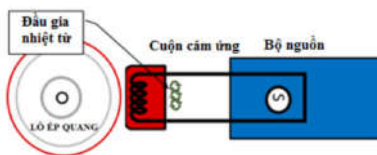


Hình 10: Gia nhiệt theo vị trí vào lô ép quang

b) Các phương pháp gia nhiệt

Để gia nhiệt cho lô ép quang hiện nay sử dụng 2 phương pháp là gia nhiệt trực tiếp bằng các cuộn cảm ứng điện và gia nhiệt bằng khí nóng.

Gia nhiệt bằng cuộn cảm ứng: Nguồn nhiệt để gia nhiệt cho bề mặt lô là nguồn nhiệt tạo ra từ các cuộn cảm ứng điện. Các cuộn cảm ứng khi hoạt động sẽ kết hợp với bề mặt lô tạo ra từ trường và sinh nhiệt đốt nóng bề mặt lô. Sơ đồ mô tả như Hình 11.

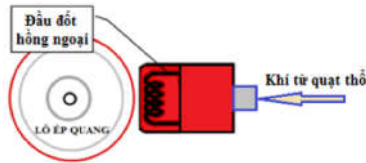


Hình 11: Nguyên lý gia nhiệt lô bằng từ trường

Để điều chỉnh được từng khoảng nhỏ trên bề mặt lô, hệ thống sẽ chia nhỏ thành nhiều cuộn cảm ứng, mỗi cuộn cảm ứng sẽ chỉ gia nhiệt, đốt nóng được 1 vùng nhỏ trên toàn bộ chiều dài lô. Để điều chỉnh được mức nhiệt đốt nóng, mỗi cuộn cảm ứng

được trang bị hệ thống điều khiển nhiệt độ thông qua điều khiển công suất đốt bằng biến tần.

Gia nhiệt bằng khí nóng: Nguồn nhiệt trực tiếp gia nhiệt cho bề mặt lô là không khí nóng. Không khí được quạt thổi đưa qua bộ đốt nóng bằng hồng ngoại và thổi vào bề mặt lô. Sơ đồ mô tả như Hình 12.



Hình 12: Nguyên lý gia nhiệt lô bằng khí nóng

Tương tự như phương pháp gia nhiệt bằng cuộn cảm ứng điện, để điều chỉnh được từng khoảng nhỏ trên bề mặt lô phương pháp thổi khí nóng cũng chia nhỏ đầu đốt thành nhiều cuộn đốt. Mỗi cuộn đốt chỉ gia nhiệt cho một phần không khí và chỉ gia nhiệt, đốt nóng được 1 vùng nhỏ trên toàn bộ chiều dài lô. Để điều chỉnh được mức nhiệt đốt nóng, mỗi cuộn đốt của đầu đốt được trang bị hệ thống điều khiển nhiệt độ, tại những vị trí cần đốt nóng thì cuộn đốt sẽ đốt với công suất cao và không khí nóng thổi vào bề mặt lô làm nhiệt độ bề mặt lô tăng nhanh; với những vị trí không cần đốt nóng hoặc đốt nóng ít thì cuộn đốt sẽ không được cấp điện hoặc cấp với công suất nhỏ, khi đó không khí mát sẽ thổi vào bề mặt lô làm cho nhiệt độ lô giảm nhanh.

c) Tự động hóa việc điều chỉnh độ dày bằng phương pháp gia nhiệt

Cũng như phương pháp điều chỉnh bằng lô điều chỉnh theo vùng, để tự động hóa việc điều chỉnh độ dày theo chiều ngang bằng phương pháp gia nhiệt thì ngoài các thiết bị điều chỉnh trên hệ thống cần phải bổ sung thêm các thiết bị đo độ dày trực tuyến và các thiết bị điều khiển tự động. Việc đo độ dày của giấy được thực hiện bởi hệ thống QCS và giá trị độ dày theo chiều ngang của giấy được gửi tới thiết bị điều khiển tự động của hệ thống. Giá trị từ QCS là dữ liệu của rất nhiều điểm (thông thường 20 mm/điểm). Tại đây hệ thống sẽ phân tích dữ liệu và chuyển giá trị độ dày từ QCS thành giá trị tương ứng với từng điểm điều khiển của cơ cấu chấp hành (thông

thường 60 mm/điểm). Từ giá trị này hệ thống sẽ tính toán và điều khiển công suất của từng cuộn gia nhiệt tại từng vùng của đầu gia nhiệt. Tại những vị trí độ dày lớn hệ thống sẽ điều khiển tăng công suất đốt, khi đó nhiệt độ tại vị trí đó sẽ cao và đường kính bề mặt lô lớn lên làm cho độ dày giấy giảm. Tại những vị trí có độ dày thấp hệ thống sẽ giảm công suất đốt, do đó nhiệt độ tại vị trí này thấp và lô sẽ co lại, đường kính lô nhỏ đi làm cho giấy dày lên.

Hệ thống điều chỉnh gián tiếp bằng gia nhiệt thường được lắp vào 1 lô. Trong những trường hợp cần thiết cũng có thể lắp nhiều hệ thống vào nhiều lô để tăng cường quá trình điều chỉnh.

Qua phân tích trên thấy rằng, quá trình điều chỉnh gián tiếp bằng phương pháp gia nhiệt vào bề mặt lô ép quang thực chất là quá trình điều chỉnh để làm phẳng bề mặt lô do bị mài mòn không đều. Sau khi bề mặt lô được làm phẳng quá trình điều chỉnh của hệ thống ép quang diễn ra bình thường theo công nghệ điều chỉnh bằng lô Sym.

Trên đây là những công nghệ điều chỉnh độ dày giấy theo chiều ngang đang được sử dụng hiện nay trên thế giới. Để biết được thực trạng công nghệ, thiết bị điều chỉnh độ dày giấy theo chiều ngang của ngành công nghiệp giấy Việt Nam và cơ hội đầu tư ứng dụng các công nghệ trên cho các doanh nghiệp Việt Nam hiện đang hoạt động và các dự án đầu tư mới, xin mời quý độc giả đón đọc Công nghiệp Giấy số tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Mikko Jokio (1999), *Papermaking Science and Technology*, Book 10: *Papermaking Part 3, Finishing*, Fapet Oy, Helsinki, Finland.
2. Hidehiko Yamazaki, Jari Ilomaki and Ville Tiistola, *Valmet's Recent Calender Technologies - High Bulk Calendering, OptiCalender Compact and Effective Machine Calender Rebuilds*.