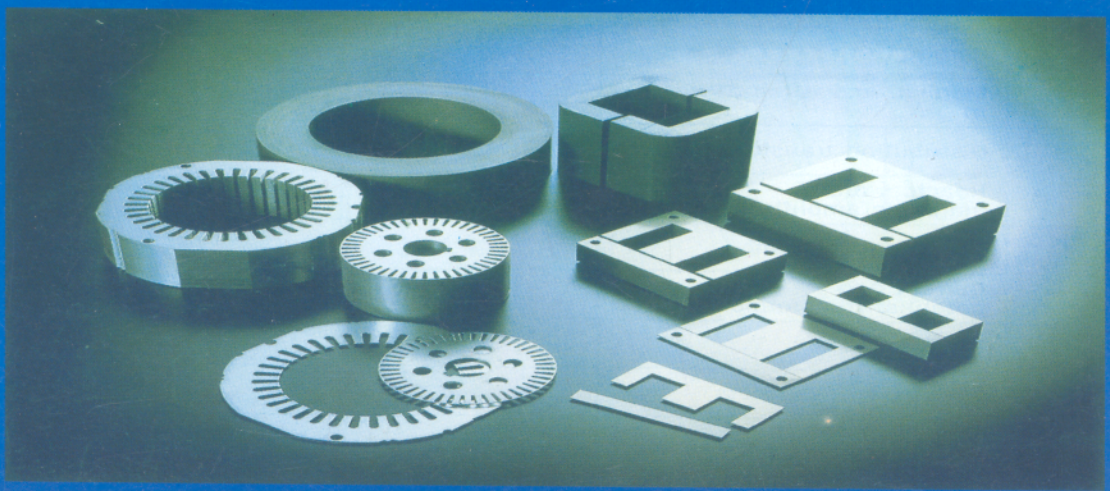


CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO THIẾT BỊ ĐIỆN

DÙNG TRONG CÁC TRƯỜNG ĐẠI HỌC - CAO ĐẲNG KHỐI KỸ THUẬT



NGUYỄN ĐỨC SỸ

CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO THIẾT BỊ ĐIỆN

(DÙNG TRONG CÁC TRƯỜNG ĐẠI HỌC – CAO ĐẲNG KHỐI KỸ THUẬT)

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

Bản quyền thuộc HEVOBCO – Nhà xuất bản Giáo dục

17-2007/CXB/79-2217/GD

Mã số: 7B668M7-DAI

<https://tieulun.hopto.org>

ỜI NÓI ĐẦU

Nền kinh tế của chúng ta đang đứng trước một thời đại mới với những cơ hội và thách thức mới. Ngành công nghiệp kỹ thuật điện cũng vậy, đặc biệt bức bách khi chúng ta đang đứng trước ngưỡng cửa của WTO, trước những thử thách của hội nhập và xu hướng toàn cầu hóa.

Đất nước đang trong thời kỳ đổi mới, tất cả các lĩnh vực của nền kinh tế trong đó có ngành chế tạo thiết bị điện đang có những đổi mới nhanh chóng về tư duy kinh tế cũng như công nghệ để đáp ứng một thị trường đa dạng về nhu cầu (chất lượng, thị hiếu, giá thành sản phẩm), trong môi trường cạnh tranh quyết liệt khi chúng ta hội nhập với nền kinh tế thế giới. Bằng cách thay đổi công nghệ chúng ta có thể điều tiết được tất cả các yếu tố trên. Chúng ta cần phải hiểu công nghệ không phải là kỹ thuật mà thực sự là một khoa học, khoa học nghiên cứu sự biến đổi của kỹ thuật và phương pháp tổ chức sản xuất.

Trong những năm gần đây cùng với sự phát triển như vũ bão của công nghệ thông tin, hầu như tất cả các lĩnh vực công nghệ khác cũng bị cuốn theo với một nhịp độ ngày càng nhanh, thời gian hoạt động của dây chuyền công nghệ ngày càng ngắn lại, thậm chí có những ý tưởng công nghệ chưa kịp thực hiện đã bị lạc hậu. Chúng ta đang bị cuốn vào một guồng máy mà ở đó nếu thiếu khả năng cạnh tranh sẽ không còn chỗ đứng, sẽ rơi vào tình trạng lạc hậu và nền công nghiệp kỹ thuật điện của chúng ta coi như không tồn tại.

Nền công nghiệp cơ khí hoá và tự động hoá của chúng ta đang trong thời kỳ phục hồi một cách mạnh mẽ. Những công nghệ mới về cơ khí như hàn, gia công áp lực, công nghệ cắt gọt, đúc... được công nghệ thông tin tạo đà đang phát triển với nhịp độ rất cao. Những thành tựu của các lĩnh vực công nghệ khác như luyện kim, vật liệu cách điện, công nghệ nhựa... cũng phát triển mạnh. Đó là những yếu tố cực kỳ thuận lợi cho việc phát triển công nghiệp chế tạo thiết bị điện, vốn là một phần của công nghiệp chế tạo máy nói chung.

Ngay sau hoà bình lập lại năm 1954, ngành công nghiệp chế tạo thiết bị điện của chúng ta đã ra đời và phát triển mạnh, tạo nền móng cho một nền công nghiệp mới đầy triển vọng. Chính vì vậy mà sau khi dỡ bỏ bao cấp, ngành vẫn liên tục phát triển và hiện nay đứng trước những thử thách mới ngành chế tạo thiết bị điện vẫn vững vàng và đang phát triển một cách chắc chắn, đặc biệt trong lĩnh vực sản xuất máy biến thế điện lực, các động cơ công suất lớn. Hiện nay chúng ta đã có hàng trăm các Công ty và Xi nghiệp chuyên ngành chế tạo và sửa chữa thiết bị điện rải khắp các tỉnh trên toàn quốc. Chúng ta đã chế tạo được các động cơ điện đến hàng ngàn kW, các máy biến áp đến 125MVA và điện áp 220kV. Đó là những thành tựu không nhỏ.

Nhìn trước được con đường phát triển của ngành, Đảng và Chính phủ đã quan tâm đến việc đào tạo đội ngũ chuyên gia cho lĩnh vực này. Ngành đào tạo kỹ sư chuyên sâu về chế tạo máy điện và khí cụ điện là tiền thân của ngành Thiết bị điện – Điện tử bây giờ, lần đầu tiên đã được thành lập tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội năm 1966. Từ sau ngày thống nhất đất nước (30-4-1975) ngành đào tạo này cũng được phổ biến ở nhiều trường đại học khác như Trường Đại học Tây Bắc, Trường Đại học Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh, Trường Đại học Bách khoa Đà Nẵng, Đại học Quy Nhơn... với nội dung chuyên môn hơn (chế tạo, vận hành, bảo dưỡng, sửa chữa). Cùng với sự nghiệp đào tạo, việc nghiên cứu thiết kế, quản lý chất lượng và chiến lược phát triển cũng được Đảng và Chính phủ quan tâm bằng việc thành lập Viện Nghiên cứu Thiết bị điện và Tổng công ty Thiết bị điện.

Nhiệm vụ của ngành chế tạo thiết bị điện là nhanh chóng đưa lĩnh vực này phát triển kịp với lĩnh vực công nghiệp khác, đáp ứng được những yêu cầu phát triển của toàn bộ nền kinh tế quốc dân trước xu thế hội nhập và toàn cầu hóa. Phương hướng phát triển hiện nay của toàn ngành là: đào tạo một đội ngũ chuyên gia đủ sức để sớm tiếp cận với những công nghệ hiện đại nhất thế giới, kết hợp cơ khí hóa, tự động hóa với công nghệ thông tin để đưa năng suất lao động ngang với các nước phát triển trong khu vực, nâng cao chất lượng và sức cạnh tranh để nâng dần tỷ lệ các thiết bị điện tự sản xuất trong nước, tiến tới xuất khẩu.

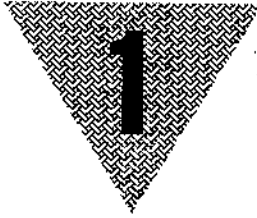
Giáo trình Công nghệ chế tạo thiết bị điện là sự kế tục của các tác giả, các chuyên gia đầu ngành về công nghệ chế tạo máy điện như Giáo sư Trần Khánh Hà, thầy Bùi Tiến Chiến, thầy Nguyễn Tiến Tôn và sự nâng cấp từ giáo trình "**Công nghệ chế tạo máy điện và máy biến áp**" của cùng tác giả do Nhà xuất bản Giáo dục xuất bản năm 1995 với sự cập nhật những tiến bộ mới nhất của ngành và những kinh nghiệm của bản thân.

Cuốn sách được biên soạn trên phương diện là một giáo trình cho sinh viên chuyên ngành Thiết bị điện – Điện tử nên nội dung trình bày những kiến thức cơ bản là chính. Tuy nhiên cũng hy vọng hữu ích ít nhiều cho các sinh viên ngành Điện của các trường Đại học, Cao đẳng, Trung cấp chuyên nghiệp và các kỹ thuật viên hiện đang làm việc trong các ngành vận hành, bảo trì, sửa chữa thiết bị điện.

Trong quá trình biên soạn, chắc không tránh khỏi khiếm khuyết, rất mong nhận được ý kiến đóng góp của các bạn sinh viên, đồng nghiệp và bạn đọc để cuốn sách hoàn thiện hơn trong các lần tái bản.

Mọi góp ý xin gửi về địa chỉ: Công ty Cổ phần Sách Đại học – Dạy nghề, 25 Hàn Thuyên, Hà Nội.

TÁC GIẢ



ĐẠI CƯƠNG VỀ CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO THIẾT BỊ ĐIỆN

Trước hết phải nói rõ “Thiết bị điện” là một lĩnh vực rất rộng, tuy nhiên thường được hiểu chỉ bao gồm “Máy điện và khí cụ điện”. Thuật ngữ “Máy điện” trong nhiều tài liệu bao gồm cả máy điện quay và máy biến áp. Như vậy trong khuôn khổ cuốn sách này chúng ta chỉ bàn về những vấn đề thuộc Máy điện, Khí cụ điện và Máy biến áp. Để nắm được toàn bộ ý nghĩa của “Công nghệ chế tạo” trước hết chúng ta điểm lại một số định nghĩa mà ngành công nghệ chế tạo máy thường dùng.

1.1. QUÁ TRÌNH SẢN XUẤT VÀ QUÁ TRÌNH CÔNG NGHỆ

Ngành Công nghệ chế tạo máy điện thực chất là ngành Công nghệ chế tạo máy nói chung nhưng mang những đặc thù riêng. Đặc điểm nổi bật của nó là chế tạo những máy có cả vật liệu kết cấu và vật liệu tác dụng trong khi các loại máy khác người ta không phải chế tạo vật liệu tác dụng. Theo nghĩa của gốc từ thì “công nghệ” là “nghiên cứu sản xuất” tức là nghiên cứu các phương pháp sản xuất, các mối liên hệ (giữa công nghệ và những biến đổi cơ – lý – hoá của vật liệu, giữa công nghệ và các thông số kỹ thuật của sản phẩm, giữa thiết bị, con người và sản phẩm...) và những quy luật trọng quá trình sản xuất. Vì vậy, trước khi đi vào nghiên cứu công nghệ chế tạo máy điện và máy biến áp chúng ta cần điểm lại một số khái niệm cơ bản đối với ngành chế tạo máy nói chung.

Quá trình sản xuất của một xí nghiệp là quá trình trong đó tập hợp tất cả các hoạt động của con người và máy móc có sử dụng năng lượng để biến nguyên liệu, vật liệu thành sản phẩm. Hoạt động của con người bao gồm hoạt động của người thợ, của các nhà thiết kế, công nghệ và cả nhà quản lý điều hành xí nghiệp. Hoạt động của máy móc bao gồm hoạt động của các máy công cụ và các máy biến đổi năng lượng.

Quá trình sản xuất bao gồm hai thành phần: quá trình sản xuất chính và quá trình sản xuất phụ. Quá trình sản xuất chính là quá trình sản xuất trực tiếp ra sản phẩm. Quá trình sản xuất phụ là quá trình sản xuất phục vụ cho quá trình sản xuất chính, chẳng hạn sản xuất ra dụng cụ, thiết bị, hoặc sửa chữa thiết bị cho dây chuyền công nghệ sản xuất chính.

Quá trình sản xuất còn bao gồm cả quá trình chuẩn bị sản xuất và quá trình phục vụ sản xuất như chuẩn bị phương tiện thiết bị, nguyên liệu, mặt bằng sản xuất, phương tiện nâng hạ vận chuyển, kiểm tra chất lượng sản phẩm, tài liệu kỹ thuật...

Quá trình công nghệ là một phần của quá trình sản xuất, bao gồm những hoạt động tác động lên nguyên vật liệu để thay đổi kích thước, hình dáng, tính chất của chúng, nhằm có được những chi tiết hoặc cụm chi tiết phù hợp với yêu cầu kỹ thuật đã đề ra.

Nguyên công công nghệ là một phần tất yếu và là phần cơ bản của quá trình công nghệ, được thực hiện tại một vị trí làm việc, bao gồm các thao tác kế tiếp nhau của người thợ và máy khi gia công chi tiết và theo đó ta có thể xác định được số lượng công nhân cũng như máy móc, dụng cụ trong phân xưởng.

Bước công nghệ là một phần của nguyên công công nghệ, được đặc trưng bởi sự không thay đổi dụng cụ, bề mặt gia công hoặc chế độ làm việc của máy.

Bước công nghệ phụ là một phần của nguyên công công nghệ bao gồm các tác động của con người và thiết bị không làm thay đổi kích thước, hình dạng chi tiết nhưng cần thiết cho quá trình công nghệ, chẳng hạn gá lắp hoặc chuyển dịch dụng cụ, gá lắp phôi...

Bước công tác là một phần của bước công nghệ, cũng có khi là bước công nghệ bao gồm các chuyển dịch của dụng cụ so với chi tiết nhằm làm thay đổi kích thước hình dạng của chi tiết, chất lượng bề mặt hoặc tính chất của phôi.

Bước công tác phụ là công đoạn mà sự chuyển dịch dụng cụ so với phôi, không làm thay đổi phôi nhưng cần thiết cho công đoạn công nghệ.

Bước gá là một phần của nguyên công công nghệ được thực hiện trên một lần gá phôi, có thể có một hoặc một số thao tác gia công nhưng chỉ trong một lần tháo lắp đồ gá duy nhất.

Vị trí công nghệ (vị trí làm việc) là mỗi vị trí của phôi so với máy công cụ trong mỗi lần gá phôi.

Giải pháp công nghệ là tập hợp một cách có quy luật các hoạt động của con người và máy móc trong quá trình thực hiện các công đoạn hoặc một phần công đoạn và được thống nhất một mục đích chung.

Quá trình công nghệ được thực hiện ở các vị trí làm việc khác nhau trong mặt bằng sản xuất cùng với các phương tiện và trang thiết bị công nghệ.

Trang thiết bị công nghệ bao gồm thiết bị công nghệ và các phương tiện công nghệ.

Thiết bị công nghệ bao gồm các máy công cụ dùng để thực hiện quá trình công nghệ (chẳng hạn phay, bào, tiện, nguội...) phương tiện công nghệ bổ sung cho thiết bị công nghệ, chẳng hạn khuôn dập, dụng cụ, đồ gá, các thiết bị phụ trợ như nâng hạ, vận chuyển, tháo lắp...

1.2. ĐẶC ĐIỂM CÁC DẠNG SẢN XUẤT VÀ PHƯƠNG PHÁP LÀM VIỆC

Chúng ta có thể phân ra ba dạng sản xuất: sản xuất khối, sản xuất dây và sản xuất đơn chiếc. Có hai phương pháp làm việc: theo dây chuyền hoặc không theo dây chuyền.

Đặc trưng của sản xuất khối là sản lượng các chi tiết cùng loại lớn được thực hiện trong một thời gian dài, mặt khác có nhiều vị trí làm việc nhưng chỉ trong một lần gá phôi. Hệ số kẹp giữ của nguyên công $K_k = C/V$; trong đó C là số nguyên công khác nhau trong một chu kỳ làm việc, thường lấy bằng một tháng; V là số vị trí làm việc thực hiện các nguyên công khác nhau, đối với sản xuất khối hệ thống này thường bằng 1. Chương trình sản xuất trong sản xuất khối cho khả năng chuyên môn hoá vị trí làm việc và bố trí theo trật tự của quá trình công nghệ dưới dạng đường. Độ dài (tính bằng thời gian) các nguyên công ở tất cả các vị trí làm việc như nhau và ứng với một năng suất nhất định.

Người ta định nghĩa chu kỳ sản xuất là khoảng thời gian cần thiết để chế tạo xong các chi tiết của một sản phẩm máy điện. Như vậy, trong sản xuất khối, thời gian để chế

tạo các chi tiết khác nhau của một máy điện phải bằng nhau mặc dù số nguyên công, số bước công nghệ và số vị trí công tác có thể khác nhau. Nắm được đặc điểm này người ta sẽ bố trí số lượng thiết bị, chế độ làm việc của thiết bị cũng như nhân công một cách hợp lý để thu được một năng suất nhất định.

Đại lượng nghịch đảo với chu kỳ sản xuất được gọi là nhịp điệu sản xuất, nó xác định số lượng sản phẩm được sản xuất ra trong một đơn vị thời gian. Trong thực tế, rất khó đảm bảo được điều kiện thời gian chế tạo các chi tiết bằng nhau nên thường xảy ra hiện tượng tràn sản phẩm ở một thời điểm nào đó trên dây chuyền. Để khắc phục hiện tượng này người ta dự trữ một số lượng phối hoặc chi tiết để đảm bảo cho dây chuyền sản xuất được liên tục. Sản xuất khối dạng này được gọi là sản xuất theo kiểu dây chuyền liên tục. Dây chuyền được thiết kế một cách đồng bộ, trên đó bao gồm tất cả các khâu từ gia công cơ khí, gia công áp lực, đặt dây, tẩm sấy... đến thử nghiệm kiểm tra xuất xưởng.

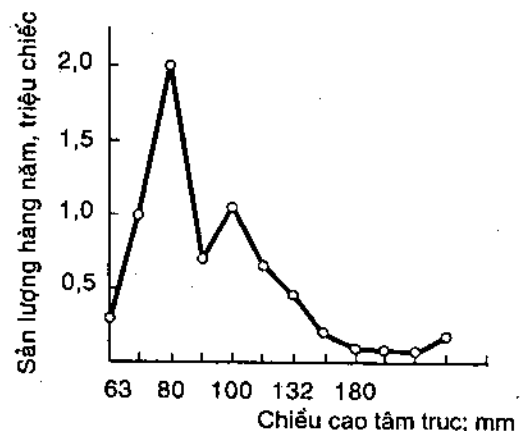
Sản xuất dây là dạng sản xuất theo từng loạt sản phẩm tuân theo một tiêu chuẩn nào đó (ở đây chúng ta nói dây là thuần túy nói đến số lượng, không phải theo gam máy với một thang công suất nào đó). Tùy theo số lượng chi tiết trong một loạt sản phẩm và hệ số kẹp giữ K_k người ta chia sản xuất loạt nhỏ ($20 < K_k \leq 40$), loạt vừa ($10 < K_k \leq 20$) và loạt lớn ($1 < K_k \leq 10$). Loạt nhỏ, có thể coi như đơn chiếc, thường số lượng chi tiết trong một chu kỳ sản xuất có thể đến hàng chục, sản xuất vừa với số lượng chi tiết đến hàng trăm và trong sản xuất loạt lớn số lượng chi tiết có thể đến hàng chục ngàn. Số lượng chi tiết trong một loạt sản phẩm và số lượng chu kỳ sản xuất trong một năm ảnh hưởng đến sản lượng trong năm và kế hoạch đầu tư trang thiết bị công nghệ của nhà máy.

Trong sản xuất lớn người ta sử dụng rộng rãi các thiết bị chuyên dụng và các máy liên hợp, trong đó thiết bị không bố trí theo chủng loại máy cái mà theo đối tượng được gia công với quá trình công nghệ đã được định trước.

Sản xuất đơn chiếc là dạng sản xuất với số lượng chi tiết nhỏ (một vài đến một vài chục) và không được sản xuất lặp lại. Dạng sản xuất này thường theo đơn đặt hàng với những yêu cầu đặc biệt hoặc sản xuất thử. Đặc điểm của dạng sản xuất này là tất cả các chi tiết của máy thường được thực hiện trên một vị trí công tác, bằng các thiết bị vạn năng, bởi những người thợ và dụng cụ đo vạn năng.

Để hình dung được tổ chức sản xuất máy điện trong thực tế như thế nào ta có thể lấy việc sản xuất động cơ không đồng bộ gam thông dụng làm thí dụ. Đồ thị mô tả mối quan hệ giữa sản lượng hàng năm với chiều cao tâm trục dưới đây cho thấy sản lượng các động cơ có chiều cao tâm trục nằm trong khoảng 63 – 100mm lớn nhất, ngoài phạm vi đó ra sản lượng các máy điện hàng năm thấp dần.

Như vậy, ta thấy tốt nhất là tổ chức sản xuất khối đối với những động cơ không đồng bộ có chiều cao tâm trục bằng 50 – 100mm.



Hình 1.1. Sản lượng động cơ không đồng bộ trong quan hệ với chiều cao tâm trục được sản xuất ở Nga

Mỗi nhà máy có thể tổ chức 1 – 3 dây chuyền công nghệ để sản xuất 1 – 3 loại động cơ có chiều cao tâm trục bằng nhau. Đối với những động cơ có chiều cao tâm trục nằm ngoài phạm vi trên có thể tổ chức sản xuất dây (loạt lớn, vừa và nhỏ) ở các nhà máy khác.

Nói chung, dù dưới dạng nào thì việc sản xuất máy điện cũng nên tổ chức thành dây chuyền kể cả đó là một dây chuyền đơn giản. Việc tự động hoá, chuyên môn hoá, hiện đại hoá thiết bị công nghệ của dây chuyền sản xuất đạt được đến trình độ nào là do khả năng đầu tư ban đầu, sản lượng hàng năm và tình hình nhân lực của mỗi nhà máy. Tuy nhiên, để đạt được những sản phẩm đạt độ tin cậy cao, tính thương phẩm cao, giá thành hạ, các dây chuyền cần phải đơn giản tối đa chu trình công nghệ, giải quyết tốt các điểm ứ đọng sản phẩm và những vấn đề chưa hoàn thiện trên dây chuyền, giảm thiểu tối đa độ khó gia công của chi tiết cũng như chế độ quản lý, nâng cao năng lực và trình độ tự động hoá thiết bị đồng thời với việc quay vòng vốn nhanh.

Để nâng cao năng lực thiết bị, trong thực tế người ta thường sử dụng phối hợp ba hệ thống dây chuyền: hệ thống dây chuyền liên tục thay đổi, hệ thống dây chuyền theo kiểu nhóm và hệ thống dây chuyền kiểu phân đoạn khép kín. Hệ thống dây chuyền liên tục thay đổi là hệ thống dây chuyền mà tại mỗi vị trí của dây chuyền cùng có chế độ gá lắp và gia công các chi tiết cùng loại, sau đó đồng loạt chuyển sang chi tiết khác. Dây chuyền kiểu nhóm là hệ thống dây chuyền mà tại mỗi vị trí khác nhau của dây chuyền gia công các chi tiết khác nhau với các đồ gá khác nhau. Dây chuyền gia công theo kiểu nhóm có thể tận dụng hết khả năng thiết bị vì có thể chuyên sâu hoá chức năng của chúng. Dây chuyền phân đoạn khép kín thường dùng để tạo phôi ban đầu, chuẩn bị cho các bước công nghệ sau trên hai kiểu gia công trên. Việc tạo phôi có thể phải thực hiện nhiều nguyên công trên cùng một chi tiết tại nhiều vị trí công tác của dây chuyền và cuối cùng thì trở lại vị trí ban đầu để đưa vào dây chuyền chính (chẳng hạn tẩy cát trên chi tiết đúc, tiện sơ bộ các mặt chuẩn công nghệ hoặc các mặt đế gá lắp khi cố định chi tiết...). Các phương pháp gia công trên có thể áp dụng cho không phải chỉ trong sản xuất khối mà cả trong sản xuất dây, thậm chí sản xuất đơn chiếc; các dây chuyền này có thể không tự động hoá hoặc tự động hoá ở các mức độ khác nhau.

1.3. NHỮNG ĐẶC THÙ CỦA CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO MÁY ĐIỆN

Như trên đã nói, ngành chế tạo máy điện thực chất là ngành chế tạo máy nói chung nhưng lại mang những đặc điểm rất riêng. Đặc điểm chung ở đây là sử dụng các công nghệ tương tự: rèn, đột dập, phay, bào, tiện, khoan, mài... Đặc điểm riêng là:

Đặc điểm của kết cấu máy điện và máy biến áp là tính đa dạng về chi tiết còn công nghệ chế tạo chúng thì lại mang những nét đặc thù, không giống với bất cứ loại máy nào.

Tính đa dạng về chi tiết trước hết cần đề cập đến phương diện kích thước. Máy điện là loại máy có phạm vi kích thước rộng rãi nhất: từ một vài mm đến một vài chục mét (đường kính ngoài của máy phát tua bin nước hơn 20m, chiều dài máy phát tua bin hơi đến hơn 10m...). Công suất của các loại máy điện có thể có từ vài oát (W) đến vài trăm ngàn megaoát (MW). Các chi tiết dẫn dòng phải đáp ứng phạm vi dòng điện từ một vài miliampe (mA) đến hàng trăm ngàn ampe (A).

Tính đa dạng về vật liệu sử dụng: vật liệu rắn, vật liệu lỏng; vật liệu từ, vật liệu điện, vật liệu cách điện và vật liệu kết cấu dẫn đến sự liên quan tới nhiều ngành công nghiệp khác nhau. Vật liệu từ phải có khả năng đáp ứng dải tần số từ 0 đến hàng nghìn kHz, vật liệu cách

điện cần đáp ứng giải pháp điện áp từ một vài vôn (V) đến hàng trăm nghìn kilôvôn (kV); vật liệu kết cấu có thể từ nhựa đến các loại kim loại từ tính và phi từ tính... có khả năng chịu tải trọng từ hàng gam đến hàng trăm tấn; chịu được tốc độ từ vài vòng/phút đến vài trăm ngàn vòng/phút.

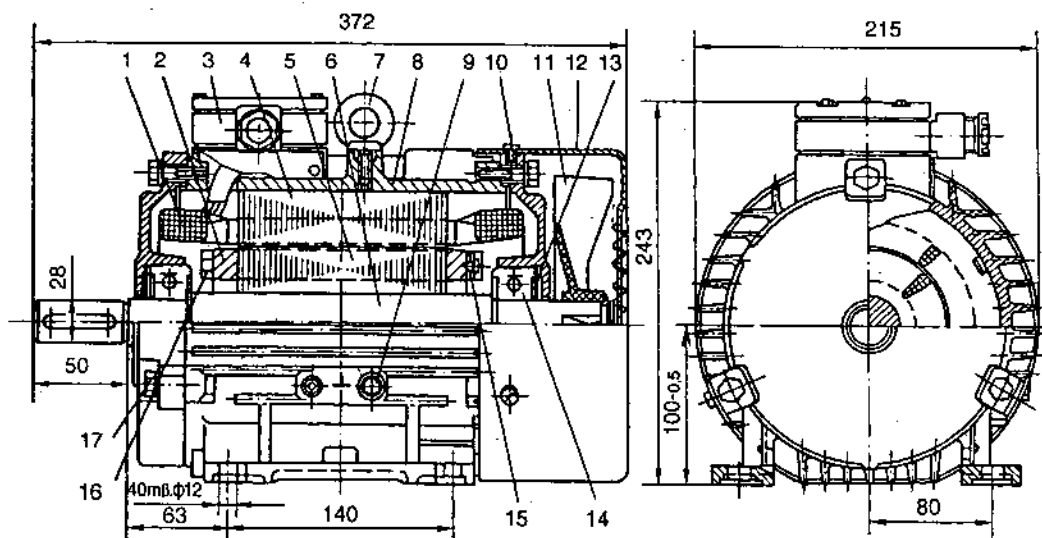
Tính đa dạng về yêu cầu kỹ thuật: Máy điện và máy biến áp được sản xuất theo dây (gam), mỗi gam cần đáp ứng những yêu cầu kỹ thuật khác nhau trong các lĩnh vực khác nhau từ thông dụng đến các lĩnh vực công nghiệp khác nhau như dệt, mỏ, xăng dầu, vận tải, lò điện, y tế... và các lĩnh vực đặc biệt khác dẫn đến sự đa dạng về kết cấu.

Tính đa dạng về chủng loại: Máy điện có thể là một chiều hoặc xoay chiều, có thể là máy phát hoặc động cơ, có thể là quay hoặc tĩnh, có thể làm việc trên cao (máy bay), trên mặt đất hoặc dưới nước. Máy điện được sản xuất theo gam công suất hoặc đơn chiếc, trong mỗi gam công suất có nhiều thang công suất, tốc độ, điện áp, thông dụng hoặc đặc biệt... cũng dẫn đến sự đa dạng về kết cấu và kích thước.

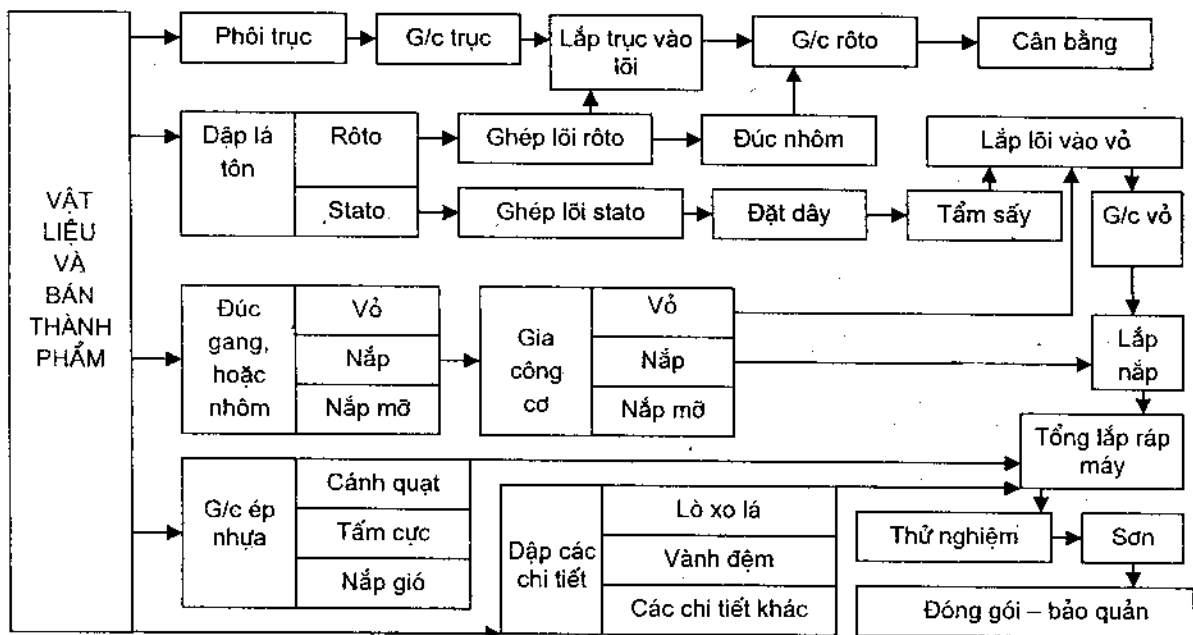
Ở các nước phát triển, nhịp độ tăng trưởng của ngành chế tạo máy điện rất cao: trung bình cứ 8 – 10 năm sản lượng các máy điện lại tăng gấp đôi. Với tính đa dạng nói trên để theo kịp nhịp độ phát triển của các lĩnh vực khác (chế tạo máy, luyện kim, hoá chất...) người ta đã chuyên môn hoá việc sản xuất máy điện cũng ở mức rất cao. Mỗi nhà máy chỉ sản xuất một loại máy nào đó, thậm chí trong đó chỉ sản xuất một vài thang công suất ứng với một vài chiều cao tâm trục. Sản lượng hàng năm của mỗi nhà máy cỡ vài trăm nghìn chiếc. Việc chuyên môn hoá cho phép các nhà máy nâng cao năng lực thiết bị, tự động hoá dây chuyền sản xuất ở trình độ cao, cập nhật được những tiến bộ khoa học kỹ thuật của các lĩnh vực khác như luyện kim, hoá chất...

Ở nước ta, do ngành chế tạo máy chưa phát triển, một số ngành khác tuy phát triển nhưng thường nhập thiết bị toàn bộ và nhiều nguyên nhân khác nên nhu cầu về số lượng cũng như chất lượng đối với máy điện chưa cao, do đó việc sản xuất máy điện chưa được chuyên môn hoá và việc đưa tiến bộ khoa học kỹ thuật vào sản xuất gặp rất nhiều khó khăn.

1.4. TRÌNH TỰ CÔNG NGHỆ CƠ BẢN TRONG CHẾ TẠO MÁY ĐIỆN



Hình 1.2. Động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc đúc nhôm



Hình 1.3. Sơ đồ trình tự công nghệ sản xuất động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc đúc nhôm 4kW

Trước khi đi sâu vào nghiên cứu công nghệ chế tạo máy điện chúng ta cần có một tổng quan về kết cấu và trình tự sản xuất đang được áp dụng trong phần lớn các nhà máy hiện nay. Đương nhiên mỗi nhà máy, mỗi cấp công suất, mỗi loại máy... đều có trình tự công nghệ riêng, ở đây ta chỉ đề cập đến một số sơ đồ công nghệ đối với các máy điện thông dụng ứng với một chiều cao tâm trục nào đó.

1.4.1. Động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc đúc nhôm 4kW

Trong sơ đồ hình 1.3 phôi trục được cắt từ thép cây hình trụ hoặc thép cán định hình trụ bậc. Gia công cơ khí được thực hiện trên dây chuyền tự động, lá tôn stator và rôto được dập tự động từ tôn kỹ thuật điện (tôn cuộn), lõi sắt rôto được ghép từ các lá tôn vào đồ gá (trục giả) và được ép giữ bằng dây quấn rôto đúc nhôm có vành ngăn mạch 2 cùng các cánh khuấy gió 16, sau đó lõi sắt 5 được ép lên trục chính 6. Rôto được tiện ngoài đến kích thước cho trước, sau khi ép các vòng bi 14 vào trục, rôto được cân bằng động và gắn khối lượng hiệu chỉnh 15. Lõi sắt stator 4 sau khi ghép và ép chặt được cách điện, lồng dây quấn 1, đai đầu, tẩm sấy được đai ép vào vỏ 8. Phôi thân máy (vỏ), nắp (gối đỡ), thân và nắp hộp cực, nắp mỡ được đúc bằng nhôm hoặc gang dưới áp lực trong khuôn kim loại. Việc gia công cơ các chi tiết này được thực hiện trên các dây chuyền tự động hoặc máy liên hợp. Quạt gió có thể đúc nhôm, ép nhựa hoặc hàn các cánh đập từ tôn tẩm. Quá trình lắp ráp được thực hiện theo trình tự: lắp ráp hoàn chỉnh stator, lắp rôto hoàn chỉnh và đã có một nắp 10 vào stator, lắp lò xo lá 13, lắp nắp còn lại, nắp mỡ nếu có, vít nâng 7, hộp cực 3, bulông tiếp địa 9, quạt gió 11, nắp hướng gió 12 (h.1.2). Sau khi lắp ráp hoàn chỉnh động cơ được đưa vào thử nghiệm, bảo quản và nhập kho.

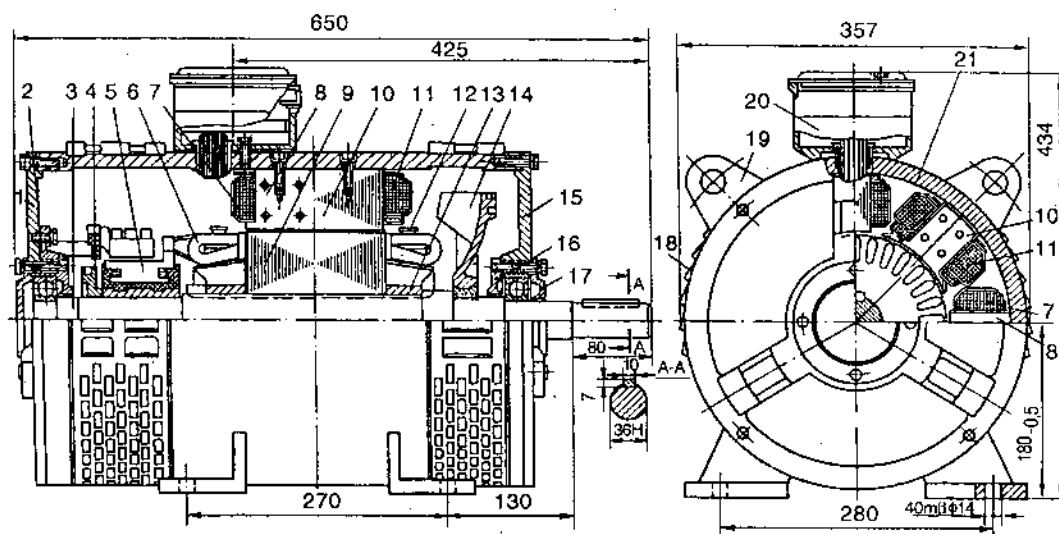
1.4.2. Máy điện một chiều

Sơ đồ công nghệ đối với máy điện một chiều có điểm khác so với động cơ không đồng bộ. Chúng ta hãy lấy trường hợp động cơ điện một chiều có chiều cao tâm trục $h = 180\text{mm}$

thuộc gam thông dụng để làm ví dụ. Bản vẽ tổng lắp ráp động cơ này được trình bày trên hình 1.4 và sơ đồ trình tự công nghệ theo hình 1.5.

Việc sản xuất được bắt đầu từ việc tạo phôi. Phôi vỏ máy điện một chiều 21 có thể được tạo ra nhờ cắt từ các ống thép kéo liền, đúc hoặc cuốn và hàn từ tôn tấm. Các tấm móc vận chuyển 19 và chân máy điện được cắt từ các lỗ cửa sổ trên thân. Phôi trước khi gia công cơ khí được ủ để giảm độ cứng và tạo độ cứng đồng đều của phôi, tránh sai số khi gia công tự động.

Các cực từ chính 10 và phụ 8 được ghép từ các lá tôn dập bằng bulông, đinh tán hoặc hàn. Việc cố định cực với vỏ được thực hiện nhờ các bulông. Dây quấn cực từ phụ 7 và cực từ chính 11 được quấn từ dây đồng tròn hoặc dẹt, được tẩm sấy và lắp vào cực. Một số trường hợp người ta quấn trực tiếp dây dẫn lên cực. Phôi trục 3 có thể được cắt từ thép cây hoặc rèn. Giá đỡ dây quấn 13, nắp máy (gối đỡ) 1, 15 được đúc từ gang. Lõi sắt phần ứng 9 được ghép từ các lá tôn dập có cách điện và được ép trực tiếp lên trục trước khi lắp cổ góp 5. Dây quấn phần ứng 6 có thể được quấn từ dây dẫn tròn hoặc dây có tiết diện chữ nhật được đặt vào rãnh sau khi đặt cách điện và được đai bằng đai thép hoặc sợi thủy tinh 12. Sau khi tẩm sấy, phần ứng được gia công cơ khí bề mặt cổ góp và ngông trục, cân bằng động (gắn đối trọng hiệu chỉnh 4) và lắp quạt gió 14. Phần ứng trước khi lắp vào phần cảm được lắp nắp mỡ 16, 17 và ổ bi. Cuối cùng người ta lắp hộp cực 20, nắp bảo vệ 18, sơn, thử nghiệm xuất xưởng và bảo quản.

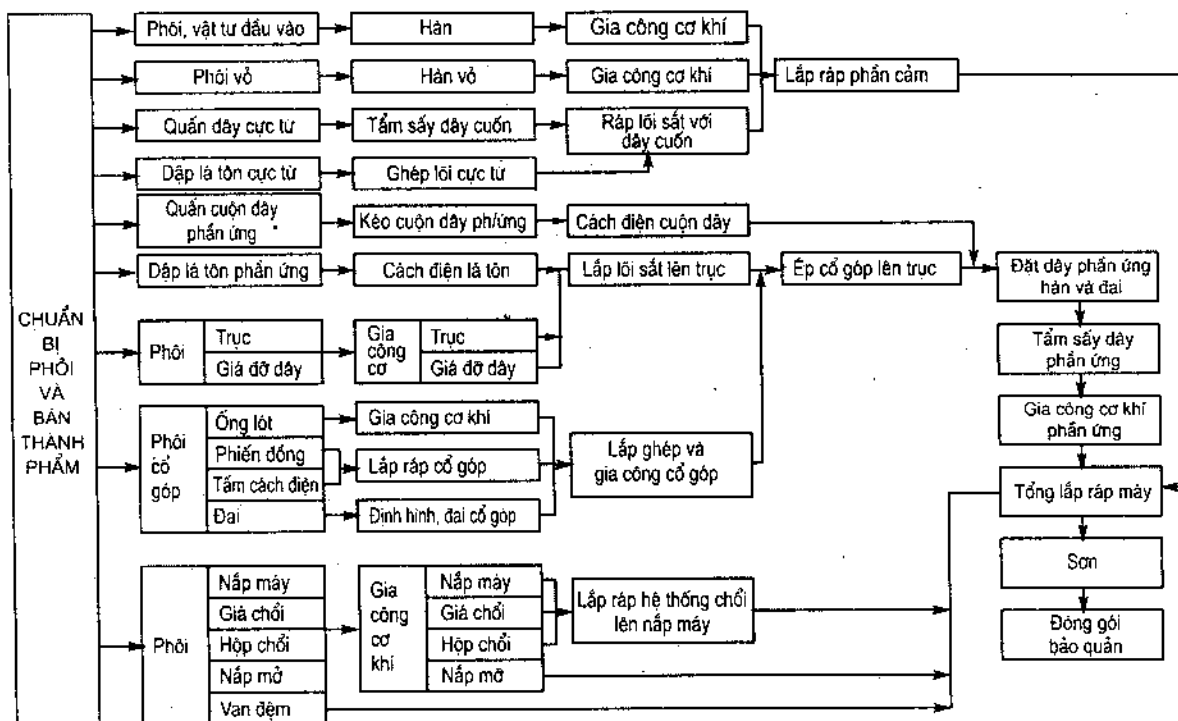


Hình 1.4. Động cơ điện một chiều tốc độ 1500v/ph, chiều cao tâm trục 180mm

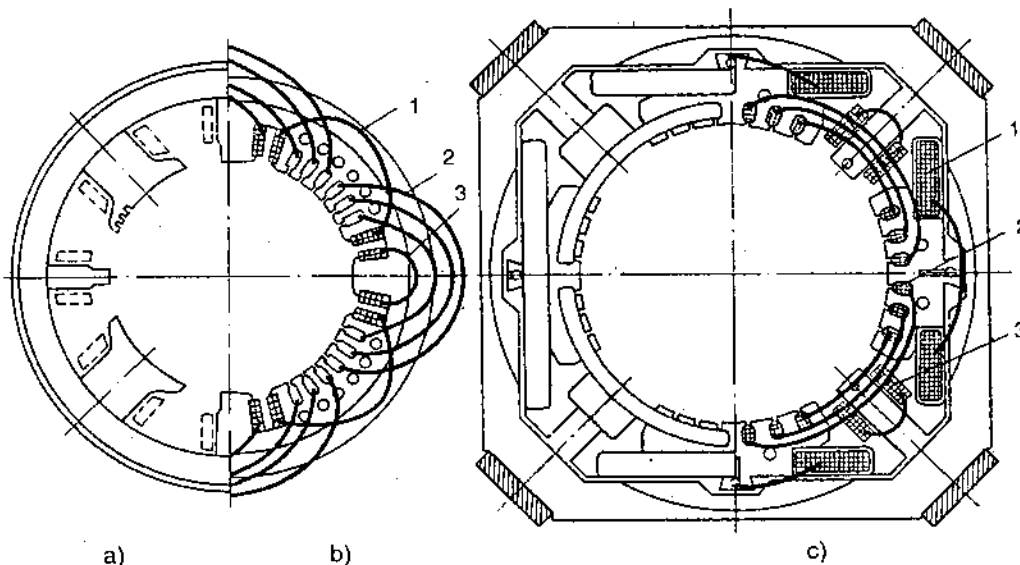
Quy trình công nghệ trên có một số nhược điểm như sau:

- Phải xây dựng một dây chuyền công nghệ riêng cho máy điện một chiều vì các chi tiết vỏ, cực từ, cổ góp khác với động cơ không đồng bộ.
- Khi chế tạo cực từ (dập, ghép, khoan lỗ trên vỏ để lắp cực từ) dễ gây sai số làm cho các cực khác nhau, từ đó làm cho từ thông dưới các cực khác nhau dẫn đến làm tăng dòng điện cân bằng trong các mạch nhánh song song.

Gần đây nhiều hãng trên thế giới đã đưa ra một kiểu kết cấu máy điện một chiều cho phép khắc phục được các nhược điểm trên và việc sản xuất máy điện một chiều được thực hiện chung trên dây chuyền sản xuất máy điện không đồng bộ.



Hình 1.5. Sơ đồ trình tự công nghệ động cơ điện một chiều có $h = 180\text{mm}$



Hình 1.6. Phần cảm máy điện một chiều cải tiến

Các lá tôn có thể là thép kỹ thuật điện (tôn silic) hoặc thép kết cấu. Phía ngoài lá tôn là hình tròn hoặc hình vuông, còn phía trong có thể làm cực ẩn (hình 1.5b) hoặc cực lõi (hình 1.5c). Trên hình 1.5b dây quấn kích thích 1 được bố trí trong các rãnh lớn, dây quấn bù 2 và dây quấn cực từ phụ 3 được đặt trong các rãnh nhỏ. Trong các máy cực lõi dây quấn kích thích 1, dây quấn cực từ phụ 3 được quấn tập chung, dây quấn bù 2 quấn rải trong rãnh bé. Trên hình 1.6a là cực từ và gông từ của máy điện một chiều kiểu cũ.

Việc sử dụng dây quấn bù cho phép giảm khe hở giữa phần ứng và cực đồng thời cũng làm cho khe hở dưới các cực đồng đều hơn. Công nghệ dập dẽ làm cho các cực đối xứng hơn, độ chính xác cao hơn vì sai số chỉ phụ thuộc khâu dập mà không phụ thuộc vào việc khoan lỗ trên cực và vỏ máy.

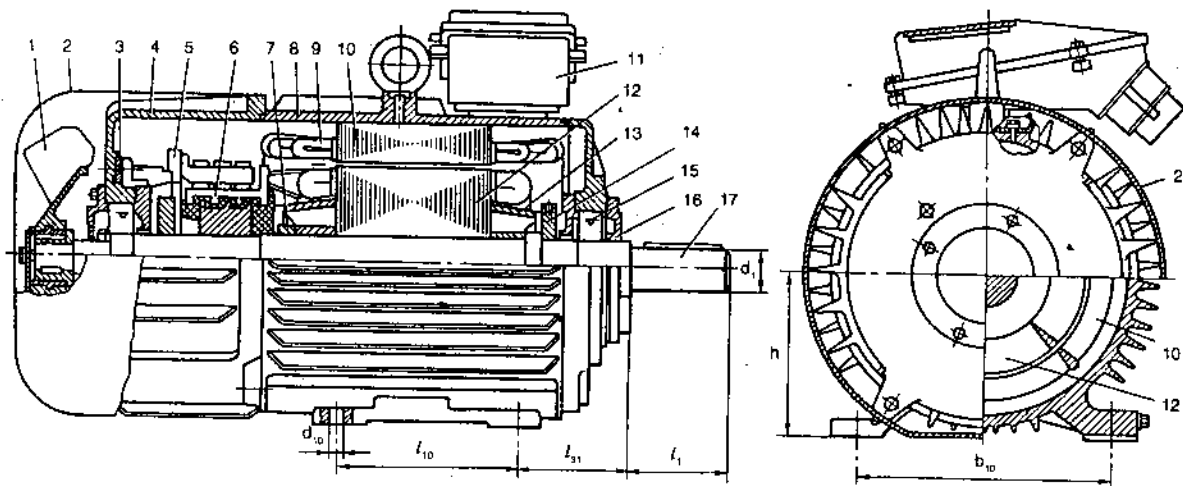
Các động cơ điện một chiều kiểu mới này có kích thước nhỏ hơn, việc điều chỉnh tốc độ được thực hiện linh hoạt hơn, trong phạm vi rộng rãi hơn.

Về phương diện công nghệ, chúng ta có thể thống nhất hoá việc sản xuất động cơ một chiều kiểu mới này với việc sản xuất động cơ không đồng bộ. Một số chi tiết của hai loại máy này thậm chí có thể dùng chung (vỏ, nắp phải, hộp cực, móc vận chuyển...), một số nguyên công có thể dùng chung thiết bị như dập, lắp ráp lõi sắt, chế tạo dây quấn, tẩm sấy, gia công cơ khí trục, tổng lắp ráp... Việc thống nhất hoá quá trình công nghệ chế tạo hai loại máy này đã làm giảm độ khó trong chế tạo tới 30%, tạo điều kiện cho việc cơ khí hoá và tự động hoá nhiều khâu công nghệ khác. Kết cấu một máy điện một chiều có cực từ dập như trên hình 1.7.

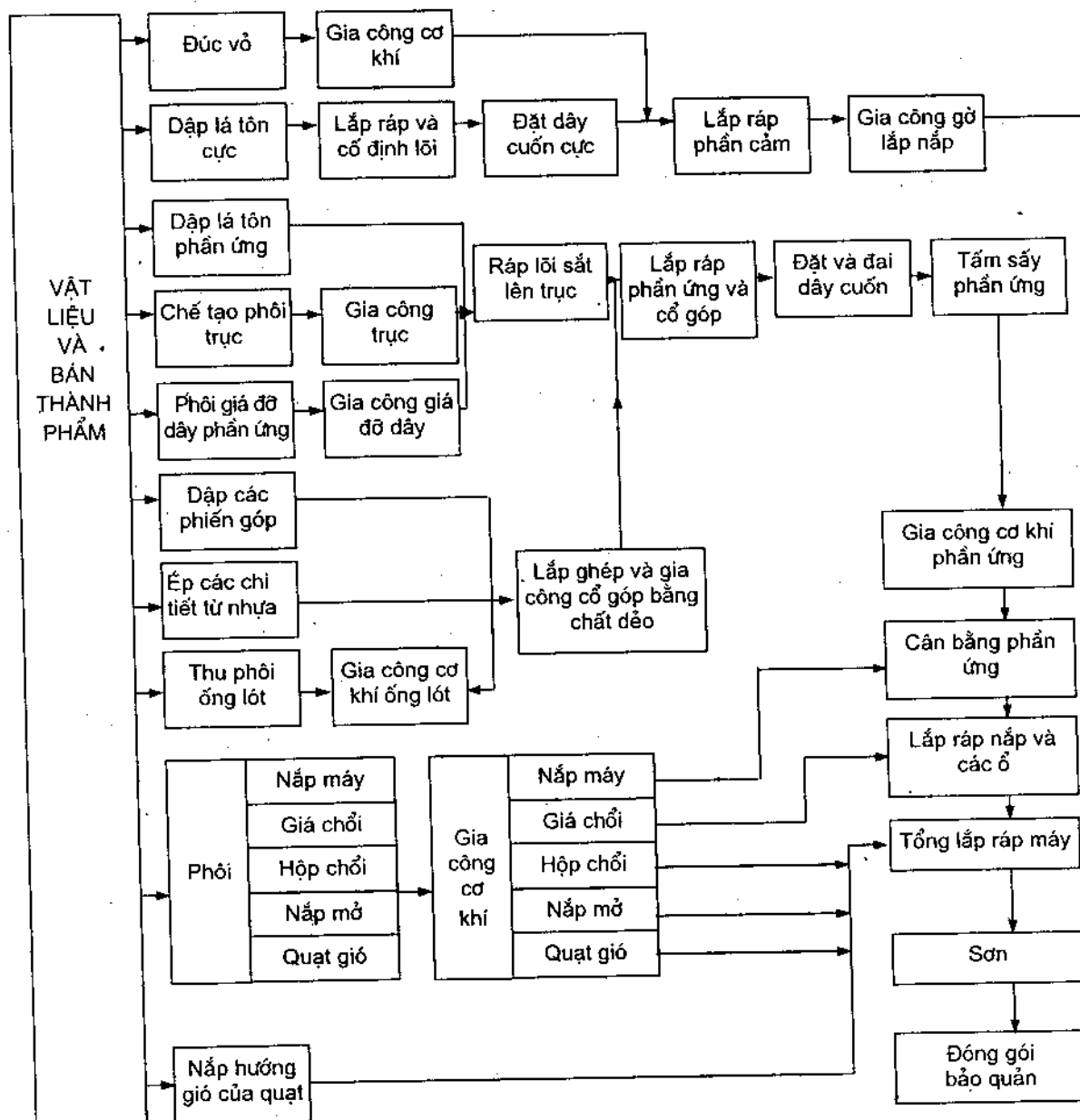
Phần ứng được chế tạo theo trình tự sau: phôi trục 17 được tạo bởi công nghệ cán cắt và gia công tiện; các lá tôn 12 được dập trên máy dập và ép lên trục nhờ các giá ép 13 và ống lót chặn 7; ép cổ góp 6 vào trục; đặt cách điện rãnh, lồng dây, hàn nối, đai dẫu, tẩm sấy; gia công cơ bề mặt lắp ổ bi, mặt ngoài phần ứng; cân bằng động, gắn khối lượng hiệu chỉnh 14; lắp nắp mở và vòng bi 15.

Phần cảm được chế tạo theo trình tự sau: vỏ 8, hộp cực 11, nắp 4 được đúc bằng gang và gia công cơ; các lá tôn phần cảm được dập từ tôn silic hoặc tôn thường và được ghép thành lõi 10; đặt dây quấn kích thích, dây quấn bù, dây quấn cực từ phụ 9; tẩm sấy cách điện rồi ép vào vỏ.

Trình tự lắp ráp máy như sau: trên nắp trái 4 lắp vành đỡ 3 và giá chổi 5, lắp rôto vào phần ứng, lắp nắp phải và cố định với thân máy bằng bulông; lắp nắp mở 16, quạt gió 1, nắp hướng gió 2, hộp cực 11, cuối cùng thử nghiệm xuất xưởng, bảo quản và nhập kho.



Hình 1.7. Kết cấu máy điện một chiều kiểu mới



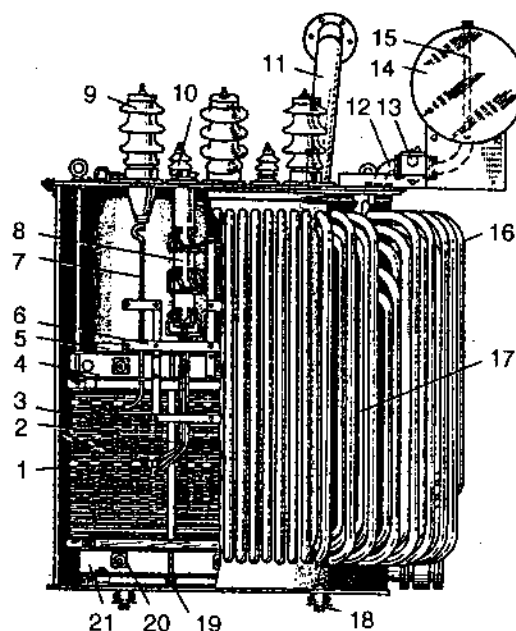
Hình 1.8. Sơ đồ công nghệ sản xuất động cơ điện một chiều có lõi sắt phản ứng dập

1.4.3. Máy biến áp

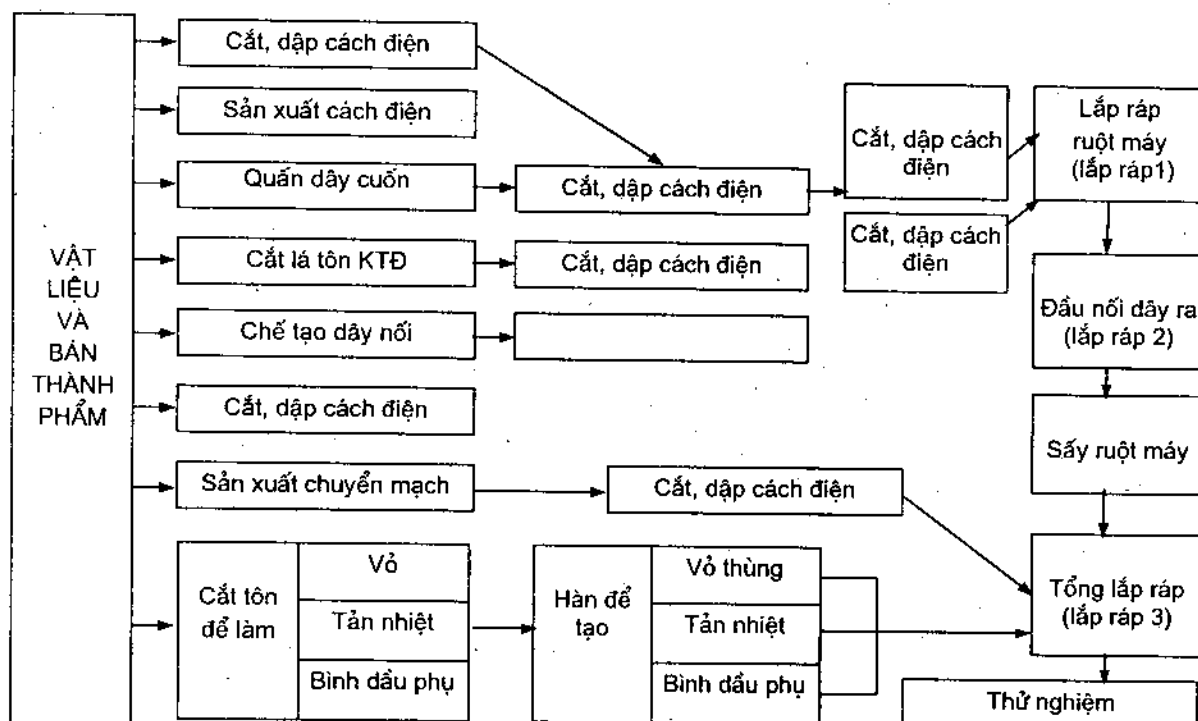
Công nghệ chế tạo máy biến áp khác với công nghệ chế tạo máy điện quay mặc dù vật liệu sử dụng như nhau. Lõi sắt máy biến áp được ghép từ các lá tôn kỹ thuật điện cán nguội cắt trên máy cắt tôn và được ép bằng các xà ép gông 4, 12 cùng với các bulông 19, 20 (hình 1.9).

Dây quấn máy biến áp (MBA) được quấn từ dây đồng có tiết diện hình chữ nhật kiểu ống trụ trên các máy quấn dây chuyên dụng. Các chi tiết cách điện tùy theo hình dáng, kích cỡ được gia công trên các máy cắt, dập, quấn. Cuộn dây sau khi ép nén đến kích thước cho trước được đem sấy, sơn cách điện.

Lõi sắt và dây quấn sau khi chế tạo hoàn chỉnh được tập kết đến phân xưởng tổng lắp ráp. Việc lắp ráp ruột máy được thực hiện trước hết bằng việc tháo dỡ gông trên và xà ép. Các đầu ra 7, các đầu phân nhánh 2 được cố định chặt vào các giá gỗ 6 đặt hai bên máy. Sau khi lắp ráp ruột máy được sấy khô và xiết lại tất cả các bulông lần cuối. Quá trình tổng lắp ráp là thả ruột máy 1 vào thùng 17 có bộ tản nhiệt 16, bình dẫn dầu 14, lắp các chi tiết khác trên nắp máy như sứ đầu vào 9, 10, ống phòng nổ 11, ống dẫn dầu 12, role khí 13, thước chỉ dầu 15, thiết bị chuyển mạch điều chỉnh điện áp 8 và cuối cùng lắp bánh xe vận chuyển 18 dưới đáy thùng. Máy biến áp trước khi nhập kho bảo quản phải được kiểm tra thử nghiệm xuất xưởng và lập hồ sơ máy.



Hình 1.9. Máy biến áp cỡ III



Hình 1.10. Sơ đồ công nghệ chế tạo máy biến áp

1.5. NHỮNG LOẠI HÌNH CÔNG NGHỆ SỬ DỤNG TRONG SẢN XUẤT MÁY ĐIỆN VÀ MÁY BIẾN ÁP

1.5.1 Các loại hình công nghệ đúc

Đúc là loại hình sản xuất mà qua đó ta thu được sản phẩm có dạng như khuôn mẫu đã định trước. Sản phẩm đúc có thể có kết cấu phức tạp mà những loại hình công nghệ khác như rèn, hàn, dập rất khó hoặc không thể làm được. Trong máy điện các chi tiết đúc chiếm tới 35 đến 65% trọng lượng toàn máy mà chủ yếu là gang xám.

Gang xám là loại vật liệu đúc rẻ nhất, có khả năng chịu rung động, có độ cứng thích hợp cho các chi tiết như vỏ (thân), nắp (gối đỡ), nắp mỡ buồng ổ bi, giá đỡ rôto, thân và nắp hộp đầu dây ra... Tính đúc của gang xám rất cao, nhiệt độ nóng chảy của gang xám khá thấp. Gần đây người ta sử dụng một loại gang có độ bền cao hơn dùng để đúc những chi tiết chịu lực cao như trong động cơ điện chống nổ... loại này đắt hơn gang xám tới 30%.

Thép cũng được dùng để đúc những chi tiết cần độ bền cơ cao hoặc những chi tiết dẫn từ như vỏ máy điện một chiều, cực từ, vành nén hình côn của cổ góp, trục máy, giá đỡ rôto... Thép dùng để đúc những chi tiết dẫn từ có thể chứa tới 0,25% cacbon, thép đúc mà có thể hàn được thì hàm lượng cacbon không được quá 0,18%. Thép đúc nói chung có giá thành cao hơn gang đúc 50%. Các phương pháp đúc gang và thép phổ biến nhất hiện nay là:

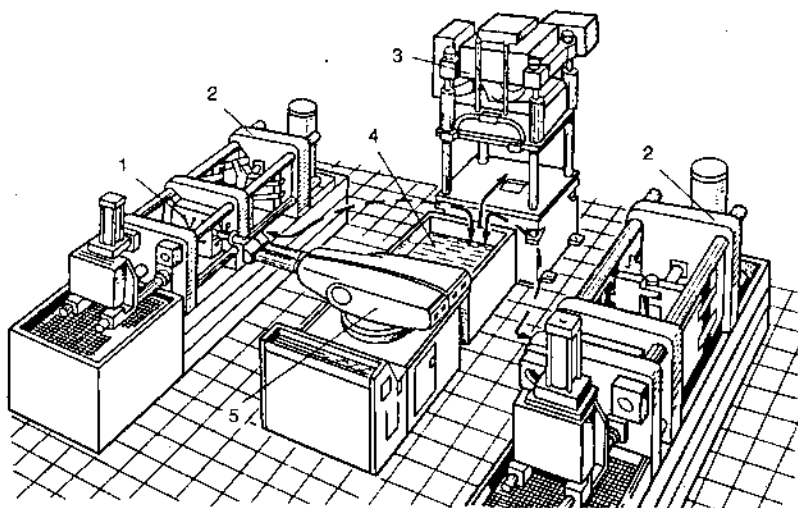
- Đúc trong khuôn có giá đỡ hoặc không có giá đỡ hỗn hợp cát pha sét trên các dây chuyền tự động.
- Đúc trong khuôn kim loại cứng.
- Đúc trong khuôn có vỏ.
- Đúc trong khuôn có lớp phủ.

Nhôm đúc được sử dụng trong công nghệ chế tạo máy điện chủ yếu đối với máy điện công suất nhỏ (dưới 10kW). Nhôm được đúc thành vỏ máy, nắp máy, nắp mỡ ổ bi, thân và nắp hộp cực. Nhôm nhẹ và tính đúc rất tốt. Đúc nhôm chủ yếu dùng khuôn kim loại, đúc dưới áp lực trong các máy đúc nhôm kiểu nằm ngang.

Đồng đúc chủ yếu là đồng hợp kim dùng để làm giá đỡ chổi than, vành trượt, ống lót, mặt bích... Đồng được đúc trong khuôn kim loại dưới áp lực. Đồng hợp kim đúc có ưu điểm chịu mài mòn, chịu áp suất, ít bị ăn mòn, tính đúc tốt.

Babít là hợp kim giữa thiếc và chì được dùng để đúc bạc (ổ trượt) các máy điện công suất nhỏ. Trong thực tế thường dùng hai loại babít B16 (dùng cho tải nhẹ) và B38 dùng cho tải nặng. Trong sản xuất máy điện nhỏ để làm cực từ người ta cũng dùng sản phẩm đúc hợp kim sắt – coban.

Hình 1.11 mô tả một đoạn dây chuyền đúc áp lực để đúc kim loại màu gồm hai máy 2, bộ dao khuôn 5 do tay máy thực hiện và máy ép 3. Tay máy rút chi tiết đúc từ khuôn 1 nhúng vào thùng nước 4 để làm nguội, sau đó chuyển lên máy ép 3 để làm sạch những chỗ vật liệu thừa, cắt đầu rót và đầu ngót rồi chuyển lên băng chuyển tới nguyên công sau. Đồng thời với những thao tác trên, máy tiến hành làm sạch khuôn bằng khí nén, bôi trơn khuôn để chuẩn bị cho chu kỳ đúc tiếp theo.



Hình 1.11. Một đoạn của dây chuyền đúc áp lực đối với kim loại màu

1.5.2. Các loại công nghệ rèn và gia công áp lực

Rèn là một dạng gia công nóng dưới áp lực mà chi tiết được biến dạng nhờ các thiết bị vạn năng. Trong công nghệ chế tạo máy điện thường dùng các dạng gia công áp lực chủ yếu là rèn tự do đối với các phôi có trọng lượng nhỏ (300 – 500kg), rèn hướng kính và cán ngang hình nêm. Sản phẩm của công nghệ rèn chủ yếu là trục, ống lót,... chủ yếu ứng dụng trong sản xuất đơn chiếc hoặc loạt nhỏ, bởi vì khi đó công nghệ ép nóng vốn ưu thế trong công việc này cho giá thành cao hơn nhiều. Đặc biệt trong ngành chế tạo máy điện lớn thì công nghệ rèn chiếm một vị trí hết sức quan trọng. Các trục hoặc giá đỡ rôto của máy phát tua bin nước, trục của máy phát điện tua bin hơi đồng thời là mạch từ phân cảm, sau khi đúc (trọng lượng có thể đạt tới 320 tấn) được rèn và nhiệt luyện để đạt giới hạn chảy 540 – 660 Pa, giới hạn bền đạt 735 – 813 Pa, độ dẫn dài tương đối 28 – 46%.

Trong sản xuất máy điện và máy biến áp công nghệ gia công áp lực (nay cũng gọi là gia công biến dạng dưới áp lực) được sử dụng rất nhiều. Chúng ta có thể kể ra một số công nghệ và ứng dụng của chúng như sau:

1. Công nghệ ép nóng kim loại

Ép nóng hợp kim nhôm trong sản xuất phôi vỏ máy điện có chiều cao tâm trục tới 180mm.

2. Công nghệ kim loại bột

Ép bột kim loại trong công nghệ chế tạo vành trượt, phiến góp, ổ trượt (bạc), môm cực từ, nam châm vĩnh cửu, nắp ổ bi, giá chổi than, giá tiếp điểm, ống lót ổ bi... Công nghệ ép bột kim loại trong khuôn cho phép tạo được những chi tiết có hình dạng phức tạp, các chi tiết dẫn điện, dẫn từ và cả các chi tiết cơ khí thuần túy. Nguyên liệu đầu vào của chi tiết này thường là kim loại dạng bột hoặc các oxít của chúng có kích thước từ 0,5 – 500 micromet.

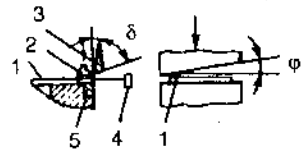
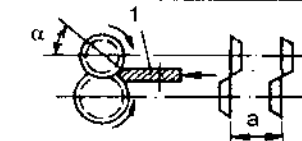
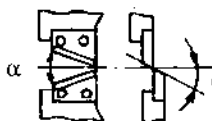
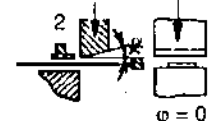
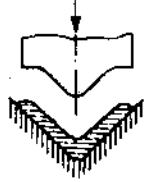
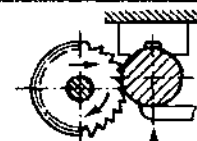
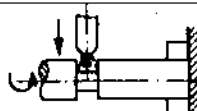
3. Công nghệ chất dẻo

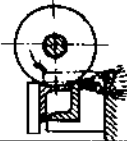
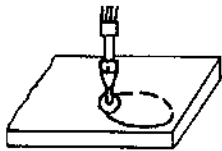
Ép các chi tiết từ các vật liệu ép là chất dẻo cho ta các chi tiết trong máy điện, máy biến áp và khí cụ điện như bảng cực, ống cách điện, vành chặn đầu cuộn dây (của

MBA), tấm cách điện trong vành trượt, cánh quạt của các máy điện công suất nhỏ, các công tắc tơ aptomat... Quá trình công nghệ ép nhựa thường phải gia nhiệt trước, trong hoặc sau khi ép. Sản phẩm nhựa ép có thể là nhựa mềm hoặc nhựa cứng. Thực chất của công nghệ này là đúc ép hoặc đúc dưới áp lực mà nguyên liệu là bột (hoặc hạt) nhựa.

1.5.3. Các loại hình công nghệ cắt và uốn nguyên liệu để tạo phôi

Để tạo phôi trước khi thực hiện các nguyên công chính người ta phải thực hiện khâu pha cắt kim loại. Đây là một khâu công nghệ rất quan trọng vì độ chính xác, năng suất... của những khâu sau phụ thuộc rất nhiều vào chất lượng phôi. Chúng ta sẽ điểm qua các phương pháp và thiết bị pha cắt để thấy được phạm vi ứng dụng của chúng.

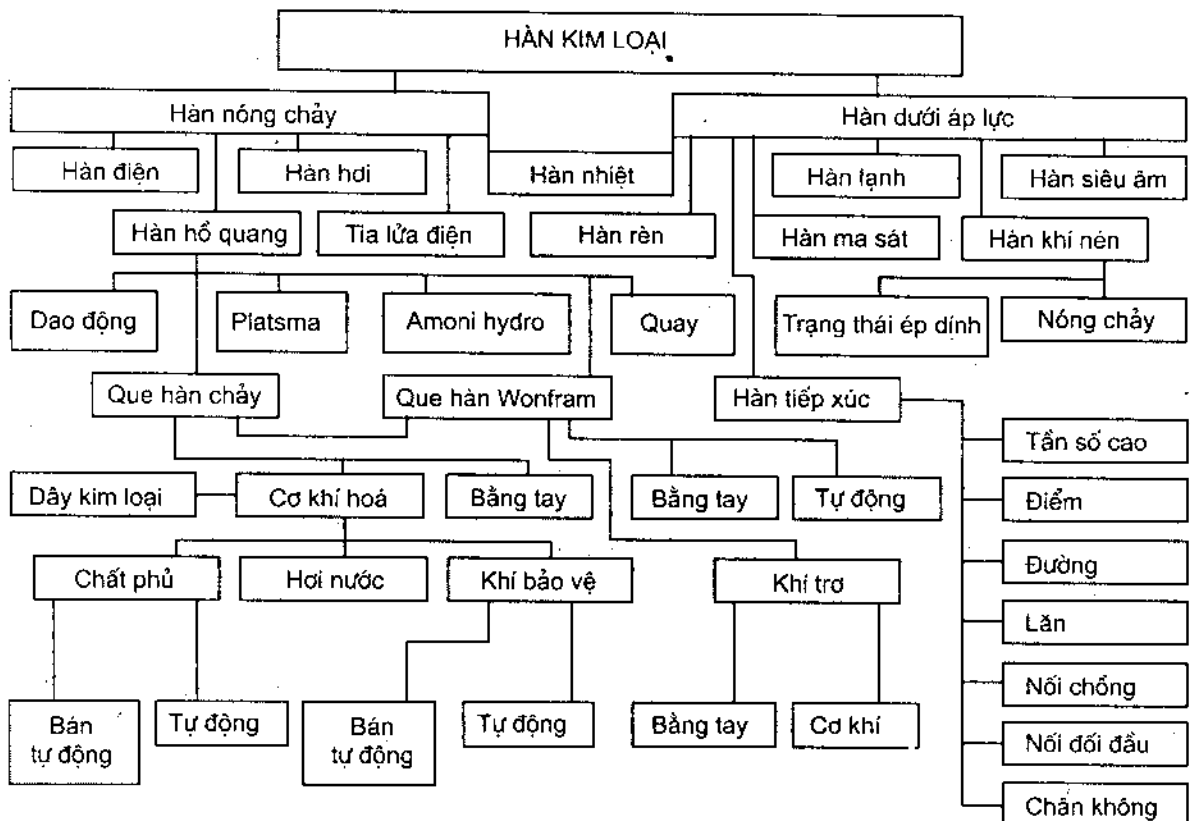
1. <i>Máy cắt tôn phẳng.</i> Lưỡi cắt loại thiết bị này kiểu đòn bẩy, chuyển động tịnh tiến, khi cắt góc cắt không thay đổi, vết cắt thẳng, dùng để pha cắt tôn tấm thành băng dài, năng suất không cao. Loại thiết bị này dùng trong công nghệ chế tạo máy điện quay và máy biến áp có quy mô nhỏ và vừa. 1) Chi tiết cắt; 2) Tấm ép; 3) Dao động; 4) Đổ gá; 5) Dao tĩnh.	
2. <i>Máy cắt đĩa.</i> Dao cắt loại thiết bị này có dạng đĩa côn, bố trí song song với nhau, máy dùng để pha cắt tôn phẳng thành băng dài, vết cắt thẳng, năng suất cao, có thể bố trí nhiều cặp dao cắt để cắt đồng thời nhiều băng dài có kích thước khác nhau.	
3. <i>Máy cắt đĩa có hai dao hình đĩa bố trí nghiêng so với mặt tôn.</i> Máy dùng để cắt tôn phẳng, có thể cắt theo đường cong bất kỳ. Máy cho năng suất cao.	
4. <i>Máy cắt rung.</i> Máy có cấu tạo hai lưỡi dao kiểu đòn bẩy, khi cắt góc cắt thay đổi, máy dùng để cắt tôn phẳng, có thể cắt thẳng hoặc cắt chéo theo đường cong. Máy thực hiện được 1500 – 2000 chu kỳ cắt trong một phút.	
5. <i>Máy cắt ép lệch tâm.</i> Dao cắt theo kiểu dập, hai lưỡi song song, dùng để cắt tôn phẳng hoặc thanh dẹt. Phương pháp này cho năng suất cao.	
6. <i>Máy cắt thép cán định hình.</i> Dao cắt kiểu khuôn dập có hình dạng giống với chi tiết cắt, mặt cắt có thể bị biến dạng nên trong nhiều trường hợp cần gia công thêm. Năng suất cao.	
7. <i>Máy cắt phay.</i> Máy có thể cắt được tiết diện lớn, mặt cắt nhẵn không cần gia công thêm, năng suất thấp, chỉ dùng trong sản xuất nhỏ.	
8. <i>Cắt bằng máy tiện.</i> Máy tiện cũng có thể dùng để cắt phôi hoặc cắt rời chi tiết sau khi gia công. Năng suất thấp, tốn kim loại vì phải mở rộng chỗ cắt.	

9. <i>Cắt bằng ma sát.</i> Thực chất của phương pháp này là dùng máy cắt đá. Phương pháp này cho năng suất rất cao, mặt cắt nhẵn, tuy nhiên giá thành cao, chỉ dùng cho sản xuất máy nhỏ và số lượng lớn. Tiếng ồn khi cắt lớn, tổn hao kim loại tương đối nhiều.	
10. <i>Cắt bằng plasma.</i> Máy cắt plasma cho phép cắt được phối tương đối dày nên thường dùng để cắt thép tấm khi gia công vỏ máy, đặc biệt dùng nhiều trong công nghệ chế tạo máy điện lớn. Bề mặt cắt tương đối nhẵn phẳng, không cần gia công lại. Phương pháp này có hai loại: dùng plasma và plasma kết hợp hồ quang điện.	

1.5.4. Các loại công nghệ hàn trong sản xuất máy điện

Hàn là quá trình công nghệ mà sản phẩm là một mối liên kết không thể tháo rời. Hàn được sử dụng để nối hai chi tiết kim loại đồng nhất hoặc không đồng nhất, hoặc hợp kim của chúng. Cũng có thể dùng phương pháp hàn để nối một chi tiết kim loại với một chi tiết phi kim loại như keramít, graphít, kaborun, v.v... và thậm chí với chất dẻo. Lực liên kết giữa các chi tiết hàn là nội lực của các nguyên tử tạo thành mối hàn. Hàn là một công nghệ cho năng suất cao, giá thành hạ. Hiện nay công nghệ hàn được tự động hoá và cơ khí hoá ở trình độ rất cao. Trong sản xuất máy điện, hàn được sử dụng công nghệ chế tạo vỏ máy điện quay, vỏ máy biến áp, ép lõi thép stato đối với máy điện nhỏ, hàn nối dây trong chế tạo dây quấn...

Dưới đây là một số công nghệ hàn được sử dụng trong sản xuất máy điện (hình 1.12).



Hình 1.12. Một số công nghệ hàn sử dụng trong chế tạo máy điện

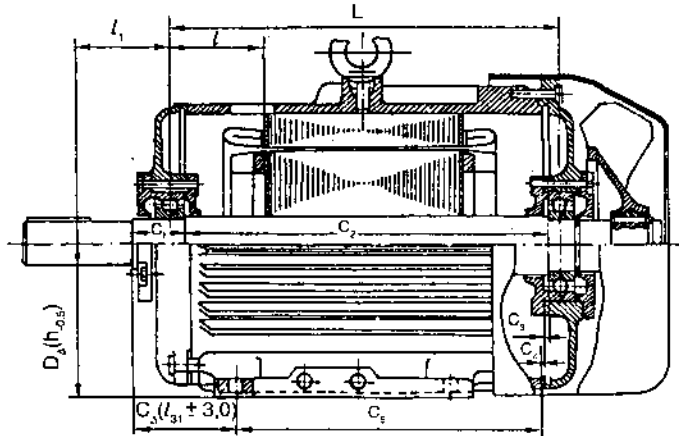
1.5.5. Các loại hình công nghệ chế tạo cơ khí

Gia công cơ khí ở đây được hiểu là gia công các chi tiết cơ khí (không phải phần tác dụng) chẳng hạn như thân, nắp, trục...

Trong chế tạo máy điện hầu hết các loại hình công nghệ cơ khí đều được sử dụng. Khi gia công thân máy chúng ta phải bào hoặc phay mặt phẳng chân đế, tiện trong bề mặt lắp ghép stato, tiện ngoài và mài gờ lắp nắp, khoan và cắt ren lỗ bắt bulông ghép nắp,... Khi gia công nắp còn phải thêm công nghệ nghiền bề mặt buồng ổ bi; khi gia công trục cần phải mài tinh ngông trục lắp ổ bi.

Máy điện nói chung cần phải thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật như $\cos \varphi$, hiệu suất, độ tăng nhiệt khi làm việc định mức, mô men quay trên trục, dòng điện khởi động, hệ số trượt, mức độ tiếng ồn và dao động.

Trình độ công nghệ gia công các chi tiết cơ khí ảnh hưởng rất nhiều đến các thông số trên. Tổn hao cơ phụ thuộc vào độ ghép chặt ổ bi, độ bóng bề mặt các chi tiết quay, sự hợp lý của hệ thống làm mát, sai số của khe hở không khí v.v... Mức độ tiếng ồn và độ rung của máy phụ thuộc vào trình độ cân bằng động, độ đồng đều của khe hở không khí, độ chính xác, độ bóng gia công và lắp ráp các chi tiết cơ khí.



Hình 1.13. Các kích thước lắp ráp động cơ

Công nghệ gia công và lắp ráp phải đảm bảo các sai số của các kích thước lắp ráp nằm trong phạm vi cho phép. Các kích thước lắp ráp là đường kính trong của thân (vỏ), đường kính gờ thân (để ghép với thân), chiều dày nắp, đường kính trong rôto, đường kính trục chỗ lắp rôto và ổ bi, chiều dài đoạn trục giữa hai ổ. Các kích thước lắp đặt gồm khoảng cách giữa các lỗ bulông chân máy, chiều cao tâm trục. Các kích thước nối gồm đường kính trục, chiều dài đoạn trục để lắp puli và kích thước rãnh then.

Thân máy hay vỏ máy là chi tiết cơ khí chính, trên đó lắp các chi tiết khác của máy điện. Các kích thước của nó xác định phần lớn chuỗi kích thước của máy. Các chuỗi kích thước cơ bản đó là: B – độ lệch của trục lõi sắt rôto so với trục stato. C – chuỗi kích thước xác định các kích thước lắp đặt, nối trục l_{31} và vị trí ổ bi; D – sai lệch của trục quay rôto so với mặt phẳng chân máy (chiều cao tâm trục). Ngoài ra các kích thước của thân máy cũng gián tiếp tham gia vào chuỗi kích thước A (xác định kích thước khe hở không khí) do sự biến dạng của lõi sắt stato. Ở đây cần chú ý một điều là trong các chuỗi kích thước thân máy các kích thước và sai lệch của chúng thu được sau khi đã gia công tinh và ghép lõi sắt stato.

Nắp máy hay giá đỡ rôto cùng với thân máy xác định vị trí của rôto so với bề mặt trong stato, mặt phẳng chân máy và trục các lỗ bulông chân máy.

Các kích thước của nắp tham gia vào các chuỗi kích thước B, C và D, mặt khác các kích thước của mỗi nắp lại thuộc các chuỗi kích thước như một thành phần độc lập.

Rôto của máy điện là một tổ hợp gồm trục, lõi sắt và dây quấn (đối với máy điện một chiều có thêm cổ góp, đối với máy điện không đồng bộ rôto dây quấn có thêm vành trượt). Các kích thước và sai lệch vị trí bề mặt rôto cũng nằm trong chuỗi kích thước A, B, C, D.

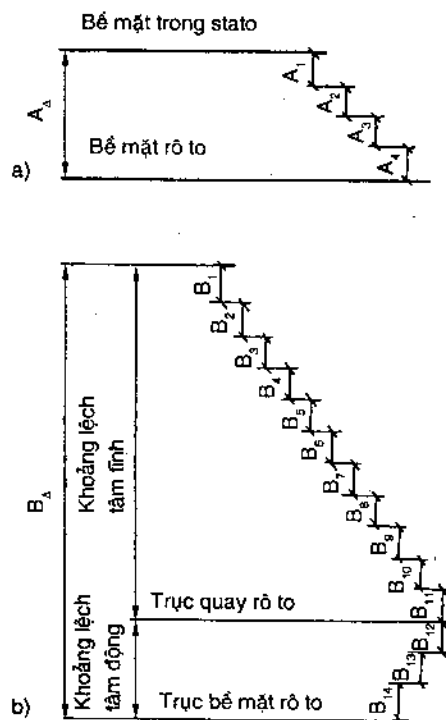
Các kích thước của nắp mỡ bôi nằm trong chuỗi kích thước C.

Trong ngành chế tạo máy điện thường dùng 3 cấp chính xác: cấp chính xác thường, cao và cấp chính xác siêu cao. Các máy điện thông dụng thường được chế tạo với cấp chính xác bình thường như các động cơ dây thông dụng AO hoặc AO₂. Các động cơ dây 4A của Nga được chế tạo với cấp chính xác cao. Cấp chính xác siêu cao thường được dùng để chế tạo các động cơ dùng trong các máy công cụ cấp chính xác cao. Sai số cho phép của các kích thước lúc đó nhỏ gấp 3 ÷ 4 lần so với ở động cơ thường. Các động cơ siêu chính xác được sản xuất với số lượng rất ít và được chế tạo trong những phân xưởng đặc biệt của nhà máy. Máy điện cấp chính xác cao được chế tạo với số lượng lớn hơn dùng trong ngành chế tạo máy chính xác.

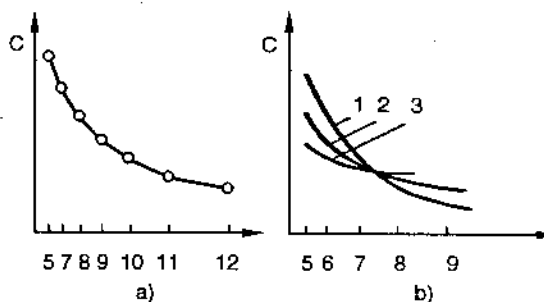
Khi nghiên cứu các yêu cầu kỹ thuật đối với máy điện người ta đã phân tích độ chính xác các kích thước của chi tiết. Muốn vậy, cần phải biến đổi các mối quan hệ cơ bản của các chuỗi kích thước rồi tiến hành tính toán các chuỗi đó, từ đó xác định cấp chính xác của các kích thước, hình dạng và vị trí tương đối của các bề mặt.

Trên hình 1.15 trình bày các đường cong mô tả quan hệ giữa giá thành chế tạo tùy theo các phương pháp gia công. Ta nhận thấy giá thành tăng nhanh (theo đường hypecpon) khi yêu cầu về độ chính xác tăng. Điều này được giải thích bởi sự tăng đầu tư về thiết bị và các dụng cụ đồ gá. Các phương pháp gia công có ảnh hưởng đến mức độ tăng của giá thành theo độ chính xác.

Sai số gia công chi tiết và cụm chi tiết của máy điện ảnh hưởng đến một trong các thông số quan trọng nhất, đó là khe hở không khí. Sở dĩ nói các thông



Hình 1.14. Sơ đồ chuỗi kích thước các Máy điện A và B không đồng bộ rôto lồng sóc



Hình 1.15. Ảnh hưởng của độ chính xác gia công (a) và trình độ gia công (b) đến giá thành chế tạo của chi tiết

số quan trọng là vì trị số và sai lệch của khe hở không khí ảnh hưởng mạnh đến các đặc tính năng lượng và cơ học của máy. Nguyên tắc chung, độ chính xác càng cao giá thành chi tiết càng tăng.

Khe hở không khí được đặc trưng bởi 2 yếu tố: trị số và độ không đồng đều. Các yếu tố chủ yếu gây ra sự không đồng đều của khe hở không khí là sai lệch trục của lõi sắt rôto so với trục quay và độ lệch tâm của trục quay của rôto so với trục lỗ stato.

Người ta phân ra 2 loại lệch tâm.

- Lệch tâm loại 1 (lệch tâm động) gây bởi sai số gia công rôto và vòng trong ổ bi.
- Lệch tâm loại 2 (lệch tâm tĩnh) gây ra bởi sai số gia công stato, giá đỡ trục (nắp), vòng ngoài ổ bi (hoặc bạc) và vòng trong ổ bi.

Sự lệch tâm động và tĩnh ảnh hưởng không tốt đến các đặc tính của máy: làm giảm $\cos \varphi$ và hiệu suất, tạo ra sự đốt nóng cục bộ dây quấn, giảm tuổi thọ ổ bi, làm xấu các chỉ tiêu dao động và tiếng ồn.

1.5.6. Các loại hình công nghệ sơn phủ, bảo vệ

Tuổi thọ của máy điện phụ thuộc rất nhiều vào việc bảo vệ chúng trước sự phá hoại của các yếu tố thiên nhiên không thuận lợi. Các yếu tố khí hậu như nhiệt độ, độ ẩm, áp suất không khí (độ cao so với mặt biển), mưa gió, bụi bặm, vi khuẩn cùng các hoá chất có trong không khí đều là những tác nhân ảnh hưởng trực tiếp đến thời hạn phục vụ của máy điện. Phương pháp bảo vệ máy điện là phủ lên các chi tiết và toàn bộ máy điện một lớp chất phủ chịu được các tác nhân bất lợi trên của môi trường. Các loại hình công nghệ che phủ áp dụng trong công nghệ chế tạo máy điện chủ yếu bao gồm: sơn phủ, ngâm tẩm, mạ, bọc nhựa. Tất cả các công nghệ trên đều được thực hiện trước khi bề mặt chi tiết đã được làm sạch và sấy khô.

1.5.7. Vận chuyển và nâng hạ trong công nghệ sản xuất máy điện và MBA

Có thể phân việc nâng hạ vận chuyển thành hai loại: bên ngoài và bên trong. Vận chuyển giữa các nhà máy, xí nghiệp phục vụ cho việc cung cấp vật tư, thiết bị và bán thành phẩm. Vận chuyển bên trong là vận chuyển nội bộ nhà máy, phân xưởng, bao gồm vận chuyển nguyên vật liệu, phối đến các máy công cụ, chuyển bán thành phẩm từ máy này đến máy khác, chuyển chi tiết hoặc cụm chi tiết từ vị trí sản xuất này đến vị trí sản xuất khác của dây chuyền công nghệ... Việc tổ chức nâng hạ, vận chuyển trong nội bộ nhà máy chế tạo là công tác không thể thiếu, hơn nữa nó ảnh hưởng không nhỏ đến năng suất chung, giá thành sản phẩm cũng như chất lượng sản phẩm. Các phương pháp tổ chức nâng hạ vận chuyển phụ thuộc vào dây chuyền công nghệ, cách bố trí thiết bị, cách tổ chức sản xuất và tổ chức nhân lực của nhà máy. Nếu khối lượng, chu kỳ, tần suất vận chuyển trong nhà máy tăng sẽ làm phức tạp thêm việc tổ chức sản xuất. Bài toán về tổ chức nâng hạ vận chuyển trong một nhà máy sản xuất máy điện khá phức tạp và giải quyết tốt bài toán này cũng sẽ đem lại hiệu quả không nhỏ về kinh tế và kỹ thuật. Hình 1.16 cho ta một ví dụ về tổ chức vận chuyển trong nội bộ một phân xưởng.

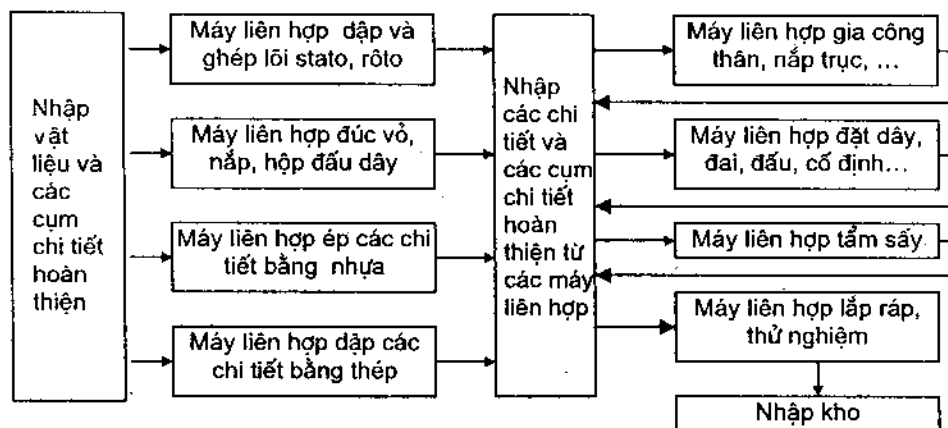
1.6.2. Tăng cường sử dụng máy công nghệ chuyên dùng thay cho các máy vạn năng

Hệ thống các máy điện vạn năng chiếm ưu thế trong sản xuất đơn chiếc và loạt nhỏ, chủng loại sản phẩm đa dạng, tuy nhiên cho năng suất lao động thấp, chất lượng sản phẩm không cao và không ổn định. Để nâng cao chất lượng của chi tiết và tính đồng nhất về chất lượng của sản phẩm chúng ta phải dùng các thiết bị công nghệ chuyên dùng. Việc sử dụng thiết bị chuyên dùng còn có tác dụng loại yếu tố con người (là yếu tố không ổn định) ra khỏi chất lượng sản phẩm. Tuy nhiên, việc sử dụng thiết bị chuyên dùng cũng đòi hỏi chúng ta phải đáp ứng nhiều vấn đề khác, chẳng hạn sự đồng chất về phôi (kích thước, độ cứng...), số lượng sản phẩm phải đủ lớn, chất lượng máy công nghệ phải được kiểm tra thường xuyên vì đây là yếu tố quyết định chất lượng sản phẩm.

1.6.3 Tự động hoá quá trình sản xuất

Trong sản xuất loạt lớn, thay vì dùng các dây chuyền công nghệ bao gồm các máy rời rạc bố trí theo chiều dài, sẽ do các tổ hợp công nghệ tự động (máy liên hợp) đảm nhận, trong sản xuất nhỏ hoặc vừa do các môđun sản xuất tự động "mềm" đảm nhận. Các tổ hợp công nghệ tự động được dùng trong chế tạo máy điện để sản xuất các chi tiết phức tạp, tổng lắp ráp, thậm chí có nhiều nhà máy áp dụng để sản xuất dây quần phần tử mềm bao gồm cả khâu tẩm sấy cách điện. Các tổ hợp tự động dùng trong gia công thân máy có thể làm được tất cả các công đoạn: gia công đường kính trong của thân để lắp stato, gờ lắp nắp, mặt phẳng chân đế, mặt phẳng lắp hộp đấu dây, khoan lỗ, cắt ren... Một số các máy liên hợp còn có cả các thiết bị kiểm tra các thông số của bề mặt gia công. Các máy liên hợp dùng trong công nghệ chế tạo dây quấn có thể đảm nhiệm việc kiểm tra lõi sắt, đặt cách điện, quấn dây, đặt dây, sấy trước khi tẩm, tẩm sơn, sấy sau khi tẩm sơn, giám sát chế độ tẩm sấy như nhiệt độ, độ nhớt sơn, áp suất, thời gian sơn... tất cả được thực hiện một cách tự động. Hệ thống nâng hạ, vận chuyển trong tổ hợp được thực hiện bằng tay máy và việc chuyển từ dây chuyền này sang dây chuyền khác cũng được thực hiện một cách tự động.

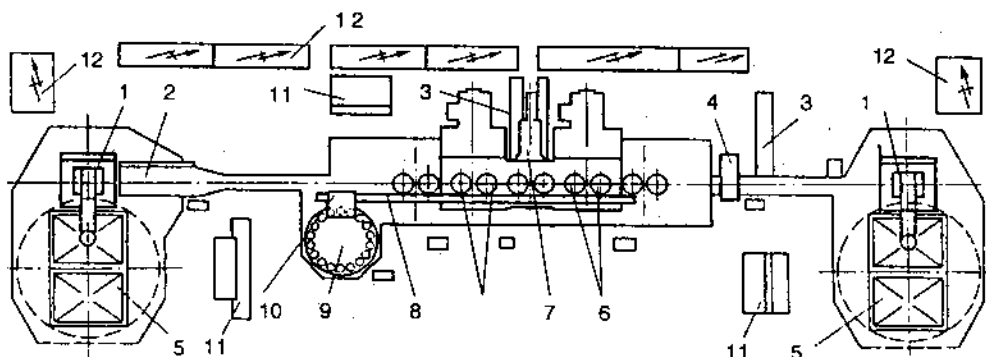
Sản xuất loạt lớn theo mô hình máy liên hợp cho phép tạo ra một hệ thống công nghệ có trình độ cơ khí hoá và tự động hoá cao. Sơ đồ quá trình sản xuất theo hệ thống này như trình bày trên hình 1.17.



Hình 1.17. Sơ đồ tổ chức sản xuất động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc trên hệ thống các máy liên hợp (tổ hợp công nghệ tự động)

1.6.4. Mềm hoá các quy trình sản xuất

Sản xuất tự động "mềm" bao gồm các máy liên hợp sản xuất "mềm" và hệ thống tự động "mềm". Đây là một hình thái tổ chức sản xuất tiên tiến, được coi là một kỹ thuật mũi nhọn hiện nay. Sản xuất tự động "mềm" kiểu máy liên hợp cho phép chuyển đổi các biến thể chi tiết một cách dễ dàng nên rất thích hợp trong sản xuất loạt nhỏ. Trong hệ thống này toàn bộ các thao tác công nghệ cũng như nâng hạ vận chuyển, thay đổi trạng thái chi tiết đều được tự động hoá bằng chương trình điều khiển kỹ thuật số. Theo xu hướng này chúng ta có thể giảm chi phí đầu tư ban đầu cho việc xây dựng những dây chuyền hoặc tổ hợp sản xuất lớn trong điều kiện sản phẩm không nhiều. Hình 1.18 là sơ đồ một mô đun sản xuất "mềm" trong gia công tiện.



Hình 1.18. Mô đun sản xuất "mềm" trong gia công tiện

1. Cấp và đỡ phôi; 2. Băng tải; 3. Nguyên công loại sản phẩm; 4. Kiểm tra cuối cùng các chi tiết;
5. Đóng gói các sản phẩm và bán thành phẩm; 6. Các trục gia công;
7. Đảo lật các chi tiết và hệ thống kiểm tra; 8. Định hướng và chuyển dịch dụng cụ cắt;
9. Kho dụng cụ; 10. Cơ cấu tự động chọn dụng cụ cắt; 11. Bàn điều khiển; 12. Tủ điều khiển.

1.6.5. Phân loại thiết bị điện về phương diện công nghệ

Về phương diện công nghệ ta có thể phân loại thiết bị điện theo các hướng sau đây:

- Máy điện quay và máy điện tĩnh.
- Máy điện nhỏ, trung bình và lớn.
- Máy điện một chiều và xoay chiều.
- Máy điện thông dụng và đặc biệt...
- Khí cụ điện.

Trong mỗi loại trên có thể phân thành công nghệ chế tạo phần cảm, phần ứng, phần tác dụng và phần cơ khí...

Tuỳ theo quy mô sản xuất người ta có thể phân cấp các nhà máy sản xuất để chuyên môn hoá sâu. Nếu sản lượng lớn (hàng trăm nghìn sản phẩm/năm) mỗi nhà máy chỉ sản xuất một chủng loại với chỉ một chiều cao tâm trục cùng số đôi cực, ví dụ $h = 112\text{mm}$ ứng với các động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc 4 và 5,5kW, $2p = 2$. Nếu sản lượng không lớn mỗi nhà máy có thể sản xuất đến một cấp công suất nào đó. Ở nước ta các nhà máy sản xuất máy điện quay thường được thiết kế để sản xuất dây thông dụng từ 0,7kW đến 100kW với quy mô loạt nhỏ.

Một số nhà máy còn có xu hướng ghép công nghệ chế tạo máy điện một chiều vào dây chuyền công nghệ chế tạo động cơ không đồng bộ bằng cách thay gông từ bằng thép kỹ thuật điện, còn vỏ thì dùng loại vỏ gang như động cơ không đồng bộ thông thường, đã trình bày ở trên.

Các nhà máy chế tạo máy biến áp thường chia thành hai nhà máy nhỏ hoặc hai dây chuyền khác nhau: một nơi sản xuất các máy nhỏ (MBA phân phối) và một nơi sản xuất các máy lớn (MBA trung gian hay truyền tải).

Các nhà máy sản xuất khí cụ điện cũng thường được phân cấp thành chế tạo khí cụ điện hạ áp và cao áp.

Trong khuôn khổ là một cuốn giáo trình nên không đi sâu vào từng loại công nghệ theo cách phân loại trên mà chỉ đi sâu nghiên cứu các phương pháp công nghệ, các yếu tố công nghệ ảnh hưởng đến các chỉ tiêu kinh tế và kỹ thuật của thiết bị điện. Theo quan điểm trên, nội dung trong cuốn sách này sẽ phân loại các thiết bị điện theo phương pháp chế tạo các chi tiết chính của chúng: chế tạo mạch từ, dây quấn và các bộ phận dẫn dòng, chế tạo các chi tiết cách điện, các chi tiết kết cấu. Những chi tiết này hầu hết các máy điện, máy biến áp và khí cụ điện đều có. Những đặc điểm của công nghệ chế tạo máy lớn, điện áp cao... sẽ được đề cập đến trong từng loại công nghệ.

2.1. VẬT LIỆU CHẾ TẠO MẠCH TỪ

2.1.1. Tôn kỹ thuật điện dùng trong công nghệ chế tạo máy điện

Tôn (hay thép) kỹ thuật được bán ra trên thị trường có hai loại: đã sơn cách điện và chưa sơn cách điện. Màu sơn thường là màu ghi sáng ngả trắng gần như màu thép cán nguội mới.

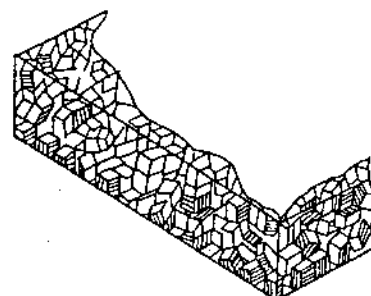
Tôn cán nóng chưa sơn có màu tối không đồng nhất (lốm đốm như bị dính cát), hàm lượng silic càng cao càng giòn, nếu bề gãy, vết gãy hình răng cưa. Tôn cán nóng dẫn từ đẳng hướng nên thường dùng để làm mạch từ máy điện quay (trong máy điện quay từ thông đi theo đường cong, gần với hình tròn) và được sản xuất với nhiều loại khác nhau (theo ký hiệu của Nga): 1211; 1212; 1213; 1311; 1312; 1313; 1411; 1412; 1413; 1511; 1512; 1513; 1514; 1521; 1561; 1562; 1571; 1572. Loại tôn này chỉ được sản xuất dưới dạng tấm, chiều rộng lớn nhất đến 1m, chiều dài bao giờ cũng gấp đôi chiều rộng, bề dày tiêu chuẩn là 0,1; 0,2; 0,35; 0,5; 0,65; 1mm. Tôn cán nóng ít bị ảnh hưởng của tác động cơ học nên nhiều nhà máy thường bỏ qua khâu ủ nhiệt khi chế tạo mạch từ các máy điện nhỏ.

Tôn cán nguội có hai loại: tôn cán nguội dẫn từ đẳng hướng và tôn cán nguội dẫn từ không đẳng hướng. Tôn cán nguội dẫn từ đẳng hướng trong ký hiệu có con số đầu tiên là 2, được sản xuất làm nhiều loại: 2011; 2012; 2013; 2111; 2112; 2311; 2312; 2411; 2412 dưới dạng tấm hoặc cuộn, chiều rộng 500 đến 1000mm. Tôn cán nguội dẫn từ đẳng hướng được sử dụng chủ yếu làm mạch từ máy điện quay.

Tôn cán nguội dẫn từ không đẳng hướng chủ yếu dùng để chế tạo mạch từ máy biến áp, được sản xuất dưới dạng tấm hoặc cuộn, có chiều dày 0,28; 0,3; 0,35; 0,5mm. Chiều rộng cuộn thường là 750; 860; và 1000mm. Mỗi cuộn tôn hoặc thép tôn nặng không quá 5 tấn. Loại tôn này có độ từ thẩm rất cao và có suất tổn hao cực thấp, chẳng hạn đối với tôn 3414 – 3416 dày 0,35 và 0,28mm $p_{15/50} = 1,03 - 0,95 \text{ W/kg}$ khi mật độ từ thông 1,88T (cường độ từ trường tương ứng bằng 2500A/m).

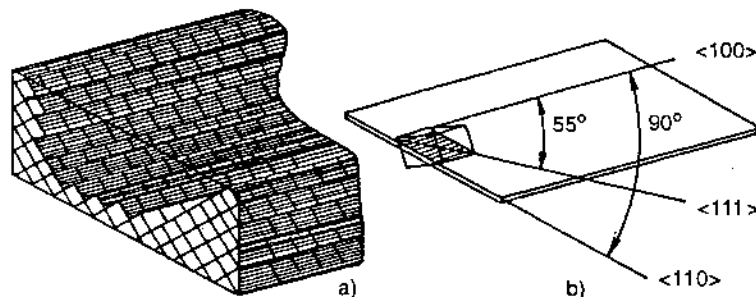
Tôn kỹ thuật điện là một kim loại đa tinh thể gồm nhiều tinh thể dạng khối tạo thành. Tùy theo kiểu cán mà cấu trúc tinh thể của thép cũng khác nhau (hình 2.1 và 2.2).

Hình 2.1 cho thấy cấu trúc tinh thể của thép cán nóng không có quy luật mà lộn xộn nên từ trở theo tất cả các hướng như nhau.



Hình 2.1. Kết cấu tinh thể của tôn cán nóng

Hình 2.2a vẽ kết cấu tinh thể của tôn cán nguội, theo đó các tinh thể được sắp xếp theo cùng một quy luật. Hình 2.2b vẽ quy ước hướng sắp xếp các tinh thể: hướng 100 là dọc theo chiều cán, có từ trở nhỏ nhất, hướng 110 vuông góc với hướng cán có từ trở trung bình còn hướng 111 là hướng chéo một góc 55° có từ trở lớn nhất.



Hình 2.2. Kết cấu tinh thể của tôn cán nguội

Việc sử dụng tôn cán nguội thay cho tôn cán nóng cho phép nâng từ cảm trong mạch từ từ 1,45 đến 1,65 – 1,72T, giảm được khối lượng mạch từ đồng thời giảm được tổn hao và dòng điện không tải. Tổn hao không tải trong các máy dùng tôn cán nguội chiếm từ 0,1 đến 0,2% công suất máy, trong khi đó dùng tôn cán nóng tổn hao không tải đạt tới 0,3%.

Trong quá trình làm việc của MBA, tôn kỹ thuật điện bị già hoá. Sự già hoá này được đánh giá bằng hệ số già hoá tính bằng phần trăm tăng tổn hao riêng (so với tổn hao riêng theo bảng). Hệ số này đo được bằng thí nghiệm cho già hoá nhân tạo được thực hiện giữ mẫu thép trong lò có nhiệt độ 120° đối với tôn cán nguội, 150° đối với tôn cán nóng trong thời gian 120 giờ. Hệ số này thường không quá 3% đối với tôn cán nóng và 6% đối với tôn cán nguội.

Thực nghiệm cho thấy rằng, đối với tôn cán nguội tổn hao riêng tăng 4 lần, dòng điện từ hoá tăng tới $30 \div 40$ lần nếu góc từ hoá bằng $55 \div 60^\circ$. Hiện tượng này thấy rõ khi từ hoá lõi sắt với từ cảm trên 1,4T.

Một trong những tính chất cần quan tâm đối với tôn silic là tính dập của nó. Tính dập của tôn phụ thuộc vào thành phần hoá học, đặc tính cơ khí và lớp sơn phủ. Tính dập cao đối với tôn cán nóng và rất kém đối với tôn cán nguội. Lớp sơn phủ có tác dụng như một lớp bôi trơn và cải thiện đáng kể tính dập của tôn silic.

2.1.2. Thép kết cấu và vật liệu cách điện

Thép kết cấu để làm các chi tiết như xà ép gông, ti treo, gudông, bulông và các tấm ép hai bên trụ và gông. Các loại thép này thường là thép hợp kim thấp trừ các gudông ép dùng thép mác 20. Hàm lượng các bon trong thép khoảng $0,1 \div 0,4\%$. Trong các máy lớn hoặc đặc biệt để giảm khối lượng thép kết cấu người ta dùng thép có tính chất cơ khí cao như hợp kim niken nhẹ, crôm, môlipden... Những loại thép này có giới hạn bền cao mà tính chất từ trong thực tế không khác mấy so với thép kết cấu hợp kim thấp. Nhược điểm của chúng là có ứng suất nội cao, vì vậy để khử người ta phải ram ở nhiệt độ $650 - 750^\circ\text{C}$,

điều này làm phức tạp thêm cho dây chuyền công nghệ. Ngày nay, người ta đã sử dụng khá rộng rãi một số loại thép từ tính thấp làm các chi tiết kết cấu nhằm giảm tổn hao trong chúng, phổ biến nhất là các loại thép kí hiệu của Nga là 45Г 17Ю3 (TY501–61) hoặc thép phi từ tính 1 x 18H9T. Các loại thép này có cường độ cơ khí cao mà độ từ thẩm thấp.

Trong MBA giữa xà ép gông và gông, giữa các gudông ép với lõi sắt... đều được cách điện. Vật liệu cách điện thường là bìa cách điện dày từ 2 đến 4mm, giấy cách điện, ống giấy cách điện bakêlít có đường kính trong $6 \div 80\text{mm}$ dài đến 2m. Để ép các thép lõi sắt người ta cũng dùng các thanh gỗ tròn bằng gỗ thông hoặc dẻ được sấy khô (độ ẩm 10%). Để cố định lõi sắt dùng băng thủy tinh và sợi thủy tinh.

Như đã biết, các lá tôn kỹ thuật cần được phủ một lớp cách điện để giảm dòng Fucô. Yêu cầu của lớp cách điện này là có điện trở cần thiết, chiều dày nhỏ có độ bền hoá học, cơ học cao, chịu nhiệt và có độ bám với tôn cao. Điện trở của lớp cách điện này không được quá lớn để đỡ phức tạp trong việc nối đất mạch từ.

Lớp cách điện này trước đây dùng giấy dán lên tấm tôn rồi mới cắt. Về sau để giảm chiều dày người ta đã tìm được các loại sơn cách điện, thủy tinh lỏng hoặc phủ cách điện bằng cách tạo một lớp ôxit cách điện trên bề mặt tấm tôn. Hiện nay, sơn cách điện bề mặt tấm tôn được dùng nhiều nhất là sơn Kφ – 965 (trước đây hay dùng sơn 302 hoặc 202). Loại sơn này có đặc điểm dung môi khô nhanh trong khoảng một vài giây ở nhiệt độ $450 \div 500^{\circ}\text{C}$. Sau khi sấy khô bề mặt sơn rất bóng. Cũng có thể dùng sơn gliptan để cách điện lá tôn nhưng không khuyến khích vì loại này dễ tan trong dầu nóng. Sơn bakêlít, sơn Kφ – 965 và sơn emay HLL – 5123 khi đã pôlime hoàn toàn sẽ trung tính đối với dầu. Nếu pôlime chưa hoàn toàn hoặc pôlime hoá không đúng chế độ (kéo dài thời gian, giảm nhiệt độ đến 200°) thì các loại sơn trên giảm chất lượng và có khả năng tan lại trong dầu nóng.

Thủy tinh lỏng có ưu điểm là rẻ tiền và nhiệt độ polime hoá thấp ($100^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$) nhưng cũng có nhiều nhược điểm như dễ hút ẩm, dễ bị ôxi hoá, làm tăng trở của dầu (mạch từ MBA) và đặc biệt độ bám với tôn kém, khó phủ sơn. Vì vậy loại sơn này hiện nay ít dùng.

Hiện nay ở nhiều nước đã áp dụng phương pháp tạo một lớp ôxit cách điện mỏng trên bề mặt tấm tôn. Phủ theo kiểu “Karlít” hoặc phốt phát hoá đều cho độ dày lớp cách điện khoảng 3 đến $4\mu\text{m}$ nên thường vẫn phải sơn bổ sung để đạt được chiều dày lớp sơn khoảng 9 – $11\mu\text{m}$. Loại tôn cán nguội không đẳng hướng có chiều dày 0,28; 0,3; và 0,35mm bao giờ cũng được phủ lớp cách điện chịu nhiệt; loại có chiều dày 0,5mm thường chưa có lớp phủ hoặc có thì cũng là loại chịu va đập tốt. Chiều dày lớp cách điện mỗi phía không quá 5 micromet, hệ số ép chặt lõi thép có thể đạt tới 0,96 – 0,97, thậm chí đến 0,98 đối với tôn dày 0,5mm.

Trong máy điện quay lớp phủ cách điện có thể có loại chịu nhiệt và có loại không chịu nhiệt. Nếu tôn nguyên liệu đã có lớp phủ thì khi chế tạo mạch từ không cần phủ bổ sung nữa. Chiều dày lớp phủ không quá 5 micromet tính cho một phía. Trong thực tế đối

với tôn dày 0,35mm hệ số ép chặt của lõi thép khi có sơn phủ là 0,96, không có sơn phủ là 0,97. Lớp phủ cách điện chịu nhiệt phải đảm bảo giữ được tính chất cách điện ngay cả ở nhiệt độ khi ta thực hiện đúc nhôm rôto lồng sóc (trên 700°C).

2.1.3. Ảnh hưởng của công nghệ chế tạo đến chất lượng mạch từ và thiết bị điện

Trình độ chế tạo mạch từ ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng thiết bị điện. Trong thực tế, các thiết bị điện giống nhau được chế tạo trên cùng một dây chuyền công nghệ có các thông số kỹ thuật không hoàn toàn giống nhau. Một dây chuyền công nghệ kém hoàn chỉnh, sự khác nhau đó càng xa. Nhiệm vụ của người kỹ sư công nghệ chế tạo máy điện là phải đánh giá được mức độ ảnh hưởng của mỗi bước công nghệ đối với các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật của máy. Ví dụ hệ số ép chặt lõi sắt ảnh hưởng như thế nào đến hệ số công suất $\cos\phi$, dòng không tải, hiệu suất... của động cơ không đồng bộ và máy biến áp? Trong chương này sẽ đi sâu phân tích các yếu tố đó.

Mạch từ của MBA dẫn từ thông xoay chiều. Việc nâng cao chất lượng vật liệu và công nghệ trong chế tạo mạch từ MBA có ý nghĩa kinh tế quan trọng, vì nếu giảm được kích thước của mạch từ thì cuộn dây sẽ nhỏ đi, trọng lượng đồng giảm làm giảm tổn hao ngắn mạch, giảm kích thước gông sẽ giảm trọng lượng tôn, từ đó làm giảm tổn hao không tải và dòng điện không tải. Cuộn dây nhỏ còn dẫn đến kích thước vỏ giảm và do đó làm giảm khối lượng dầu làm mát...

Mạch từ của các khí cụ điện có thể một chiều hoặc xoay chiều. Các phân tích trên cũng đúng đối với mạch từ và cuộn dây của khí cụ điện.

Các chỉ tiêu của thiết bị điện được chia làm 2 nhóm:

- Các chỉ tiêu kỹ thuật như công suất, bội số dòng điện mở máy K_L , bội số mômen cực đại k_{Mmax} , bội số mômen mở máy k_M , độ ổn, độ tin cậy,...
- Các chỉ tiêu kinh tế như $\cos\phi$, hiệu suất η , trọng lượng vật liệu (tác dụng và kết cấu) trên một đơn vị công suất, giá thành,....

a) Những ảnh hưởng của công nghệ dập lá tôn

Công nghệ dập lá tôn có thể gây ra những ảnh hưởng không tốt đối với mạch từ như sau:

- Độ bavia do dập nếu lớn quá sẽ không thể mài hết và do đó ảnh hưởng đến hệ số ép chặt thực tế khi ghép lõi. Hệ số ép chặt thực tế khác với thiết kế sẽ dẫn đến làm thay đổi các thông số kỹ thuật và kinh tế của máy. Chẳng hạn nếu hệ số ép chặt thực tế nhỏ hơn thiết kế (phần dẫn từ thực sự nhỏ hơn thiết kế) dẫn đến mật độ từ thông thực tế lớn hơn thiết kế, tổn hao sắt và công suất từ hoá cao hơn thiết kế làm hiệu suất và $\cos\phi$ của máy giảm, độ tăng nhiệt của máy tăng, điện kháng tản thay đổi dẫn đến thay đổi mômen mở máy, mômen cực đại của động cơ không đồng bộ...

Độ bavia lớn có thể do khe hở giữa chày và cối lớn, khuôn dập không đủ sắc do mài khuôn không kịp thời, khuôn dập chế tạo không chính xác, do lắp ghép khuôn không tốt...

- Lá tôn bị vênh sau khi dập. Hiện tượng này thường xảy ra khi khe hở giữa chày và cối của khuôn không đều, khi dập các phần khác nhau của lá tôn bị dồn ép hoặc kéo dãn làm cho lá tôn sau khi dập bị vênh lên như một lò xo lá. Sự vênh lá tôn làm cho hệ số ép chặt thực tế nhỏ hơn thiết kế.

– Các răng của lá tôn có thể bị "lồng mo" do khuôn không sắc, khe hở giữa chày và cối lớn quá hoặc không đều, khuôn cắt không dứt khoát nên phần tôn răng bị dồn ép trong cối khuôn. Hiện tượng này cũng làm giảm hệ số ép chặt thực tế so với thiết kế và làm tôn bị biến tính.

– Tôn kỹ thuật điện rất nhạy cảm với những tác động cơ học lên nó theo hướng xấu đi, những tác động này làm biến tính tôn (làm thay đổi sự sắp xếp kết cấu tinh thể kim loại), độ từ thẩm của tôn giảm làm tăng công suất từ hoá tôn, từ đó làm tăng dòng kích thích đối với máy phát và dòng không tải đối với động cơ, suất tổn hao của tôn tăng lên làm cho tổn hao sắt tăng, hiệu suất giảm. Nguyên nhân làm biến tính tôn là khuôn không đủ sắc, khe hở giữa chày và cối không đều nên khi dập tôn bị dầy kéo, dồn ép, chấn động.

Vùng chịu ảnh hưởng xấu được tính từ mép dập sâu vào từ $0,05 \div 4\text{mm}$. Nếu chày cối và dao cắt sắc thì sự biến tính ít, phạm vi ảnh hưởng xấu bị thu hẹp. Nếu chày cối đã bị cùn thì phạm vi gây hại của nó còn lớn hơn cả cắt bằng dao.

Trong chế tạo máy điện lớn và máy biến áp, khi đột hoặc cắt cần phải sao cho độ bavia thấp nhất (nhỏ hơn hai lần chiều dày lớp sơn giữa các lá thép). Nếu bavia quá lớn không những chúng có thể làm giảm khả năng dẫn từ của thép mà còn gây ngắn mạch các lá thép. Để loại trừ bavia người ta có thể có 2 cách: cán bavia bằng các trục thép hoặc mài. Nếu áp dụng phương pháp cán chú ý áp suất cán không quá 3kG/cm^2 . Về ảnh hưởng của mài sẽ phân tích ở phần sau. Để hạn chế mức độ bavia, khuôn đột lỗ thường được chế tạo từ thép có ký hiệu của Nga là X12M, 9XBΓ... với độ chính xác không dưới 9. Các thí nghiệm thực tế cho thấy tổn hao không tải của các MBA cỡ II và III tăng trung bình $2 \div 5\%$, các máy cỡ IV trở lên tăng $1 \div 2\%$ do cắt và đột tôn. Dòng điện từ hoá của các máy trên cũng tăng tương ứng $10 \div 25\%$ và $5 \div 10\%$.

– Nếu khuôn có khe hở giữa chày và cối không đều, kích thước các răng và rãnh không hoàn toàn bằng nhau thì khi ghép thành lõi, thành của răng không nhẵn làm cho cách điện rãnh bị trầy xước, dập nát và làm giảm hệ số lấp đầy thực tế của dây quấn.

Ngày nay phần lớn các nhà máy chế tạo máy điện của ta đều đầu tư thiết bị làm khuôn hiện đại nên chất lượng sản xuất lá tôn máy điện đã được cải thiện nhiều so với trước đây thường sản xuất khuôn bằng tay theo phương pháp thủ công.

b) Ảnh hưởng của mài bavia lá tôn

Bavia lá tôn là những rìa xòe ở những mép cắt do khe hở giữa chày và cối lớn, do khuôn không sắc gây ra.

– Khi mài bavia lá tôn bị ép nén dưới dạng cán, mặt khác bị ma sát dưới dạng mài nên bị biến tính do tác động cơ học dẫn đến làm giảm chất lượng tôn như đã nêu ở trên.

– Độ bavia sau khi mài nếu không đạt quy định sẽ làm giảm hệ số ép chặt thực tế.

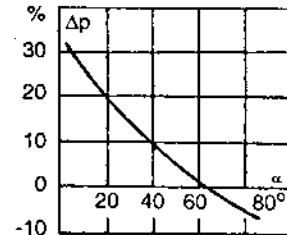
– Nếu tôn đã được sơn cách điện trước khi dập thì việc mài bavia có thể làm trầy xước lớp sơn trên bề mặt tôn dẫn đến làm giảm cách điện lá tôn, từ đó làm tăng tổn hao sắt trong lõi thép. Việc mài cũng có ảnh hưởng đến độ dẫn từ và tổn hao riêng của tôn. Mức độ ảnh hưởng đó phụ thuộc vào góc mài so với hướng cán của tôn (tôn cán nguội).

Kết quả nghiên cứu cho thấy mài dọc theo hướng cán có hại nhất còn mài ngang hướng cán kết quả, thậm chí còn ngược lại: tổn hao riêng trong thép giảm.

Như vậy, khi mài bavia tốt nhất mài theo một góc $55 \div 90^\circ$ so với hướng cán, mặt khác trong 2 trục cần phải có một trục bằng cao su (đồ thị hình 2.3).

c) Ảnh hưởng của khâu ủ nhiệt các lá tôn

Để khôi phục lại kết cấu tinh thể của kim loại ở những chỗ bị biến tính do dập và cán bavia người ta ủ các lá tôn trong lò hiêm oxy ở nhiệt độ $700 - 800^\circ\text{C}$ trong một thời gian từ 4–8 giờ. Nếu việc ủ không tốt có thể không đạt được mục đích trên mà còn làm oxy hoá bề mặt tôn, làm ảnh hưởng đến độ bám của sơn trong khâu sau. Giải pháp này đạt hiệu quả cao khi chiều rộng các lá tôn đến 300mm và dùng ở mật độ từ thông $1 \div 1,2\text{T}$. Khi chiều rộng lá tôn lớn hơn và ở mật độ từ thông $1,8\text{T}$ thì hiệu quả của ủ giảm mạnh. Ví dụ, khi chiều rộng lá tôn rộng hơn 400mm hoặc từ cảm $1,8\text{T}$ thì việc ủ hoàn toàn không có tác dụng.



Hình 2.3. Quan hệ giữa độ thay đổi suất tổn hao và góc mài α đối với thép 3412 và 3413 khi $B = 1,5 - 1,7\text{T}$ đặt ở phía đối diện với bavia

d) Ảnh hưởng của công nghệ sơn phủ cách điện bề mặt lá tôn

– Nếu việc sơn phủ cách điện lên bề mặt lá tôn không tốt có thể làm tăng tổn hao trong thép do điện trở giữa các lá tôn không đủ lớn.

– Lớp sơn phủ quá dày hoặc do sơn động khi lá tôn ra khỏi trục ép có thể làm giảm hệ số ép chặt thực tế trong trường hợp định lượng tôn cho lõi thép bằng phương pháp đo hoặc đếm.

e) Ảnh hưởng của công nghệ ghép và ép lõi thép

– Khâu định lượng mạch từ không tốt có thể làm thay đổi mật độ từ thông thực tế so với thiết kế.

– Phương pháp ghép và ép giữ lõi thép không tốt có thể làm ngắn mạch mạch từ (ngắn mạch giữa các lá tôn) dẫn đến làm tăng tổn hao trong lõi thép.

– Lực ép mạch từ quá lớn có thể làm biến tính tôn dẫn đến giảm chất lượng lõi thép.

– Thành của rãnh nhấn phẳng làm cách điện rãnh dễ bị dập nát, dẫn đến giảm cường độ cách điện và độ bền điện của cách điện. Thành rãnh không nhấn phẳng còn làm giảm hệ số lấp đầy của dây quấn, dẫn đến tăng độ khó khi lồng dây.

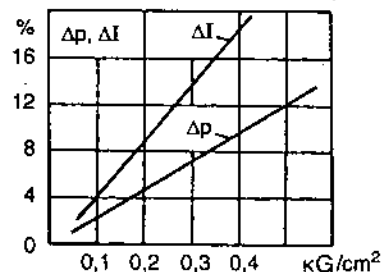
– Ép giữ lõi sắt không tốt làm cho mạch từ không chắc chắn dẫn đến làm biến dạng chúng trong quá trình lồng dây, vận chuyển, sấy. Mạch từ biến dạng có thể làm thay đổi khe hở không khí (thay đổi trị số, lệch khe hở) dẫn đến làm thay đổi nhiều thông số kỹ thuật của máy điện quay.

Việc gia công cơ lại các lõi thép sau khi ép, ghép thường chỉ tiến hành khi chế tạo rôto lồng sóc và độ chính xác của công nghệ này ảnh hưởng đến khe hở không khí và do đó ảnh hưởng đến dòng điện không tải, $\cos \varphi$, mômen mở máy, bội số mômen cực đại của động cơ, tỷ số ngắn mạch của máy phát điện đồng bộ v.v...

Tổn hao và dòng không tải tăng, hậu quả của hệ số ép chặt thực tế giảm do biến tính tôn sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến các chỉ tiêu hiệu suất và $\cos \varphi$ của máy.

Việc chế tạo cực từ không chính xác cộng với những sai số do ép ghép lõi thép phản ứng sẽ làm lệch khe hở không khí dưới các cực, từ thông dưới các cực có thể không đều, sức điện động trong các mạch nhánh song song cũng sẽ không bằng nhau, dẫn đến làm tăng dòng điện cân bằng trong các mạch nhánh của máy điện một chiều.

Trong chế tạo MBA khi ép mạch từ, đặc biệt đối với tôn cán nguội cần phải xác định được lực ép tối ưu. Nếu lực ép không đủ kết cấu mạch từ sẽ lỏng lẻo, dễ biến dạng khi cần phải đảo lật, nâng hạ hoặc vận chuyển. Hậu quả là làm xê dịch, thay đổi vị trí các chi tiết ruột máy, thậm chí làm biến dạng cuộn dây và thay đổi khoảng cách cách điện giữa chúng. Nếu lực ép quá lớn tính dẫn từ của thép kỹ thuật điện cán nguội sẽ giảm, tổn hao và dòng không tải sẽ tăng. Đồ thị mô tả quan hệ giữa sự tăng tổn hao sắt và dòng không tải với áp suất ép lõi thép cán nguội (ở từ cảm định mức) cho trên hình 2.4.



Hình 2.4. Sự tăng tổn hao sắt và dòng không tải theo lực ép

Nếu mạch từ được ép bằng bulông các lá tôn ở ngoài cùng sẽ vừa chịu nén vừa chịu kéo lại vừa chịu uốn. Lực ép tác dụng mạnh nhưng cục bộ xung quanh bulông, lực kéo và lực uốn xảy ra ở khoảng giữa hai bulông.

Hiện tượng này cũng làm giảm tính dẫn từ của vật liệu. Lá tôn bị uốn khi cắt, đột, sắp xếp cũng không có lợi. Người ta đã thí nghiệm và thấy rằng, với bán kính uốn từ 0,5 đến 1m, độ từ thẩm của vật liệu giảm trung bình 15 ÷ 30%, tổn hao riêng tăng 10 ÷ 20%. Đối với tôn cán nguội hiện tượng này xảy ra rất mạnh ví dụ khi uốn tấm tôn đến bán kính 0,2m độ từ thẩm giảm đi hai lần. Trong thực tế, lực ép sao cho áp suất trên thép lá thép giữa trụ hoặc gông nằm trong khoảng 1 ÷ 3κG/cm².

f) Ảnh hưởng do va đập, uốn, bẻ và chất nặng trong quá trình vận chuyển, lắp ghép

Trong quá trình chế tạo, nếu uốn bẻ tấm tôn dưới một góc 90° có thể làm tăng tổn hao (ở từ cảm 1,5T) trung bình 9 ÷ 10%, dòng điện từ hoá tăng 40%. Ngay cả thép cán nóng con số này cũng là 1,6 và 6%. Khi ghép lõi thép dùng búa thép để gõ đập vỏ cũng có thể làm tăng tổn hao và dòng không tải. Vì vậy trong quá trình lắp ráp, vận chuyển hết sức tránh quăng quật, va đập, để vật nặng lên các lá tôn. Khi lắp ráp, nếu cần dôn vỏ các lá tôn thì phải dùng búa gỗ.

2.2. CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO LỖI SẮT PHẦN ỨNG CỦA MÁY ĐIỆN QUAY

2.2.1. Khái niệm về công nghệ đập trong chế tạo máy điện

Công nghệ đập có hai loại: đập nóng và đập nguội. Đập nguội là đập không gia nhiệt phối đập, còn đập nóng là đập có gia nhiệt phối đập. Trong chế tạo máy điện chỉ sử dụng công nghệ đập nguội. Đập nguội có thể chia thành hai loại: đập thể tích (tấm thép dày) và đập tấm mỏng. Trong đập thể tích người ta lại có thể chia thành đột nguội, tán nguội và ép nguội.

Dập nguội là một công nghệ tiên tiến hiện nay bởi có rất nhiều ưu điểm. Về kỹ thuật dập nguội có thể tạo được những chi tiết có hình dạng phức tạp, những chi tiết có độ bền và độ cứng cao nhưng nhẹ, độ chính xác các chi tiết dập có thể đạt tới cấp 8 đến cấp 9 mà không cần gia công thêm sau đó và đặc biệt có thể cho ta những chi tiết có kích thước rất ổn định. Về kinh tế, dập nguội cho năng suất cao, hệ số sử dụng vật liệu cao nên giá thành sản phẩm thấp. Tính kinh tế của công nghệ dập nguội không những có thể sánh với công nghệ đúc và dập nóng mà còn có thể sánh với các công nghệ khác như tiện, khoan, phay. Hệ số sử dụng kim loại trong dập nguội có thể đạt tới 98% trong khi đó sử dụng các công nghệ khác chỉ đạt được 30% đến 50%. Ngoài ra, dập nguội cũng cho phép giảm khối lượng chi tiết 20 – 25%; giảm chi phí kim loại 30 – 70%; giảm khối lượng lao động 50 – 80% so với đúc và rèn.

Việc tạo phôi bằng công nghệ dập nguội cũng cho phép giảm chi phí kim loại lớn hơn đúc, cán rèn hoặc dập nóng vì hình dạng và kích thước phôi gần với hình dạng và kích thước chi tiết. Quy trình công nghệ dập liên tục được hoàn thiện, chiều dày chi tiết dập không ngừng được tăng lên, chẳng hạn đột lỗ lớn trên thép tấm có chiều dày tới 25mm, đột lỗ nhỏ sâu tới 35mm, dãn thép tấm dày 20mm, uốn nguội tôn dày 100mm. Xu hướng hoàn thiện công nghệ dập là tiến tới thu được từ loại hình công nghệ này một sản phẩm hoàn hảo mà không cần qua bất cứ một khâu công nghệ nào khác.

Trong công nghệ chế tạo máy điện dập nguội tấm mỏng được dùng để dập các lá tôn stato, rôto, các lá tôn cực; dập nguội khối được dùng trong sản xuất bulông, đinh tán, đai ốc, quạt gió, nắp mỡ ổ bi, hộp và nắp hộp cực, cầu đấu dây... hoặc các chi tiết cách điện, các chi tiết phi kim loại khác.

Trong chương này, chúng ta chỉ đề cập đến công nghệ dập các lá tôn kỹ thuật điện để sản xuất lõi sắt phản ứng và rôto động cơ không đồng bộ. Công nghệ chế tạo các lá tôn phản ứng của máy phát điện đồng bộ và phản ứng máy điện một chiều hoàn toàn tương tự.

Lá tôn của những mạch từ có đường kính đến 350mm được dập trên các thiết bị dập nguội tấm mỏng tôn silic cuộn, tốc độ dập đạt tới 1000 nhát/phút. Khi đó người ta thường dùng phương pháp dập nối tiếp đa nguyên công (nhiều chày).

Lá tôn của những mạch từ có đường kính từ 500mm đến 990mm được dập trên các thiết bị dập ván năng hoặc dập xoay tự động. Khi dập trên máy ván năng việc cấp liệu và lấy sản phẩm thường bằng tay, năng suất đạt 4 – 6 nhát/phút (tốc độ cho phép của máy từ 12 – 36 nhát/phút).

Lá tôn của mạch từ các máy điện lớn (đường kính lớn hơn 1000mm) được chia thành các phần nhỏ được gọi là xecmăng và được dập trên các máy dập tự động hoặc ván năng. Tại các nhà máy chế tạo máy điện lớn (máy phát điện tua bin nước hoặc hơi) việc sản xuất các lá tôn cho stato của chúng được coi là sản xuất lớn và được tự động hoá ở trình độ rất cao. Tôn kỹ thuật điện được sử dụng trong trường hợp này thường là tôn cuộn loại chất lượng cao nhất.

Các xecmăng của lõi sắt stato gồm nhiều loại:

- Xecmăng chính để tạo thành lõi sắt dẫn từ.
- Xecmăng thông gió để tạo thành các rãnh thông gió hướng kính.
- Xecmăng ép ở hai đầu.
- Xecmăng cách điện.

Các máy phát điện lớn thường ghép từ 15 đến 21 xecmăng để tạo thành một lá thép. Kích thước, số lượng, chiều dày và loại thép được xác định khi thiết kế. Thông thường chúng được làm bằng tôn cán nguội dày 0,5 hoặc 0,35mm mã hiệu 2413, đối với xecmăng thông gió dùng tôn 1211. Trong sản xuất tự động hoá người ta thường sử dụng tôn cuộn để dễ dàng trong việc cấp liệu. Trường hợp này có thể dập đơn (từng xecmăng một), hoặc dập kép để nâng cao hệ số sử dụng tôn.

2.2.2. Các phương pháp dập lá tôn phản ứng máy điện quay

1. Yêu cầu đối với công nghệ dập lá tôn phản ứng

Để nâng cao các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật của máy điện chúng ta cần nâng cao chất lượng công nghệ chế tạo lá tôn, đặc biệt là công nghệ dập. Các yêu cầu cụ thể như sau:

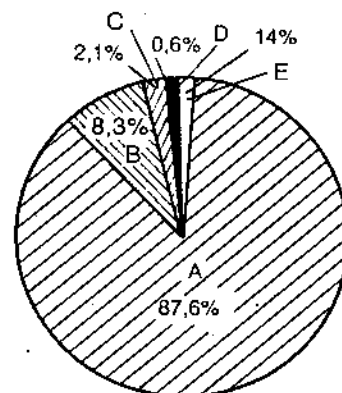
- Nâng cao độ chính xác trong khâu dập.
- Răng rãnh phải phân bố đều trên toàn chu vi lá tôn.
- Độ bavia, độ vênh, độ lòng mo lá tôn cần được giảm thiểu tối đa ($\leq 0,02\text{mm}$).
- Cơ khí hoá và tự động hoá tất cả các nguyên công chế tạo lá tôn để đảm bảo tính đồng nhất sản phẩm và nâng cao năng suất lao động.
- Cải thiện điều kiện lao động và an toàn, giảm tối đa giá thành chế tạo mạch từ bằng cách tiết kiệm vật liệu (hệ số sử dụng tôn lớn nhất) và nâng cao năng suất lao động.

– Tôn silic được sản xuất dạng tấm hoặc dạng cuộn với nhiều kích cỡ khác nhau. Vấn đề đặt ra ở đây là triệt để tận dụng nguyên liệu ở mức tối đa. Vì vậy việc lựa chọn kích thước tấm tôn và bố trí sơ đồ dập rất quan trọng. Để đánh giá hiệu quả của sự lựa chọn đó thường người ta đưa ra hệ số sử dụng. Ta gọi phần diện tích sử dụng là Q_1 (tổng diện tích các lá tôn thu được sau khi dập, bao gồm cả phần tôn rãnh), phần diện tích tấm tôn là Q_2 , thì hệ số sử dụng k được định nghĩa là tỷ số $k = Q_1/Q_2$. Tiến hành tính chọn đối với nhiều loại kích cỡ tấm tôn và bố trí sơ đồ dập hợp lý để tìm phương án có hệ số sử dụng cao nhất.

Cũng cần tính đến phương án tận dụng được phần tôn còn lại để sản xuất các động cơ nhỏ hơn hoặc dùng làm lõi của các thiết bị điện nhỏ hơn, để hệ số sử dụng tăng lên. Khoảng cách giữa các lá tôn trong sơ đồ dập phải được cân nhắc giữa hệ số lợi dụng và năng suất dập sao cho kinh tế nhất.

Trên hình 2.5 cho biết kết cấu tỷ suất giá thành lá tôn sau khi dập, trong đó A – chi phí tôn nguyên liệu; B – chi phí dập; C – chi phí mài bavia; D – chi phí lương thợ; E – chi phí làm sạch.

Hình 2.6 là bản vẽ một số lá tôn và những yêu cầu điển hình của chúng. Khi thiết kế công nghệ thông thường người ta lấy cấp chính xác 10, một số máy quan trọng có thể lấy cấp chính xác 9 hoặc 8. Các lá tôn khi thiết kế cần phải tính đến phương pháp cố định thành lõi. Nếu dùng



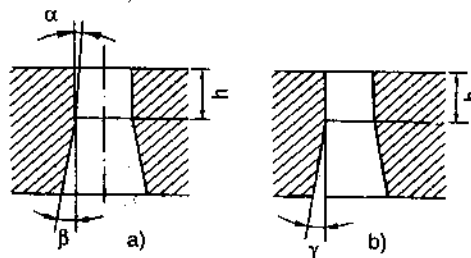
Hình 2.5. Kết cấu tỷ suất giá thành công nghệ chế tạo lá tôn máy điện quay

2. Khái niệm về khuôn dập và máy dập

Lực dập và công suất của máy dập được tính toán theo chiều dài vết cắt, chiều dày lá tôn, loại tôn và quy trình dập lá tôn. Nếu máy dập không đủ công suất, có thể chia ra dập nhiều

nguyên công, tất nhiên trong trường hợp này độ chính xác sẽ kém đi. Tùy theo quy mô sản xuất mà sử dụng máy dập thông thường, máy bán tự động hoặc tự động hoá hoàn toàn.

Khuôn để dập các lá tôn gồm hai phần: chày và cối. Chày là phần lồi có kích thước tương ứng với các lỗ trên lá tôn. Thông thường chày được bắt chặt với phần động của máy dập. Cối là phần lõm, thông thường được bắt chặt với bàn máy dập (tĩnh). Trong thực tế, việc bố trí chày cối ở phần nào là do tính chất của dây chuyền công nghệ quyết định (phương pháp cấp liệu, thu sản phẩm, thải phế liệu).



Hình 2.7. Hình dạng lỗ cối của khuôn dập liên tiếp (a) và dập phức hợp (b)

Trên hình 2.7 minh họa một lỗ cối. Lỗ cối gồm hai phần, một phần có thành song song gọi là phần làm việc. Phần dưới có hình côn để thoát phoi cho dễ. Sau một thời gian dập (tính bằng số nhát hoặc ca máy) người ta phải mài khuôn và như vậy nếu phần làm việc lớn tuổi thọ khuôn cao nhưng thoát phoi chậm, phoi sẽ mài mòn khuôn và độ chính xác kém dần đi. Nếu (h) bé, thoát phoi dễ nhưng thời gian sử dụng bị hạn chế. Vật liệu để chế tạo khuôn cũng như để chế tạo dao cắt thường dùng thép Y hoặc X. Khe hở giữa chày và cối phải đủ nhỏ để độ bavia của sản phẩm nằm trong phạm vi quy định. Nếu khe hở lớn độ bavia lớn nhưng thời gian giữa 2 lần mài cũng lớn theo (khuôn cùn chậm hơn). Nếu dập để độ bavia đủ nhỏ (không cần qua khâu mài bavia) khuôn phải có khe hở nhỏ, phải mài khuôn sớm hơn, hạn chế năng suất sản xuất. Một điều cũng cần phải chú ý nếu khuôn không đủ sắc có thể tạo lông mo trên sản phẩm và do đó làm giảm hệ số ép chặt lõi sắt, phạm vi biến tính tôn càng rộng làm chất lượng mạch từ giảm.

Trong trường hợp dập các xecmăng, mỗi lần dập phải hoàn chỉnh một hoặc hai xecmăng. Như vậy, nếu nhà máy sản xuất máy điện lớn thì buộc phải trang bị máy dập công suất lớn.

Trong sản xuất loại nhỏ và vừa, quy mô xí nghiệp nhỏ, có thể dùng một máy dập cho tất cả các nguyên công. Việc cấp liệu, sắp xếp sản phẩm và xử lý phế liệu đều do công nhân làm bằng tay. Tôn dùng trong trường hợp này là tôn tấm.

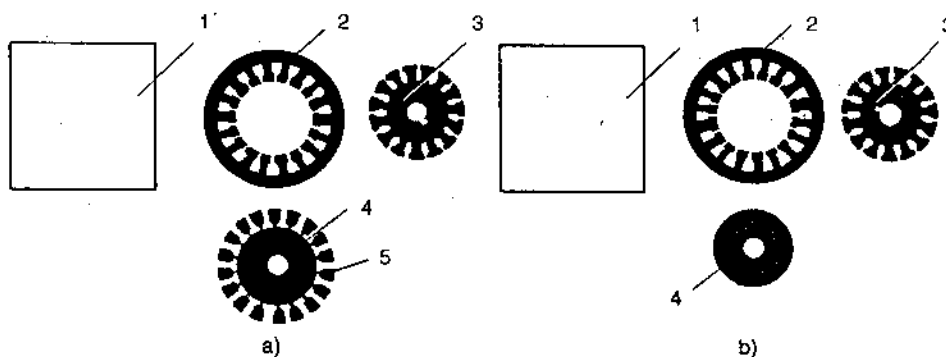
Trong sản xuất loại lớn và sản lượng ổn định, việc dập các lá tôn máy điện được thực hiện trên các dây chuyền tự động, trong đó khâu này là khâu đầu tiên.

3. Các phương pháp dập

a) Dập phức hợp

Khi dập các lá tôn trên các máy dập trục khuỷu vạn năng thường người ta thực hiện phương pháp dập phức hợp. Lấy việc dập lá tôn stato và rôto động cơ không đồng bộ làm ví dụ. Có thể có hai sơ đồ dập (hình 2.8). Theo sơ đồ hình 2.8a sau nguyên công thứ nhất từ phôi 1 ta được lá tôn stato hoàn chỉnh, 2 và phôi rôto 4 còn dính cả phần để xẻ rãnh stato. Nguyên công thứ hai thu được lá tôn rôto hoàn chỉnh. Theo sơ đồ hình 2.8b sau nguyên công thứ nhất từ phôi 1 ta thu được lá tôn stato hoàn chỉnh cùng với phôi rôto nhưng đã cắt hết phần để xẻ rãnh stato. Lỗ tâm của phôi rôto được dùng để định vị khi dập lá tôn rôto. Lỗ trục và rãnh then trên lá tôn rôto có được sau nguyên công thứ hai.

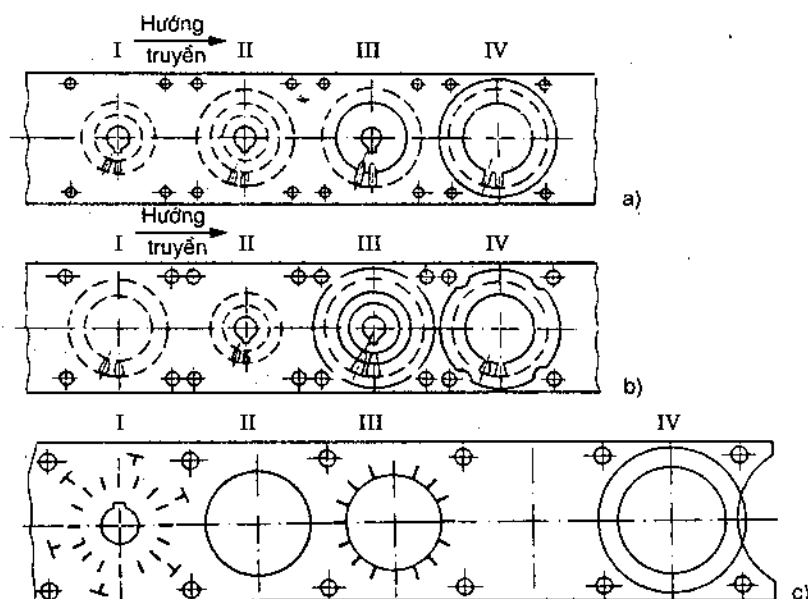
Cách thứ nhất có ưu điểm là không cần làm nghiêng trong rãnh cối của khuôn dập stato, điều này làm đơn giản việc chế tạo khuôn và làm tăng độ bền của nó. Nhược điểm chính của sơ đồ dập này là không tự động hoá được do phải loại bỏ xê của phần rãnh stato. Cách thứ hai phổ biến hơn do đơn giản và thuận tiện, cho năng suất cao, mặt khác lại dễ tự động hóa. Nhược điểm chính là phải tạo một góc nghiêng trong lỗ cối của khuôn dập stato.



Hình 2.8. Các sơ đồ dập phức hợp

b) Dập nhiều nguyên công liên tiếp

Dập nhiều nguyên công liên tiếp thường được áp dụng trong dập tự động đối với tôn cuộn trong sản xuất loạt lớn, tuy nhiên cũng có thể áp dụng cho sản xuất loạt nhỏ nhưng phải cắt tôn thành băng hoặc dải. Thường người ta sử dụng khuôn 4 nguyên công. Để minh họa ta hãy lấy ví dụ dập các lá tôn stato và rôto của động cơ không đồng bộ có đường kính đến 350mm. Hình 2.9 mô tả ba phương án dập các lá tôn đó.



Hình 2.9. Các sơ đồ dập 4 nguyên công liên tiếp

Theo phương án (a) nguyên công thứ nhất dập lỗ trục, rãnh rôto và 4 lỗ định vị cho các nguyên công sau; nguyên công thứ hai dập rãnh stato; nguyên công thứ ba cắt đường

kính ngoài lá tôn rôto; nguyên công thứ tư cắt đường kính ngoài lá tôn stato. Theo phương án này độ đồng tâm của lá tôn stato và rôto phụ thuộc vào khuôn và sự di chuyển của tấm tôn. Theo phương án (b) nguyên công thứ nhất dập sơ bộ (rãnh có kích thước nhỏ hơn) rãnh stato và 4 rãnh định vị cho các nguyên công sau; nguyên công thứ hai dập rãnh rôto và lỗ trục; nguyên công thứ ba dập cắt đường kính ngoài rôto, dập chính xác rãnh stato và hầu hết đường kính ngoài lá tôn stato (trừ 4 lỗ bán nguyệt). Phương án này có ưu điểm là độ đồng tâm của các lá tôn stato và rôto cao vì cắt đồng thời, khuôn dập rãnh stato bền hơn vì ít bị mài mòn hơn.

Theo phương án (c) nguyên công thứ nhất dập lỗ trục, rãnh rôto và 4 lỗ định vị cho các nguyên công sau; nguyên công thứ hai dập cắt đường kính ngoài rôto, nguyên công thứ ba dập rãnh stato; nguyên công thứ tư dập cắt đường kính ngoài stato.

c) Dập xoay

Dập xoay từng rãnh được thực hiện trên các máy vạn năng hoặc các máy tự động, những lá tôn được gá trên một mâm quay có thể xoay đi một góc sau một hành trình dập. Phương pháp này thường áp dụng trong các trường hợp sản xuất đơn chiếc hoặc loạt nhỏ theo đơn đặt hàng, sản phẩm chế thử hoặc nghiên cứu khoa học... hoặc lá tôn có đường kính lớn (từ 400 đến 990mm). Dập theo phương pháp này có thể tự động hoặc bằng tay. Dập tay cho năng suất tối đa 4 – 6 lá tôn trong một phút. Các máy dập xoay tự động hiện đại có thể thực hiện 1400 nhát trong một phút, đặc biệt mỗi công nhân có thể vận hành từ 3 đến 4 máy. Phương pháp này cho phép đầu tư khi sản xuất khuôn ít. Việc tạo phối lá tôn rôto và stato theo phương pháp dập phức hợp hoặc nhiều nguyên công liên tiếp, trên đó lá tôn đã được dập lỗ tâm các lỗ công nghệ và các lỗ định vị.

d) Dập tự động các lá tôn

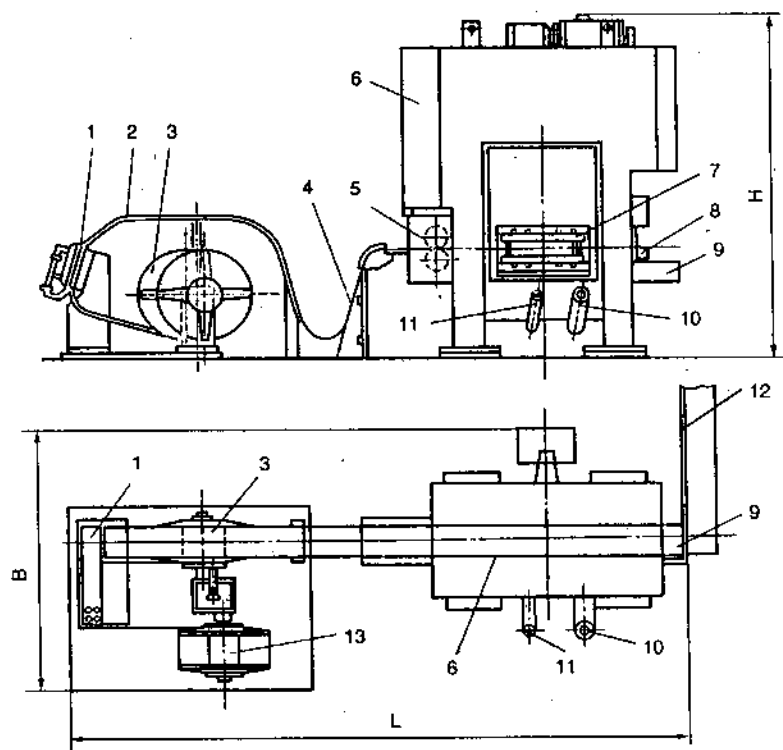
Công nghệ dập tự động các lá tôn có thể thực hiện bằng nhiều phương pháp. Việc tự động hoá khâu dập các lá tôn khá phức tạp và thường được áp dụng khi sản xuất loạt lớn hoặc dập xecmăng các máy lớn và bao giờ cũng dùng tôn cuộn. Các dây chuyền dập tự động được tự động hoá từ khâu cấp liệu, dập, lấy sản phẩm, đến việc thái dẻ xẻ và thậm chí định lượng và ép thành lõi. Sau đây chúng ta hãy đi qua một số phương pháp phổ biến nhất mà nhiều nước đang dùng.

– Dập tự động trên máy dập tấm bằng khuôn dập nhiều nguyên công liên tiếp

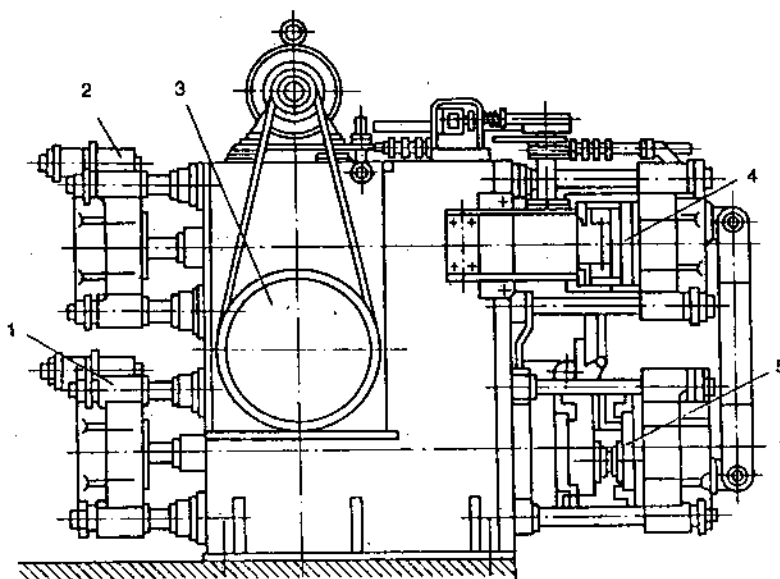
Hình 2.10 mô tả một máy dập để dập các lá tôn stato và rôto động cơ không đồng bộ có đường kính ngoài đến 350mm.

Tôn cuộn từ rulô được máy đẩy 3 đẩy qua một cơ cấu nắn phẳng 1, sau khi đi qua máng dẫn hướng 2 được đưa vào cơ cấu đẩy tôn 5 và đi vào máy dập 6. Sau khi dập xong các lá tôn được thả rơi xuống các thanh dẫn hướng 10 và 11 để đi đến băng tải và chuyển đến các khâu công nghệ tiếp theo. Phế liệu (dẻ xẻ) được đẩy qua kéo cắt rồi theo băng tải 9 và 12 ra ngoài. Đoạn băng tôn sau khi ra khỏi máng hướng dẫn được thả chùng xuống một nửa vòng tròn đủ để cơ cấu đẩy tôn đẩy đi một bước công nghệ. Cuộn tôn dự trữ 13 sẽ được tự động đưa vào máy đẩy tôn 3 khi cuộn tôn ở đó hết.

Nếu kích thước các lá tôn không lớn, độ bavia lá tôn sau khi dập đủ nhỏ và tôn nguyên liệu đã sơn cách điện, các lá tôn sau khi ra khỏi máy dập được chuyển đến máy định lượng và ép giữ thành lõi thép luôn.



Hình 2.10. Thiết bị dập tự động nhiều nguyên công liên tiếp

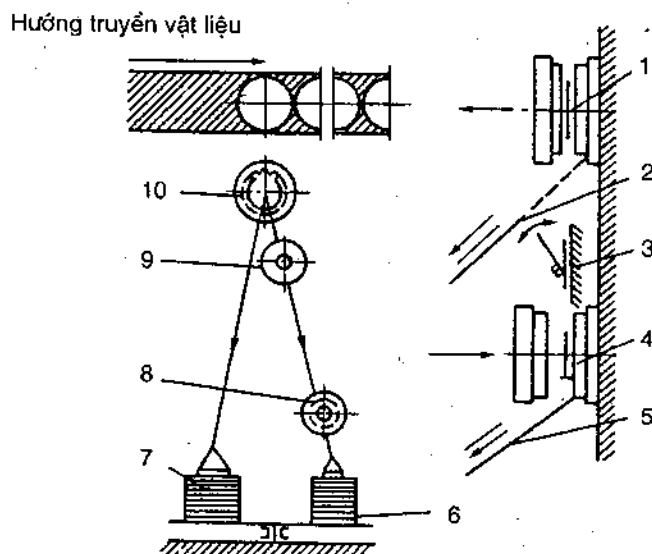


Hình 2.11. Máy dập kiểu A – 6032

– Dập tự động trên máy dập ngang, khuôn phức hợp

Phương pháp dập này được dùng để dập các lá tôn stato và rôto động cơ không đồng bộ có đường kính ngoài đến 500mm trên khuôn dập phức hợp. Loại máy dập này có hai tầng có hai hệ thống trục lần trên dưới 1, 2 hai bộ khuôn dập ngang, một trên một dưới 4 và 5 (hình 2.11). Sơ đồ công nghệ dập như hình 2.12.

Theo sơ đồ hình 2.12 băng tôn khi đi ngang qua bộ khuôn trên chúng ta sẽ thu được lá tôn stato hoàn chỉnh 10 và phôi rôto 9. Lá tôn stato được truyền theo máng trượt 2 và xếp vào máng chứa 7. Phôi rôto được một cơ cấu hứng tôn và truyền đến khuôn dập dưới. Qua khuôn dập dưới, lá tôn rôto hoàn chỉnh được truyền vào máng chứa 6. Hệ thống cấp liệu và lấy sản phẩm của hệ thống này khá phức tạp nhưng độ chính xác tương đối cao do đường kính trong và ngoài lá tôn được dập cùng một lúc.

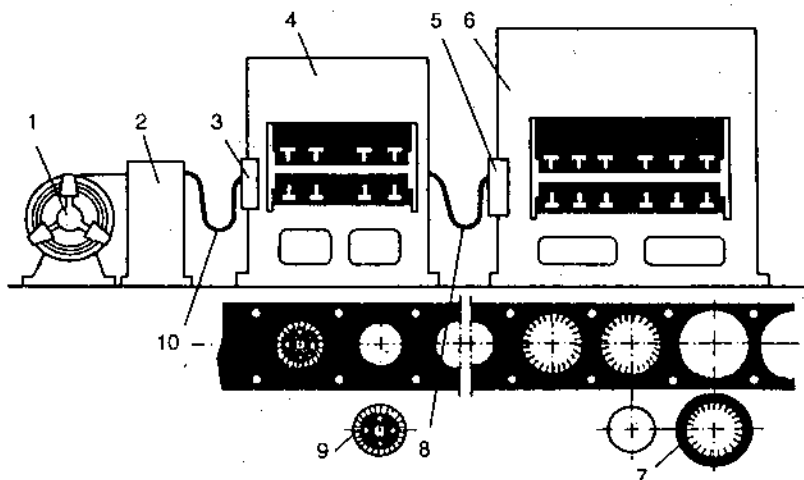


Hình 2.12. Sơ đồ công nghệ thực hiện trên máy dập ngang hai tầng

- Dập trên hệ thống tiếp đôi

Dập nhiều nguyên công liên tiếp là một phương pháp dập tiên tiến, tuy nhiên lại không phù hợp khi dập các lá tôn có đường kính lớn (trên 350mm) vì lúc đó khuôn dập quá lớn, lực dập quá lớn làm cho việc đầu tư vào khuôn dập và máy dập lớn, tính kinh tế giảm. Để khắc phục nhược điểm trên, trong những năm gần đây người ta đưa ra phương pháp dập tiếp đôi mà thực chất là các nguyên công liên tiếp được thực hiện trên hai máy dập nối tiếp nhau với hai bộ khuôn khác nhau.

Nhờ các xenxin mà các máy dập hoạt động một cách đồng bộ với sai số về tốc độ nhỏ nhất trong phạm vi một hành trình. Hình 2.13 mô tả một hệ thống như vậy. Băng tôn sau khi ra khỏi rulo 1 được nắn phẳng nhờ máy nắn 2 và đi vào cơ cấu đẩy tôn. Giữa máy nắn 2 và cơ cấu đẩy tôn 3 và giữa hai máy dập băng tôn luôn có một đoạn chùng 10 và 8 để cơ cấu đẩy tôn thực hiện chính xác hành trình của băng tôn (không mất lực kéo qua cơ cấu nắn phẳng). Máy dập 4 thực hiện hai nguyên công để được lá tôn rôto. Nguyên công thứ nhất dập các lỗ công nghệ, lỗ trục, lỗ thông gió và rãnh rôto. Nguyên công thứ hai cắt đường kính ngoài rôto và đẩy lá tôn rôto ra ngoài. Máy dập 5 sẽ đảm nhiệm ba nguyên công dập rãnh stato, các rãnh công nghệ trên stato, cắt đường kính ngoài stato và đẩy ra ngoài. Băng tôn để xê sẽ được kéo cắt nhỏ cho rơi vào thùng phế liệu và được chuyển ra ngoài khi đầy. Công nghệ dập đa nguyên công nói trên được áp dụng để sản xuất các lá tôn có đường kính từ 350 đến 650mm.



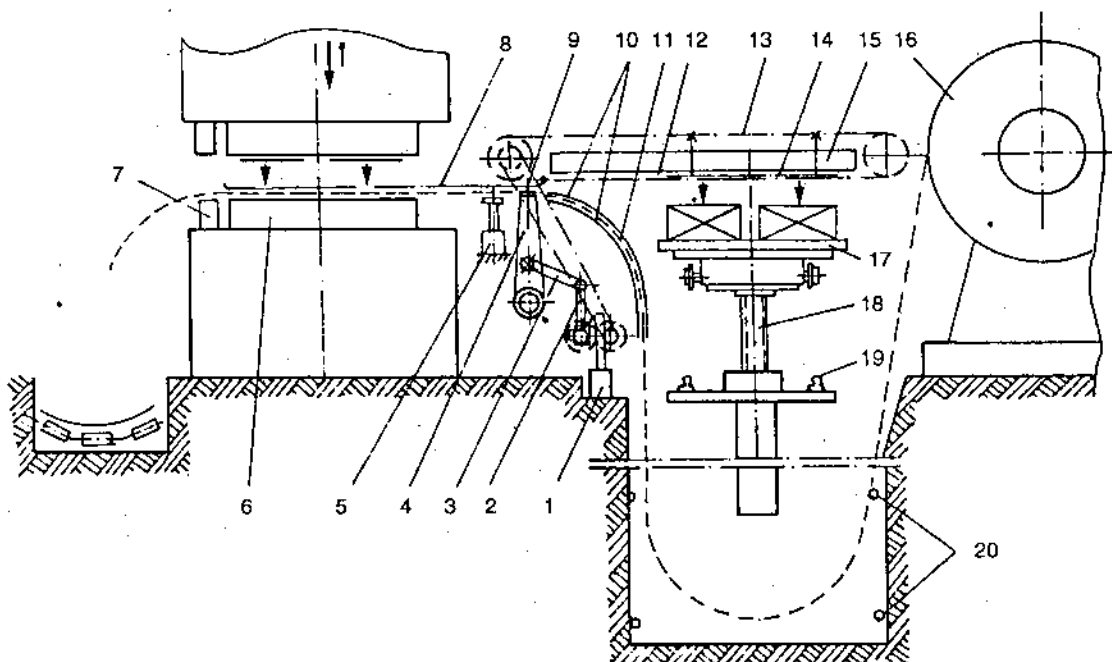
Hình 2.13. Sơ đồ dập tiếp đôi các lá tôn stato và rôto động cơ không đồng bộ đường kính đến 650mm

- Dập tự động các lá tôn xecmăng

Bài toán tự động hoá công nghệ dập được giải quyết bằng một trong hai hướng:

- *Dập bằng khuôn dập phức hợp đảo ngược* (cối ở phía trên). Trong trường hợp này sản phẩm dập được lấy về phía sau, ngược với chiều đưa tôn vào nhà máy, còn phế xê được thải ra phía trước.

- *Dập trên máy đột dập thường* (khuôn đột lỗ) có cửa sổ bên cạnh để chuyển phoi ra ngoài, sản phẩm lấy ra theo một băng chuyền đặc biệt, còn phế liệu thì chuyển về phía trước cũng được cắt nhỏ để rơi vào thùng đựng.



Hình 2.14. Dập các lá tôn xecmăng trên dây truyền tự động

Theo hướng thứ nhất, ta có được thiết bị với kích thước nhỏ gọn, tính vạn năng hầu như không bị hạn chế nhưng năng suất thấp (trong mỗi phút chỉ thực hiện được $12 \div 18$ nhát). Theo hướng thứ hai, năng suất cao hơn ($30 \div 45$ nhát/phút) nhưng tính vạn năng và độ chính xác của sản phẩm bị hạn chế.

Dưới đây trình bày một sơ đồ đập tự động các xecmăng của máy lớn (hình 2.14) theo hướng thứ nhất.

Tôn silíc cuộn được nhả dần ra nhờ thiết bị cấp liệu 16. Dải tôn từ đó được đi qua một hố sâu 3m, trong đó bố trí các tế bào quang học 20. Dải tôn 11 đi qua rãnh dẫn hướng cong 10 đến máy đập 6 nhờ tay đòn 4 có lò xo thủy lực 9 bố trí ở phần đầu. Lò xo thủy lực 5 làm nhiệm vụ giữ tôn khi thanh truyền 4 đi xuống. Thanh truyền 4 chuyển động lên xuống nhịp nhàng nhờ xi lanh thủy lực 1 dẫn động qua hệ thống bánh răng và thanh răng. Tay đòn 2 nối khớp với tay đòn 3 và thông qua đó điều khiển tay đòn 4. Bộ truyền xích 12 cũng nhờ xi lanh 1 chuyển động lui tới để lấy sản phẩm. Đĩa 8 dùng để hứng xecmăng đã đập được gắn với nhánh dưới của xích 12. Nhánh trên của xích gắn với tấm lưới 14. Tấm lưới này đặt dưới nam châm điện 15. Máy đập 6 có chày đập bố trí ở dưới. Trên bàn máy còn có cối đập và bộ phận gạt tôn, được gắn với phần động của máy đập ở phía trên.

Khi con trượt của máy đập đi lên, tay đòn 4 tác động đẩy băng tôn dịch đi một bước đập, đồng thời đĩa 8 nhờ bộ truyền xích được đưa vào vùng đập để hứng sản phẩm. Lúc này tấm lưới 14 chạy ngược lại, đưa xecmăng đập lần trước về vị trí sau để thả lên bàn chứa sản phẩm 17.

Khi con trượt của máy đập đi xuống đĩa 8 chạy lùi trở lại, lưới 14 tiến ra phía trước, nhờ nam châm điện 15 hút tấm xecmăng từ đĩa 8 để chuẩn bị chuyển về phía sau khi con trượt đi lên. Kéo 7 cắt phế liệu ra từng mảnh nhỏ rồi thả rơi vào thùng phế liệu.

Bàn đựng sản phẩm 17 được hạ xuống dần dần theo trục đỡ 18 cho đến khi chạm vào đường ray 19 thì chạy ra ngoài.

Theo phương án này ta thấy khâu lấy sản phẩm từ thùng đập ra ngoài có hành trình khá lớn. Chính điều này đã làm hạn chế năng suất đập như đã nói ở trên. Ưu điểm của nó là có thể áp dụng được trên các máy đập thông dụng (vạn năng) và kích thước của dây chuyền nhỏ gọn.

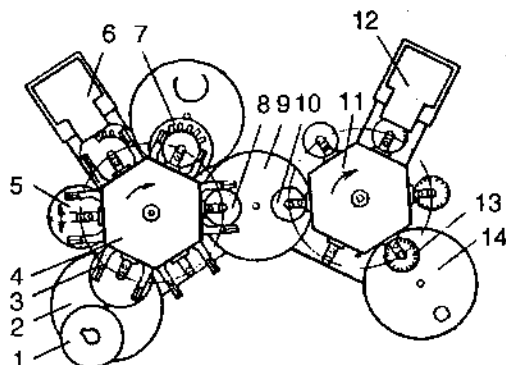
– Đập các lá tôn có đường kính từ 400 đến 990mm

Để đập các lá tôn lớn người ta thường dùng phương pháp đập phức hợp trên máy đập vạn năng hoặc phương pháp đập xoay trên hệ thống tiếp đôi.

Đập phức hợp trên máy vạn năng thường do công nhân thực hiện bằng tay từ khâu đưa lá tôn vào và lấy sản phẩm ra. Lá tôn nguyên liệu cần được cắt trước thành hình vuông, có để lượng dư mỗi phía 5 đến 7mm. Máy đập thường dùng loại lớn, có lực đập tới 500 tấn. Năng suất đập như vậy có thể đạt 3 đến 4 nghìn lá trong một ca làm việc.

Đập xoay từng rãnh trên hệ thống tiếp đôi được thực hiện trên hai máy đập xoay và một hệ thống các cơ cấu kẹp giữ chuyển vị trí và lấy sản phẩm một cách tự động. Phôi là

các lá tôn tròn đã dập lỗ tâm và các lỗ định vị (thực hiện trên máy dập vạn năng, khuôn dập phức hợp). Hình 2.15 mô tả một hệ thống như vậy.



Hình 2.15. Sơ đồ dập xoay tự động các rãnh lá tôn stato và rôto động cơ không đồng bộ trên hệ thống tiếp đôi

Hệ thống làm việc như sau. Phôi lá tôn 1 được xếp lên bàn xoay 2, bàn này có thể xoay 180° và đưa nó vào cơ cấu kẹp giữ 3. Bàn xoay 4 xoay theo chiều kim đồng hồ một góc 60° để đưa phôi và cơ cấu định tâm 5. Sau khi định tâm mâm xoay 4 xoay tiếp góc 60° đưa phôi vào vùng dập của máy dập xoay 6. Tại đây lá tôn được đột các rãnh của stato và cắt đường kính trong stato. Bàn xoay 4 tiếp tục xoay 60° , lá tôn stato được đưa ra ngoài, xoay tiếp 60° để đưa phôi lá tôn rôto vào vị trí 8. Bàn xoay 9 xoay 180° để đưa phôi lá tôn rôto sang máy dập xoay 12. Mâm xoay 11 lần lượt thực hiện các góc xoay 60° để thực hiện việc dập các rãnh của lá tôn rôto và đẩy ra ngoài trên mâm xoay 14. Việc cấp liệu và lấy sản phẩm do công nhân thực hiện. Mỗi công nhân có thể phụ trách 3 đến 4 tổ máy trong một ca làm việc.

4. Thiết kế sơ đồ dập

Tôn kỹ thuật điện được sản xuất dưới dạng băng cuộn thành rulô hoặc dạng tấm. Tôn cuộn rulô chỉ dùng khi dập tự động. Vấn đề ở đây là thiết kế sơ đồ dập sao cho hệ số lợi dụng tôn cao nhất. Hệ số lợi dụng có thể tính được theo công thức:

$K_{ld} = S_{sp} / S_{ph}$. Trong đó S_{sp} là tổng diện tích các lá tôn thu được kể cả diện tích rãnh là phần bỏ đi (dề xê), S_{ph} là diện tích tấm tôn phôi.

Cũng có thể đánh giá hiệu quả sử dụng tôn bằng cách tính hệ số hao phí tôn bên trong và bên ngoài theo công thức:

$K_{th} = S_{to} / S_{ph}$, trong đó S_{to} là diện tích phần bỏ đi bên trong lá tôn sản phẩm bao gồm tổng diện tích rãnh rôto, stato, diện tích các lỗ thông gió, lỗ trục, lỗ công nghệ, ... S_{ph} là diện tích tấm tôn phôi. K_{th} là hệ số hao phí tôn bên trong, phụ thuộc vào bản thiết kế các lá tôn.

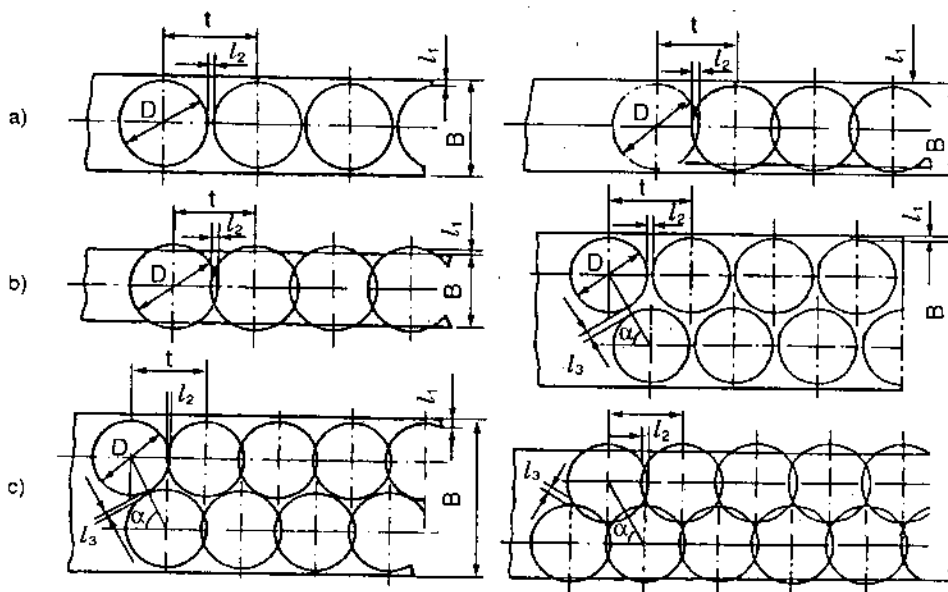
$K_{thn} = S_{dx} / S_{ph}$, trong đó S_{dx} là tổng diện tích phần tôn phế liệu ngoài (dề xê) tức hiệu số diện tích tấm tôn nguyên liệu và tổng diện tích các lá tôn sản phẩm kể cả các lỗ và rãnh; S_{ph} là diện tích tấm tôn phôi. K_{thn} là hệ số hao phí tôn bên ngoài, phụ thuộc vào thiết kế sơ đồ công nghệ dập.

Hệ số sử dụng tôn tính đến tất cả các hao tổn trong và ngoài được tính theo công thức: $K_{sd} = (S_{ph} - S_{lv} - S_{dx}) / S_{ph} = 1 - (K_{thl} + K_{thn})$.

Trong thực tế người ta thường dập các lá tôn trên các tấm hoặc các cuộn tôn được pha ra từ các tấm hoặc các cuộn lớn. Chiều rộng các tấm hoặc cuộn tôn này phụ thuộc vào dập đơn chiếc hay dập tự động, dập một dãy hay nhiều dãy. Hình 2.16 mô tả sơ đồ dập một dãy và hai dãy với khoảng cách giữa các lá tôn, giữa các lá tôn với mép tấm tôn dương và âm. Bảng 2.1 cho trị số các khoảng cách thường dùng trong dập tự động, nếu dập tay cá khoảng cách dương được tăng lên hai lần. Khi lấy các khoảng cách trên với giá trị âm ta thu được các lá tôn bị khuyết trên mép ngoài. Việc này làm cho mật độ từ thông ở gần chỗ khuyết tăng lên ảnh hưởng đến các chỉ tiêu năng lượng, các tham số của máy điện nói chung, đồng thời làm giảm khả năng làm mát đối với các động cơ điện không đồng bộ cấp bảo vệ IP44.

BẢNG 2.1. KHOẢNG CÁCH GIỮA CÁC LÁ TÔN VỚI CÁC SƠ ĐỒ DẬP KHÁC NHAU

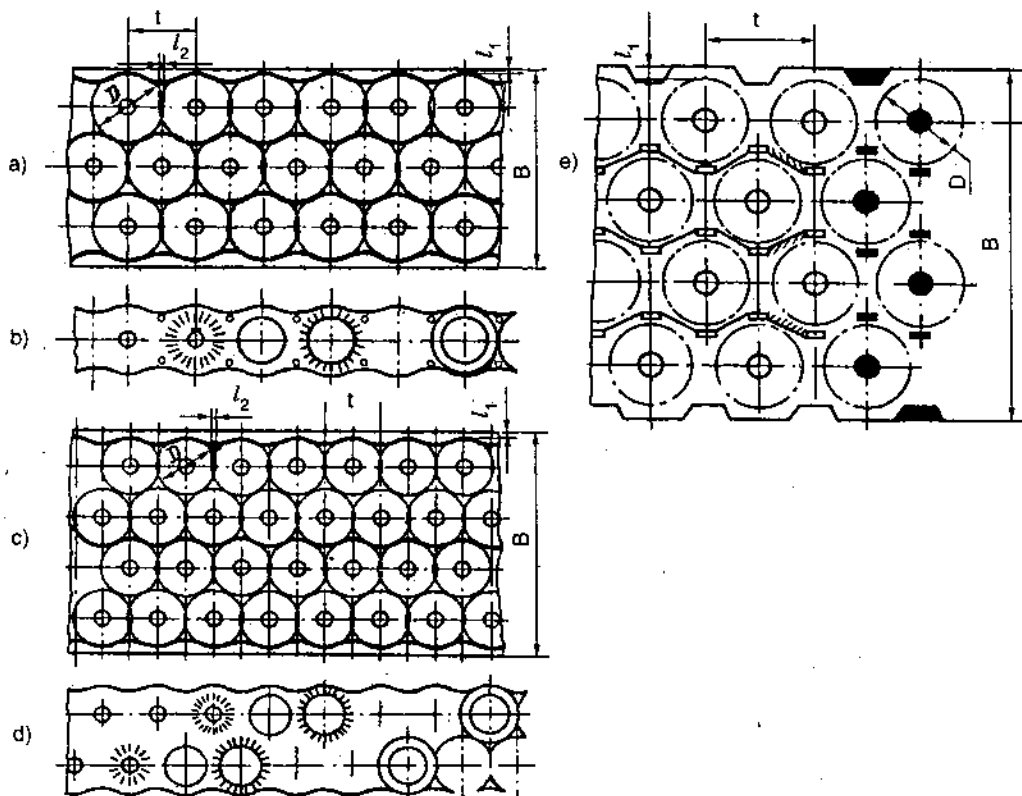
Kích thước	Sơ đồ a	Sơ đồ b	Sơ đồ c	Sơ đồ d	Sơ đồ e	Sơ đồ f
l_1	+(1,7-2,2)	+(1,7-2,2)	-(1,5-2,5)	+ 2,5	+ 2,5	-(1,7-2,5)
l_2	+(1,4-1,8)	-(1,5-2,5)	-(1,5-2,5)	+ 2,0	-(1,5-2,5)	-(1,5-2,5)
l_3	-	-	-	+ 2,0	+ 2,0	-(1,5-2,5)



Hình 2.16. Sơ đồ dập một dãy và hai dãy các lá tôn

Các khoảng cách có giá trị âm chỉ dùng cho các máy nhỏ dùng phương pháp hàn để ép giữ lõi sắt (quạt bàn, máy lạnh). Hệ số tổn hao tôn ngoài được giảm tới 7 – 8% so với khi dùng các khoảng cách trên trị số dương.

Khi dập tự động với tôn cuộn, các cuộn tôn được pha trên các máy cắt đặc biệt để tạo mép lượn cong như hình 2.17. Để thực hiện công nghệ này người ta dùng máy cắt đĩa nhiều lưỡi có dao hình hoặc dùng máy dập với khuôn dao chạy ziczac.



Hình 2.17. Dập tự động một dây và hai dây trên tôn cuộn cắt lượn

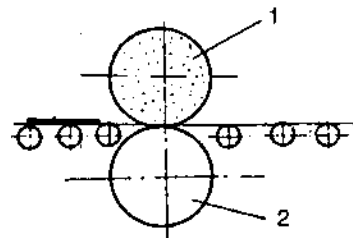
a, b) Dập một dây trên tôn cắt bằng dao hình;

c, d) Dập hai dây; e) Dập một dây trên tôn cuộn được pha trên máy dập với khuôn ziczac

2.2.3. Tẩy bavia các lá tôn

Khi chế tạo khuôn dập người ta không thể làm cho khe hở giữa chày và cối đủ nhỏ và đều để khi dập không có bavia. Mặt khác, sau một thời gian với một số nhát dập nào đó chày, cối sẽ bị mòn hoặc sút mẻ. Nếu mài khuôn liên tục sẽ ảnh hưởng đến năng suất dập và tốn kém trong việc đầu tư. Vì vậy, người ta chấp nhận dập có bavia và thêm vào quy trình công nghệ một thiết bị mài bavia.

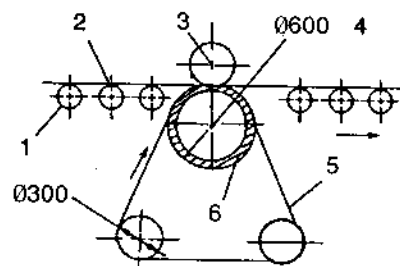
Các lá tôn sau khi dập nhờ một băng chuyển bằng con lăn đưa đến máy mài bavia. Máy mài bavia (hình 2.18) gồm 2 trục quay 1 và 2, trong đó một trục là đá mài (1). Lá tôn được cán qua hai trục đó và bavia sẽ được mài nhẵn. Khi đưa lá tôn vào máy, chú ý để mặt có bavia về phía đá mài. Trục phía trên được ép xuống nhờ hệ thống lò xo.



Hình 2.18. Mài bavia bằng đá mài

Lực ép phải vừa đủ để tẩy hết bavía đồng thời không làm biến dạng lá tôn, cong vênh hoặc biến dạng răng. Trục chủ động trong trường hợp này là trục đá mài.

Cũng có thể làm máy mài bavía theo kiểu khác như hình 2.19. Theo kiểu này, trên trục 6 và hai trục phụ mang một băng vật liệu mài kính thay cho đá mài. Hiệu quả mài bavía trong trường hợp này cao hơn.



Hình 2.19. Mài ba vĩa bằng băng mài

Đối với những máy quan trọng, theo quy định, sau khi mài bavía chiều cao bavía không được vượt quá 0,01mm. Với chiều cao này, sau khi sơn cách điện bavía sẽ không làm ngắn mạch đối với lá tôn bên cạnh.

Để kiểm tra mức độ bavía người ta có thể dùng tay để sờ hoặc dùng dụng cụ đo. Dụng cụ đo bavía có thể dùng thước panme hoặc chính xác hơn dùng thiết bị đo quang học kiểu II K3-2. Dụng cụ này làm việc trên nguyên tắc quang học, không tiếp xúc (nên không làm gãy bavía khi đo). Điều chỉnh tiêu cự của một kính hiển vi quang học đến một điểm trên lá tôn, sau đó điều chỉnh tiêu cự đến rìa tấm tôn chỗ có bavía. Tìm hiệu số di chuyển của vật kính, đó là chiều cao của bavía.

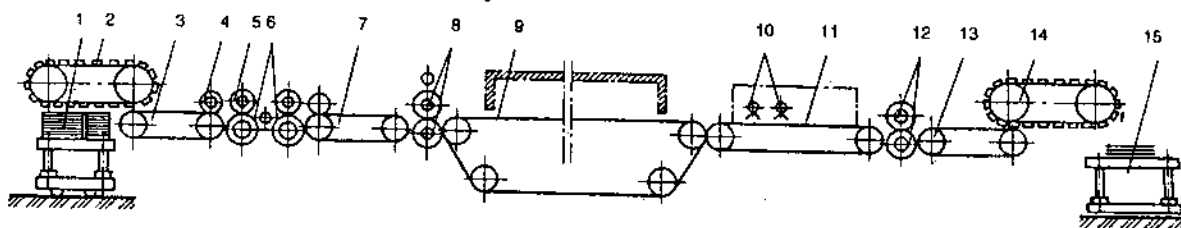
2.2.4. Ủ các lá tôn để phục hồi tính dẫn từ

Khi dập do tác động cơ khí mạnh, kết cấu các phần tử thép bị thay đổi, do đó làm giảm khả năng dẫn từ của thép ở gần các gờ mép. Ảnh hưởng này có thể sâu tới 0,5 ÷ 1mm tính từ mép. Đối với những lá tôn của động cơ nhỏ hoặc quá nhiều rãnh, kích thước răng còn lại quá bé, hiện tượng này ảnh hưởng khá rõ. Để phục hồi lại tính dẫn từ người ta tiến hành ủ lá tôn. Việc ủ các lá tôn được tiến hành trong môi trường khí trơ (thường là nito) ở nhiệt độ 700°C đến 800°C tùy theo tôn cán nóng hay cán nguội và cho nguội với tốc độ 100°C/giờ.

2.2.5. Sơn cách điện các lá tôn

Các lá tôn cán được sơn cách điện để tăng điện trở đối với dòng điện Fucô trong lõi sắt. Lớp sơn này phải có khả năng chịu nhiệt tương đối cao.

Thông thường người ta kết hợp các nguyên công mài bavía sơn và sấy lá tôn trên một dây chuyền công nghệ thống nhất. Ta có thể hình dung một dây chuyền như vậy theo sơ đồ hình 2.20.



Hình 2.20. Sơ đồ nguyên lý sản xuất lá tôn trên dây chuyền tự động sau khi dập

Giá cấp liệu 1 được tự động hoá thuỷ lực để giữ cho khoảng cách giữa chổng lá tôn và bộ truyền 2 không đổi. Bộ truyền 2 có nhiệm vụ chuyển lá tôn từ giá 1 sang máy mài bavia và thường được tự động hoá trên nguyên tắc từ. Nguyên công mài bavia được thực hiện hai lần trên các cấp trục 5, 6 sau đó lá tôn nhờ băng tải 7 chuyển đến thiết bị sơn 8. Sau khi sơn, các lá tôn được băng tải 9 chuyển vào lò sấy rồi được làm nguội trong buồng 10. Sau khi được đôi trục 12 lau khô, các lá tôn được bộ truyền từ 14 xếp lên giá 15. Giá đỡ 15 cũng được tự động hạ thấp dần khi số lá tôn tăng lên.

Thiết bị sơn 8 phải phủ được một lớp sơn kín trên bề mặt lá tôn với một chiều dày cho trước. Thông thường trục trên làm bằng cao su, còn trục dưới làm bằng thép và bố trí lá tôn sao cho chiều bavia quay xuống dưới để tăng thời gian làm việc của trục cao su. Bố trí như vậy thì lớp sơn ở mặt trên lá tôn sẽ dày hơn, còn lớp dưới mỏng hơn. Cũng có thể bố trí cả hai trục đều bằng cao su hoặc bằng phốt. Lực ép lên trục trên được hiệu chỉnh sao cho lá tôn không bị biến dạng và không có sơn đọng dày ở mép lá tôn phía đi ra khỏi trục cán sơn.

Lò sấy và băng chuyền 9 được tính toán sao cho khí đi ra khỏi lò, lớp sơn vừa đủ khô, không bị cháy hoặc có chỗ chưa khô. Muốn vậy cần phối hợp nhiệt độ lò, chiều dài lò và tốc độ của băng tải thật tốt.

Nhiệt độ trong lò có thể khống chế trong các khoảng sau:

- Phần đầu của lò từ $400^{\circ}\text{C} \div 800^{\circ}\text{C}$.
- Phần giữa lò từ $500^{\circ}\text{C} \div 600^{\circ}\text{C}$.
- Phần cuối lò từ $100^{\circ}\text{C} \div 120^{\circ}\text{C}$.

Tốc độ của băng tải 1 nằm trong khoảng $8 \div 12$ m/phút đến $15 \div 24$ m/phút. Tốc độ nhanh thì nhiệt độ lò phải cao.

Chế độ buồng làm nguội (phun nước) làm sao để khi ra khỏi dây chuyền nhiệt độ lá tôn không quá $30 \div 40^{\circ}\text{C}$.

Cấp trục 12 dùng để thăm khở những chỗ còn ướt trên lá tôn. Trong thời gian các lá tôn chạy trên băng tải 13, người ta thổi gió nóng để sấy khô hoàn toàn lá tôn trước khi bộ truyền 14 xếp chúng vào giá 15.

Tốc độ các băng tải 9, 11, 13 phải phối hợp sao cho không để các lá tôn chổng lên nhau hoặc trượt so với nhau, gây trầy xước lớp cách điện trên chúng.

Đối với các động cơ không đồng bộ có công suất từ $0,6 \div 100\text{kW}$, nếu tôn tấm đã được phủ cách điện thì không cần qua nguyên công sơn phủ này nữa. Nhưng đối với máy điện công suất lớn ($> 100\text{kW}$) kể cả tôn nguyên liệu đã sơn cách điện vẫn phải sơn lại sau khi đập và mài bavia, vì khi qua các nguyên công đó lớp sơn có thể bị trầy xước hoặc bong ra.

Nếu qua khâu đập mà lá tôn bị dính dầu thì trước khi sơn cách điện phải qua khâu rửa dầu trong các thùng đặc biệt.

Chất lượng của nguyên công sơn cần phải được kiểm tra, giám sát tỷ mỉ. Việc kiểm tra có thể thực hiện bằng mắt thường, đo chiều dày lớp sơn hoặc đo điện trở tác dụng. Nhìn bằng mắt thường nếu thấy lớp sơn đều, không bị sây sát, không bị đổi màu hoặc

dính ướt là được. Bằng đo đặc (dùng thước Panme) ta kiểm tra được chiều dày lớp sơn và độ đồng đều của nó.

Việc đo điện trở lớp sơn được tiến hành như sau:

Lấy trong số 4000 ÷ 5000 lá tôn khoảng 40 lá chia làm 2 thép, ép chặt bằng 2 điện cực có kích thước 40 x 250mm với lực ép 6kG/cm². Đo điện trở giữa 2 điện cực. Trị số điện trở đo được không nhỏ hơn 120 ÷ 150Ω là đạt. Nếu kích thước lá tôn lớn hoặc dạng xecmăng thì tiến hành đo 3 lần ở 3 vùng khác nhau: vùng lưng phần ứng, vùng giữa và vùng rãnh. Nếu đo điện trở như trên thấy không đạt thì sơn thêm một lớp nữa cho đến khi đạt mới thôi. Cũng có thể kiểm tra từng lá tôn như trên nhưng điện cực phải rất nhỏ, gần như tiếp xúc điểm.

Đối với tôn cán nguội (trong sản xuất máy lớn) không được xếp các lá tôn thành chồng cao quá 500 ÷ 600mm.

Những năm gần đây, một số nước đã áp dụng phương pháp cho kết tủa sơn bằng điện phân để phủ sơn cách điện lên lá tôn. Các lá tôn treo trên những khung đặc biệt chuyển động trong thùng sơn pha loãng với nước đã được khử muối (nồng độ 8 ÷ 10%) và dung dịch tạo ion hoá sơn. Hệ thống các điện cực cần phải đảm bảo việc kết tủa sơn đều đặn trên bề mặt lá tôn. Trong trường hợp này lá tôn là anot. Dòng điện được đưa vào các katot và anot theo kiểu tiếp xúc nhọn và đảm bảo ổn định trong quá trình sơn kết tủa, điện trở của lá tôn tăng lên. Việc sấy lá tôn tiến hành trong lò điện tuynen với băng chuyển chuyển động liên tục. Cái khó trong công nghệ này là cơ khí hoá và tự động hoá quá trình cấp liệu chuyển tải cũng như thu các lá tôn đã cách điện.

2.2.6. Ghép các lá tôn thành lõi thép theo kích thước thiết kế

Yêu cầu của công đoạn này là tạo được mạch từ chắc chắn về mặt cơ khí, không bị ngắn mạch đối với dòng Fucô, đạt được hệ số ép chặt theo thiết kế, tạo độ chéo rãnh cho trước, đảm bảo các kích thước và yêu cầu kỹ thuật quy định.

1. Định lượng lõi thép

Định lượng lõi thép là một nguyên công quan trọng vì nó ảnh hưởng đến mật độ từ thông thực tế và kích thước lõi thép. Có ba cách định lượng lõi thép.

– Đếm số lá thép. Phương pháp này thuận tiện trong trường hợp sản xuất dây chuyền vì hệ thống sẽ tự động tách các thép lá thép có số lượng cần thiết trên băng chuyền. Tuy nhiên, vì chiều dày các lá tôn có thể khác nhau (tùy theo lô hàng), độ bavia khác nhau, chiều dày lớp sơn khác nhau (làm cho hệ số ép chặt khác nhau) nên chiều dài lõi và mật độ từ thông thực tế có thể khác nhau.

– Cân để định lượng lõi thép.

Phương pháp cân cho độ chính xác cao nhất vì trọng lượng vật liệu cách điện thường không đáng kể nên mật độ từ thông thực tế ít sai khác với thiết kế. Tuy nhiên, vì độ bavia và chiều dày lớp sơn có thể khác nhau nên chiều dài mạch từ có thể khác nhau. Điều này gây khó dễ cho công đoạn lồng dây vì kích thước các bố dây đã cố định.

– Đo để định lượng lõi thép. Theo phương pháp này các thép lá tôn trước khi ép được định lượng tương đối, khi ép với một lực ép quy định, người ta sẽ thêm vào hoặc

bớt đi một số lá tôn sao cho đảm bảo chiều dài mạch từ cho trước. Phương pháp này luôn cho ta chiều dài mạch từ bằng nhau nhưng do độ bavia và chiều dày lớp sơn cách điện khác nhau nên mật độ từ thông thực tế có thể khác nhau.

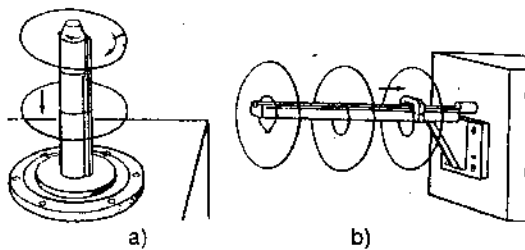
Trong thực tế người ta dùng phương pháp cân kết hợp việc kiểm tra bằng đo chiều dài lõi. Độ chính xác phải đảm bảo sai số không vượt quá trọng lượng của một lá tôn.

2. Ghép các lá tôn vào các trục gá

Các lá tôn định vị và ghép thành lõi phải cùng chiều đập (cùng chiều bavia) để đảm bảo bavia không làm ngắn mạch mạch từ, hệ số ép chặt lớn nhất, và thành rãnh được nhẵn phẳng. Điều này được đảm bảo bằng các then đưa vào rãnh hoặc các vấu đánh dấu trên lá tôn.

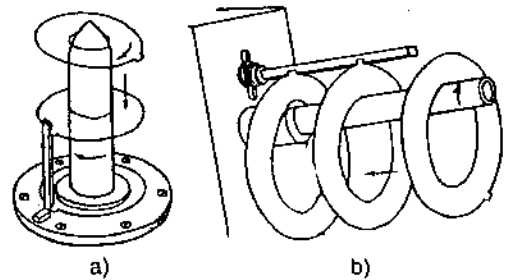
Để định vị các lá tôn có thể thực hiện bằng hai cách: dùng trục gá quay nằm ngang và thẳng đứng.

Đối với lá tôn rôto, then trên trục gá hoặc sống dẫn hướng theo rãnh đánh dấu sẽ tự động sắp xếp các lá tôn theo một hướng như hình 2.21 khi trục gá quay. Đối với các lá tôn stato, vấu đánh dấu trên đường kính ngoài vướng vào thanh cữ chặn sẽ làm cho lá tôn tự động dừng lại khi trục gá quay (hình 2.22). Với cơ cấu này cho phép định hướng các lá tôn một cách tự động hoặc bằng tay.



Hình 2.21. Lắp ghép các lá tôn rôto

- a) Trục quay thẳng đứng
- b) Trục quay nằm ngang



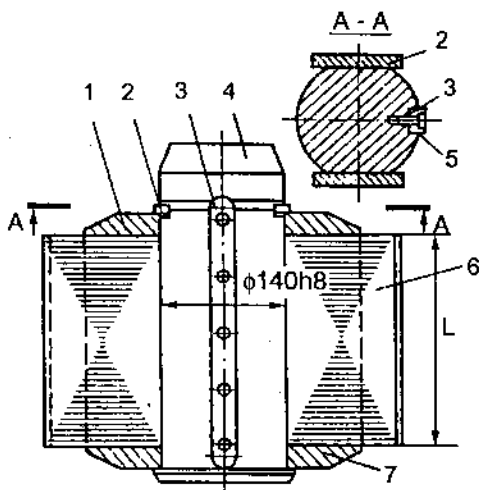
Hình 2.22. Lắp ghép các lá tôn stato

- a) Trục quay thẳng đứng
- b) Trục quay nằm ngang

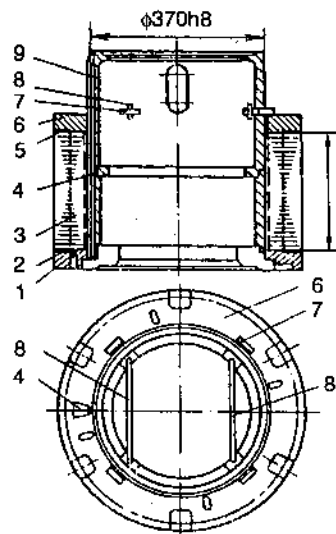
Các lá tôn sau khi định hướng được định lượng và ghép lên các bộ đồ gá để ép chặt. Các bộ đồ gá này phải đảm bảo độ chính xác và phải được kiểm tra kích thước định kỳ trong quá trình sản xuất.

Hình 2.23 mô tả một trục gá để ép lõi sắt rôto động cơ không đồng bộ (rôto lồng sóc). Đặt tấm ép 7 chặn phía dưới rồi xếp các lá tôn 6 lên trên. Các lá tôn được định vị theo then 3 (được vít chặt bằng các vít 5). Nếu rãnh chéo thì then 3 cũng được đánh chéo đi một góc nhất định. Lắp tấm ép trên 1, ép chặt và lắp then chặn 2. Trục gá sẽ được tháo bỏ sau khi đúc nhôm vào rãnh, vành ngắn mạch và các thanh dẫn bằng nhôm sẽ giữ các lá tôn.

Hình 2.24 mô tả một trục gá để ép các lá tôn stato thành lõi. Trên trục gá 9 người ta xếp lần lượt các tấm ép dưới 1, vành ép 2, thép lá tôn 3, vành ép trên 5 và tấm ép trên 8. Các lá tôn được định vị bằng then 4 xuyên qua một trong các rãnh và có thể được định vị bổ sung bằng then trong rãnh đánh dấu. Nêm chặn 7 sẽ chặn tấm ép 8 sau khi ép xong. Toàn bộ trục gá và lõi thép được chuyển sang nguyên công cố định lõi trước khi tháo trục gá ra khỏi lõi thép.



Hình 2.23. Ép lõi thép rôto trong trục gá



Hình 2.24. Ép lõi thép stato trong trục gá

3. Các phương pháp cố định lõi thép

– *Dùng đinh tán.* Phương pháp này thường áp dụng cho các máy điện nhỏ. Trên phần lưng của lá tôn có các lỗ đập $\phi 3 \div 5\text{mm}$. Sau khi ép tôn trên đồ gá, dùng đinh tán để tán chặt. Ưu điểm của phương pháp này là đơn giản, dễ cơ khí hoá. Nhược điểm là dễ bị ngắn mạch các lá tôn, bề mặt 2 phía lõi sắt không phẳng do những chỗ không có đinh tán bị nở ra.

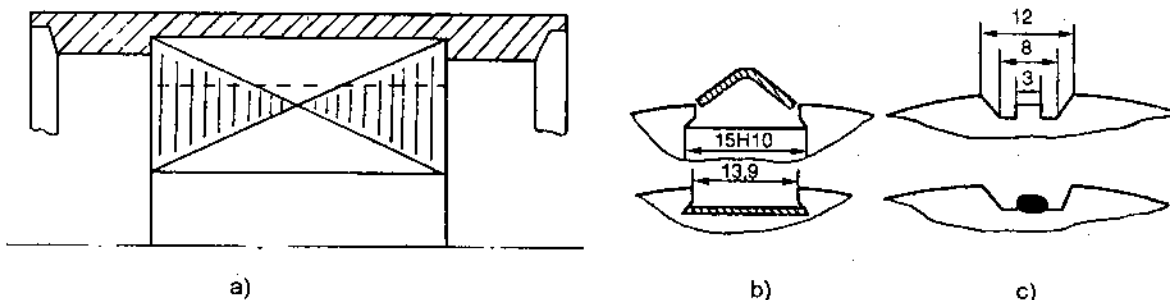
– *Hàn dọc theo đường sinh của lõi sắt ở phía ngoài.* Phương pháp này thường áp dụng cho các loại quạt bàn và các loại động cơ máy lạnh. Dọc theo lõi sắt thường hàn từ 4 đến 6 đường hàn. Ở chỗ đường hàn thường được tạo rãnh bán nguyệt để mối hàn không ảnh hưởng đến việc ghép lõi sắt vào vỏ. Ưu điểm của phương pháp này là đơn giản. Trong sản xuất lớn, người ta hàn trên các máy hàn tự động, nên năng suất cao hơn nhiều so với các kiểu ghép khác. Nhược điểm của nó là làm ngắn mạch các lá tôn nhưng do máy nhỏ, tổn hao do dòng điện xoáy không lớn nên phương pháp này vẫn được áp dụng (hình 2.25c).

– *Đúc nhôm vào lõi sắt để giữ các lá tôn*

Phương pháp này thường áp dụng cho các động cơ nhỏ công suất từ vài chục oát đến vài trăm oát. Nhược điểm là các lá tôn bị ngắn mạch, tổn thêm nguyên công đúc phức tạp. Nếu kết hợp được nguyên công này với đúc vỏ (vỏ nhôm) sẽ bớt được các nguyên công tiện mặt trong vỏ, ép lõi thép stato vào vỏ, mặt khác vỏ được tăng cứng nhờ chính lõi sắt stato khi gia công các mặt lắp ghép với nắp. Phương pháp này trong thực tế nhiều hãng áp dụng cho các động cơ không đồng bộ đến 7kW (hình 2.25a).

– *Ép lõi sắt bằng phương pháp dùng các thanh dằn chạy dọc phía ngoài lõi sắt.* Phương pháp này thường áp dụng cho các máy điện công suất từ 0,6W đến hàng 100kW (hình 2.25b).

Hình 2.25 mô tả các phương pháp cố định lõi sắt bằng các phương pháp trên.



Hình 2.25. Các phương pháp cố định lõi thép

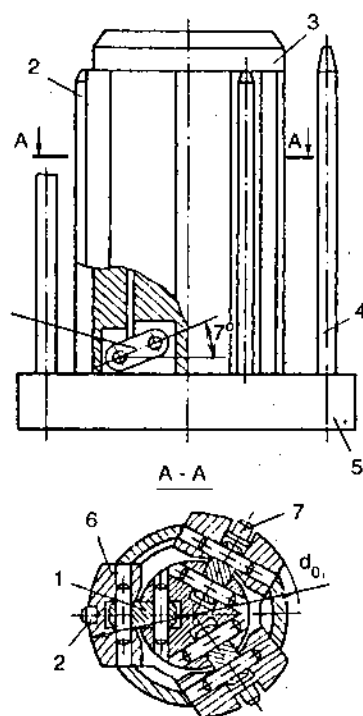
a) Đúc nhôm phủ lên lõi thép; b) Dùng thanh giằng để giữ lõi thép; c) Hàn để cố định lõi thép

Khi ép lõi sắt thường xảy ra hiện tượng các lá tôn ở hai đầu bị toè ra, (phân rã) do các lá tôn có bavaria và bị cong vênh khi dập. Đối với các máy nhỏ hoặc ngắn, hiện tượng này ít xảy ra hoặc ở mức độ không đáng kể. Ở các máy lớn và dài hoặc do công nghệ dập không tốt, sự toè ra ở phân rã đáng kể (chiều dài lõi sắt đo trên răng có thể lớn hơn đo trên lưng tới $0,5 \div 1\text{cm}$). Hiện tượng này gây khó khăn cho việc lồng dây (do chiều dài lõi thép tăng) hoặc phải tốn dây đồng hơn. Để khắc phục hiện tượng này người ta bố trí ở hai đầu lõi sắt các vành ép có độ dày lớn hơn $1 \div 1,5\text{mm}$, hoặc hai tấm bìa cách điện được dập như lá tôn, tăng cường khâu cán bavaria, kiểm tra lại khâu dập lá tôn để hạn chế độ cong vênh của nó. Với trình độ chế tạo khuôn dập hiện đại như ngày nay hiện tượng này không xảy ra.

4. Vấn đề cơ khí hoá và tự động hoá công đoạn lắp ghép và cố định lõi thép

Trong sản xuất khối các lá tôn được sản xuất trên dây chuyền tự động sau khi ra khỏi khâu cuối cùng (hình 2.20) sẽ được chuyển đến khâu lắp ráp và ép giữ lõi thép. Đồ gá để định vị và ép lõi tự động được mô tả trên hình 2.26. Việc định lượng lõi thép thực hiện bằng phương pháp đo chiều dài tương ứng với một lực ép định trước.

Việc định vị lá tôn được thực hiện trên cơ cấu tự định vị có ba vấu chuyển động 6. Toàn bộ đồ gá lắp trên bệ 5 cùng với vỏ 3, hai trục dẫn hướng 4. Trên các vấu động có bố trí ba chiếc then dùng để định vị các lá tôn; một trong ba then (then 2) được đặt cố định còn hai then 7 được đưa vào sau khi định vị xong. Việc định vị các lá tôn được thực hiện như sau: Lần lượt thả các lá tôn vào trục gá 3, chốt định vị 4 sẽ định vị sơ bộ các lá tôn. Khi ép, các lá tôn được các vấu động vô liên tục để định tâm các lá tôn và đảm bảo bề mặt trong lõi thép được nhẵn phẳng. Các then trên các vấu động sẽ định vị chính xác các lá tôn sao cho thành rãnh được nhẵn phẳng. Việc cố định lõi thép được thực hiện bằng phương pháp hàn tự động đồng thời tất cả các đường hàn.



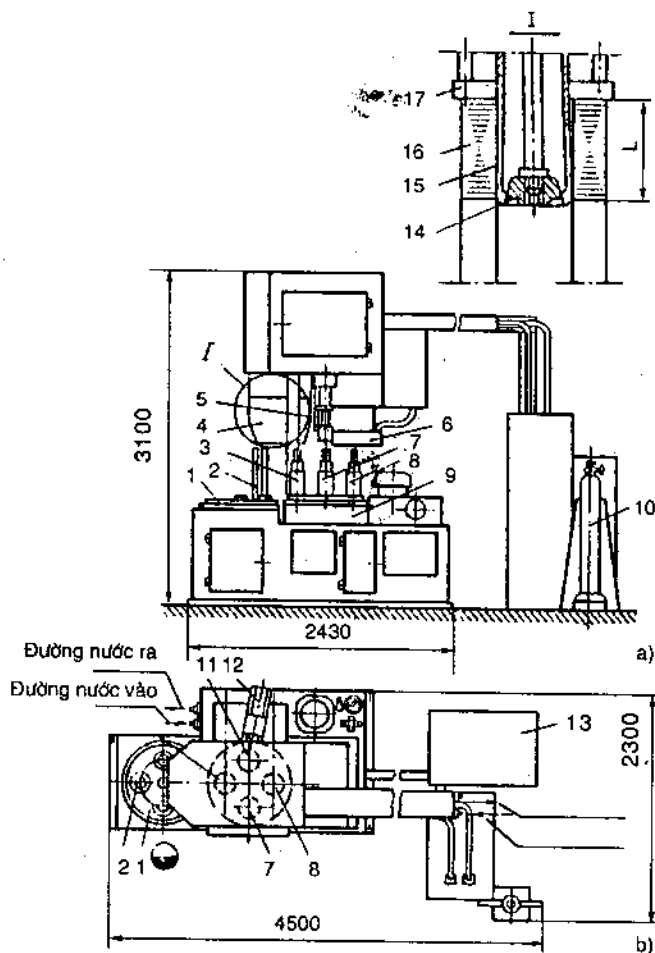
Hình 2.26. Đồ gá để lắp ghép và định vị tự động các lá tôn lõi thép stato

Hiện nay người ta đã đưa vào hoạt động năm loại máy bán tự động cho phép lắp ráp và cố định các lõi thép có đường kính đến 500mm và chiều dài đến 300mm. Một trong những loại trên được mô tả trên hình 2.27. Thiết bị này hoạt động như sau:

Người vận hành thả các lá tôn vào trục gá 2 đặt trên bàn 1. Một trong các trục gá được chuyển đến dưới cơ cấu định lượng sơ bộ 4. Cơ cấu đẩy dưới bàn nâng thép lá tôn 16 lên cho đến khi gặp tấm chặn 17 và ép lõi thép đến một lực định trước. Cơ cấu hình côn 14 và ống đàn hồi 15 sẽ thổi bớt số lá thép thừa để đảm bảo chiều dài lõi bằng L. Ống đàn hồi 15 cùng với thép lá tôn được chuyển đến vị trí 3, ở đây lõi thép được lắp trục gá, chốt định vị và các calip kiểm tra trong rãnh. Bàn 9 xoay 90° đưa trục gá cùng lõi sắt đến vị trí 7, lõi thép được định lượng chính xác, dụng cụ đo 5 sẽ đo chiều dài lõi thép. Việc hiệu chỉnh thêm bớt các lá tôn được thực hiện bằng tay, đảm bảo sai số không quá một lá tôn. Toàn bộ trục gá và lõi thép được chuyển đến vị trí 8, ở đây các thiết bị cố định lõi thép (hàn, tán hoặc đóng thanh giằng...) sẽ làm việc và cuối cùng được chuyển đến vị trí 11 để tháo lõi ra khỏi trục gá. Đối với lõi có đường kính đến 120mm và chiều dài đến 90mm, toàn bộ các nguyên công trên được máy thực hiện trong 20 giây.

Đối với lõi thép rôto các máy bán tự động cũng được kết cấu tương tự như đối với stato.

Mật độ từ thông khác nhau sẽ dẫn đến tổn hao sắt từ, công suất từ hóa, độ tăng nhiệt, hiệu suất, hệ số công suất và do đó công suất khác nhau. Mật độ từ thông khác nhau cũng sẽ dẫn đến điện kháng tản khác nhau và do đó bội số dòng điện mở máy, mômen mở máy, mômen cực đại của động cơ không đồng bộ khác nhau. Trong máy điện một chiều sự khác nhau về mật độ từ thông sẽ dẫn đến đặc tính không tải khác nhau, công suất kích thích khác nhau, tổn hao sắt khác nhau, từ đó dẫn đến công suất khác nhau và điều kiện đổi chiều khác nhau. Trong máy điện đồng bộ điện kháng khác nhau sẽ dẫn đến tỷ số ngắn mạch khác nhau, tổn hao sắt khác nhau, từ đó dẫn đến công suất và độ thay đổi điện áp khác nhau.



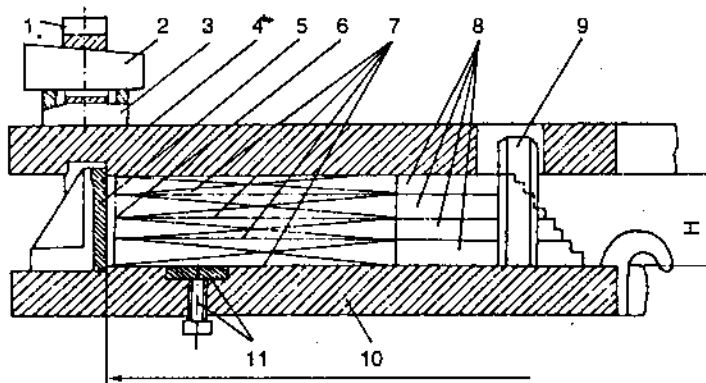
Hình 2.27. Máy bán tự động ghép và cố định lõi thép

Tóm lại, sự khác nhau về trình độ công nghệ chế tạo lõi thép trong các nguyên công đột dập, ủ, tẩy bavia, sơn cách điện, định lượng và ép lõi là nguyên nhân dẫn đến các máy điện cùng loại có công suất và các thông số kỹ thuật khác nhau.

5. Ghép lõi sắt các máy điện công suất lớn

– *Chế tạo các thép lá thép ở hai đầu lõi sắt stato (thép biên).* Trong máy điện công suất lớn lõi sắt stato được chia thành nhiều thép lá thép theo chiều dài, giữa chúng có các rãnh thông gió hướng kính. Hai thép lá thép ở hai đầu ngoài chức năng dẫn từ còn phải đảm bảo các chức năng về cơ: truyền lực ép từ vành ép lên lõi sắt stato, tạo ra hai vùng “cứng” ở hai đầu và loại trừ sự toè ra của các lá thép ở vùng răng. Mỗi thép lá thép được ghép từ một số các thép xecmăng. Mỗi thép xecmăng được chế tạo bằng cách ghép các lá tôn (đã được ủ trong lò) vào một khuôn ép. Chiều dày mỗi thép xecmăng như vậy thường là $30 \div 40\text{mm}$. Trên bề mặt ngoài của các thép xecmăng có rãnh đuôi nhạn (hoặc rãnh có hình bất kỳ nào đó) để lắp lên các thanh khung của stato. Kích thước răng rãnh của các lá tôn giáp với vành ép có khác chút ít so với các lá tôn trong lõi sắt: chiều rộng rãnh lớn hơn, còn chiều cao răng nhỏ hơn. Điều này đảm bảo an toàn cho cách điện của bội dây khi đặt vào rãnh và có lợi hơn trong việc truyền lực từ vành ép lên vùng răng của lõi sắt.

Khuôn ép để ghép lá tôn các thép xecmăng minh hoạ trên hình 2.28. Trên thớt dưới 10 có lắp trục dẫn hướng 1, cỡ chặn 5, định chuẩn thép 8 theo bề mặt hình trụ ngoài của đường kính D và các bulông ép 11.



Hình 2.28. Khuôn để ép các thép lá biên

Việc ghép các thép lá thép vào khuôn ép được thực hiện theo trình tự sau:

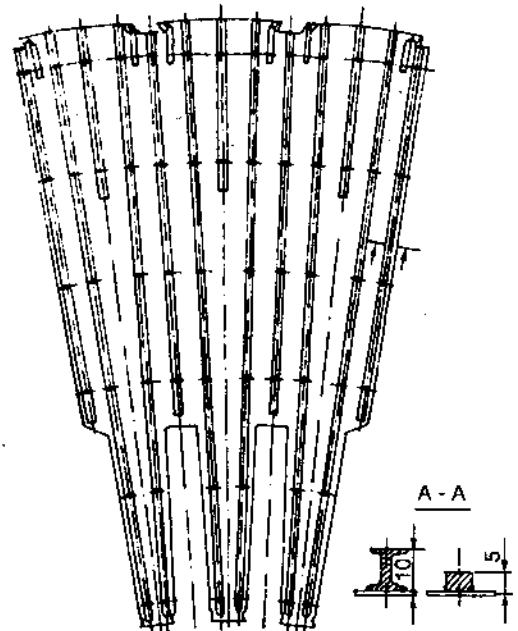
Thớt dưới được đặt trên bệ cao $600 \div 700\text{mm}$ bôi trơn bề mặt trên nó rồi xếp lên đó hai đến ba lớp xecmăng khuôn phủ keo dán. Sau đó đặt các xecmăng của thép ngoài cùng (thép biên) đến chiều cao $5 \div 6\text{mm}$, định vị chúng bằng calip 6 ở rãnh đuôi nhạn. Tiếp tục đặt calip 9 vào các rãnh quấn dây và ghép tiếp thép đầu tiên cho đến chiều cao lớn hơn trị số cho trong bản vẽ đến $4 \div 5\%$. Trước khi ghép tiếp các thép sau, người ta đặt các xecmăng không phủ keo dính hoặc đặt các màng ngăn triaxetát. Việc cách các thép như vậy là để tránh dính các thép với nhau và với các thớt ép.

Nếu ghép trong cùng một khuôn ép các thép có chiều rộng rãnh khác nhau cần dùng các calíp tương ứng. Sau khi ghép đủ các thép lá thép thì đặt thớt trên 4 của khuôn ép lên, lắp ống lót đỡ 3 và ép sơ bộ bằng các nêm 2. Việc nêm ép kết thúc được tiến hành trên máy ép thủy lực với lực ép đạt $10 \div 15 \text{ kG/cm}^2$.

Trước khi đưa khuôn ép vào lò để gia nhiệt lần đầu, cần phải tháo calíp ở rãnh đuôi nhạn ra để tránh bị dính vào đó. Việc ép có gia nhiệt được thực hiện trong hai giai đoạn: đầu tiên nung các thép lá thép cùng với khuôn ép đến $100 \div 140^\circ\text{C}$ và duy trì trong $1 \div 2$ giờ, sau đó đem ép và đóng nêm. Tiếp tục nung đến $160 \div 200^\circ\text{C}$. Thời gian gia nhiệt và nhiệt độ tùy theo loại keo dính. Chất keo dính để dính các lá thép với nhau có thể dùng epôxi hoặc các loại sơn phủ cách điện thông thường như sơn phủ N⁰-302 hoặc N⁰-13.

- *Các xecmăng ép và thông gió.* Các xecmăng ép thực hiện hai nhiệm vụ: truyền lực từ vành ép qua thép biên lên lõi sắt stato và tạo ra các rãnh thông gió trong vùng vành ép để cải thiện việc làm mát chúng.

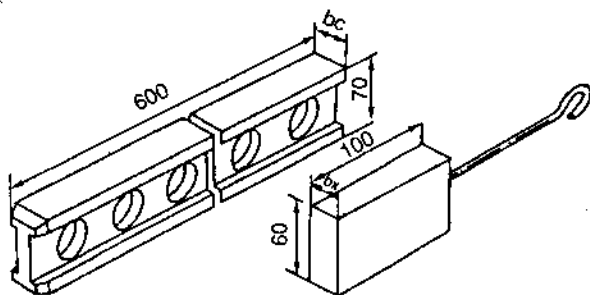
Các xecmăng được dập từ tôn 1211 (tôn silic chất lượng thấp). Các thanh ép được chế tạo bằng vật liệu phi từ tính có chiều dày từ $5 \div 10 \text{ mm}$ và có hình dạng như hình 2.29. Xecmăng thông gió được chế tạo bằng cách hàn các thanh ép với các xecmăng trên. Rãnh của các xecmăng này được dập rộng hơn so với xecmăng chính. Sự phân bố các thanh ép trên xecmăng phải giống nhau. Việc hàn các thanh đó lên xecmăng phải được tiến hành trên một số bộ khuôn đặc biệt. Trong các máy phát lớn, quá trình hàn này phải được tiến hành trên các máy tự động để đảm bảo chất lượng hàn được ổn định và nâng cao độ tin cậy.



Hình 2.29. Xecmăng thông gió

- *Lắp ráp và ép lõi sắt.* Việc ghép lõi sắt các máy lớn thường được tiến hành ở vị trí stato thẳng đứng (hình 2.31). Sau khi cố định sơ bộ vành ép, các xecmăng ép và xecmăng biên vỏ stato được dựng lên và bắt đầu ghép các lá tôn séc măng. Tùy theo sơ đồ lắp ghép, các lớp lá thép xếp dịch so với nhau một hoặc một số bước rãnh hoặc dịch dần theo đường xoắn ốc. Trong quá trình ghép thép đầu tiên phải dùng calíp lắp ráp và calíp kiểm tra để hiệu chỉnh thật chính xác vị trí các xecmăng, đường kính trong stato, chiều dày thép tôn. Sau khi ghép được một hoặc 2 thép lá tôn thì đặt các calíp lắp ráp vào các rãnh (quần dây). Công dụng của các calíp lắp ráp là đảm bảo kích thước rãnh theo chiều rộng và giữ được độ vuông góc của nó. Trên hình 2.30 trình bày một loại calíp lắp ráp và một loại calíp kiểm tra dùng để kiểm tra kích thước rãnh sau khi ghép và ép lõi. Đối với máy lớn thường người ta tăng chiều rộng rãnh dập lên $0,5 \text{ mm}$ so với chiều rộng rãnh yêu cầu (sau khi ghép lõi). Trong trường hợp đó calíp lắp ráp được chế tạo có chiều rộng lớn hơn chiều rộng rãnh.

thực tế 0,2mm còn calíp kiểm tra thì làm rộng hơn 0,1mm. Việc đặt chính xác calíp lắp ráp so với các thanh khung của stato được kiểm tra bằng một loại khuôn đặc biệt. Thực tế lắp ráp lõi sắt máy lớn ở nhiều nước cho thấy: mặc dù đã có các calíp lắp ráp và kiểm tra nhưng trên suốt chiều dài stato vẫn có những chỗ chiều rộng rãnh thực tế (ở đáy hoặc miệng rãnh) nhỏ hơn chút ít so với yêu cầu. Tuy nhiên, sự sai khác đó nằm trong phạm vi cho phép vì không ảnh hưởng lớn đến việc đặt dây quấn vào rãnh. Có thể khắc phục bớt tình trạng trên bằng cách tăng chiều cao của calíp kiểm tra từ $70 \div 150\text{mm}$.

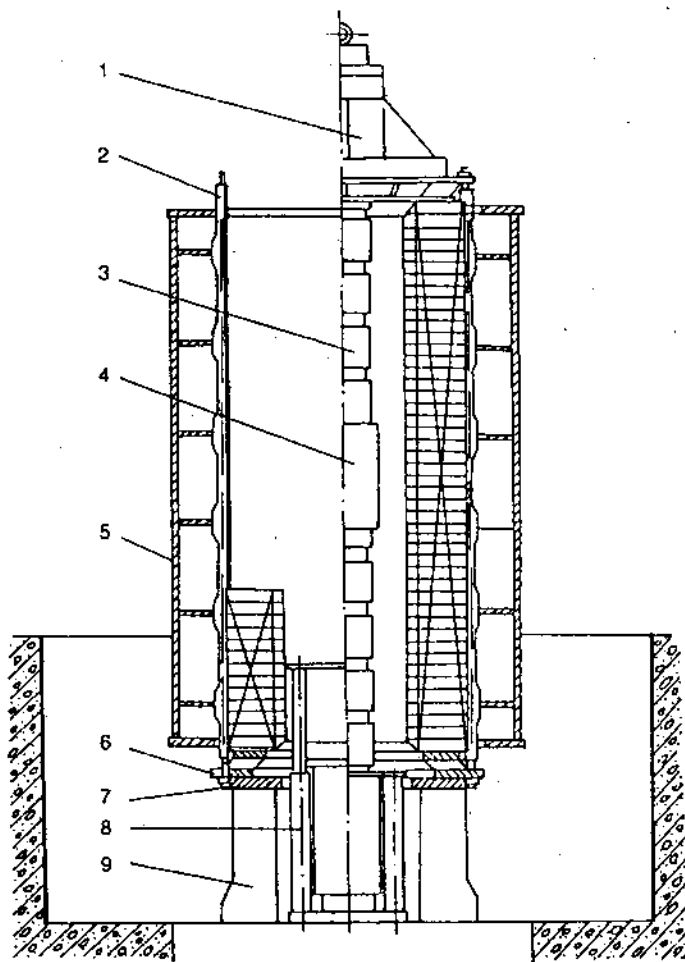


Hình 2.30. Một số loại calíp để kiểm tra

Sau khi đặt calíp lắp ráp tiếp tục ghép các lá thép theo calíp đó và theo các rãnh mang cá (đuôi nhận) trượt trên các thanh khung của vỏ. Trong quá trình lắp ráp, liên tục kiểm tra sự đồng đều của thép lá thép theo chiều cao, tránh hiện tượng lượn sóng do chiều cao các điểm không bằng nhau. Các thép lá thép được cách ly với nhau bằng các xecmăng thông gió và các tấm cách trượt theo các thanh khung của vỏ.

Để kiểm tra chiều dày các thép phải đo cả hai phía vùng rãnh và vùng lưng stato. Việc đo được thực hiện khi ép chặt thép lá thép nhờ một kìm thủy lực có đồng hồ đo áp lực để đảm bảo lực ép không đổi khi đo.

Nếu chiều cao của thép lá thép không bằng nhau thì có thể áp dụng các biện pháp lấy bớt đi hoặc bổ sung thêm, hoặc dùng một số xecmăng đặc biệt để san bằng. Các calíp lắp ráp được nâng dần lên theo chiều dày lõi sắt.



Hình 2.31. Lắp ráp lõi thép stato các máy điện lớn

Để đảm bảo độ chặt của lõi sắt, cần phải ép định kỳ trong khi ghép.

Đối với những máy công suất lớn và dài (máy phát tua bin hơi) việc ghép lõi sắt stato ở trạng thái thẳng đứng gặp nhiều khó khăn vì phải đưa các chi tiết lên cao $6 \div 10\text{m}$ rồi hạ xuống bên trong, rất mất công. Để khắc phục tình trạng này người ta thường tiến hành lắp ráp khi dựng vỏ máy trong một cái hầm sâu $3 \div 4\text{ m}$ so với mặt đất (hình 2.31).

Sau khi ghép được $10 \div 15$ thép (với chiều cao $500 \div 600\text{mm}$) stato được chuyển đến máy ép thủy lực kiểu dũa và được đặt lên vành 7 nằm trên bệ 9. Vỏ stato được chỉnh bằng tâm so với trục ép nhờ các kích thủy lực. Phần bên phải hình vẽ thể hiện một lõi sắt stato đã ghép xong lõi sắt cùng với vành ép 6 và chụp ép 1. Phần bên trái hình vẽ thể hiện bộ nâng thủy lực 8 mà trên đó người ta tiến hành ghép lõi sắt. Việc kéo căng các đai ốc trên thanh khung 2 được thực hiện cùng với việc ép bằng máy. Để thuận lợi cho việc lắp ráp, đặc biệt trong thời gian đầu, trục máy ép 3 được phân đoạn và có thể nối với nhau bằng khớp nối 4.

Ở máy phát tua bin hơi, để nâng cao chất lượng lõi thép nhiều hãng đã áp dụng các biện pháp sau:

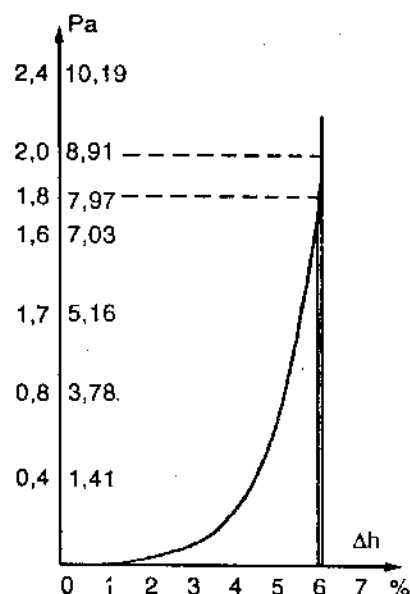
- Phân loại sơ bộ các xecmăng về trọng lượng thành một số nhóm (thường là 5) và tiến hành ghép các thép theo thứ tự khối lượng các xecmăng giảm dần hoặc tăng dần. Bởi vậy, trong mỗi thép lõi thép chỉ sử dụng tới xecmăng của một nhóm nào đó.

- Phần giữa của lõi thép được ghép từ các xecmăng thép không định hình kết cấu, ở hai đầu ghép bằng thép định hình kết cấu, còn ở giữa chúng thì ghép xen kẽ hai loại đó. Do sự tăng môđun đàn hồi ở phần giữa lõi thép, nên biên độ dao động của nó giảm.

- Trong quá trình ghép tiến hành ép định kỳ (chẳng hạn 2 thép ép một lần) lõi thép có gia nhiệt (bằng dòng Fucô tần số 50 Hz) đến $60 \div 80^\circ\text{C}$.

Các biện pháp trên cho đến nay được áp dụng rất rộng rãi, nhưng hiệu quả đến đâu thì vẫn chưa được nghiên cứu một cách đầy đủ.

Kinh nghiệm cũng như nhiều nghiên cứu thực nghiệm cho biết, khi ép lần thứ nhất áp suất dương cần thiết là $12 \div 15\text{kG/cm}^2$ còn đối với các lần sau là $17 \div 22\text{kG/cm}^2$. Đồ thị ở hình 2.32 cho thấy khi nâng áp suất ép riêng lên $17 \div 22\text{ kG/cm}^2$ lõi thép không lún xuống được bao nhiêu, mà rất có thể làm hỏng cách điện giữa các lá tôn ở khu vực có đặt các thanh cách rãnh thông gió ngang trục vì áp suất ở đó có thể đạt tới $100 \div 120\text{kG/cm}^2$. Thông thường sau khi ghép lõi thép đến chiều cao $450 \div 600\text{mm}$ thì cho ép sơ bộ lần thứ nhất.



Hình 2.32. Độ lún theo áp suất cắt

Trong các máy phát điện lớn có làm lạnh bằng nước người ta thay các xecmăng thông gió bằng các xecmăng làm lạnh, trên đó gắn hệ thống ống nước. Về hình dạng bộ làm lạnh nước phải tương tự như các xecmăng chính. Chiều dày bộ làm lạnh bằng nước thường từ $7 \div 10\text{mm}$. Bộ làm lạnh được chế tạo bằng cách đúc silumin (hợp kim nhôm – silic) lên một ống xoắn bằng đồng hoặc thép không gỉ dùng để dẫn chất lỏng làm lạnh. Yêu cầu kỹ thuật cơ bản khi chế tạo bộ làm lạnh nước là các nguyên công cắt, uốn, tạo hình bộ ống xoắn và đúc nó trong khuôn sao cho đảm bảo độ kín nước, độ bằng phẳng của bề mặt truyền nhiệt và đồng đều về chiều dày. Khi lắp ráp lõi sắt, việc lắp hệ thống làm lạnh nước không khác gì lắp hệ thống thông gió hướng kính. Lực ép lõi trong quá trình lắp ráp có thể nâng cao lên để tăng hệ số ép chặt, không sợ hỏng cách điện cục bộ như trong hệ thống thông gió vì bộ làm lạnh nước là một tấm phẳng đồng nhất.

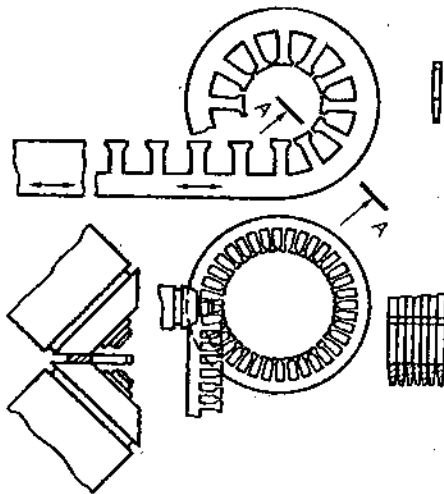
Tất cả các đầu vào và ra của hệ thống ống của các thép được đưa ra phía ngoài stato, từ đó chúng được nối với nhau thành một hệ thống thống nhất. Trong quá trình ghép lõi, ta có thể cấp vào hệ thống ống này hơi nóng hoặc nước nóng để giao nhiệt lõi sắt khi ép với mục đích tăng hệ số ép chặt lõi.

2.2.7. Xu hướng mới trong sản xuất lõi thép máy điện quay

Lõi thép chế tạo theo phương pháp dập thành lá tôn tròn có nhược điểm là hệ số sử dụng tôn thấp, trong thực tế chỉ bằng 0,5. Điều này có nghĩa là chỉ dùng được 50% tôn nguyên liệu còn lại là hao tổn, trong đó 25% hao tổn là do công nghệ (hao tổn ngoài).

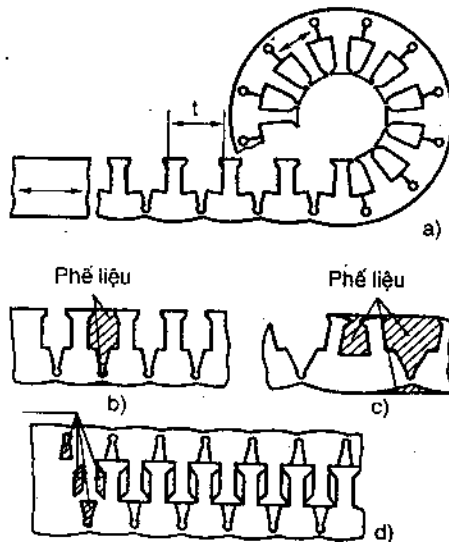
Động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc hiện chiếm trên 90% tổng số các loại động cơ. Tần số của dòng điện rôto rất thấp, chỉ khoảng 1 – 3Hz nên tổn hao sắt trong lõi thép rôto rất thấp. Vì vậy, thực ra lõi thép rôto có thể chế tạo bằng thép kết cấu để hạ giá thành nhưng khi chế tạo lõi thép stato bằng phương pháp dập như trên thì phần bên trong không được dùng để làm gì nên phải tận dụng để làm lõi thép rôto. Điều này làm tăng giá thành sản phẩm. Đặc biệt đối với các máy điện mà rôto là nam châm vĩnh cửu thì phần trong stato hoàn toàn bỏ đi, hệ số sử dụng tôn trở nên rất thấp (0,25). Để khắc phục tình trạng trên, nhiều hãng trên thế giới đã nghiên cứu chế tạo mạch từ stato bằng phương pháp uốn từ các băng tôn đã dập rãnh. Hình 2.33 mô tả công nghệ này.

Trên hình 2.33 băng tôn được uốn và cuộn lại một cách liên tục để tạo thành một lõi sắt stato. Nhược điểm của phương pháp này là phần tôn ở lưng stato bị biến dạng (phần ngoài bị dát mỏng, phần trong bị dòn dày lên). Để khắc phục hiện tượng này người ta dập các rãnh hình tam giác trên lưng stato như hình 2.34. Hình 2.35 mô tả sơ đồ uốn bằng tôn tạo thành một lõi thép có hình đa giác bằng cách cắt bỏ phần lưng lá tôn. Hình 2.36 mô tả một mạch từ được uốn đồng thời từ nhiều lá tôn (uốn cả một thép).

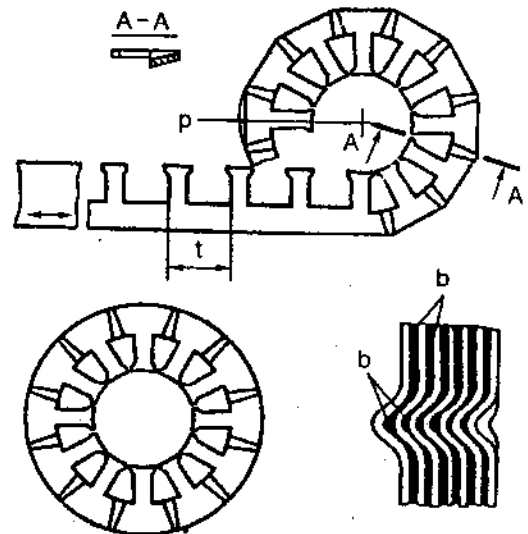


Hình 2.33. Sơ đồ uốn bằng tôn thành lõi thép stato

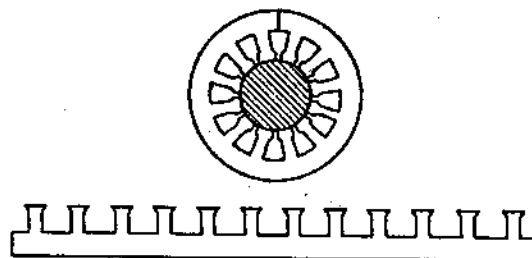
Mạch từ chế tạo theo phương pháp này có nhược điểm là độ khó tăng, thành rãnh không nhẵn phẳng do sai số khi uốn (mỗi rãnh phải có một ca líp) tôn bị biến dạng làm tăng tổn hao sắt trong lõi nên sau khi chế tạo xong phải ủ để phục hồi tính đàn hồi. Nhưng chế tạo theo phương pháp này hệ số sử dụng tôn rất cao, thậm chí có thể giảm được cả hao tổn tôn bên trong bằng cách dập đồng thời hai băng tôn lồng nhau như hình 2.34.



Hình 2.34. Chế tạo mạch từ bằng cách uốn bằng tôn đã dập rãnh



Hình 2.35. Uốn bằng tôn để tạo thành mạch từ hình đa giác



Hình 2.36. Uốn một thép tôn để tạo thành stato

2.3. CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO MẠCH TỪ PHẦN CẢM

2.3.1. Đại cương

Phần cảm trong máy điện một chiều là các cực từ được bố trí ở phần tĩnh. Trong máy điện đồng bộ phần cảm cũng là các cực từ và tùy theo điện áp, công suất của máy có thể bố trí trên rôto hoặc trên stato. Trong máy điện không đồng bộ lõi sắt rôto thực ra có thể chế tạo từ thép kết cấu vì tần số từ thông trong nó rất thấp $f_2 = sf_1 \approx 1 \div 3\text{Hz}$, song trong thực tế cũng được chế tạo như đối với lõi sắt của phần ứng, vì nếu không phần trong của lá tôn stato cũng phải bỏ đi.

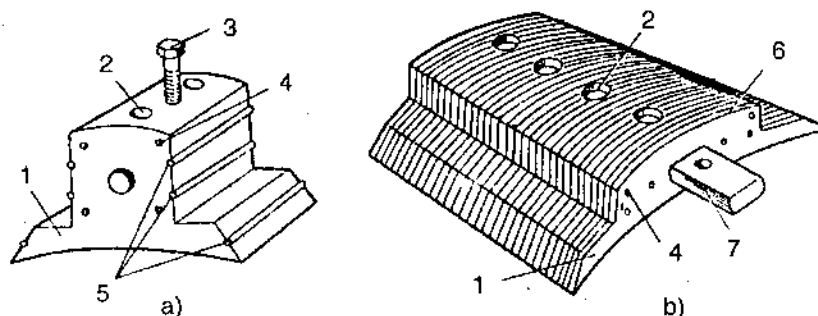
Mạch từ phần cảm của máy điện một chiều và máy đồng bộ dẫn từ thông một chiều cho nên thực ra không cần phải dùng tôn kỹ thuật điện và cũng không nhất thiết phải ghép bằng các lá mỏng. Tuy nhiên, vì lý do công nghệ mạch từ của chúng được ghép từ các lá thép nhưng là thép kết cấu (CT3 hoặc 1211) và không cần cách điện giữa chúng. Trong một số máy điện một chiều lớn, do ở phần môm cực có từ thông của phần ứng (là từ thông xoay chiều) khép mạch qua, nên phần cực từ thường được ghép bằng tôn silíc. Một lý do khác khiến người ta dùng công nghệ dập đối với cực từ máy điện một chiều là để các cực hoàn toàn giống nhau. Khe hở dưới các cực giống nhau sẽ cho từ trở và do đó từ thông giống nhau, sức điện động của các mạch nhánh sẽ bằng nhau và sẽ không có dòng cân bằng chảy giữa các mạch nhánh song song.

Đối với máy điện đồng bộ có hệ thống cực từ quay, dưới các cực đều có mặt cả ba pha và số mạch nhánh song song của các pha dưới các cực như nhau nên không có vấn đề dòng cân bằng nhưng lại có yêu cầu rất cao về cân bằng cơ khí nên các cực cũng thường được chế tạo từ các lá thép dập ghép lại.

Trong máy phát tua bin hơi, do tốc độ quay nhanh và yêu cầu về cường độ cơ khí của rôto rất cao nên mạch từ của nó (phần cảm) được chế tạo từ thép đúc và rèn. Trình độ công nghệ chế tạo mạch từ của phần cảm ảnh hưởng trước hết đến tính năng của máy và sau đó đến độ bền vững về cơ học của máy điện.

2.3.2. Chế tạo mạch từ phần cảm của máy điện một chiều

Cực từ của máy điện một chiều được chế tạo bằng cách ghép các lá tôn dày từ 0,5 đến 2mm. Các lá tôn được dập, còn việc ép chúng thường dùng phương pháp hàn, dùng đinh tán hoặc bulông. Số lượng đinh tán thông thường là 4, đối với máy tương đối lớn có thể tới 6 hoặc 8. Việc ghép cực từ chính với vỏ (gông từ) được thực hiện bằng bulông kéo từ phía ngoài vỏ. Theo chiều dài cực từ có thể bố trí hai hoặc ba bulông như vậy. Lỗ ren để bắt các bulông này có thể thực hiện trực tiếp trên thân cực đã ép. Trong các máy lớn, ở giữa cực từ theo hướng dọc trục người ta bố trí một thanh thép (nằm trong lỗ dập) và bulông bắt vào các lỗ trên đó (hình 2.37).



Hình 2.37. Các kiểu ghép cực từ máy điện một chiều với vỏ

1. Lá tôn cực; 2. Lỗ bắt bulông; 3. Bulông; 4. Đinh tán; 5. Đường hàn; 6. Lá tôn biên; 7. Thanh thép

Như vậy công nghệ chế tạo cực từ của máy một chiều rất đơn giản, ngoài công đoạn đập và ghép lõi không cần phải gia công cơ thêm bước nào nữa. Để điều chỉnh khe hở giữa cực từ và phần ứng khi lắp cực từ với vỏ người ta lót giữa chúng các tấm đệm.

Đối với các máy điện một chiều công suất nhỏ (được 1kW) cực từ chính được đập liền với gông từ. Cực từ phụ chỉ có trong các máy điện công suất vừa và lớn. Thường cực từ phụ được chế tạo từ thép đúc hoặc cũng có thể đập và ghép như cực chính (đối với máy lớn). Liên kết giữa cực từ phụ với vỏ cũng được thực hiện bằng bulông như đối với cực từ chính.

2.3.3. Chế tạo mạch từ phần cảm của máy đồng bộ cực lõi

Máy đồng bộ cực lõi chủ yếu được dùng làm máy phát điện có công suất từ hàng trăm W đến hàng trăm ngàn kW. Trong phạm vi công suất đến 100kW và điện áp 400V thì có thể bố trí phần cảm trên rôto hoặc trên stato. Xét về khía cạnh công nghệ, nếu để phần cảm ở stato thì việc lấy điện ra từ phần quay phức tạp hơn: Cần 4 vành trượt (đối với máy 3 pha) và nếu điện áp cao thì việc lấy điện ra bằng chổi tiếp xúc là rất khó khăn. Mặt khác, vỏ máy phải là mạch từ đối với từ thông kích thích. Ưu điểm của loại này là mạch từ phân ứng tròn đều và có độ bền cơ học cao hơn. Hệ thống cực từ quay rất khó đạt được sự cân bằng và do có mối nối giữa cực và rôto nên độ bền cơ rất kém, đặc biệt đối với tốc độ cao. Ưu điểm của kiểu này là việc đưa dòng kích từ vào rôto chỉ cần 2 vành trượt, thậm chí có thể thiết kế theo kiểu kích từ không tiếp xúc (máy phát kích xoay chiều có phần ứng quay, chỉnh lưu quay lắp ngay trên đầu trục). Trong thực tế, hiện nay rất ít thấy các máy phát điện có phần ứng quay vì phải lấy điện ra bằng vành trượt. Đối với máy đồng bộ công suất vừa và lớn, điện áp cao, tốc độ thấp thì phần cảm luôn luôn ở phía rôto.

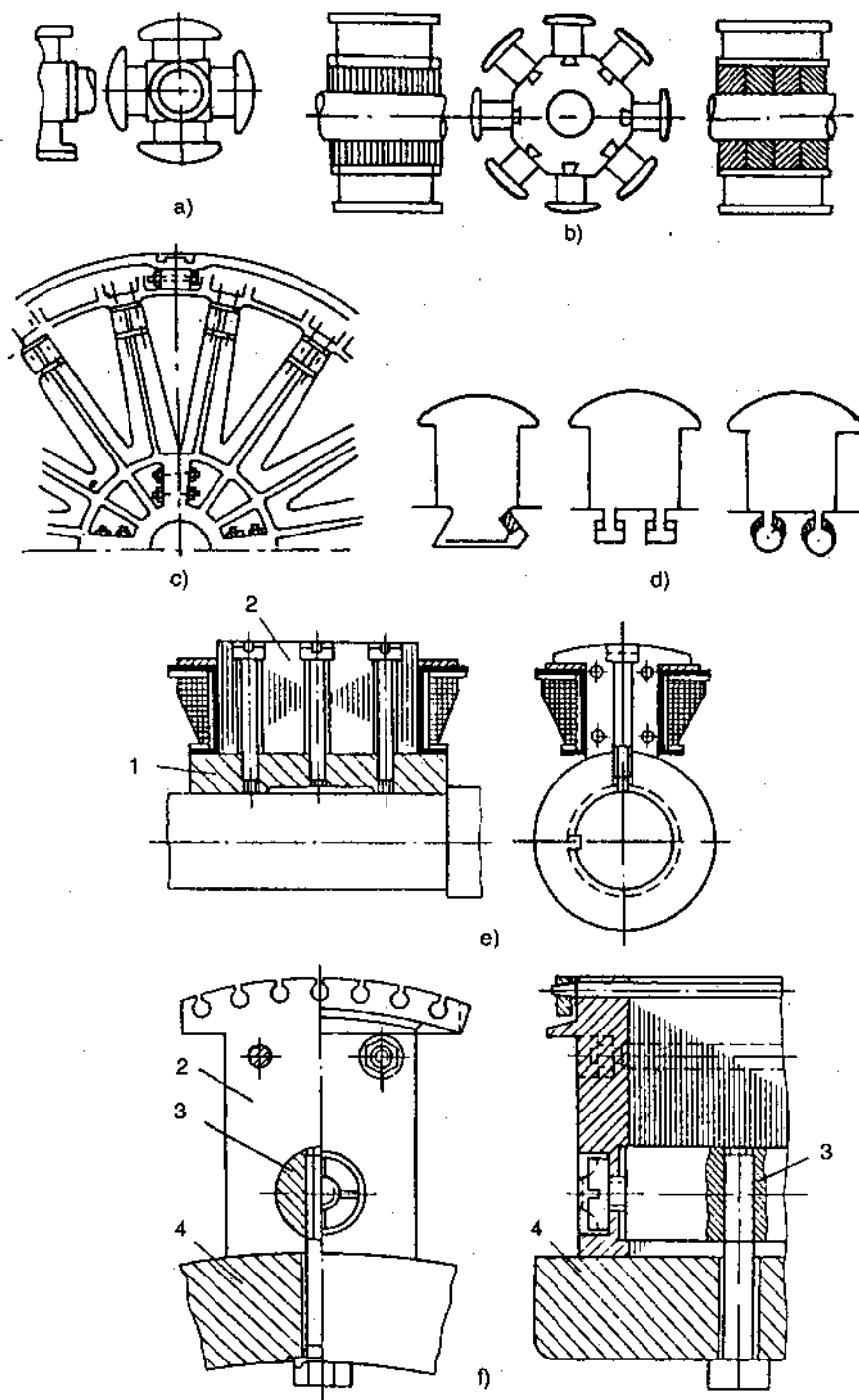
Khi phần cảm ở phía stato thì mạch từ của nó không khác gì mạch từ của máy điện một chiều. Do đó, ở đây ta chỉ xét trường hợp phần cảm nằm trên rôto (hệ thống cực từ quay).

Hệ thống cực từ quay có thể làm theo nhiều kiểu kết cấu khác nhau.

Đối với các máy công suất nhỏ, tốc độ cao (thường thiết kế cho động cơ sơ cấp chạy xăng, tốc độ đến 3000v/ph, công suất đến 10kW, một pha hoặc 3 pha) máy được thiết kế một đôi cực. Trong trường hợp này, rôto có 2 cực được ghép từ các lá tôn (tôn thường CT3) dày từ 1 ÷ 2mm. Mỏm cực liền với thân cực nên dây quấn kích từ phải quấn trực tiếp lên cực từ. Cách điện giữa dây quấn kích từ và cực là một khung nhựa được ép trực tiếp lên thân cực.

Với cỡ công suất trên, cũng có thể dùng thép khối (bằng cách đúc) nhưng phần mỏm cực rời, sau khi đặt cuộn dây vào thân cực mới bắt bulông mỏm cực vào sau. Trong trường hợp này trục làm rời, ép vào sau hoặc bắt bulông mặt bích. Phần mỏm cực có thể làm bằng thép khối hoặc ghép các lá tôn lại với nhau.

Đối với cỡ công suất lớn hơn (đến hàng chục kW) người ta chế tạo phần gông từ riêng bằng các tấm thép hình đa giác, trên đó có rãnh hình đuôi nhạn để lắp cực từ. Phần cực từ được chế tạo riêng bằng cách ghép từng lá tôn lại, như đối với cực từ máy một chiều. Phần đuôi cực có dạng đuôi nhạn hoặc dạng khác (hình 2.38) để lắp gông từ.



Hình 2.38. Các kiểu ghép cực từ máy phát điện đồng bộ

a) Rôto liền khối; b) Ghép cực lên gông từ rời; c) Giá đỡ cực kiểu nan hoa;
 d) Ghép cực bằng bulông từ ngoài vào; e) Ghép cực bằng bulông từ trong ra; f) Các kiểu đuôi cực

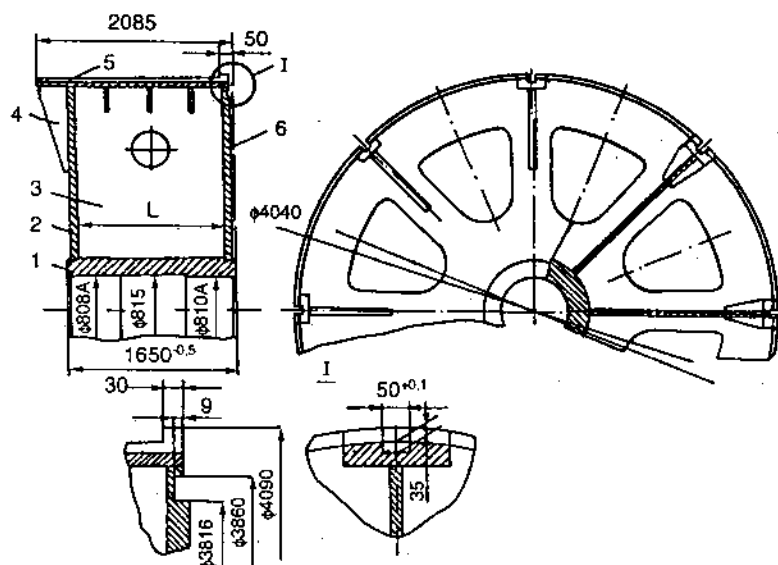
Đối với cỡ công suất lớn hơn nữa (hàng trăm đến hàng nghìn kW) phần gông từ được gắn trên giá đỡ kiểu nan hoa. Phần giá đỡ có thể bằng gang đúc, thép đúc hoặc

thép tấm hàn lại, có thể liền khối hoặc chia ra từng phần và liên kết với nhau bằng bulông. Cực từ được chế tạo riêng và ghép kiểu đuôi nhạn với gông từ, bắt bulông từ ngoài vào hoặc từ trong ra. Khi rôto quay lực ly tâm do cực từ và dây quấn kích thích gây nên có tác dụng kéo căng gông từ, đồng thời còn tạo ra lực uốn do số cực từ thường khác với số nan hoa.

Giá đỡ cực của rôto máy phát thủy điện có 3 loại chính:

a) Giá đỡ cực kiểu tang trống

Trên hình 2.39 dẫn ra một kiểu giá đỡ cực với kết cấu hàn gồm ống lót 1, các đĩa 2 và 6, các gân 3, các tấm ke 4 và các thanh đỡ 5. Vành gông rôto được ghép từ các mảnh riêng biệt. Kết cấu kiểu này cũng có thể thực hiện bằng cách đúc thép nhưng gân dầy ít dùng.

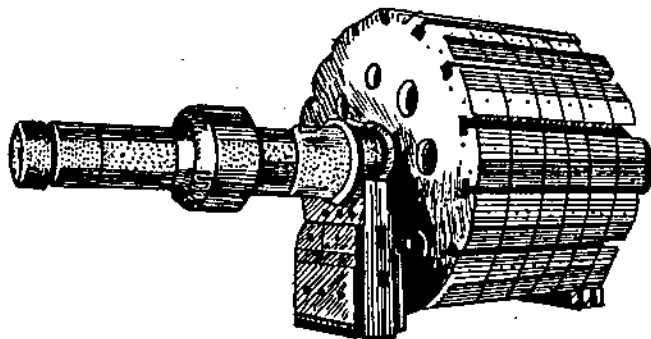


Hình 2.39. Giá đỡ cực kiểu tang trống

Các đĩa 2 và 6 ở hai đầu được cắt từ thép tấm, trên đường kính trong (để ghép với ống lót), sau đó đặt chồng 2 đĩa lên nhau để lấy dấu gia công các rãnh đặt các thanh đỡ 5. Quá trình ghép để hàn các chi tiết trên như sau: đầu tiên đặt đĩa 6 lên mặt phẳng ngang, đặt ống lót 1, theo dấu đặt các gân hướng kính 3 (đặt đến đầu hàn dính đến đó), đặt tiếp đĩa trên 2 sao cho các lỗ đặt thanh đỡ 5 tương ứng (không được chéo), kiểm tra ở 4 điểm đối xứng qua đường kính. Sau khi hàn dính đĩa trên 2 với ống lót 1 và các gân 3 ta đặt và hàn dính các thanh đỡ 5. Kiểm tra lại vị trí của tất cả các chi tiết trước khi hàn cố định. Khi hàn cố định người ta bắt đầu hàn các gân với ống lót và thanh đỡ với các gân hướng kính. Công đoạn này hàn tay. Sau đó hàn các gân với các đĩa bằng máy hàn bán tự động. Chú ý, khi hàn nên hàn đồng thời các chi tiết đối xứng qua tâm. Khi hàn các thanh đỡ với các đĩa trên và dưới nên hàn từng thanh một, tránh đốt nóng cục bộ lớn gây biến dạng (cong, vênh) các đĩa. Những phần việc còn lại là tiện ngoài (để chuẩn bề mặt các thanh đỡ), tiện trong, tiện khoả 2 đầu (xén mặt mút), phay các rãnh trên thanh đỡ được tiến hành trên máy tiện đứng chuyên dụng. Việc khoan các lỗ trên đĩa dưới để bắt các tấm xecmăng hãm được thực hiện trên máy khoan hướng tâm.

b) Giá đỡ cực kiểu đĩa

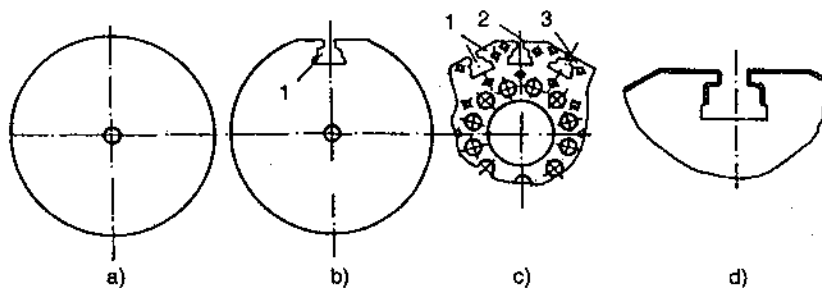
Loại giá đỡ này được ghép từ nhiều đĩa, các đĩa xếp thành các thép (hình 2.40) và được liên kết với nhau bằng các ti dọc trục (bulông hoặc tán) xuyên suốt chiều dài giá đỡ. Với kết cấu như thế khó khăn nhất là chế tạo các đĩa riêng rẽ với độ chính xác cao để khi ghép lại các lỗ trên chúng phải trùng khít. Quá trình công nghệ chế tạo các đĩa như sau:



Hình 2.40. Giá đỡ cực kiểu đĩa

– Cắt phôi: Dùng máy cắt hơi cắt phôi theo đường biên của đĩa. Nếu tấm thép không đủ chiều rộng thì có thể hàn thêm cho đủ rồi cắt.

– Trên đĩa đã cắt rời khoan một lỗ tâm nhỏ (hình 2.41) rồi đặt nó lên một bàn xoay chia độ, dùng máy cắt hơi cắt các lỗ chữ T (để lắp cực từ có hình đuôi nhọn) theo một cái dưỡng đặc biệt. Lỗ chữ T đầu tiên cần được đánh dấu (bằng một vết sơn chẳng hạn) để sau này ghép các đĩa theo đúng vị trí này sẽ tránh được sự lệch do sai số. Chú ý các lỗ cắt bằng máy cắt hơi phải để lượng dư để gia công tiếp.



Hình 2.41. Trình tự gia công đĩa

– Cắt tiếp lỗ tâm (để lắp trục), các lỗ thông gió dọc trục (nếu có) và các lỗ để xuyên ti ép. Để tránh sai số người ta lấy dấu các lỗ bằng khuôn (dưỡng) lấy dấu theo cách sau: đánh số các đĩa theo số thứ tự 1, 2, 3 v. v... Khuôn để lấy dấu được sơn 2 mặt với 2 màu khác nhau, chẳng hạn trắng và đỏ. Khi lấy dấu các đĩa số lẻ thì người ta đặt khuôn có màu trắng lên trên, còn khi lấy dấu các đĩa chẵn thì đặt khuôn có màu đỏ lên trên. Như vậy 2 tấm (đĩa) cạnh nhau các lỗ sẽ trùng nhau hoàn toàn. Khuôn được định vị theo các rãnh chữ T.

– Sau khi cắt xong các lỗ trên các đĩa thì ghép các đĩa với nhau theo thứ tự đã đánh số, ép chặt bằng các ti dọc rồi chuyển đi gia công cơ tiếp. Các nguyên công gia công cơ tiếp theo là:

xén mặt mút và tiện lỗ lắp trục (trên máy tiện đứng); dọc rãnh then; ép nóng các đĩa đã ghép vào trục; gia công lần cuối bề mặt ngoài và các lỗ chữ T (phay) ở trạng thái nằm ngang.

Khi công suất máy lớn và phương tiện vận chuyển, nâng hạ đến nơi sử dụng không đủ lớn, sau khi gia công xong người ta tháo rời các đĩa và trục, đến nơi đặt máy sẽ lắp lại. Trong trường hợp này, các bước gia công hoàn thiện các đĩa được tiến hành trên một trục mẫu đặc biệt (trục công nghệ) mà không lắp lên trục chính.

c) Giá đỡ cực kiểu nan hoa

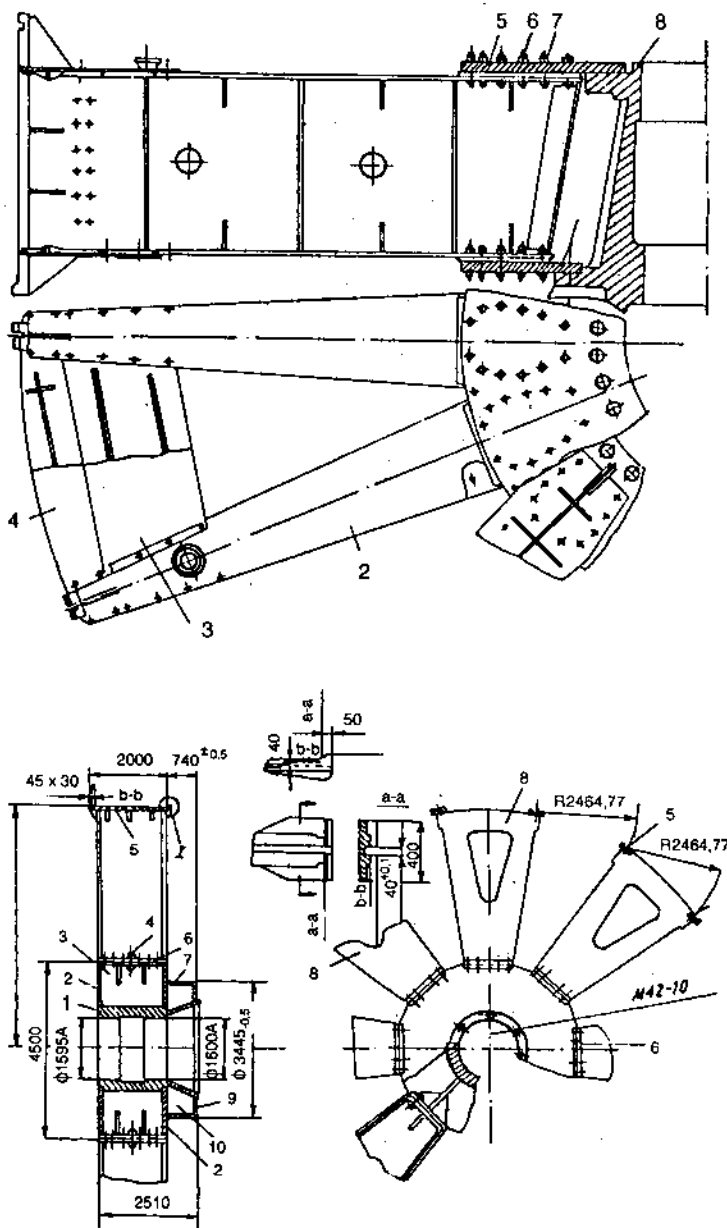
Giá đỡ kiểu nan hoa có 2 loại. Loại thứ nhất, nan hoa cố định với các đĩa, còn các đĩa thì cố định với ống lót (hình 2.42). Loại thứ hai, nan hoa được nối với phần tâm bằng các tấm nối.

Giá đỡ nan hoa gồm có ống lót 1, các đĩa 2 và các nan hoa 8 (hình 2.42). Các ống lót thường đúc bằng thép, là một chi tiết có kích thước và khối lượng gia công cơ khí lớn. Gần đây người ta đã thay công nghệ đúc bằng hàn và đã giảm được 20% vật liệu và 40% giá thành.

Các loại giá đỡ cực trên hoàn toàn có thể áp dụng cho các loại máy lớn khác, không chỉ dành riêng cho máy phát điện đồng bộ cực lớn.

Công nghệ chế tạo lõi cực của các máy phát thủy điện lớn về cơ bản không khác cực của máy một chiều. Các lá tôn để ghép cực được dập từ tôn silic hàm lượng thấp hoặc thép các bon thấp, dày từ 1 ÷ 2mm. Ép các lá tôn để thành cực từ cũng dùng bulông xuyên qua các lỗ dập trên chúng. Điều cần nói ở đây là công nghệ chế tạo các tấm ép ở hai đầu cực (má cực).

Má cực có thể được chế tạo bằng phương pháp đúc, cắt từ thép tấm ra hoặc rèn. Vật liệu để làm má cực là thép loại 35n ÷ 111 có thành phần hoá học như sau: 0,32 ÷ 0,4%; 0,4 ÷ 0,9% Mn; 0,2 ÷ 0,42% Si.



Hình 2.42. Giá đỡ kiểu nan hoa

Bất kể chế tạo bằng cách nào cũng phải đảm bảo các chỉ tiêu về cơ khí. Nếu đúc sau khi ủ, má cực cần có các chỉ tiêu sau:

- Giới hạn chảy $\sigma_c \geq 2800 \text{ kG/cm}^2$
- Giới hạn bền khi kéo $\sigma_b \geq 5000 \text{ kG/cm}^2$
- Độ dãn dài tương đối $\sigma \geq 15\%$.
- Độ co ngót (khi đúc) $\varphi \geq 25\%$
- Độ dai va đập $a_k \geq 35 \text{ J/cm}^2$
- Độ cứng $\text{HB} = 137 \div 160$.

Má cực đúc phải để lượng dư gia công trên tất cả các mặt từ 7,5 đến 15mm. Đối với máy chạy chậm kinh tế hơn cả là tạo phôi má cực bằng cách cắt (cắt hơi) từ thép tấm. Lượng dư gia công trên đường viền (mép cắt) khoảng $4 \div 6 \text{ mm}$.

Má cực của các máy cực lớn thường được tạo phôi bằng cách rèn tự do hoặc đập nóng.

Tất cả các cực sau khi gia công thô xong phải được thử nghiệm về độ bền vật liệu. Các cực phải có tính lắp lẫn.

2.3.4. Chế tạo mạch từ phần cảm của máy phát điện cực ẩn

Ta đã biết máy phát điện cực ẩn chỉ được cấu tạo cho máy chạy tua bin hơi tốc độ cao ($p = 1$ hoặc có lúc $p = 2$). Rôto cực ẩn là một cụm chi tiết có kích thước và trọng lượng lớn, chẳng hạn rôto của một máy phát 2 cực công suất 1000 – 1200MW nặng tới 100 tấn, còn đối với máy 4 cực nặng tới 150 tấn. Công suất của máy phát tua bin hơi bị hạn chế do lực ly tâm làm tăng ứng suất trong vật liệu rôto và việc làm mát nó. Vì vậy, việc tiếp tục tăng công suất máy chỉ có thể khi thay đổi về mặt nguyên lý kết cấu và phương pháp làm mát mới.

Trong tương lai không xa, dự kiến sản xuất những máy phát chạy tua bin hơi với công suất tới $2000 \div 2500 \text{ MW}$. Những máy phát siêu lớn đó còn phải chờ đợi những thành tựu về vật liệu, luyện kim, hoá học, cơ khí v.v...

Trục và mạch từ của máy phát tua bin hơi thường được chế tạo liền với nhau và cùng loại vật liệu là thép rèn hợp kim cao liên khối mã hiệu 36XHMφA, 36XHMA, 36XH1MH v.v... Để đúc phôi, các nhà máy luyện kim cần phải có khả năng đúc rót một khối lượng lớn và nhiệt luyện nó. Hiện nay, một số nhà máy luyện kim của Nga đã có thể đúc được những phôi rôto lớn khối lượng đạt tới $100 \div 230$ tấn (rôto máy phát 1200MW). Thép được nấu chảy trong các lò điện. Cái khó trong khâu đúc này là các lò phải đồng thời đạt chất lượng thép nấu chảy theo tiêu chuẩn. Nếu khối lượng phôi cao hơn 20 tấn thì phải được đúc rót trong chân không. Phôi sau khi đúc xong được ủ trong lò có gia nhiệt để đảm bảo quá trình kết tinh kim loại xảy ra từ từ. Phôi được chuyển sang nguyên công rèn tự do. Chôn, dẫn, ép, vỗ với mục đích làm cho thép trở nên đồng nhất.

Nếu phôi nguội quá nhanh sẽ tạo ra ứng suất dư ở lớp ngoài. Để tránh hiện tượng này chế độ gia nhiệt và rèn phải tuân theo một quy trình nghiêm ngặt.

Tuỳ theo tính chất và loại thép, phôi sau khi gia công cơ sơ bộ được ủ (thường hoá

hoặc tôi trong dầu). Phôi được khoan và tiện để lấy đi phần ruột của nó với mục đích nghiên cứu phần kim loại ở đó (hàm lượng hợp kim, độ đồng nhất, khuyết tật) do đúc. Nhờ một ống quang học đặc biệt cho phép kiểm tra lỗ tâm bằng quan sát bề mặt lỗ và đo được đường kính lỗ ở các tiết diện khác nhau. Sau các nguyên công trên, phôi phải đạt được các tính chất sau: độ bền cơ cao nhưng phải đảm bảo độ bền dẻo ở bất kỳ chỗ nào của trục, độ bền mài cao, ít nhạy cảm với ứng suất tập trung, ít có khả năng dòn cục bộ, ứng suất dư nhỏ nhất, không có khuyết tật bên ngoài cũng như bên trong, có độ dẫn từ cao.

Phôi trục được chế tạo tại các nhà máy luyện kim cho đến nguyên công tiện ngoài thô, tiện tinh lỗ trục. Lượng dư gia công để $20 \div 25\text{mm}$ trên mỗi kích thước. Sau đó phôi được chuyển đến nhà máy chế tạo máy điện cùng với hồ sơ kỹ thuật, trong đó ghi rõ các bước gia công cơ, nhiệt luyện, kết quả các thí nghiệm thành phần hoá học và các thí nghiệm về các tính chất cơ khí.

Đến nhà máy chế tạo máy điện, nguyên công đầu tiên là cắt 2 vành ở hai đầu khoảng cực để thí nghiệm về các tính chất cơ học.

2.4. CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO MẠCH TỪ MÁY BIẾN ÁP

2.4.1. Đại cương về công nghệ chế tạo máy biến áp và mạch từ của máy biến áp

Máy biến áp là một thiết bị điện tĩnh có chức năng biến đổi điện áp dùng để truyền tải, phân phối điện năng và tạo nguồn cho các phụ tải đặc biệt.

Chỉ tính riêng trong khu vực truyền tải và phân phối điện năng, một kVA máy phát điện cần khoảng 8 kVA máy biến áp (MBA).

Trong khu vực MBA đặc biệt ta thấy có nhiều loại MBA khác nhau: MBA lò trong luyện kim, MBA chính lưu trong kỹ thuật điện – hoá học và giao thông vận tải đô thị, máy hàn, cuộn kháng, các MBA điều khiển v.v...

Với một số lượng MBA như vậy, việc hoàn thiện công nghệ chế tạo để đạt được các chỉ tiêu kinh tế, kỹ thuật cao là điều hết sức có ý nghĩa. Tính kinh tế trong việc chế tạo MBA có hai khía cạnh: kinh tế trong chế tạo và kinh tế trong vận hành. Kinh tế trong chế tạo là giá thành, còn kinh tế trong vận hành là $\cos \phi$, hiệu suất, thời hạn phục vụ. Thông thường các chỉ tiêu kinh tế này khó đạt được đồng thời, chỉ khi nào có được một sự chỉ đạo tổng thể dựa trên điều kiện thực tế mới có thể tìm được điểm cực đại của tính hiệu quả trong chế tạo MBA.

Do tính đa dạng về chủng loại, kích cỡ của MBA nên công nghệ chế tạo MBA cũng gặp rất nhiều khó khăn trong việc đầu tư thiết bị sản xuất.

Trong phạm vi dây MBA công suất đến 7500kVA có thể coi là sản xuất khối, còn các máy công suất lớn hơn, điện áp đến 110kV sản xuất thường là đơn chiếc. Thiết bị công nghệ đối với các máy lớn, điện áp cao thường rất đắt nên gặp khó khăn nhiều trong vấn đề đầu tư. Các thiết bị công nghệ dùng để chế tạo MBA thuộc loại chuyên dụng và đặc biệt khó tự động hoá.

Ở nước ta hiện nay vấn đề cấp bách là cung cấp một lượng MBA khá lớn với chất lượng cao (đạt chất lượng quốc tế) để dần dần cải tạo toàn bộ các lưới điện cũ có chất lượng thấp. Nhiều công ty trong nước cũng đang đầu tư thiết bị máy móc hiện đại để cạnh tranh với các liên doanh hoặc các công ty 100% vốn nước ngoài đang hoạt động tại Việt Nam.

Xu hướng phát triển công nghệ chế tạo MBA ở nước ta là tăng cường đầu tư thiết bị công nghệ để nâng cao các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật, hạ giá thành sản phẩm và tăng độ tin cậy của MBA trong vận hành. Vật liệu để chế tạo MBA chủ yếu là vật liệu tác dụng đất tiền nên việc sử dụng hợp lý chúng rất quan trọng trong việc hạ giá thành sản phẩm. Vật liệu tốt, công nghệ hiện đại cho phép giảm khoảng cách cách điện, từ đó sẽ giảm trọng lượng và giá thành.

Một trong những yêu cầu đối với công nghệ chế tạo máy biến áp là đảm bảo chắc chắn về kết cấu. Yêu cầu này rất khó thực hiện vì vật liệu chế tạo ruột máy có cơ tính kém (đồng, cách điện giấy, gỗ) lại được ghép từ các mảnh nhỏ và mỏng (tôn silic, vòng dây) mà không được ép quá chặt.

Mạch từ MBA có hai nhiệm vụ chính: dẫn từ và đồng thời là cái khung để làm chỗ tựa cho các cuộn dây. Mạch từ cũng có các yêu cầu kỹ thuật tương ứng: phải dẫn từ tốt, có tổn hao sắt nhỏ nhất, công suất từ hoá nhỏ nhất, có kết cấu chắc chắn đảm bảo khi nâng hạ, vận chuyển không làm thay đổi các khoảng cách cách điện. Mạch từ của MBA nằm ở bên trong, nếu mạch từ tốt có thể thu nhỏ nó, do đó cuộn dây sẽ nhỏ hơn (lượng đồng giảm), vỏ máy cũng vì thế mà nhỏ hơn (lượng dầu giảm), giá thành của máy vì thế sẽ giảm theo. Trình độ công nghệ chế tạo mạch từ đóng một vai trò quan trọng trong việc làm giảm kích thước mạch từ và có ý nghĩa quan trọng trong việc giảm giá thành của máy.

Máy biến áp trong hệ thống truyền tải điện thường được thiết kế với công suất trên một máy rất lớn, có thể đến hàng trăm ngàn kVA. Kích thước của MBA cũng như máy điện nói chung tăng chậm hơn so với công suất. Vì vậy đối với máy lớn cần phải có hiệu suất rất cao. Như đã phân tích ở trên, tôn silic rất nhạy cảm với những tác động cơ khí nên nhiệm vụ của công nghệ chế tạo mạch từ là nghiên cứu các biện pháp để giữ được các thông số ban đầu của tôn silic (tổn hao riêng, độ thấm từ...) trong quá trình gia công cơ khí, nghiên cứu quy trình và thiết bị công nghệ đảm bảo độ chính xác gia công cao với một năng suất lao động hợp lý sao cho đáp ứng được các chỉ tiêu thiết kế (P_0 , P_n , i_n , u_n ...), hạ giá thành MBA và tăng độ tin cậy của nó. Vì những lý do trên công nghệ chế tạo mạch từ là một trong hai nhiệm vụ quan trọng nhất đảm bảo tính năng và chất lượng của MBA.

2.4.2. Kết cấu mạch từ máy biến áp

Mạch từ của MBA có nhiều kiểu khác nhau, mỗi kiểu có ưu, nhược điểm và tính chất công nghệ riêng của nó. Sau đây chúng ta sẽ chỉ phân tích các kiểu mạch từ về phương diện công nghệ và những ảnh hưởng của công nghệ chế tạo đến các thông số kỹ thuật của máy biến áp.

1. Các kiểu ghép để tạo thành mạch từ ba pha ba trụ trong mặt phẳng

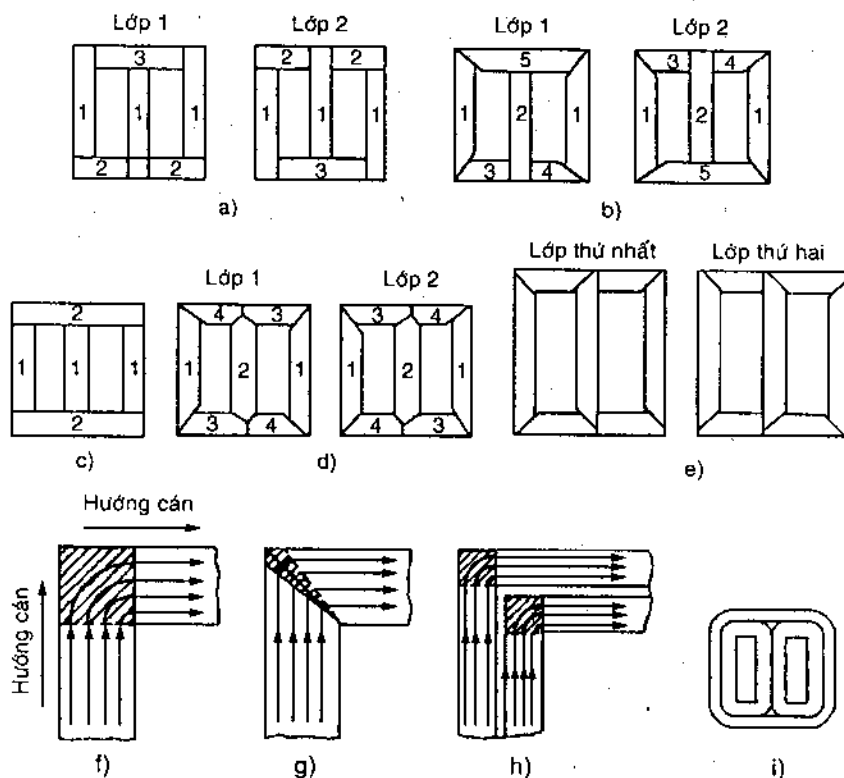
Như đã biết, mạch từ của MBA được ghép từ nhiều lá thép kỹ thuật điện. Các lá thép này có kích thước khác nhau sao cho tiết diện của trụ và gông có dạng gần với hình tròn. Hình 2.43 trình bày một số phương án ghép tôn để được một mạch từ 3 pha ba trụ trong mặt phẳng. Hình 2.42a chỉ ra cách ghép theo phương pháp cổ điển và áp dụng cho tôn

silic cán nóng có cấu trúc dẫn từ đẳng hướng. Cách ghép này đơn giản trong công nghệ chế tạo các lá tôn cũng như ghép các lá tôn thành mạch từ. Nhưng nhược điểm của nó là nếu áp dụng cho tôn cán nguội sẽ không có lợi vì ở các góc của mạch từ từ thông đi ngang chiều cán có từ trở lớn.

Trên hình 2.43b, d, e trình bày cách ghép chéo góc. Theo kiểu này, các lá tôn phải cắt chéo một góc nhất định. Ưu điểm của loại ghép này là từ thông hầu như đi theo chiều cán hoàn toàn. Nhược điểm là đầu tư thiết bị công nghệ lớn, dễ gây sai số góc làm tăng từ trở của mạch từ; về kết cấu do phần gối lên nhau giữa các lớp tôn không nhiều nên không đảm bảo chắc chắn bằng kiểu trên.

Hình 2.43c trình bày kiểu ghép rời các trụ và gông. Kiểu này các lá tôn trụ được ghép hướng tâm, phải cơ khí hoá cao. Các lá tôn gông ghép phẳng bình thường. Ghép mạch từ kiểu này việc lắp ráp ruột máy và mạch từ đơn giản và nhanh, thuận lợi trong sửa chữa.

Hình 2.43f, g, h cho thấy hướng cán và hướng từ thông đi trong lõi sắt, khi nối thẳng phần từ thông đi vuông góc với hướng cán nhiều nhất.



Hình 2.43. Các kiểu ghép mạch từ 3 pha 3 trụ trong mặt phẳng

Mạch từ ghép từ các lá tôn như trên có nhược điểm là năng suất thấp do khâu ghép khó tự động hoá và quá nhiều mối ghép làm tăng công suất từ hoá dẫn đến làm tăng dòng điện không tải. Để khắc phục nhược điểm này một số hãng chọn kiểu ghép trực tiếp các lá tôn đã uốn thành hình chữ nhật vào các cuộn dây. Kiểu ghép này có ưu điểm là rất ít mối ghép, từ thông luôn đi theo chiều cán nhưng yêu cầu các lá tôn phải có kích thước khác nhau (do các lá tôn ôm nhau) nên chỉ thực hiện được khi cắt tôn trên các

máy cắt tôn CNC. Mặt khác, việc uốn tôn thành hình chữ nhật khép kín phải thực hiện trên máy và không tránh khỏi làm biến tính tôn tại các góc uốn. Hình 2.42i minh họa kiểu ghép này, trụ giữa được tạo thành bởi hai cạnh của hai hình chữ nhật bên trong, hai trụ bên được tạo bởi một nửa của mỗi hình chữ nhật đó và nửa còn lại do hình chữ nhật bao bên ngoài. Tiết diện của trụ cũng có hình bậc nhưng thường có số bậc ít. Kiểu này chỉ dùng cho các MBA phân phối có công suất không lớn.

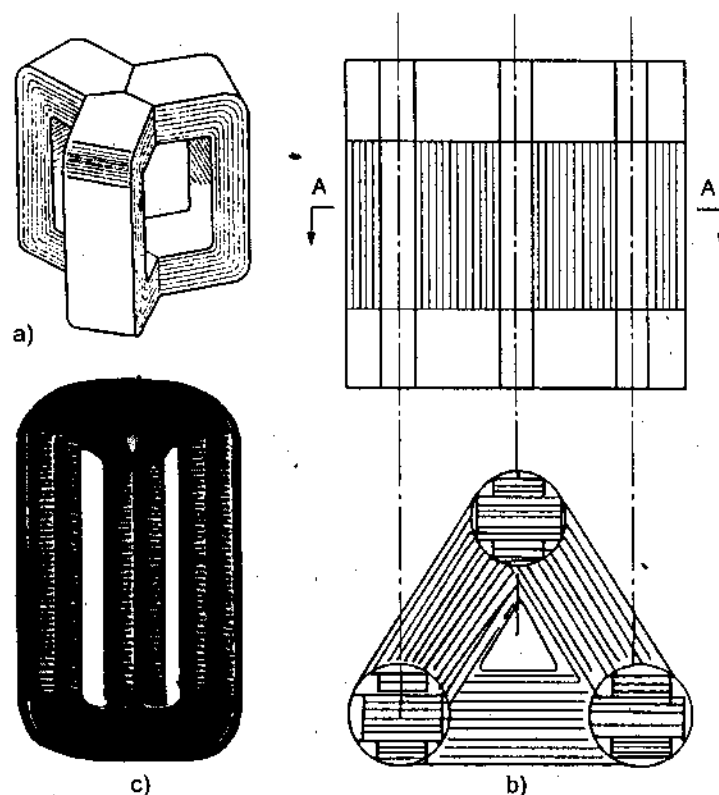
2. Các kiểu ghép tạo thành mạch từ ba pha ba trụ trong không gian

Để tạo điều kiện cơ khí hoá và tự động hoá nhằm nâng cao năng suất trong các nguyên công cắt tôn, ghép mạch từ và tổng lắp ráp ruột máy một số hãng thiết kế mạch từ kiểu ba trụ trong không gian. Mạch từ không gian có ba loại bao gồm hai loại ghép kiểu tam giác và một loại ghép hình sao.

Theo kiểu ghép hình sao (h.2.44a) các lá tôn có kích thước khác nhau được ghép thành hình chữ C, ba trụ hình chữ C chụm vào nhau lệch nhau một góc 120° trong không gian. Dây quấn được quấn trực tiếp lên lõi bằng máy quấn đặc biệt.

Kiểu ghép mạch từ hình tam giác trong không gian có thể thực hiện theo hai cách. Cách thứ nhất người ta làm ba trụ (tiết diện nhiều bậc nội tiếp hình tròn) và hai gông (hình tam giác quấn từ tôn cuộn) rời nhau. Từ thông khi đi từ trụ vào gông không theo các lá tôn tương ứng song song mà giao nhau nên mạch từ không bị kêu và ồn (hình 2.44b).

Cách ghép mạch từ tam giác kiểu thứ hai là dùng ba mạch từ một pha hình ovan ghép lại. Việc quấn dây lên trụ được thực hiện trực tiếp bằng máy quấn dây đặc biệt.



Hình 2.44. Các kiểu ghép để tạo thành mạch từ ba pha ba trụ trong không gian

2.4.3. Các kiểu cố định mạch từ MBA

Sau khi ghép các lá tôn thành mạch từ cần phải có biện pháp cố định lại để tạo thành một khối vững chắc. Sau đây giới thiệu một số phương pháp cố định mạch từ truyền thống.

1. Cố định mạch từ bằng bulông

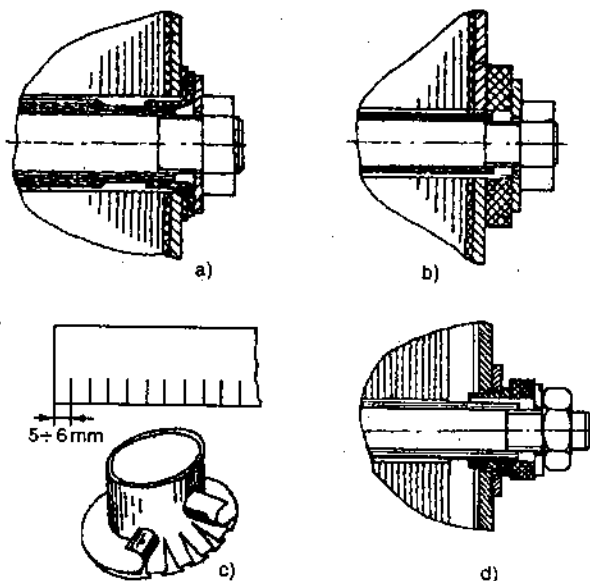
Theo phương pháp này các lá tôn cần đột lỗ để sau khi ghép lõi sắt có các lỗ bắt bulông xuyên qua. Tùy theo kích thước mạch từ số bulông trên trụ và gông có thể ít, nhiều, một dãy hay hai dãy. Dùng bulông để cố định mạch từ phải đảm bảo bulông không làm ngắn mạch các lá tôn, tức là phải cách điện giữa bulông với lõi sắt. Hình 2.45 trình bày kết cấu của cụm bulông ép trụ và gông.

2. Cố định mạch từ MBA bằng đai

Theo phương pháp này lá tôn dùng để ghép mạch từ không cần đột lỗ. Mạch từ sau khi ghép xong được đai chặt bằng đai thép hoặc đai sợi thủy tinh. Hình 2.46 trình bày các phương pháp ép gông bằng đai thép theo kiểu 2 nửa đai (a) và ép gông bằng xà ép gông (b). Hình 2.47 trình bày các phương pháp ép trụ, trong đó có ép trụ bằng cách

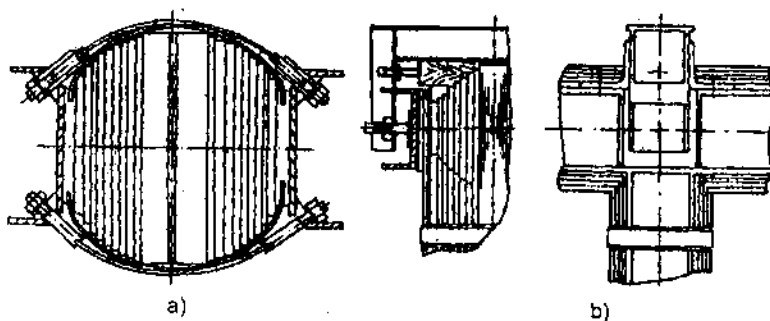
quấn đai đặc (a), đai có khoá bằng bulông (b) và đai có khoá bằng khung thép. Đai trụ được thực hiện bằng băng thủy tinh ký hiệu của Nga là ПСБ –Т hoặc ПСБ –Э có thông số: rộng 20mm, dày 0,2mm; lực kéo cho phép khi đai đạt từ 70 đến 120kG.

Việc bố trí đai cùng với các chi tiết phụ như thanh gỗ tròn, tấm thép thường nhìn trên mặt cắt ngang như hình 2.48.



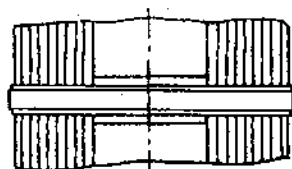
Hình 2.45. Kết cấu cụm bulông ép trụ và gông

- a) Cách điện được tăng cường bằng vành đệm góc;
- b) Cách điện được tăng cường bằng vành đệm phẳng;
- c) Cấu tạo vành đệm góc; d) Ép gông mạch từ.

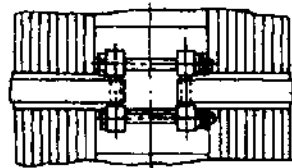


Hình 2.46. Các phương pháp ép gông

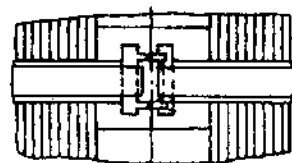
Theo hình 2.48 đối với đường kính trụ từ 260 đến 750mm, đường kính ngoài của đai lớn hơn đường kính ngoài của trụ từ 11 đến 13mm. Số thanh gỗ tròn và chiều dày lớp bìa cách điện dưới đai được chọn thích hợp tùy theo đường kính trụ sao cho vành đai gắn với đường tròn và không bị đứt do các góc thép tôn cửa đứt.



a)



b)



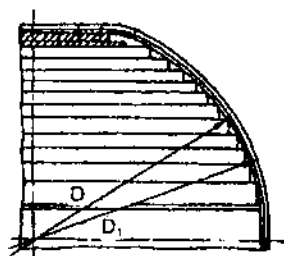
c)

Số lớp băng thủy tinh trong mỗi đai được chọn theo đường kính trụ cho trong bảng 2.2.

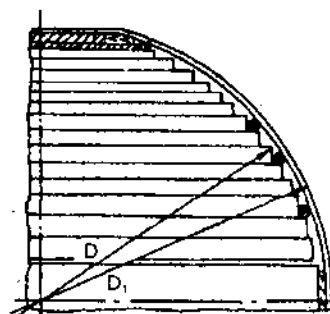
BẢNG 2.2

Đường kính trụ (mm)	Số lớp băng thủy tinh trong mỗi đai
260 ÷ 280	10
300 ÷ 380	15
400 ÷ 500	18
530 ÷ 670	2 x 10
710 ÷ 750	2 x 12

Hình 2.47. Các phương pháp ép trụ



a)



b)

Hình 2.48. Mặt cắt ngang trụ

2.4.4. Vật liệu chế tạo mạch từ

1. Thép kỹ thuật điện

Trước đây (trước những năm 70 của thế kỷ trước) mạch từ của MBA thường làm bằng tôn cán nóng. Những năm 80 và đặc biệt từ sau những năm 90 mạch từ của MBA chỉ được làm từ tôn cán nguội không đẳng hướng. Chiều dày tôn thông thường từ 0,27 đến 0,35mm. Hiện nay hầu hết các nhà máy chế tạo biến thế đều được trang bị máy cắt tôn tự động nên tôn thường được sản xuất dưới dạng cuộn có chiều rộng 1000mm hoặc chiều rộng bất kỳ tùy theo đơn đặt hàng. Tôn nguyên liệu thường được sơn cách điện sẵn, nếu công suất máy không lớn không cần sơn lại tôn sau khi gia công. Các đặc tính của tôn (đường cong từ hóa, suất tổn hao...) do nhà sản xuất tôn cung cấp. Những ảnh hưởng của công nghệ đến chất lượng mạch từ của MBA đã nêu ở phần trên chương này.

2. Thép kết cấu và vật liệu cách điện

Thép kết cấu để làm các chi tiết như xà ép gông, ti treo, gudông, bulông và các tấm ép hai bên trụ và gông. Các loại thép này thường là thép hợp kim thấp trừ các gudông ép dùm thép mác 20. Hàm lượng các bon trong thép khoảng 0,1 ÷ 0,4%. Trong các máy lớn hoặc

đặc biệt để giảm khối lượng thép kết cấu người ta dùng thép có tính chất cơ khí cao như hợp kim niken nhẹ, crôm, mômipden... Những loại thép này có giới hạn bền cao mà tính chất từ trong thực tế không khác nhiều so với thép kết cấu hợp kim thấp. Nhược điểm của chúng là có ứng suất nội cao, vì vậy để khử người ta phải ram ở nhiệt độ $650 - 750^{\circ}\text{C}$, điều này làm phức tạp thêm cho dây chuyền công nghệ. Ngày nay người ta đã sử dụng khá rộng rãi một số loại thép từ tính thấp làm các chi tiết kết cấu để giảm tổn hao trong chúng, phổ biến nhất là các loại thép kí hiệu của Nga là 45Г 17Ю3 (TY501 – 61) hoặc thép phi từ tính 1 x 18H9T. Các loại thép này có cường độ cơ khí cao nhưng độ từ thẩm rất thấp.

Trong MBA giữa xà ép gông và gông, giữa các gudông ép với lõi sắt, giữa các đai ép và lõi thép, giữa các thép lá tôn của hai bậc khác nhau đều được cách điện. Vật liệu cách điện thường là bìa cách điện dày từ 2 đến 4mm, giấy cách điện, ống giấy cách điện bakêlít có đường kính trong $6 \div 80\text{mm}$ dài đến 2m. Để ép các thép lõi sắt người ta cũng dùng các thanh phíp, thanh gỗ tròn bằng gỗ thông hoặc để được sấy khô (độ ẩm $<10\%$). Để cố định lõi sắt dùng băng thuỷ tinh và sợi thuỷ tinh.

Như đã biết các lá tôn kỹ thuật cần được phủ một lớp cách điện để giảm dòng fucô. Yêu cầu của lớp cách điện này là chiều dày nhỏ có độ bền hoá học, cơ học cao, chịu nhiệt và có độ bám với tôn cao. Điện trở của lớp cách điện này phải đủ lớn để giảm tổn hao thép trong lõi nhưng cũng không được quá lớn để đỡ phức tạp trong việc nối đất mạch từ.

Lớp cách điện này trước đây dùng giấy dán lên tấm tôn rồi mới cắt (trước 1960). Về sau để giảm chiều dày người ta đã tìm được các loại sơn cách điện, thuỷ tinh lỏng hoặc phủ cách điện bằng cách tạo một lớp ôxit cách điện trên bề mặt tấm tôn. Hiện nay sơn cách điện bề mặt tấm tôn được dùng nhiều nhất là sơn Kφ-965 (trước đây hay dùng sơn 302 hoặc 202). Loại sơn này có đặc điểm dung môi khô nhanh trong khoảng một vài giây ở nhiệt độ $450 \div 500^{\circ}\text{C}$. Sau khi sấy khô bề mặt sơn rất bóng. Cũng có thể dùng sơn gliptan để cách điện lá tôn nhưng không khuyến khích vì loại này dễ tan trong dầu nóng. Sơn bakêlít, sơn Kφ-965 và sơn emay HLL – 5123 khi đã pôlime hoàn toàn sẽ trung tính đối với dầu. Nếu pôlime chưa hoàn toàn hoặc pôlime hoá không đúng chế độ (kéo dài thời gian, giảm nhiệt độ đến 2000) thì các loại sơn trên giảm chất lượng và có khả năng tan trong dầu nóng.

Thuỷ tinh lỏng có ưu điểm là rẻ tiền và nhiệt độ pôlime hoá thấp ($100 - 110^{\circ}\text{C}$), nhưng cũng có nhiều nhược điểm như dễ hút ẩm, dễ bị ôxi hoá, làm tăng tgσ của dầu và đặc biệt độ bám với tôn kém, khó phủ sơn. Vì vậy loại sơn này hiện ít dùng.

Hiện nay ở nhiều nước đã áp dụng phương pháp tạo một lớp ôxit cách điện mỏng trên bề mặt tấm tôn. Phủ theo kiểu “Karlít” hoặc phốt phát hoá đều cho độ dày lớp cách điện khoảng 3 đến 4mm nên thường vẫn phải sơn bổ sung để đạt được chiều dày lớp sơn khoảng $9 - 11 \mu\text{m}$.

2.4.5. Công nghệ chế tạo lá tôn

Các lá tôn của mạch từ được chế tạo qua các nguyên công sau: cắt, đột lỗ; mài bavia; ủ, sơn cách điện. Tùy theo điều kiện từng nhà máy, từng loại tôn, cấp công suất và điện áp mà có thể bỏ qua một vài nguyên công không ảnh hưởng nhiều đến chất lượng mạch từ.

1. Cắt tôn và đột lỗ

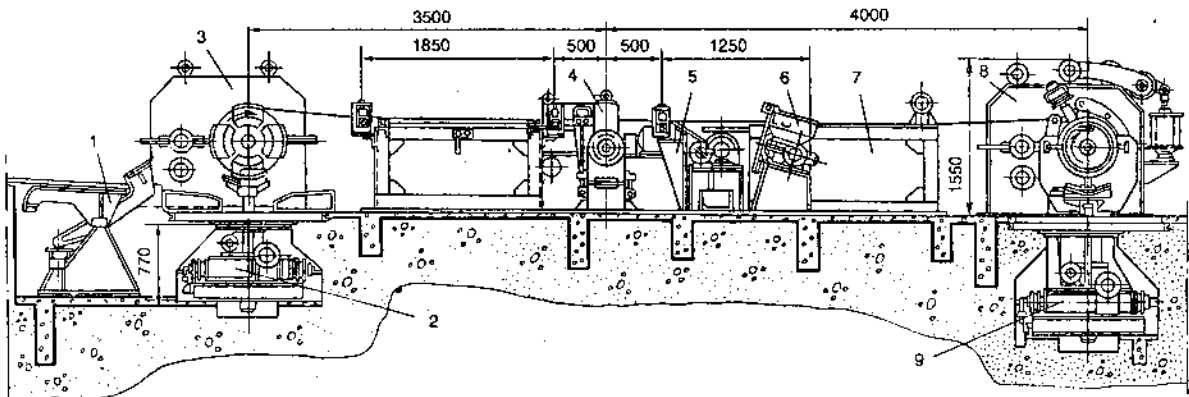
Tùy theo thiết kế lá tôn có thể có lỗ đột hoặc không. Một số hãng sản xuất MBA chủ trương không dùng phương pháp ép gông và trụ có bulông xuyên vì cho rằng việc đột lỗ và

ép bằng bulông sẽ gây biến tính từ làm tăng tổn hao sắt và công suất từ hóa, tuy nhiên nếu cần phải tăng độ chắc chắn của mạch từ thì giải pháp này vẫn được áp dụng.

Nguyên công cắt các lá tôn được thực hiện trên máy cắt tôn. Trước khi cắt cần phải thiết kế quy trình cắt và chọn kích thước tấm tôn sao cho hệ số sử dụng không dưới 0,85. Các tấm tôn được xén bỏ mép khoảng $5 \div 10\text{mm}$. Trong khi cắt phải theo đúng thao tác quy định để không lẫn chiều cán của tấm tôn. Điều này thường xảy ra đối với tôn cán nguội đã cách điện, bề mặt tấm tôn không còn sọc cán, đặc biệt tấm tôn đã pha có hình vuông.

Trong sản xuất nhỏ người ta cắt đồng loạt các lá tôn cùng cỡ. Trong sản xuất loạt lớn tôn được pha băng trên máy cắt đĩa để có thể cắt cùng một lúc các cỡ băng tôn có kích thước khác nhau, sau đó các băng tôn được đưa lên máy cắt ngang để cắt thành lá tôn hình chữ nhật hoặc chéo góc.

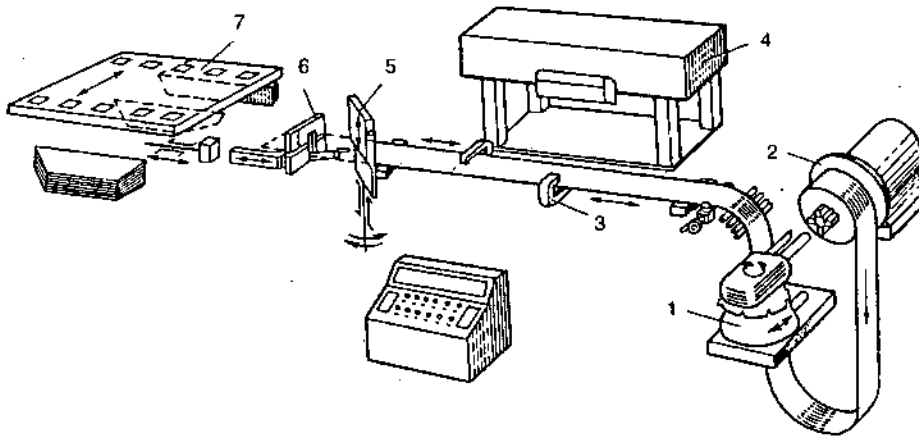
Hình 2.49 mô tả một sơ đồ máy pha băng tôn bằng dao đĩa. Các rulô tôn được thả lên mặt nghiêng 1 rồi từ từ lăn xuống xe chất liệu 2. Từ đây đầu tấm tôn được kéo lên cơ cấu nhả băng 3. Tấm tôn được kéo qua máy cắt đĩa 4 và được pha thành các băng nhỏ có chiều rộng bằng khoảng cách giữa các lưỡi cắt. Cơ cấu cắt 5 cắt và thải phần tôn ở mép cuộn tôn. Các băng tôn được kéo qua cơ cấu cán bavia 6 để làm sạch bavia ở mép cắt, đi qua cơ cấu nắn sửa và dẫn hướng 7 rồi được quấn vào các rulô 8. Thiết bị điều khiển ổn định tốc độ băng tôn không đổi, thông thường đạt 120m/ph. Các băng tôn tự động lăn xuống xe chất liệu và chuyển ra ngoài.



Hình 2.49. Dây chuyền công nghệ pha băng tôn cuộn

Hình 2.50 mô tả nguyên lý của một máy cắt ngang và cắt chéo góc lá tôn từ tôn cuộn đã có chiều rộng định trước (có được trên máy pha băng).

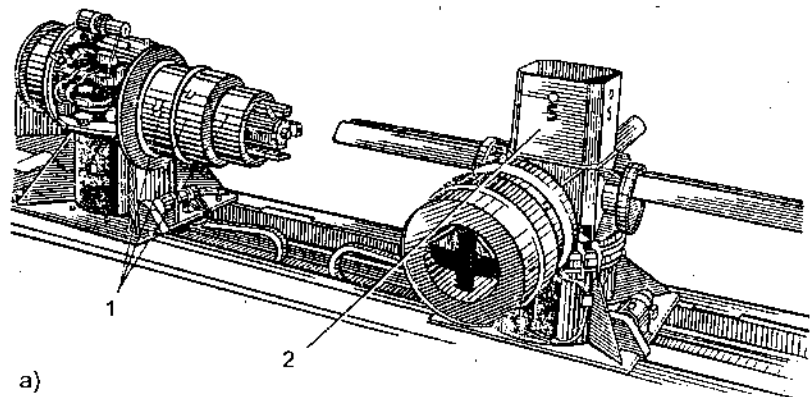
Hệ thống cấp liệu 1 kéo đầu băng tôn ra khỏi cơ cấu nhả tôn 2, nắn sửa và định vị băng tôn. Cơ cấu đẩy tôn 3 gồm hai tay đẩy được điều khiển bằng bộ điều khiển thủy lực 4 khống chế một cách chính xác vị trí tương đối của băng tôn với dao cắt 5. Dao cắt 5 có thể xoay quanh trục của nó và được điều khiển để có góc cắt theo thiết kế. Cơ cấu thu sản phẩm 6 có trách nhiệm nhận các lá tôn đã cắt, tẩy bavia và các góc nhỏ của lá tôn rồi chuyển sang giá xếp tôn 7. Giá xếp tôn xếp các tấm tôn thành thép rồi chuyển ra ngoài. Để tiết kiệm không gian đặt máy và nâng cao năng suất nhiều hãng đã sản xuất máy cắt kép, cắt đồng thời hai băng tôn hoặc máy cắt hỗn hợp vừa cắt dọc vừa cắt ngang đồng thời. Hiện nay việc điều khiển các máy cắt tôn được thực hiện bằng các bộ điều khiển kỹ thuật số, lập trình trực tiếp trên máy hoặc do máy tính điều khiển để cắt bất cứ loại lá tôn nào theo thiết kế.



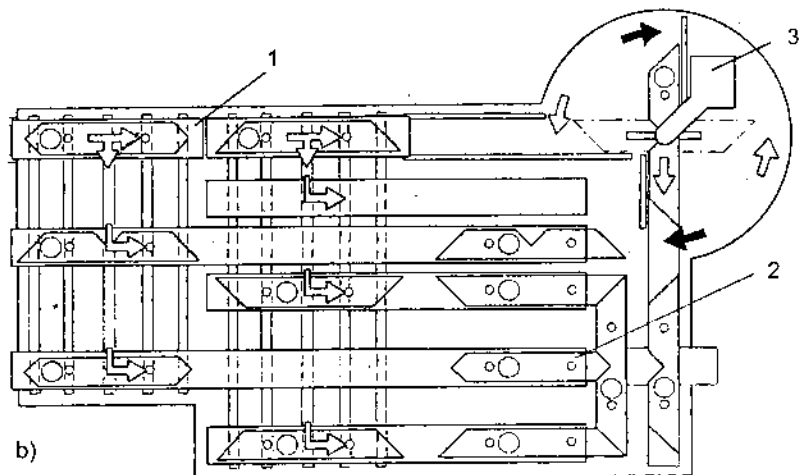
Hình 2.50. Dây chuyền tự động cắt lá tôn

Đối với các máy biến áp công suất không lớn (hàng trăm kVA) các lá tôn không cần tẩy bavia, ủ và sơn lại thì người ta sử dụng dây chuyền công nghệ cắt và ghép lõi đồng thời. Máy cắt lá tôn trong trường hợp này dùng loại cắt đồng thời được nhiều lá có chiều rộng khác nhau nhờ bộ cấp liệu 1 mang được một số cuộn tôn và một bộ cấp dự trữ 2 để

thay các cuộn tôn khi hết (hình 2.51a). Các cuộn tôn được máy cấp liệu chuyển đến giá treo trên dây chuyền cắt tôn. Băng tôn lần lượt được kéo qua máy đột lỗ, máy dập góc qua máy cắt ngang (dao xoay) để được các lá tôn hoàn chỉnh. Các lá tôn này được chuyển đến băng tải 1 và được điều khiển để đến một vị trí định trước trên bàn lắp ráp 2. Các lá tôn gông được xoay đi một góc 90° nhờ bàn xoay 3. Dây chuyền này cho phép bỏ qua các công đoạn vận chuyển, bảo quản, lắp ráp nên chất lượng lõi thép được nâng cao do không phụ thuộc vào trình độ người ghép, lá tôn không bị tác động cơ học do các nguyên công trên nên tổn hao không tải giảm tới 15% (hình 2.51b).



a)



b)

Hình 2.51. Dây chuyền tự động cắt lá tôn và ghép thành mạch từ

Các lá tôn cắt trên máy cắt tôn có thể có các dạng sai lệch sau:

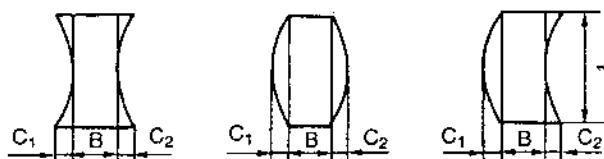
a) Độ bavia lớn quá. Theo quy định các máy cắt tôn phải đảm bảo độ sắc của dao cắt để đạt được chiều cao bavia $< 0,03\text{mm}$ đối với tôn dày $0,35\text{mm}$ và $< 0,04\text{mm}$ đối với tôn $0,5\text{mm}$. Sau khi qua khâu cán hoặc mài bavia chiều cao bavia không vượt quá $0,007\text{mm}$ đối với tôn dày $0,5\text{mm}$ và $0,005$ đối với tôn $0,35\text{mm}$.

b) Dung sai kích thước theo chiều dài và chiều rộng.

BẢNG 2.3

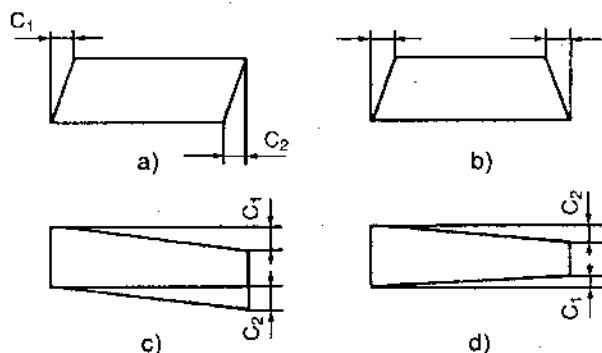
Chiều dài lá tôn (mm)	Đến 400	400 – 800	800 – 2000	2000 – 3000
Sai lệch cho phép (mm)	- 0,4	- 0,5	-1	-1,5
Chiều rộng lá tôn (mm)	đến 400		lớn hơn 400	
Sai lệch cho phép (mm)	+0,4		+0,6	

c) Các cạnh lồi lõm như hình 2.52. Bất cứ trường hợp nào tổng sai lệch $C_1 + C_2$ cũng không được vượt quá sai lệch cho phép theo chiều rộng lá tôn.



Hình 2.52. Các dạng sai lệch về kích thước

d) Các cạnh không song song hoặc các góc không vuông (hình 2.53). Theo quy định tổng $C_1 + C_2$ theo hình 2.53a, b không được vượt quá dung sai theo chiều dài lá tôn, còn đối với trường hợp c, d không được vượt quá dung sai chiều rộng lá tôn.



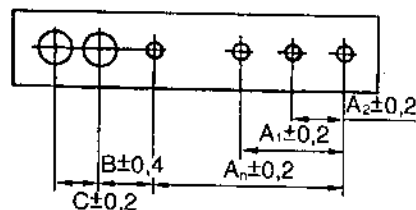
Hình 2.53. Các dạng sai lệch về góc

e) Sai lệch đường kính các lỗ đột. Theo quy định dung sai các lỗ cho trong bảng 2.4

BẢNG 2.4. DUNG SAI CÁC LỖ ĐỘT

Đường kính danh nghĩa (mm)	10 – 18	18 – 30	30 – 50	50 – 80	80 – 120
Sai lệch cho phép (mm)	+0,24	+0,28	+0,34	+0,4	+0,46

g) Sai lệch vị trí lỗ. Sai lệch cho phép khoảng cách giữa các lỗ trên các tấm tôn: không vượt quá 0,4mm đối với lỗ bulông ép trên trụ hoặc trên gông; không vượt quá 0,2mm đối với 2 dãy lỗ. Đối với các lỗ xuyên gudông ép trụ và gông trên cùng một tấm sai lệch cho phép thể hiện trên hình 2.54.



Hình 2.54. Sai lệch vị trí lỗ

Độ chính xác của các kích thước lá tôn phụ thuộc vào độ chính xác của máy cắt và trình độ thao tác của công nhân. Nếu trình độ tự động hoá không cao thì độ chính xác sẽ giảm khi năng suất tăng.

2. Tẩy bavaria các lá tôn

Như trên đã nói, để đạt độ bavaria không quá 0,007mm đối với tôn dày 0,5mm và không quá 0,005mm đối với tôn dày 0,35mm cần phải qua khâu tẩy bavaria. Phương pháp tẩy bavaria có thể tham khảo phần tẩy bavaria đối với chế tạo máy điện quay nhưng lưu ý, lực ép lên lá tôn vừa phải, không để giảm tính dẫn từ của tôn. Như đã phân tích ở trên, việc mài bavaria đối với tôn cán nguội phải tiến hành dưới góc mài (so với hướng cán của tôn) từ $55^\circ \div 90^\circ$, nghĩa là mài ngang hướng cán. Điều này khó thực hiện vì chiều rộng lá tôn thường nhỏ. Tùy theo điều kiện thiết bị của nhà máy mà áp dụng các phương pháp mài khác nhau. Hiện nay với các máy cắt tôn hiện đại nhiều nhà máy đã bỏ qua khâu mài bavaria mà vẫn đạt được yêu cầu trên. Điều này hoàn toàn hợp lý đối với các MBA nhỏ dùng tôn đã sơn sẵn.

3. Ủ các lá tôn

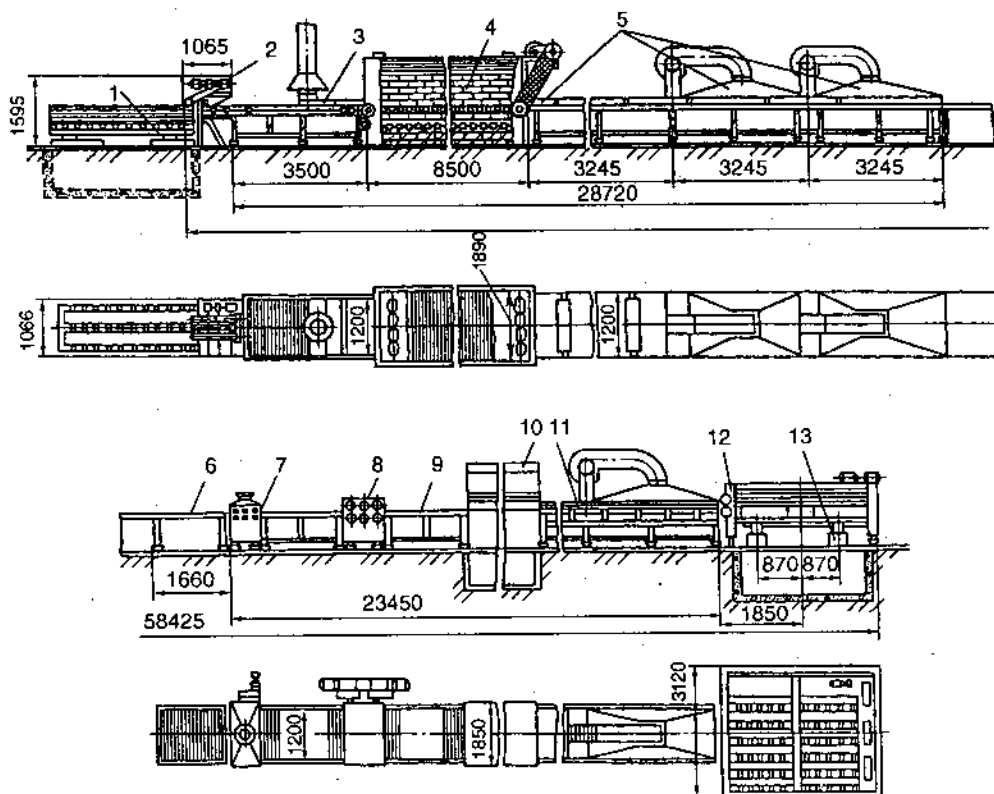
Mục đích của việc ủ các lá tôn là phục hồi tính dẫn từ của tôn do cắt đột làm biến tính. Nguyên công ủ phải đảm bảo không để oxy hoá bề mặt tôn, chế độ nhiệt và thời gian ủ thích hợp sao cho sau khi ủ tổn hao riêng và dòng điện không tải giảm, chi phí cho khâu này ít. Lò ủ hiện nay thường là lò chân không, nhiệt độ được khống chế trong khoảng 720°C đến 780°C đối với tôn cán nóng, 1100°C đến 1200°C đối với tôn cán nguội. Nhiệt độ này được giữ trong thời gian 1 đến 1 giờ 30 phút rồi cho nguội dần với tốc độ $40 \div 60^\circ\text{C}/\text{giờ}$. Khi nhiệt độ còn 450°C có thể cho ra lò để nguội tự nhiên. Hiện nay người ta đang tiếp tục nghiên cứu để giảm thời gian ủ và tăng năng suất. Đối với các loại tôn hiện đại, nhiệt độ ủ thường từ 800°C đến 830°C , thời gian ủ không quá 1 giờ trong các lò ủ từng mẻ hoặc liên tục kết hợp với sơn cách điện. Đối với MBA nhỏ nhiều nhà máy bỏ qua khâu này vì với các máy cắt tôn hiện đại và không thực hiện việc đột lỗ ảnh hưởng của biến tính tôn không đáng kể.

4. Sơn cách điện các lá tôn

Đối với mạch từ các MBA lớn, các lá tôn thường được chế tạo từ tôn chưa sơn cách điện. Sau khi cắt đột, mài bavaria, ủ và làm sạch, các lá tôn được chuyển đến phân xưởng sơn cách điện. Nếu dùng tôn đã sơn sẵn thì đối với máy lớn vẫn phải sơn lại.

a) Thiết bị sơn

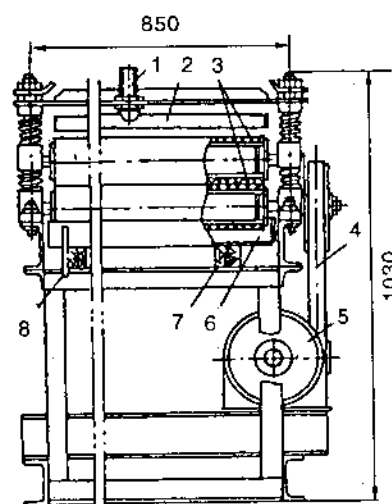
Thiết bị sơn (hình 2.55), có nhiệm vụ ủ và láng lên bề mặt tấm tôn (hoặc lá tôn) một màng sơn có độ dày khống chế được và nung kết (pôlime hoá hoàn toàn) lớp sơn đó trong thời gian lá tôn đi qua máy. Trên hình 2.55 mô tả một kiểu dây chuyền ủ kết hợp với sơn và sấy lá tôn đáp ứng được nhiệm vụ trên.



Hình 2.55. Thiết bị sơn cách điện lá tôn

1. Bàn tập kết các lá tôn; 2. Cơ cấu rải các lá tôn lên băng tải; 3. Băng tải đưa các lá tôn vào lò ủ; 4. Lò ủ; 5. Buồng làm nguội; 6. Băng tải; 7. Thiết bị làm sạch; 8. Máy sơn; 9. Băng tải; 10. Buồng sấy khô và polime hoá màng sơn; 11. Buồng làm nguội; 12. Cơ cấu sắp xếp các lá tôn; 13. Bàn thu sản phẩm.

Nhiệt độ của lò nung phải đạt 500°C . Một trong hai trục cán sơn được truyền động bằng động cơ điện qua hộp giảm tốc. Lực ép lên trục phải điều chỉnh được để thay đổi chiều dày lớp sơn. Các máy mới nhất hiện nay thường cấu tạo 3 cặp trục bọc cao su: cặp đầu tiên để chuyển lá tôn, cặp thứ 2 phủ sơn (trên cả 2 mặt), cặp thứ 3 để cán lại lớp sơn cho đều và đạt chiều dày đã định. Sơn được cấp từ thùng sơn 4 qua các ống nhỏ giọt (được khống chế) chảy xuống trục trên. Các lá tôn được đưa vào không liên tục nên khoảng giữa hai lá tôn đủ để sơn mặt dưới lá tôn. Nếu kích thước lá tôn lớn thì có thể cấp sơn lên trục chính dưới qua một trục phụ được rả sơn liên tục. Ta có thể hình dung một cơ cấu phủ cách điện lá tôn trên hình 2.56, trong đó: 1 – Đầu cút để nối với thùng sơn; 2 – Ống rả sơn lên trục cán bọc cao su; 3, 4 – Bộ truyền đai; 5 – Động cơ điện có kèm hộp giảm tốc. 6 – Trục phụ được rả sơn; 7 – Giá đỡ; 8 – Ống dẫn sơn xuống trục phụ dưới.



Hình 2.56. Máy phủ cách điện lá tôn

Lò nung được xây bằng gạch chịu lửa. Công suất của lò tùy theo quy mô sản xuất có thể chọn trong khoảng $60 \div 80 \text{ kW}$. Phần tử đốt nóng là dây điện trở crôm – niken có điện trở suất $1,2 \times 10^{-6} \Omega$. Thường chọn tải cho phép đối với dây crôm – niken theo công thức sau:

$$P/\pi dl = 20.10^{-3} \div 23.10^{-3} \text{ W/m}^2.$$

Trong đó P – công suất [W]; d – đường kính dây điện trở [m]; l – chiều dài sợi dây [m].

b) Công nghệ sơn các lá tôn

Trước khi sơn các lá tôn cần phải kiểm tra lại chất lượng bề mặt lá tôn và chất lượng, độ nhớt của sơn.

Độ nhớt của sơn ở $18 \div 20^\circ\text{C}$ nằm trong phạm vi $15 \div 24$ theo tiêu chuẩn số 7. Về nguyên tắc nó được chọn theo kinh nghiệm phối hợp với lực ép trục và độ dày lớp sơn theo quy định. Dung môi để pha loãng sơn là dầu hỏa hoặc butin được chọn tùy theo chế độ và phương pháp nung kết màng sơn. Không nên dùng xăng để pha sơn vì dễ cháy gây nguy hiểm.

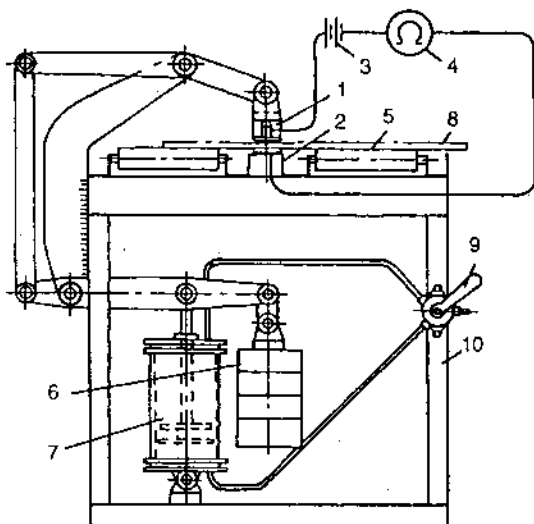
Làm vệ sinh các lá tôn thật sạch không để dính bẩn dầu, nước hoặc bụi.

Sơn thử một số lá để xác định bằng thực tế chiều dày lớp sơn, hiệu chỉnh lực ép trục, độ nhớt của sơn. Yêu cầu lớp sơn phải bóng, có độ bám tốt, không bị rỗ khuyết hoặc dày mỏng không đều. Ở mép lá tôn phía đi ra khỏi trục cán không được đọng sơn tạo thành bờ dày ở đó. Chất lượng nung kết sơn được xác định bằng cách hiệu chỉnh nhiệt độ lò nung và tốc độ của băng tải nóng. Lực ép giữa hai trục thường vào khoảng 1,5 đến 3kG.

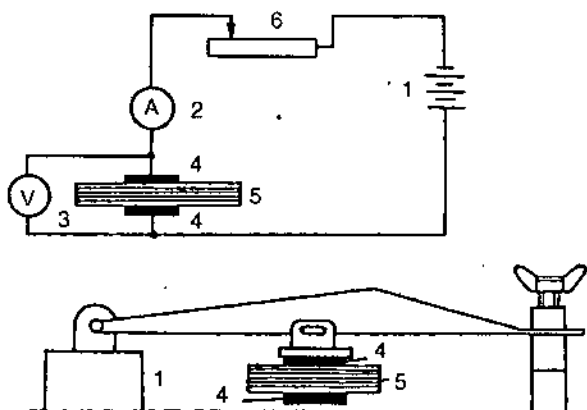
Khi chất lượng bề mặt lớp sơn đã ổn định ta cho sản xuất hàng loạt. Tuy nhiên, trong quá trình sản xuất phải kiểm tra chất lượng lớp sơn định kỳ sau 1 hoặc 2 giờ đồng hồ. Điện trở cách điện được đo trên một thiết bị đặc biệt (hình 2.57). Các điện cực đồng phẳng 1 và 2 có các kích thước $50 \times 300 \text{ mm}$. Điện cực phía trên (động) được cách điện với khung 10. Tấm tôn cần đo điện trở được đặt lên điện cực dưới 2 và các dũa 5. Điện cực trên ép lên lá tôn nhờ hệ thống tay đòn và tải trọng 6 với áp suất $6 \div 10 \text{ kg/cm}^2$. Điện cực được nâng lên nhờ xilanh khí nén 7, khoá điều khiển 9. Nếu không có thiết bị đặc biệt có thể đo bằng phương pháp đơn giản (hình 2.58). Kích thước và lực ép như trên. Điện trở được đo ở 3 vị trí trên lá tôn ở nhiệt độ không dưới $40 \div 50^\circ\text{C}$. Thường người ta lấy trị số trung bình các trị số đó được 2 đến 3 thép, mỗi thép 6 lá tôn. Điện áp đặt lên các điện cực là điện áp một chiều $6 \div 12$ vôn (acquy); nhờ biến trở khống chế dòng xác lập không quá 0,4A. Điện trở đo được không nhỏ hơn 10Ω đối với sơn 1 lớp và 40Ω đối với lá tôn sơn 2 lớp. Điện áp thử nghiệm cách điện từ 100 – 150V.

Tùy theo cấp công suất, cần phải phủ một, hai hoặc ba lớp sơn. Thông thường một lớp có chiều dày màng sơn là $5 \div 10 \mu\text{m}$; hai lớp là $10 \div 20 \mu\text{m}$ và ba lớp là $28 \mu\text{m}$. Để đo chiều dày màng sơn người ta chập khoảng $40 \div 50$ lá tôn, đo chiều dày tổng của thép lá tôn này trước và sau khi sơn, sấy. Hai tấm ép được ép cùng một lực như nhau trước và sau khi sơn. Chiều dày lớp sơn được tính theo công thức:

$$\Delta = h_2 - h_1/2n.$$



Hình 2.57. Máy đo cách điện lá tôn



Hình 2.58. Máy đo cách điện lá tôn đơn giản

BẢNG 2.5. SỰ PHỤ THUỘC CHIỀU DÀY TÔN ĐẾN LƯỢNG SƠN CHỈ PHÍ CHO MỘT TẤN TÔN

Chiều dày lá tôn (mm)	Lượng sơn chỉ phí cho 1 tấn tôn (sơn 1lớp) (kg/T)
0,5	7,15
0,42	8,5
0,35	10,4
0,3	11,9

Độ khó và lượng sơn chỉ phí để sơn cho một tấm tôn phụ thuộc vào số lá tôn và chiều dày của chúng. Như vậy việc cách điện lá tôn 0,35mm khó hơn so với tôn 0,5mm tương ứng 0,5/0,3.

Lượng sơn chỉ phí cho một tấm tôn tùy theo chiều dày lá tôn có thể tham khảo bảng 2.5.

Lượng sơn rơi vãi trong quá trình sơn khoảng 10%. Sau khi sơn và sấy khô khối lượng tôn tăng $12,5\text{kg/m}^3$. Chiều dày màng sơn tính cả 2 phía xấp xỉ 0,012mm. Dung môi để pha sơn chiếm khoảng 10%.

2.4.6. Lắp ráp lõi sắt máy biến áp

1. Yêu cầu khi lắp ráp

– Kiểm tra tất cả các chi tiết của lõi sắt, các lá tôn đảm bảo chất lượng, kích thước và sạch sẽ trước khi lắp ráp.

– Khi lắp ráp đảm bảo khe hở giữa các lá tôn trong cùng một lớp không quá 0,5mm, các lá tôn không được chồng lên nhau, lá tôn nhô ra khỏi thép không quá 0,5mm.

– Khi đang lắp ghép có thể cho phép khe hở giữa các lá tôn đến 1,0mm, nhưng số lá tôn này không quá 0,5% tổng số lá tôn có trong một thép. Đối với những MBA đến cỡ 5 và 6 cho phép phần nhô ra của lá tôn đến 1,2mm nhưng số lá tôn này không vượt quá 1,5% chiều dày toàn bộ của trụ hoặc gông.

– Không được quang quật, ném, uốn bẻ các lá tôn. Khi dựng lõi sắt cần phải bảo đảm cho trụ và gông không bị cong hoặc vênh.

– Độ nghiêng đường trục của lõi sắt so với phương thẳng đứng không quá 1,5mm với chiều cao 1m. Tại các chỗ ghép giữa trụ và gông độ dày tăng lên không quá 1% kích thước thực tế của trụ hoặc gông.

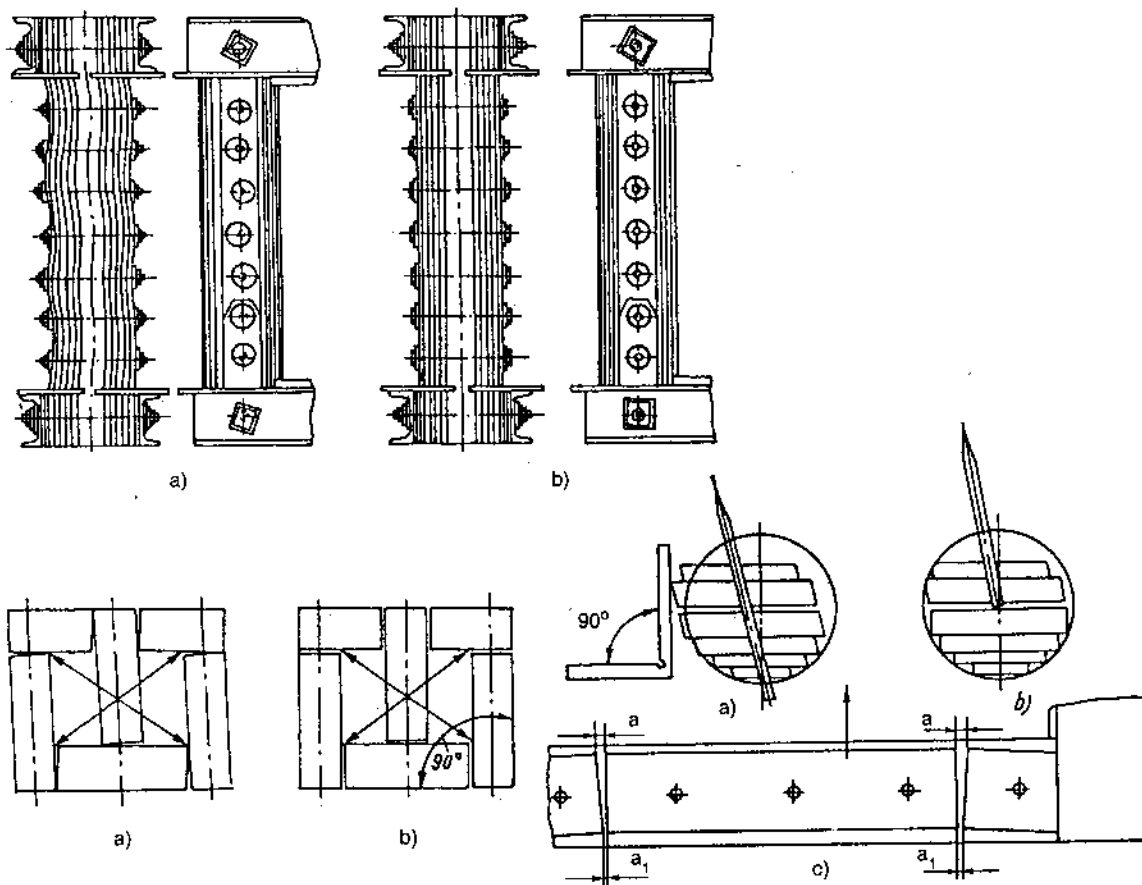
– Giữa các thép lá tôn phải đặt một tấm đồng mỏng (0,1mm) để nối đất mạch từ. Các tấm đồng này sẽ được nối vào xà ép gông và thông qua đó nối vào vỏ máy.

– Dung sai đối với các kích thước tiêu chuẩn của lõi sắt khi lắp ráp không được vượt quá các trị số cho trong bảng 2.6.

BẢNG 2.6. DUNG SAI LẮP GHÉP LỖI SẮT

Dung sai tính theo mm	Đường kính trụ (mm)		
	Dưới 340	340 – 750(mm)	Lớn hơn 750(mm)
Chiều dày trụ lõi sắt	-2	-3	-5
Đường kính trụ sắt	+3	+4	+6
Chiều dày thép lá tôn giữa của trụ	+2	+3	+4
Đường kính băng đai của trụ	+3	+5	+8

Các dạng sai lệch của lõi sắt có thể thấy rõ qua hình 2.59.

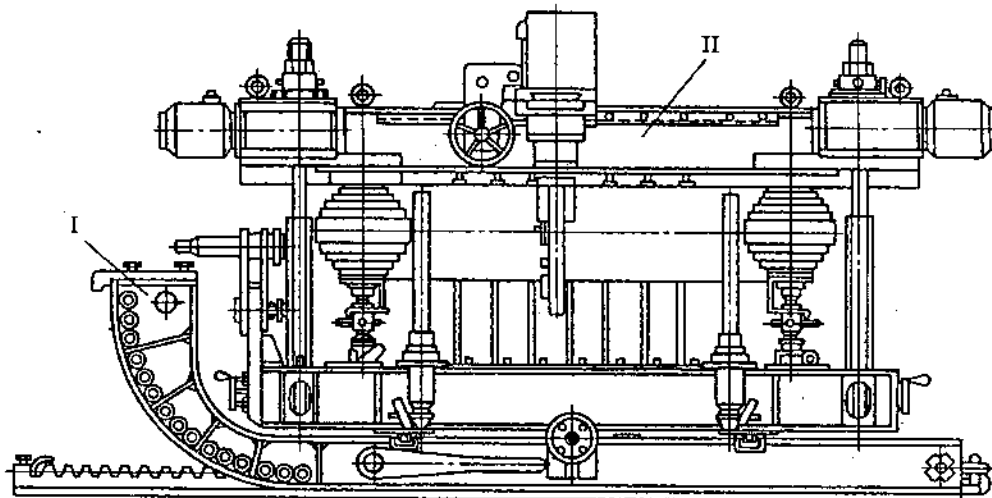


Hình 2.59. Các dạng sai lệch của lõi thép sau khi lắp ghép

2. Các thiết bị dùng để ghép lõi thép MBA

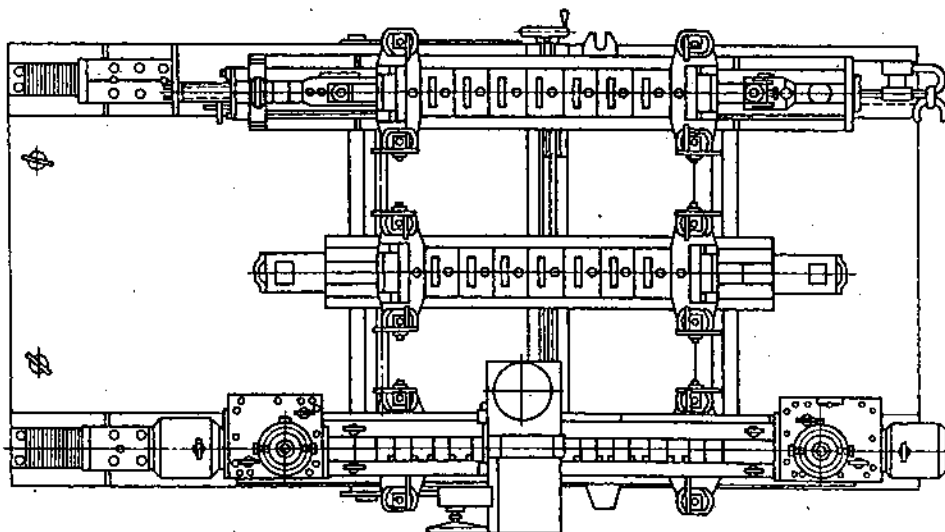
Lõi sắt MBA được lắp ráp trên các bàn thép hoặc các giá lật. Các giá lật được thiết kế để có thể dựng lõi sắt hoặc vận chuyển sau khi ghép xong.

Tên hình 2.60 trình bày các giá lật để lắp ráp lõi sắt MBA.



Hình 2.60. Giá lật để lắp ghép lõi thép không có bu lông xuyên

Sơ đồ bố trí mặt bằng khi lắp ráp được trình bày trên hình 2.61.



Hình 2.61. Sơ đồ bố trí mặt bằng khi lắp ghép lõi thép

3. Các bước công nghệ lắp ráp lõi sắt

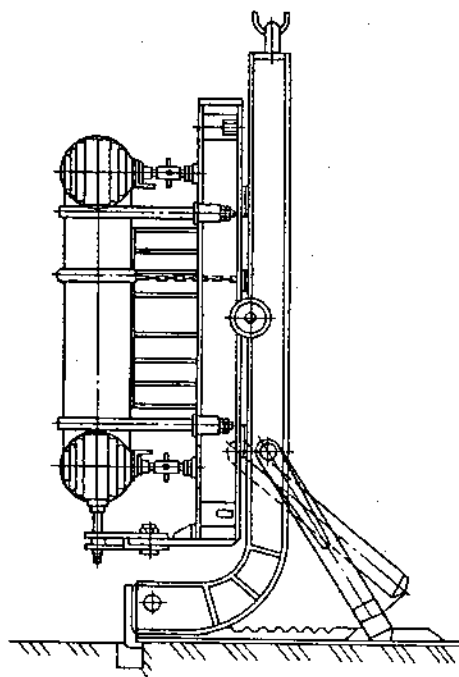
- Chuẩn bị các chi tiết và dụng cụ để lắp ráp.
- Đặt xà ép gông và cách điện phía hạ áp.
- Xếp lá tôn theo thứ tự cho trong sơ đồ.
- Đặt gông trên, cách điện rồi ép bằng đai (phần trụ) hoặc bulông ép, ép gông bằng bulông.

- Dựng lõi sắt lên theo phương thẳng đứng.
- Hiệu chỉnh, đo kiểm tra kích thước lõi sắt.
- Thử nghiệm lõi sắt.

4. Lắp ráp lõi sắt có bulông xuyên

Đối với các MBA cỡ I và II việc lắp ráp lõi sắt thường được tiến hành trên bàn sắt. Hai bên bàn phía trái và phải của người thợ người ta bố trí tủ đồ nghề. Phía trên tủ là nơi để các lá tôn chờ ghép. Thông thường các lõi sắt cỡ này chỉ cần một người thực hiện.

Đối với các MBA lớn hơn việc lắp ráp được thực hiện ngay trên giá lắp ráp (hình 2.62), trên đó đã bố trí sẵn các xà ép gông dưới và các tấm kê phụ để các trụ không bị võng xuống khi lắp ráp. Các tấm kê phụ này có bậc tương ứng với các bậc của trụ hoặc gông để tránh trụ xô lệch thành hình bình hành (tiết diện ngang).



Hình 2.62. Giá lắp ráp lõi sắt MBA có bu lông xuyên

5. Lắp ráp lõi sắt không có bulông xuyên

Việc lắp ráp lõi sắt không có bulông xuyên được tiến hành trên giá lắp ráp đặc biệt hình 2.60.

Trên giá này lõi sắt được ép chặt bằng bulông hoặc đai sợi bộ, sau đó đai trụ và gông cố định trước khi dựng lõi sắt lên theo phương thẳng đứng để chuyển đến phân xưởng khác. Đối với lõi sắt lớn thường bố trí từ 2 đến 6 công nhân làm việc. Việc định lượng tôn cho mỗi thép (bậc) thông thường được thực hiện bằng cân và sau khi ghép xong sẽ được kiểm tra lại bằng cách đo.

6. Chế tạo mạch từ không gian

Trong thời gian gần đây mạch từ không gian được nhiều hãng quan tâm vì có nhiều ưu điểm như chi phí vật liệu tác dụng thấp, tốn ít diện tích trong xưởng chế tạo, tiết kiệm nhân công...

Tuy nhiên, việc đầu tư công nghệ để chế tạo mạch từ không gian phải đồng thời với đầu tư công nghệ quấn dây nên vốn đầu tư ban đầu lớn, mặt khác những MBA như vậy không thể sửa chữa được ở các cơ sở sửa chữa thông thường nên việc sử dụng các MBA loại này còn bị hạn chế.

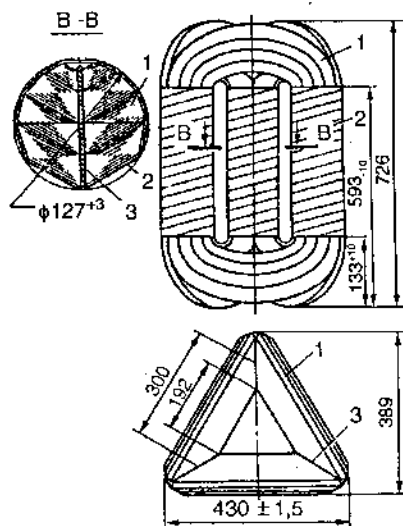
Sau đây giới thiệu công nghệ của hai loại mạch từ không gian phổ biến nhất.

a) Mạch từ không gian tam giác quấn từ tôn cuộn

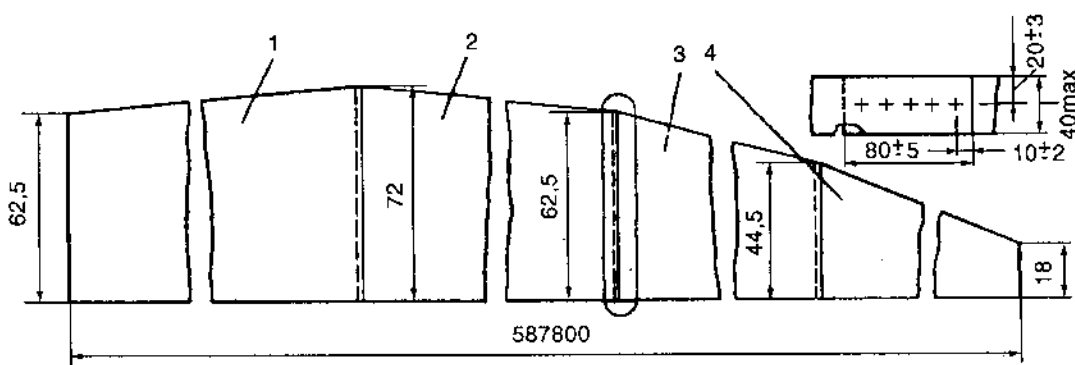
Mạch từ loại này bao gồm ba lõi thép một pha hình ôvan 1 (hình 2.63) được cố định với nhau nhờ băng thủy tinh 2. Trụ của các mạch từ một pha này có tiết diện nửa hình tròn, vì vậy khi ghép với nhau trụ của mạch từ ba pha sẽ có dạng hình trụ. Giữa các mạch từ một pha này có lót một lớp cách điện 3. Việc tạo ra mạch từ một pha có tiết diện nửa hình tròn được thực hiện bằng cách quấn từ băng tôn cuộn có chiều rộng khác nhau.

Trên hình 2.64 trình bày một băng tôn dùng để quấn mạch từ hình ovan của máy biến áp 100kVA. Băng tôn này gồm có 4 phần được hàn nối với nhau, mỗi phần là một băng tôn hình thang được cắt ra từ một băng tôn hình chữ nhật như hình 2.65.

Cả 4 phần đều có chiều dài như nhau, phần 1 và 2 có chiều rộng như nhau. Để có được các băng tôn hình thang lúc đầu ta phải cắt băng tôn thành hình chữ nhật, sau đó dùng máy cắt đĩa có dao di động để cắt chéo thành hai băng tôn hình thang. Hai băng tôn này cần được nối ngược nhau như hình 2.64 nên khi pha tôn các nửa băng tôn được quấn lên các tang với chiều ngược nhau. Hình 2.66 mô tả một máy quấn và hàn 4 băng tôn nối trên thành một băng tôn thống nhất như hình 2.64.

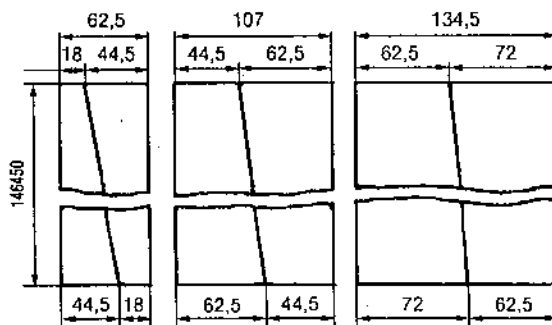


Hình 2.63. Mạch từ không gian quấn từ tôn cuộn

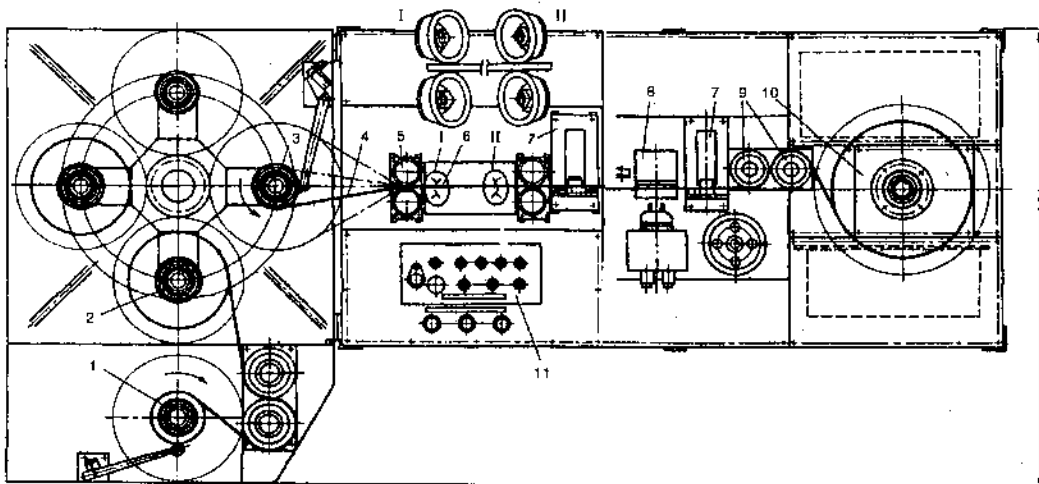


Hình 2.64. Băng tôn để quấn mạch từ hình ovan

Cuộn tôn 1 được quấn lại lên tang 2 để được cuộn tôn quấn ngược. Cả 4 cuộn tôn được đưa lên một giá xoay cho phép từng cuộn một nhả băng tôn để đưa vào máy hàn nối và quấn. Đầu cuộn tôn 4 được đưa vào bộ trục truyền 5, băng tôn được kéo qua máy tẩy bavaria 6 và sau khi hàn nối với nhau được quấn vào tang 10. Để hàn nối các băng tôn với nhau người ta dùng máy hàn điểm 8. Khi hàn, các băng tôn được hai bộ lò xo 7 giữ các đầu băng để tránh xô lệch.

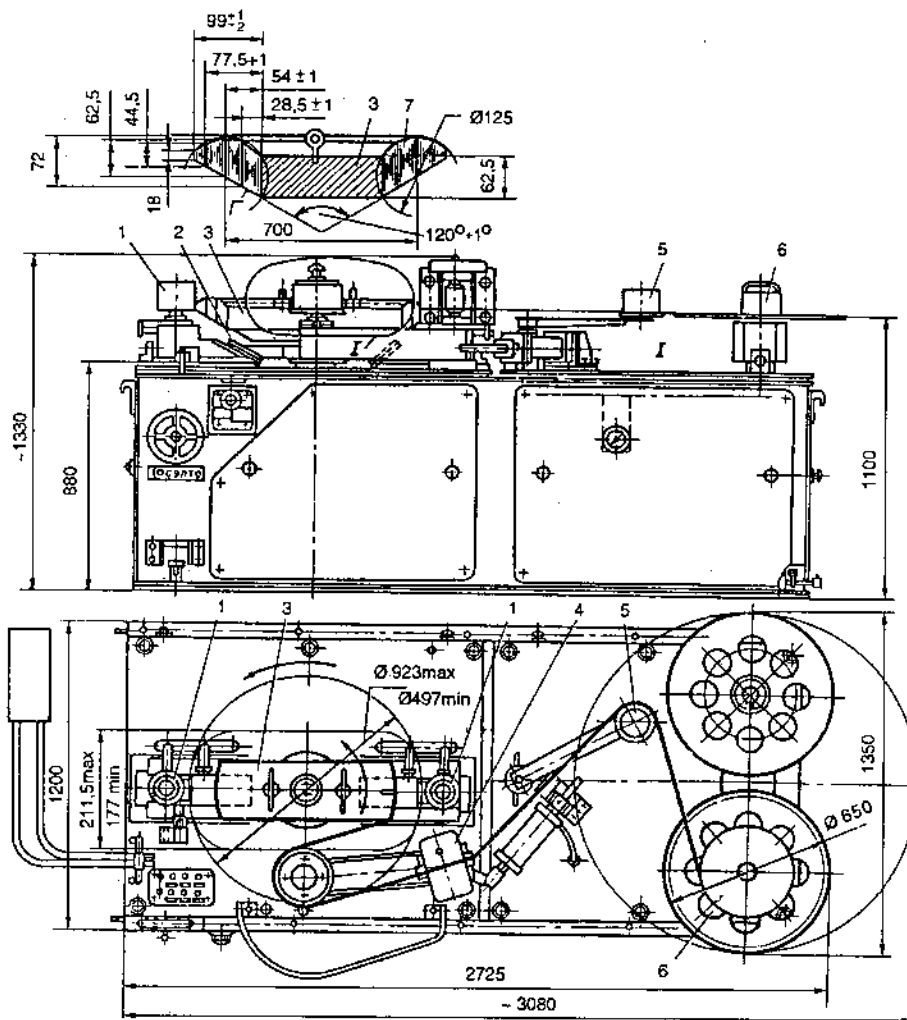


Hình 2.65. Khai triển băng tôn hình chữ nhật thành hình thang



Hình 2.66. Máy hàn và quấn các băng tôn cắt chéo với nhau

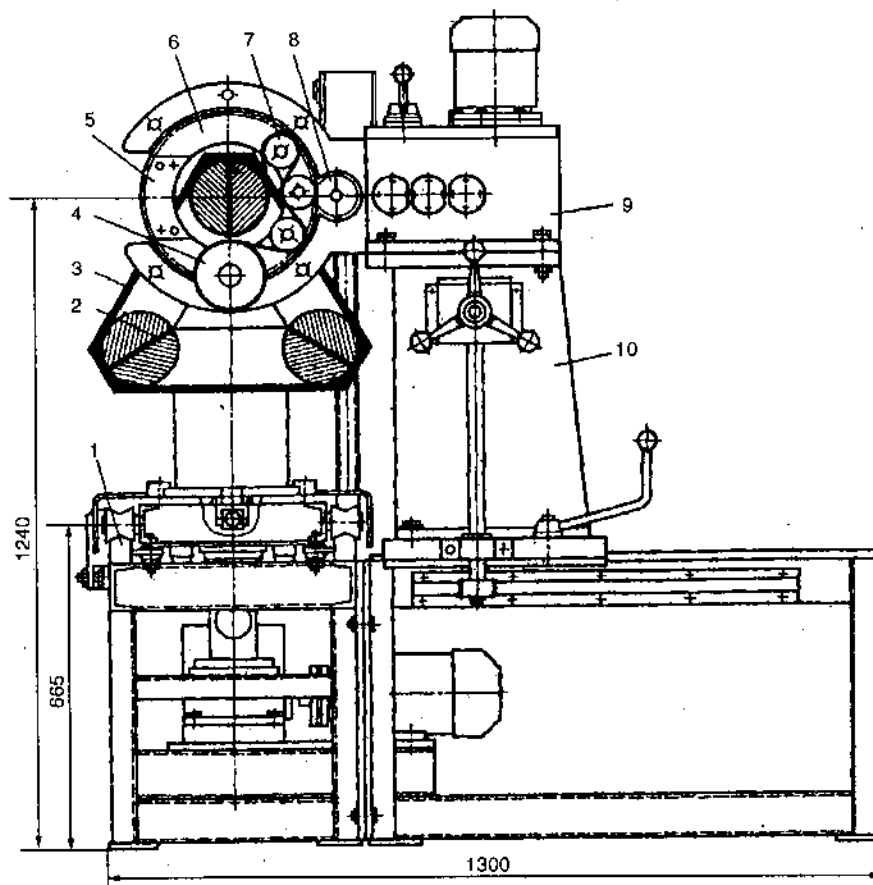
Để quấn băng tôn đã được hàn nối thành mạch từ một pha hình ovan người ta dùng máy quấn như mô tả trên hình 2.67.



Hình 2.67. Máy để quấn mạch từ hình ovan

Nguyên lý làm việc của máy quấn lõi thép hình ovan từ băng tôn như sau. Tang quấn băng tôn 6 được đưa lên một mâm xoay. Đầu nhỏ nhất của băng tôn được đưa vào khuôn quấn 3 qua hệ thống tăng đơ 5 và một cơ cấu dẫn 4. Cơ cấu dẫn có nhiệm vụ phối hợp các chuyển động của khuôn xuống phía dưới khi chuyển tiếp bậc với băng tôn. Khi quấn đến cuối mỗi phần băng tôn, khuôn quấn 3 lại hạ xuống một cấp và với băng tôn hình thang cuộn tôn sẽ có tiết diện một nửa hình tròn. Các trục hình trụ 1 có thể xoay được xung quanh trục của mình dùng để dồn ép cuộn tôn cho chặt chẽ. Băng tôn được căng với lực căng 50kG và ép với áp suất 12kG/cm². Khuôn quấn 3 quay với tốc độ 30 vòng/ph. Lõi thép sau khi quấn được chuyển đi ủ nhiệt để phục hồi khả năng dẫn từ do bị biến tính trong quá trình công nghệ cắt và quấn (hình 2.67).

Để ghép ba cuộn tôn hình ovan thành một mạch từ ba pha và cố định chúng người ta dùng một máy quấn băng thủy tinh như hình 2.68. Thoạt tiên các mạch từ hình ovan được ghép sơ bộ với nhau bằng gông 3 với sai số theo chiều dài không quá 1,5mm. Giữa các nửa hình trụ đặt một lớp cách điện 2. Tiến hành thí nghiệm đo tổn hao và dòng điện từ hóa. Nếu hai lượng trên nhỏ hơn cho phép người ta đưa mạch từ lên mâm cặp của máy quấn băng thủy tinh để cố định các nửa hình trụ với nhau. Mâm cặp của máy quấn băng được lắp trên giá mà có thể dịch chuyển tiến, lùi theo hướng trục của mạch từ một khoảng cách bằng chiều cao của trụ. Máy quấn băng 10 có thể di chuyển tiến, lùi theo rãnh mang cá trên bệ theo hướng vuông góc với mâm cặp.



Hình 2.68. Lắp ráp lõi thép MBA không gian

Đầu quấn bằng 6 hình chữ C quay được nhờ bánh răng 8 truyền từ bộ truyền động 9 sang. Trên đầu quấn 6 mang cuộn băng thủy tinh 4 rộng 20mm. Một đầu dải băng được dẫn qua các trục lăn 7 và gắn vào trụ lõi thép. Khi đầu quấn quay cuộn băng được quấn lên trụ. Phối hợp với chuyển động tịnh tiến của mâm cặp băng thủy tinh sẽ quấn rải đều chồng 1/2 (quấn 2 lớp) lên trụ. Băng được kéo căng với lực 1kN và quấn với tốc độ 24 vòng phút. Cứ như vậy tiến hành quấn cho hai trụ còn lại. Sau khi quấn người ta phủ lên lớp băng thủy tinh một lớp keo epôxi để tạo thành một ống cách điện và tăng độ chắc chắn cho lõi thép.

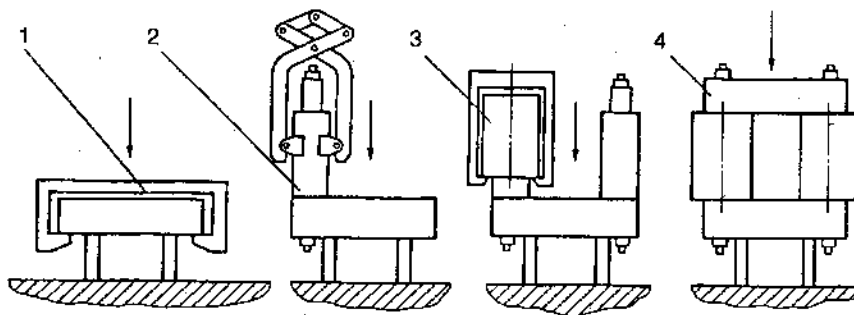
So với mạch từ ba pha, trong mặt phẳng ghép từ các lá tôn mạch từ không gian loại này có trọng lượng thấp hơn 30%, hệ số sử dụng tôn lên tới 99%, độ khó trong chế tạo giảm một nửa. Máy biến áp có lõi thép kiểu này giảm được 15% đến 20% đồng, 30% vật liệu kết cấu, độ khó trong chế tạo giảm 20 – 30%, ít rung và ồn hơn so với MBA thông thường.

b) Mạch từ không gian dạng tam giác vừa quấn vừa ghép

Gông của mạch từ kiểu này có hình tam giác, được quấn từ tôn cuộn có chiều rộng tính trước trên một dây chuyền đặc biệt. Sau khi quấn được một nửa tiết diện người ta để ở ba góc ba thanh thép tròn và quấn tiếp. Sau khi quấn xong tháo bỏ ba thanh thép này ta sẽ có ba lỗ để sau này cố định với trụ nhờ các ti thép xuyên suốt từ trên xuống dưới. Đầu đầu và đầu cuối băng tôn được cố định bằng cách hàn. Do bị uốn và ép khi quấn tôn silic bị biến tính nên sau khi quấn xong gông được ủ nhiệt để phục hồi khả năng dẫn từ.

Trụ của mạch từ được ghép từ các lá tôn hình chữ nhật có tiết diện hình bậc như các máy ba pha trong mặt phẳng. Việc ghép trụ được thực hiện bằng tay nhưng từng thép một (đã được định lượng) chứ không phải từng lá nên năng suất cao. Trụ được ép bằng đai thép hoặc sợi thủy tinh tẩm epôxi.

Khi lắp ráp ruột máy người ta đặt tấm gông dưới 1 lên một giá đỡ, dựng ba trụ thép 2 lên ba đỉnh tam giác của gông và cố định tạm bằng các gugiông, lắp các cuộn dây 3 vào trụ, cuối cùng tháo đai ốc trên của gugiông, đặt gông trên 4 lên đỉnh ba trụ (hình 2.69), cố định lại trụ và gông bằng cách bắt chặt các đai ốc của gugiông. Theo kiểu này việc ghép trụ, gông, tổng lắp ráp ruột máy rất đơn giản, nhanh, dễ cơ khí hóa, dễ sửa chữa khi cần thiết.



Hình 2.69. Trình tự lắp ráp MBA có mạch từ không gian kiểu gông quấn rời

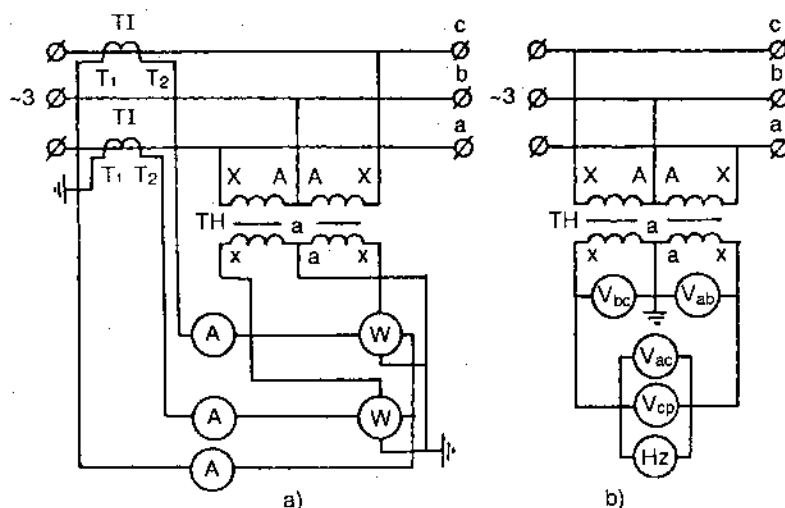
7. Kiểm tra chất lượng lõi thép sau khi lắp ghép

Việc định lượng tôn không đúng, hệ số ép chặt không đủ, chất lượng cách điện kém, tôn bị biến tính nhiều... sẽ dẫn đến làm tăng tổn hao sắt, tăng dòng điện không tải. Vì vậy, đối với các MBA lớn hoặc khi bắt đầu dùng một loại tôn mới hoặc đưa vào dây chuyền một công nghệ mới cần phải thí nghiệm không tải để lấy các đặc tính $P_0 = f(U_0)$ và $I_0 = f(U_0)$. Qua các đặc tính này ta xác định được chất lượng chế tạo lõi thép, mật độ từ thông thích hợp hoặc khẳng định được ưu điểm của công nghệ mới. Trong trường hợp này ta cần quấn lên lõi thép một dây quấn tạm thời với điện áp cấp vào không vượt quá $25 \div 30\%$ điện áp định mức.

Sơ đồ đo tổn hao và dòng điện từ hoá khi đấu dụng cụ đo gián tiếp như hình 2.70a, hình 2.70b là sơ đồ đấu vôn kế có giá trị trung bình, vôn kế đo kiểm tra điện áp pha và tần số kế. Điện áp và dòng điện không tải khi đó bằng:

$$U_0 = (U_{ab} + U_{ac}) / 3$$

$$I_0 = (I_a + I_b + I_c) / 3$$



Hình 2.70. Sơ đồ đo tổn hao và dòng điện từ hoá lõi thép

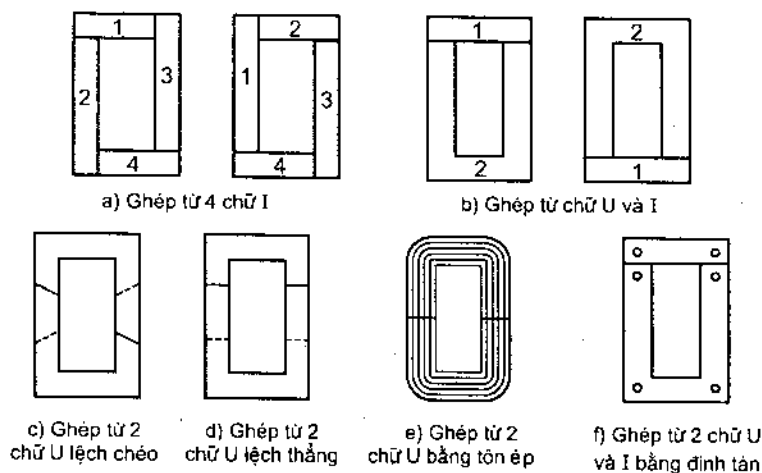
2.5. CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO MẠCH TỪ KHÍ CỤ ĐIỆN VÀ MBA CÔNG SUẤT NHỎ

2.5.1. Phân loại

Mạch từ khí cụ điện và các MBA dùng trong các mạch điều khiển thường có kích thước rất nhỏ nhưng số lượng, chủng loại lại rất lớn. Mạch từ loại này có thể có một pha hoặc ba pha, kiểu bọc, kiểu trụ hoặc trụ bọc. Mạch từ ba pha chủ yếu là của các MBA, các cuộn kháng công suất nhỏ dùng trong điều khiển, các máy biến điện áp ba pha... Về kết cấu có thể phân loại chúng thành các loại sau.

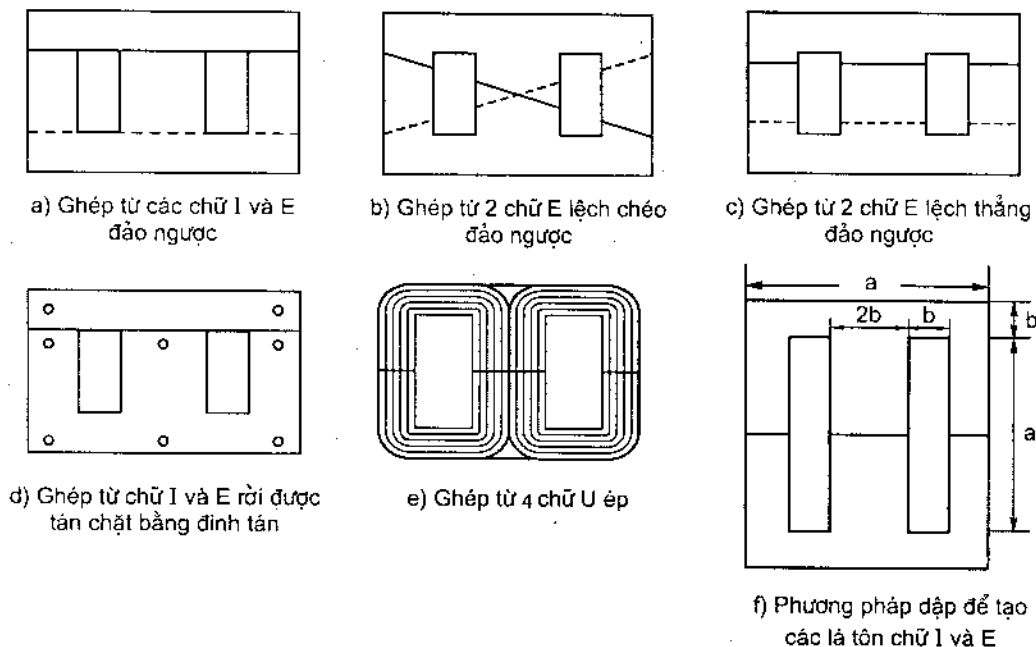
1. Mạch từ một pha kiểu trụ

Loại này có thể ghép từ các lá tôn chữ Π và chữ I hoặc hai chữ Π lệch nhau, cắt thẳng hoặc cắt chéo ghép xen kẽ (hình 2.71) hoặc ép từ các lá tôn có kích thước khác nhau.



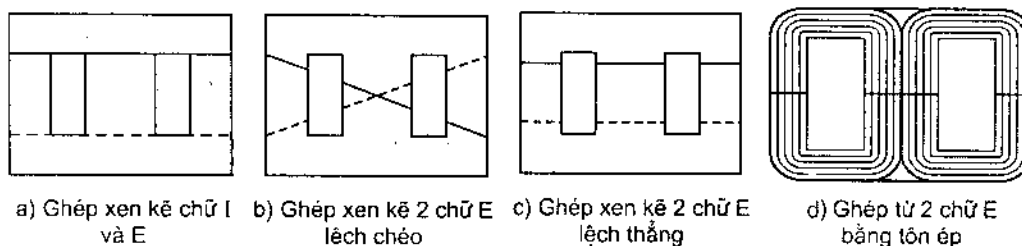
Hình 2.71. Các phương án ghép để tạo thành mạch từ một pha kiểu trụ

2. Mạch từ một pha kiểu bọc ghép xen kẽ từ các lá tôn chữ E và chữ I hoặc từ hai chữ E lệch hoặc 4 chữ Y ép như hình 2.72.



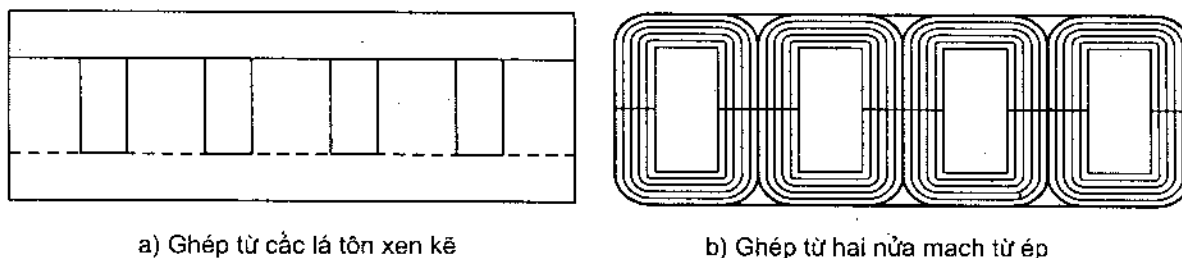
Hình 2.72. Các phương án ghép để tạo thành mạch từ một pha kiểu bọc

3. Mạch từ ba pha kiểu trụ ghép từ các lá tôn chữ E đối xứng và chữ I hoặc từ các chữ E lệch hoặc chữ E ép từ các lá tôn có kích thước khác nhau (hình 2.73).



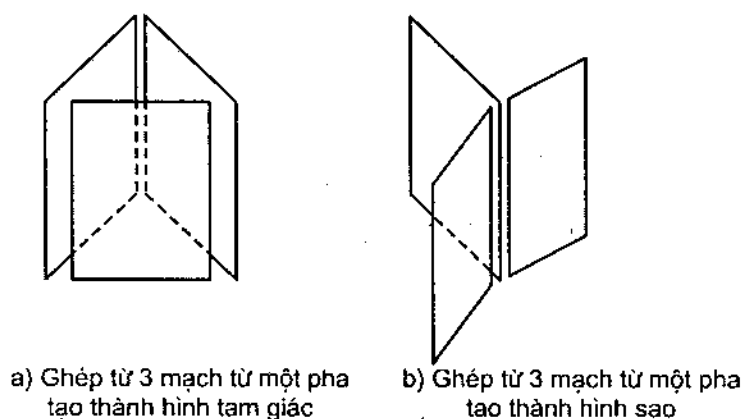
Hình 2.73. Các phương án ghép để tạo thành mạch từ ba pha kiểu trụ

4. Mạch từ ba pha năm trụ ghép từ các lá tôn hoặc mạch từ ép (hình 2.74).



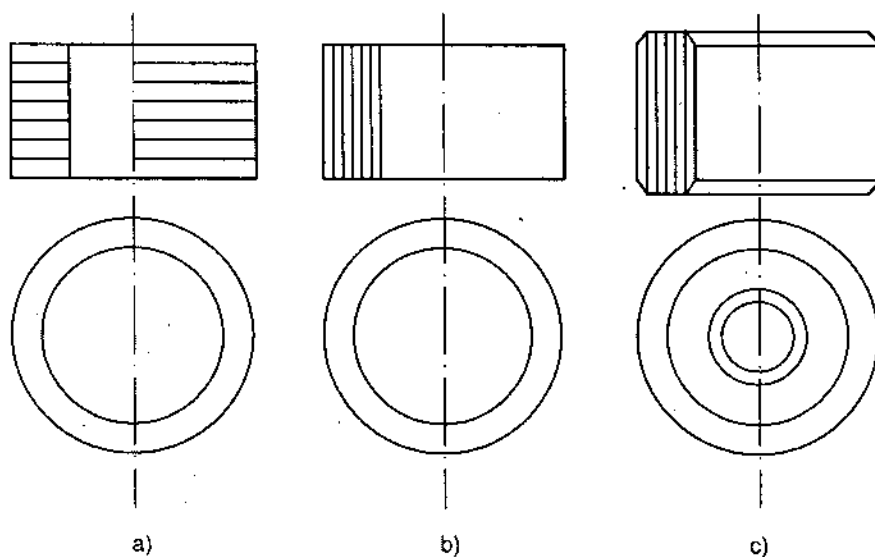
Hình 2.74. Các phương pháp tạo mạch từ 3 pha 5 trụ

5. Mạch từ ba pha không gian ghép từ ba mạch từ một pha hình chữ Π (hình 2.75).



Hình 2.75. Mạch từ 3 pha 3 trụ trong không gian

6. Mạch từ hình xuyên (hình 2.76).



Hình 2.76. Mạch từ một pha hình xuyên

2.5.2. Vật liệu từ

Vật liệu để chế tạo mạch từ khí cụ điện và MBA nhỏ bao gồm thép thường, tôn silic cán nóng, cán nguội, tôn cán vô định hình hoặc Fecmaloi. Tôn silic thường dùng để chế tạo mạch từ nam châm điện cho các loại công tắc tơ, các loại role, các MBA nguồn... Vật liệu Fecmaloi, tôn cán vô định hình thường dùng để chế tạo các MBA có tần số cao. Thép kết cấu đặc hợp kim thép thường dùng làm mạch từ cho các nam châm điện một chiều.

2.5.3. Công nghệ chế tạo mạch từ khí cụ điện

1. Mạch từ ghép từ các lá tôn dập

Mạch từ ghép từ các lá tôn dập có công nghệ giống như công nghệ chế tạo mạch từ máy điện quay: dập, tẩy bavia, ủ, sơn và ghép thành lõi. Quy trình công nghệ trên có nhược điểm là khó đạt được năng suất cao do việc ghép mạch từ bằng tay. Riêng mạch từ công tắc tơ và role xoay chiều, việc ghép và ép giữ được thực hiện bằng đinh tán để tạo ra phần động và phần tĩnh riêng biệt. Điểm đặc biệt trong công nghệ chế tạo mạch từ nhỏ là ảnh hưởng của công nghệ đến tính dẫn từ của vật liệu rất lớn nên để tạo được các mạch từ đồng nhất về chất lượng, quá trình chế tạo phải được giám sát một cách chặt chẽ từ khâu đột dập đến khâu định lượng mạch từ ủ, sơn và ép. Mạch từ ghép từ các lá tôn dập có thể bao gồm tất cả các dạng kể trên.

2. Mạch từ quấn từ tôn dạng cuộn

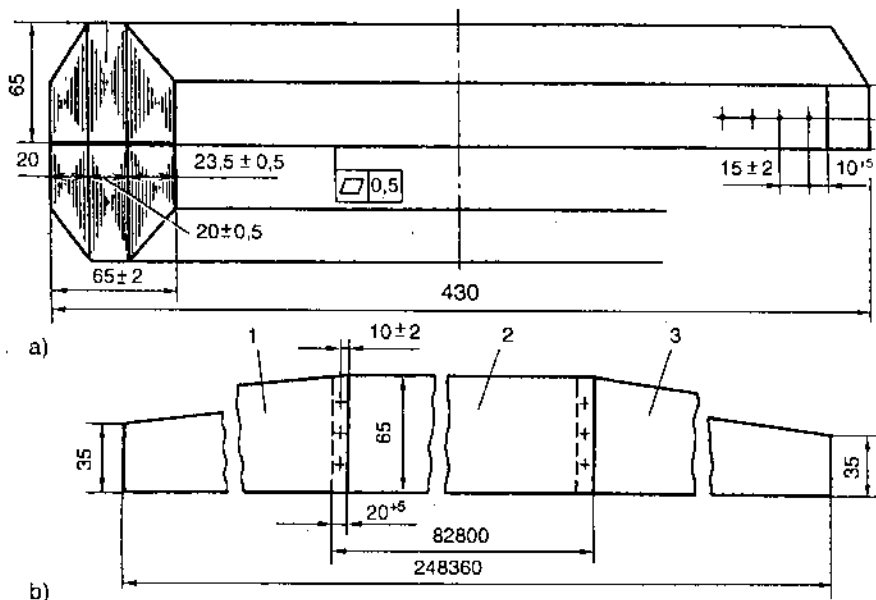
Mạch từ dạng cuộn thường dùng để chế tạo máy biến dòng dạng hình xuyên, các cuộn kháng nhỏ dùng trong điều khiển, các MBA tự ngẫu... Mạch từ dạng cuộn có ba loại có công nghệ chế tạo khác nhau như sau:

a) Mạch từ hình xuyên quấn từ một băng tôn có chiều rộng không đổi

Loại này có tiết diện hình chữ nhật nên khi quấn dây để vòng dây không bị gấp 90° người ta phải đột lên mặt trên và dưới mạch từ các miếng cách điện hình xuyên có tiết diện hình bán nguyệt. Công nghệ quấn loại này rất đơn giản. Băng tôn có được nhờ máy pha băng tôn cuộn đã mô tả ở trên. Máy để quấn phải có cơ cấu mài bavia, căng băng tôn và ép cuộn tôn bằng trục lăn tự xoay khi quấn với một lực nhất định (xem máy quấn tôn hình 2.67), tốc độ quay 30 đến 60 vòng/ph. Khuôn quấn hình trụ bằng thép. Cố định đầu và cuối băng tôn bằng phương pháp hàn hồ quang trong khi bảo vệ. Sau khi quấn cuộn tôn được đem đi ủ nhiệt và xử lý cách điện bằng phương pháp tạo màng oxit cách điện.

b) Mạch từ hình xuyên quấn từ các băng tôn có chiều rộng thay đổi

Để tiết diện mạch từ hình xuyên gần với hình tròn (vát mép 4 góc) ta phải ghép mạch từ từ hai nửa giống nhau như hình 2.77a.



Hình 2.77. Mạch từ hình xuyên có tiết diện gần giống hình tròn

Mỗi một nửa mạch từ được quấn từ ba băng tôn (hình 2.77b): băng thứ nhất và băng thứ ba có dạng hình thang vuông (cắt chéo), băng thứ hai có dạng chữ nhật (cắt thẳng). Công nghệ quấn loại này tương tự như quấn mạch từ không gian của MBA (hình 2.67). Việc nối các tấm tôn trong quá trình quấn được thực hiện bằng hàn điểm. Sau khi quấn các cuộn tôn được đem đi ủ nhiệt, tạo cách điện bằng phương pháp oxit cách điện. Các phần của mạch từ được ghép với nhau qua tấm cách điện 4, sau đó quấn băng vải thủy tinh để cố định chúng.

c) Mạch từ dạng chữ Y quấn từ tôn cuộn

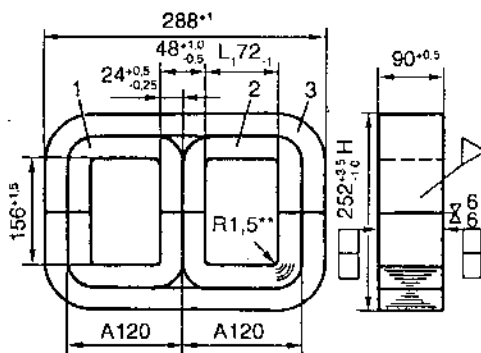
Mạch từ dạng này rất thông dụng trong việc chế tạo các MBA công suất nhỏ dùng trong kỹ thuật điều khiển. Ghép hai chữ Y ngược nhau được mạch từ của MBA một pha kiểu trụ, ghép 4 chữ Y ngược nhau được một mạch từ một pha kiểu bọc. Muốn tăng tiết diện mạch từ ta ghép nhiều chữ Y song song.

Công nghệ chế tạo loại mạch từ này bằng phương pháp quấn như sau:

Quấn mạch từ kín chữ Π từ tôn cuộn có chiều rộng không đổi trên máy quấn tôn đã mô tả ở trên, ủ nhiệt để phục hồi tính đàn hồi và ổn định kết cấu tinh thể, tấm epôxi để giữ các lá tôn sau khi cắt, cắt đôi mạch từ kín thành hai chữ U. Công nghệ cắt tốt nhất là dùng tia lửa điện (cắt dây), tuy nhiên giá thành cắt cao và năng suất thấp.

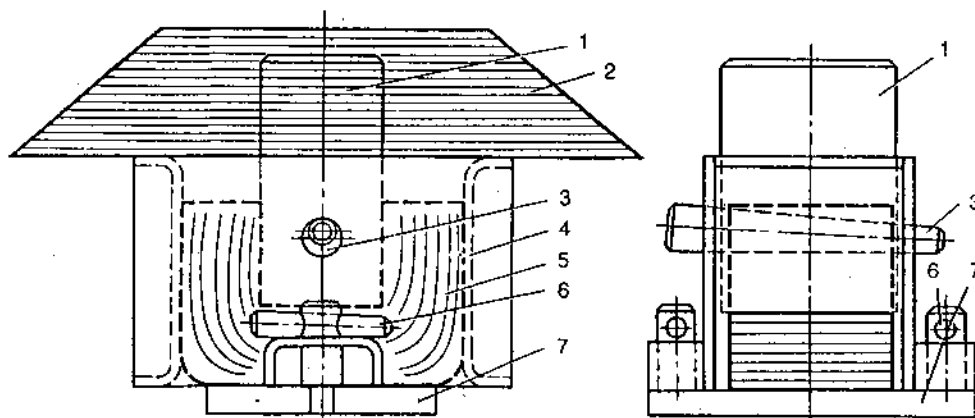
3. Mạch từ ép từ các lá tôn

Loại mạch từ này có thể là một pha hoặc ba pha có hai phần độc lập. Loại một pha được ghép từ các mạch từ kiểu chữ U như đã mô tả ở trên. Loại ba pha bao gồm hai nửa chữ E, mỗi nửa bao gồm hai chữ U nhỏ bên trong và một chữ U lớn bên ngoài như hình 2.78.



Hình 2.78. Mạch từ ba pha ép từ các lá tôn

Công nghệ chế tạo loại mạch từ này như sau: Các lá tôn 2 (hình 2.79) có chiều rộng khác nhau được xếp lên khuôn ép 4. Chày 1 khi chuyển động xuống sẽ ép tất cả các tấm tôn vào khuôn. Toàn bộ khuôn và lõi thép được mang đi ủ nhiệt. Sau khi ủ nhiệt các lá tôn được phục hồi tính đàn từ, đồng thời mất tính đàn hồi và sau khi tháo ra khỏi khuôn chúng giữ nguyên dạng như trong khuôn. Mạch từ được đem đi tẩm epôxi để cố định lá tôn và phay bề mặt ghép, như vậy chúng ta đã có một nửa mạch từ hình chữ U. Nếu muốn chế tạo mạch từ ba pha ta dùng hai bộ khuôn cùng với tôn đã ép để tạo thành một bộ khuôn lớn để ép chữ U lớn, sau đó đưa tất cả đi ủ nhiệt và tẩm epôxi. Kết thúc quá trình công nghệ là phay bề mặt lắp ghép trên máy phay. Trên hình 2.79 ta thấy, để lấy lõi thép ra khỏi khuôn chỉ cần đóng cho nêm 3 rơi ra để tháo chày, chốt 6 và đáy khuôn rồi đẩy lõi thép tụt xuống dưới.



Hình 2.79. Ép các lá tôn trong khuôn để tạo mạch từ ép

CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO DÂY QUẤN

3.1. ĐẠI CƯƠNG VỀ CHẾ TẠO DÂY THIẾT BỊ ĐIỆN

Dây quấn của thiết bị điện phải đảm bảo được các yêu cầu chính sau:

1. Cảm ứng được một sức điện động (sdd) cho trước. Để đảm bảo yêu cầu này cuộn dây phải quấn đủ vòng theo thiết kế. Sai số về số vòng dây sẽ dẫn đến thay đổi dòng điện không tải, tổn hao không tải trong động cơ không đồng bộ; sai số điện áp không tải của máy phát và máy biến áp, sinh ra dòng điện cân bằng trong máy điện một chiều, sai số về lực hút và độ ổn của các khí cụ điện...

2. Cho phép một dòng điện nhất định đi qua mà không nóng quá nhiệt độ cho trước. Để đảm bảo yêu cầu này cuộn dây phải có điều kiện tản nhiệt tốt nhất. Cuộn dây có khả năng tỏa nhiệt tốt nhất khi giữa các vòng dây, giữa dây quấn và cách điện với lõi thép của máy điện quay hoặc khí cụ điện không có các lớp không khí mỏng (truyền nhiệt trong môi trường đồng nhất). Trong máy biến áp các rãnh thông dầu ngang và dọc không bị hẹp so với thiết kế, không bị tắc và không bị các phần tử kết cấu (tấm cách thanh gỗ tạo rãnh dầu...) che khuất diện tích tản nhiệt.

3. Chịu được những lực điện động cho trước (khi mở máy, đóng điện không tải, mang tải đột ngột, ngắn mạch đột nhiên...). Để đảm bảo yêu cầu này cuộn dây phải có kết cấu chắc chắn. Khi làm việc trong những điều kiện trên các thanh dẫn, vòng dây có thể bị dịch chuyển hoặc bị rung động làm cho cách điện bị mòn và thay đổi khoảng cách cách điện. Đến một lúc nào đó các vòng dây sẽ bị chạm vào nhau và gây ngắn mạch. Vì vậy, các cuộn dây có cách điện khô phải được tắm sấy kỹ hoặc đúc trong nhựa epôxi, các cuộn dây ngâm dầu phải được dai buộc thật chắc chắn.

4. Có độ tin cậy cao trong vận hành và có tuổi thọ theo thiết kế. Để đảm bảo yêu cầu này cuộn dây phải có cách điện tốt, không chứa các yếu tố làm xấu cách điện trong quá trình vận hành. Sự suy giảm cường độ cách điện nhanh hay chậm phụ thuộc vào các yếu tố sau:

– Thứ tự sắp xếp các vòng dây không hợp lý hoặc quấn, lồng dây lộn xộn gây ra điện áp cao giữa các vòng dây nằm cạnh nhau. Khi cường độ cách điện giảm sẽ xảy ra phóng điện.

– Trong quá trình chế tạo cuộn dây, lồng dây đã làm cho cách điện của thanh dẫn bị trầy xước.

– Khoảng cách điện bị giảm do quá trình chế tạo. Hiện tượng này thường xảy ra trong chế tạo máy biến áp. Các khoảng cách a_0 , a_{12} , a_{22} , l_0 , khoảng cách giữa các đầu dây ra với nhau và với vỏ có thể thay đổi trong quá trình quấn, ép nén hoàn thiện cuộn dây, trong quá trình lắp ráp ruột máy và thậm chí trong quá trình vận chuyển máy đến nơi lắp đặt.

– Cường độ cách điện của vật liệu cách điện bị suy giảm theo thời gian, sự tác động của điện áp, ảnh hưởng của nhiệt độ, môi trường...

Ngoài yếu tố thiết kế tối ưu, công nghệ chế tạo dây quấn sẽ quyết định các yếu tố nói trên cũng như giá thành của máy. Giá thành của dây quấn tùy theo công suất, có thể chiếm từ 35 ÷ 50% giá thành máy.

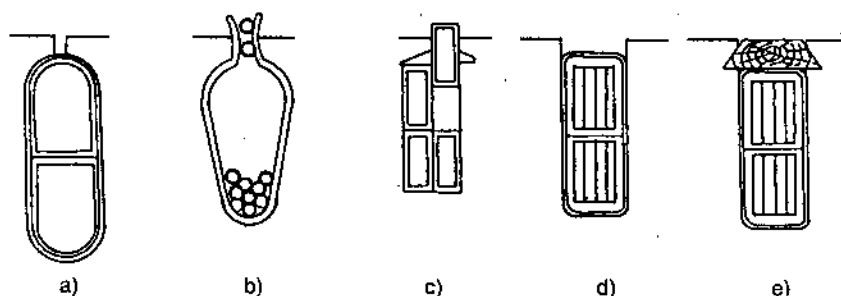
Xu hướng phát triển của công nghệ chế tạo dây quấn là cơ khí hoá và tự động hoá quá trình chế tạo cuộn dây cũng như quá trình lồng dây. Muốn vậy, cần đơn giản hoá kết cấu của thiết bị điện, lựa chọn những kiểu dây quấn dễ tự động hoá, dùng loại dây dẫn có cấp cách điện cao, các loại dây dẫn đã hoàn vị sẵn,...

3.2. CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN QUAY

3.2.1 Phân loại dây quấn về phương diện công nghệ

Dây quấn máy điện quay là tổ hợp các cuộn dây (bối dây, phần tử) hoặc thanh dẫn điện, được nối với nhau theo một quy luật nhất định và được cách điện với lõi sắt. Có nhiều kiểu rãnh khác nhau và mỗi kiểu rãnh quyết định một kiểu dây quấn nhất định, nhưng nói chung đều thuộc 4 loại chính (hình 3.1).

– Rãnh kín là loại rãnh không có miệng rãnh hoặc miệng rãnh rất nhỏ (không dùng để đưa dây qua miệng rãnh). Loại rãnh này dùng cho rôto ngắn mạch (đúc nhôm) hoặc dây quấn kiểu thanh dẫn. Dạng rãnh có thể là hình chữ nhật, ôvan hoặc quả lê. Các thanh dẫn được đưa vào từ hai đầu (hình 3.1a).



Hình 3.1. Các dạng rãnh cơ bản trong máy điện quay

– Rãnh nửa kín (hình 3.1b) có miệng rãnh đủ rộng để có thể cho dây dẫn tròn có đường kính nhỏ hơn 2,1mm qua miệng rãnh. Dạng rãnh có hình quả lê, ôvan hoặc hình thang. Loại rãnh này thường dùng cho các động cơ công suất dưới 100kW, các máy phát điện công suất đến 700kW, điện áp đến 660V hoặc phần ứng máy một chiều công suất dưới 15kW.

– Rãnh nửa hở (hình 3.1c) dành cho dây quấn kiểu phần tử cứng, trong mỗi lớp đặt thành hai dãy. Loại rãnh này dùng cho các máy điện công suất 100 ÷ 400kW, điện áp đến 660V.

– Rãnh hở (hình 3.1d, e) được dùng cho các động cơ một chiều công suất lớn (> 200kW), rôto của máy không đồng bộ công suất từ 15 ÷ 100kW, dây quấn stato của máy điện xoay chiều công suất lớn hơn 400kW, các máy phát tua bin hơi và tua bin nước, các máy có điện áp cao hoặc có yêu cầu đặc biệt về độ tin cậy (như động cơ chống nổ). Để giữ dây quấn trong các rãnh này người ta dùng nêm, đai kim loại hoặc đai sợi thủy tinh.

Dây quấn có nhiều loại: một chiều, xoay chiều; một lớp, hai lớp; một pha, ba pha; dây quấn xếp, dây quấn sóng, dây quấn phản ứng, dây quấn kích từ v.v... Nhưng về mặt công nghệ chế tạo, được chia làm các loại: dây quấn phân tử mềm, dây quấn phân tử cứng, dây quấn kiểu thanh dẫn, dây quấn lồng sóc và dây quấn cục từ.

3.2.2. Cách điện của dây quấn và dây dẫn dùng làm dây quấn

1. Các loại vật liệu cách điện dùng trong máy điện và các phương pháp gia công

Tuổi thọ của máy điện làm việc ở chế độ định mức phụ thuộc chủ yếu vào chất lượng của vật liệu cách điện. Chế độ nhiệt cùng với thời gian quyết định tốc độ già hoá, xuống cấp của vật liệu cách điện. Người ta phân biệt vật liệu cách điện theo cấp chịu nhiệt. Cấp chịu nhiệt là khả năng duy trì đặc tính cách điện của vật liệu cách điện ứng với một cấp chịu nhiệt nào đó. Các vật liệu cách điện được phân loại theo cấp chịu nhiệt như sau:

- Cấp Y (90°C) bao gồm các loại vật liệu xenlulô như bông, sợi, tơ lụa, sợi tổng hợp không được tẩm sấy bằng sơn cách điện.

- Cấp A (105°C) bao gồm các loại vải sợi xenlulô, sợi tự nhiên hoặc nhân tạo đã được qua tẩm sấy sơn cách điện.

- Cấp E (120°C) gồm các loại màng vải, sợi tổng hợp gốc hữu cơ có thể chịu được nhiệt độ tương ứng.

- Cấp B (130°C) gồm các vật liệu gốc mica, sợi thuỷ tinh hoặc amiăng được liên kết bằng sơn hoặc nhựa gốc hữu cơ và các chất tổng hợp có khả năng chịu nhiệt tương ứng.

- Cấp F (155°C) giống như cấp B nhưng được nhúng tẩm hoặc kết dính bằng sơn, nhựa tổng hợp có khả năng chịu nhiệt tương ứng.

- Cấp H (180°C) giống như cấp B nhưng dùng sơn tẩm hoặc chất dính gốc silic hữu cơ và các chất tổng hợp có khả năng chịu nhiệt tương ứng.

- Cấp C (cao hơn 180°C) gồm các chất gốc mica, thuỷ tinh, thạch anh (SiO_2) và các hợp chất của chúng dùng trực tiếp không có chất liên kết. Các chất vô cơ có phụ gia liên kết bằng các chất hữu cơ phân tử và các chất tổng hợp có khả năng chịu nhiệt tương ứng.

Các nhiệt độ tương ứng với các cấp chịu nhiệt nói trên là nhiệt độ giới hạn cho phép đối với máy điện làm việc liên tục ở chế độ định mức (kể cả đốt nóng cục bộ).

Khi chọn vật liệu cách điện còn phải căn cứ vào điều kiện làm việc của máy điện, ví dụ trong môi trường có độ ẩm cao, có nhiều chất hoá học, môi trường dầu... Khả năng chịu ẩm là khả năng giữ được tính chất cách điện trong môi trường ẩm ướt (độ ẩm tương đối khoảng 98%). Trong trường hợp này mặc dù không đòi hỏi chịu nhiệt cao vẫn phải nâng cấp cách điện.

Các máy điện được nhiệt đới hoá có cách điện phải chịu được độ ẩm cao, nhiệt độ môi trường cao và sự phá huỷ của vi sinh vật. Đối với những loại này không được dùng các chất cách điện gốc xenlulô và cần phải tẩm sấy bằng các loại sơn tẩm đặc biệt.

Các máy điện chịu điện áp cao hoặc làm việc trong môi trường có trường điện từ mạnh cần phải có những vật liệu cách điện chịu được sức phá huỷ tính cách điện của từ trường mạnh. Các động cơ lớn hoặc các máy điện chống nổ có cách điện đặc biệt.

2. Kết cấu cách điện của máy điện quay và các biện pháp thực hiện

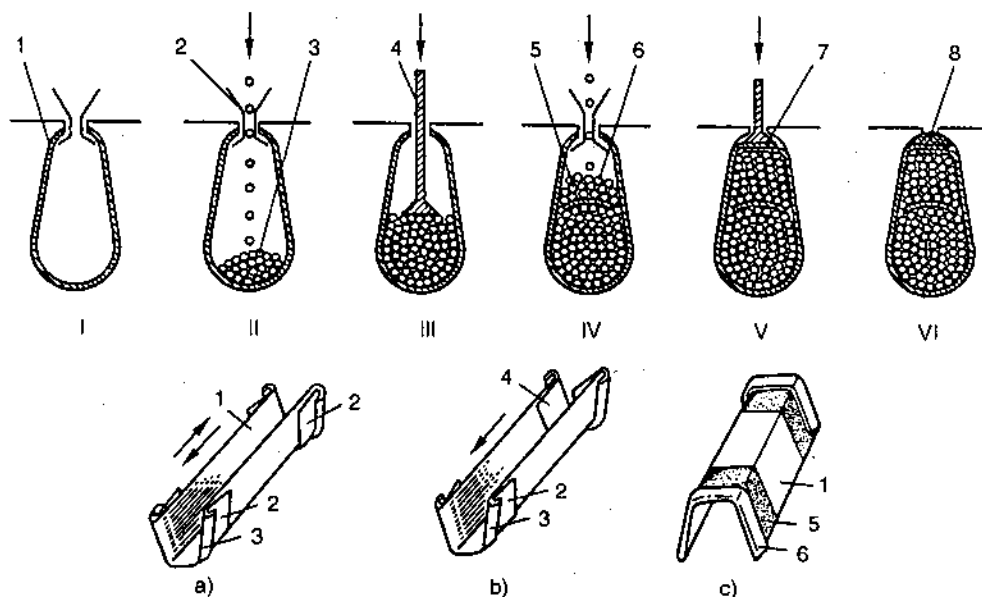
Trong các máy điện có các loại cách điện sau: Cách điện giữa các vòng dây, cách điện giữa các bối dây, cách điện giữa dây quấn với lõi sắt (vỏ). Kết cấu cách điện ở phần trong rãnh cũng khác với cách điện ở phần đầu nối.

Cách điện vòng dây thường là cách điện của chính sợi dây dùng làm dây quấn. Đối với máy có điện áp cao người ta bọc thêm lên sợi dây một lớp cách điện tăng cường.

Kết cấu cách điện đối với lõi sắt (cách điện ở phần rãnh) tùy theo điện áp, cấp chịu nhiệt và tầm quan trọng của máy mà thay đổi số lớp cách điện cho phù hợp (do nhà thiết kế quy định). Cách điện phần đầu nối chủ yếu dùng để cách các bối dây, các nhóm bối dây (các pha) với nhau. Đối với máy điện áp thấp, công suất nhỏ không cần cách điện giữa các bối dây trong cùng một nhóm. Phần đầu nối các bối dây có thể bọc kín hoặc để hở tùy theo mục đích sử dụng máy.

a) Cách điện dây quấn phần tử mềm

Dây quấn phần tử mềm được cấu tạo bằng dây dẫn tròn. Cách điện giữa dây quấn với lõi sắt là cách điện rãnh được đặt trong rãnh trước khi đặt các bối dây vào. Sau khi đặt dây, người ta gấp mép cách điện ở miệng rãnh rồi dùng nêm đóng để nén chặt dây trong rãnh theo hai cách (hình 3.2).



Hình 3.2. Cách điện dây quấn phần tử mềm

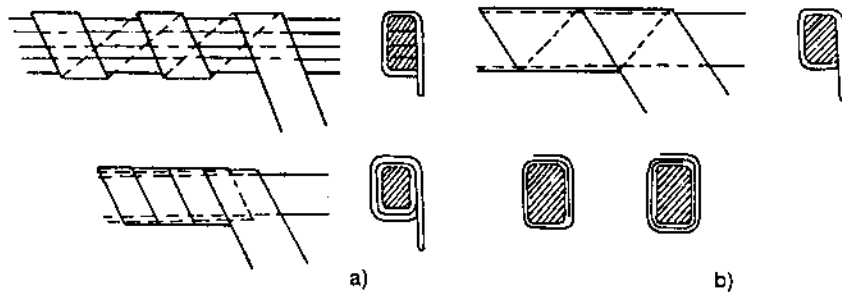
Qua nghiên cứu các nguyên nhân sự cố máy điện người ta thấy rằng phần lớn những chỗ hỏng tập trung ở mép rãnh (hai đầu rãnh). Cách điện mép rãnh thường bị dập hoặc rách do phần đầu nối dây quấn sau khi ra khỏi mép rãnh bị bẻ về phía lưng lõi sắt. Để khắc phục hiện tượng này người ta cắt cách điện rãnh dài ra một ít rồi gấp ngược lại để tăng cường ở khu vực mép rãnh. Nhược điểm ở đây là phần cách điện gấp ngược thường loe ra, không đẹp và gây phiền phức khi đại phần đầu nối (hình 3.2b).

b) Cách điện dây quấn phần tử cứng

Các bối dây phần tử cứng được đặt trong các rãnh hở hoặc nửa hở. Đối với rãnh nửa

hở, các bối dây phải chia làm hai phần theo chiều ngang rãnh. Ngoài cách điện của bản thân bối dây còn phải đặt thêm cách điện rãnh. Đối với dây quấn đặt trong rãnh hở thì không đặt thêm cách điện rãnh nữa. Các bối dây trong trường hợp này được bọc bằng nhiều lớp cách điện, tẩm sấy kỹ rồi đặt vào các rãnh, đóng nệm là xong.

Việc cách điện các bối dây phần tử cứng thường áp dụng phương pháp quấn bằng cách điện bằng các vật liệu khác nhau. Lớp trong cùng là lớp băng quấn thưa, mục đích để giữ các vòng dây. Lớp giữa là lớp cách điện chủ yếu. Lớp ngoài cùng vừa cách điện vừa là lớp bảo vệ được quấn chồng 1/2 hoặc 2/3. Lớp giữa được quấn bằng băng rộng, số lớp theo thiết kế (hình 3.3).



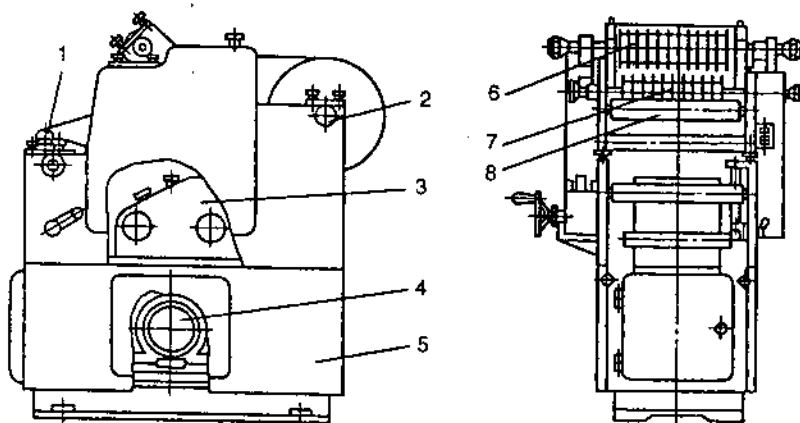
Hình 3.3. Cách điện bối dây phần tử cứng

Cách điện đầu dây ra và các chỗ nối dây. Đầu dây ra và các chỗ nối dây cần phải bọc cách điện thật tốt vì đó là những chỗ cộm hoặc vượt đề từ pha này qua pha khác. Điện áp giữa các dây ra chính là điện áp của máy. Đầu ra của mỗi bối dây được bọc tăng cường tối thiểu 3 ÷ 6 lớp băng cách điện (chất liệu băng tùy theo cấp cách điện) hoặc dút trong ống ghen cách điện đến sát miệng rãnh. Đoạn dây nối từ hộp đầu dây vào dây quấn thường dùng dây nhiều sợi vỏ bằng nhựa chịu nhiệt hoặc sợi thủy tinh. Đối với động cơ lớn, đầu ra thường phải dùng cáp cao su bọc sợi thủy tinh.

3. Cơ khí hoá việc cắt vật liệu cách điện

Trong sản xuất lớn việc cắt chính xác các tấm cách điện rãnh rất quan trọng, nó quyết định năng suất không chỉ khâu cắt cách điện mà còn cả khâu lồng dây. Nếu kích thước các miếng cách điện không chính xác người lồng dây thường phải mất thời gian cắt lại hoặc bị hụt rất khó lồng. Vì vậy, việc cơ khí hoá khâu cắt cách điện là bắt buộc. Sau đây giới thiệu một số máy cắt cách điện để tham khảo. Để cắt các tấm cách điện rãnh đầu tiên phải pha cuộn cách điện nguyên liệu thành băng có chiều rộng định trước và quấn thành các rulo nhỏ (trên máy cắt đĩa), sau đó tiến hành cắt ngang trên các máy có dao tịnh tiến.

Hình 3.4 giới thiệu một máy cắt đĩa để pha rulo bìa cách điện thành nhiều rulo nhỏ có kích thước khác nhau. Cuộn giấy nguyên liệu được lắp trên trục 2 có thể hãm để tạo độ căng cho băng giấy. Băng giấy nguyên liệu được hệ thống dao 6 và 7 cắt thành băng nhỏ sau khi đi qua trục trung gian 8 được quấn lên trục quấn 1. Bộ truyền động 4 và bộ điều khiển truyền động 3 cho phép cắt với tốc độ 19,5m/ph. Chiều dày băng giấy có thể dao động trong khoảng 0,2, đến 0,35, chiều rộng tối đa của các băng giấy nhỏ đạt 250mm và đường kính đến 390mm với sai số không quá 0,1mm. Các băng giấy mỏng cắt trên máy này cũng dùng để bọc cách điện dây dẫn trong sản xuất máy biến áp.

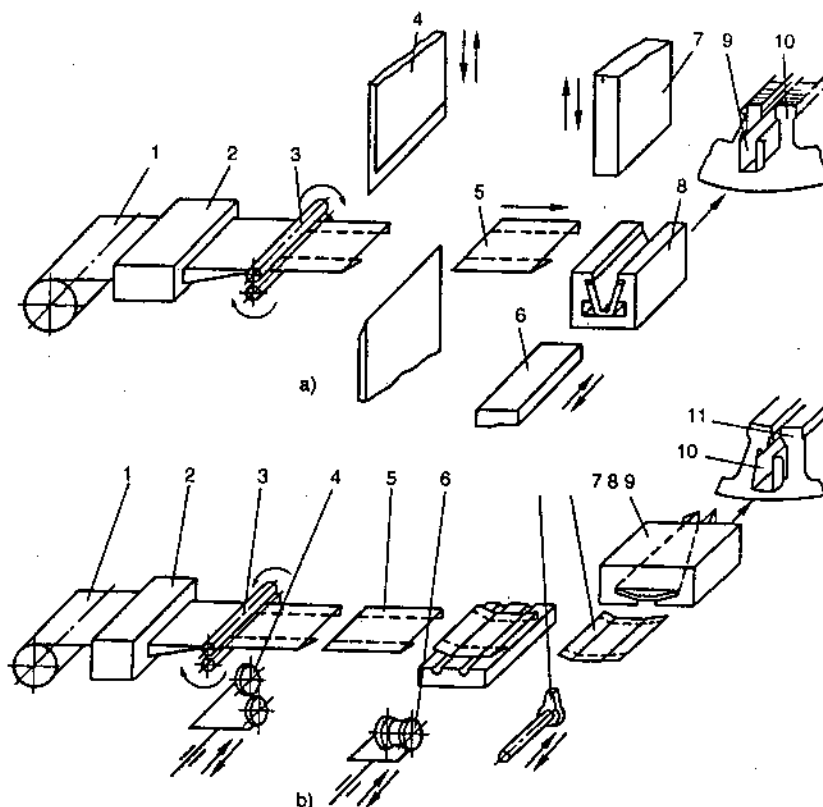


Hình 3.4. Máy cắt cách điện kiểu đĩa

Sau khi đã có các cuộn băng cách điện có chiều rộng thích hợp người ta đưa chúng đến máy cắt ngang có dao chuyển động tịnh tiến để tạo ra các tấm cách điện có hình chữ nhật. Máy có thể cắt các loại các tông cách điện từ các rulo nói trên, micanít,... và được tự động hoá khâu sắp xếp sản phẩm và cấp liệu.

Trong sản xuất tự động các tấm cách điện này trước khi cắt ngang được gấp mép, và sau khi cắt được uốn tạo hình và đẩy trực tiếp vào rãnh của lõi thép.

Trên hình 3.5 giới thiệu hai sơ đồ cắt và đặt cách điện dùng trong sản xuất loạt lớn. Sơ đồ hình 3.5a mô tả phương pháp cắt bằng dao tịnh tiến, khuôn ép tạo hình và dẫn hướng dùng chày tịnh tiến, còn sơ đồ hình 3.5b mô tả cắt, tạo hình dao đĩa và chày ép lăn, dẫn hướng tịnh tiến.



Hình 3.5. Máy cắt và đặt cách điện rãnh

Hai mép của băng cách điện 1 sau khi đi qua cơ cấu gấp mép 2 được uốn vuông góc và được gấp ngược vào khi qua các trục cán 3. Tấm cách điện 5 có chiều dài định trước được dao 4 cắt khỏi dải băng và rơi vào cơ cấu uốn tạo hình 8 và được chày 6 đẩy vào lõi sắt 10. Stato được xoay đi từng góc một trên một cơ cấu đặc biệt.

c) Dây dẫn dùng làm dây quấn và việc cơ khí hoá khâu cắt dây

Dây dẫn dùng làm dây quấn chủ yếu là đồng gần nguyên chất (đồng M1). Về khía cạnh công nghệ cần chú ý hai đặc điểm của đồng:

- Tạp chất trong đồng làm tăng điện trở suất của đồng rất mạnh, đặc biệt là antimoan (Sb) và bismát (Bi).

- Dưới tác dụng của lực cơ khí (đập, uốn, bẻ) đồng bị biến cứng và tăng điện trở suất. Để khử sự biến cứng người ta phải ủ nhiệt.

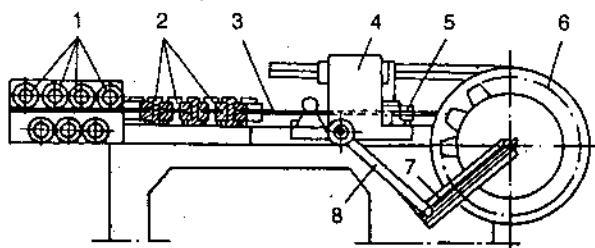
Ngoài đồng tinh khiết, trong máy điện cũng dùng đồng thau, đồng thanh và nhôm để làm dây quấn, chủ yếu để chế tạo dây quấn rôto lồng sóc, dây quấn mở máy (trong động cơ đồng bộ). Nhôm cũng được dùng trong việc chế tạo dây quấn phần ứng của máy điện xoay chiều.

Dây dẫn dùng làm dây quấn thường được cách điện sẵn. Cách điện của dây dẫn có thể là sợi bông, sợi thuỷ tinh, băng giấy cách điện hoặc emay. Ngoài yêu cầu về khả năng chịu nhiệt và cường độ cách điện dây emay còn có thêm yêu cầu về độ bám của lớp emay đối với đồng hoặc nhôm. Để đánh giá độ bám của emay người ta thường bẻ sợi dây cho đến khi gãy đứt; nếu lớp emay đứt ngay trên vết gãy là tốt, nếu lớp emay bị bong trước khi dây đồng đứt là không tốt.

Hiện nay ta đã sản xuất được một phần dây emay nhưng chủ yếu vẫn nhập ngoại từ Nga, Trung Quốc, Hàn Quốc... phần lớn chưa chú trọng đến chủng loại dây. Thực tế, dây emay có rất nhiều loại để dùng trong các loại máy khác nhau.

Đối với máy điện công suất trung bình và lớn thường dùng dây dẫn tiết diện chữ nhật vì vậy số vòng trong một bố hoặc nhóm bố rất ít. Chiều dài sợi dây để quấn các bố dây như vậy rất ngắn, chỉ một hoặc hai mét. Các sợi dây được tính toán chính xác chiều dài và được cắt và nắn thẳng trên máy cắt dây, đảm bảo để khi quấn không thừa không thiếu.

Trên hình 3.6 giới thiệu một máy cắt – nắn dây.



Hình 3.6. Máy cắt và nắn sợi dây trước khi đưa vào máy quấn

Phần bên trái bố trí hai dây trục cán 1, 2 vuông góc nhau để nắn dây theo 2 phía trước khi cắt. Phần giữa máy người ta đặt con trượt 4 có bộ phận ghim giữ đầu dây 5 và chuyển động tiến, lùi được nhờ các thanh truyền 7 và 8. Bằng cách điều chỉnh góc quay

của vành 6 ta có thể điều chỉnh được hành trình của con trượt. Nếu chiều dài sợi dây lớn hơn hành trình của con trượt thì vành 6 có thể quay một số vòng rồi kéo cắt dây mới tác động. Dây được đưa vào máy từ bên trái qua hai hệ thống trục nắn, qua con trượt, kéo cắt và đi ra ở phía bên phải. Máy cắt dây này có năng suất rất cao, các đoạn dây được cắt có chiều dài hoàn toàn giống nhau.

3.2.3. Công nghệ chế tạo các cuộn dây của dây quấn

1. Chế tạo cuộn dây stato bằng dây dẫn tròn

Trong các động cơ kiểu cũ, người ta chỉ dùng dây quấn phần tử mềm đối với loại có công suất đến 100kW. Trong các động cơ đó, người ta dùng số mạch nhánh song song tối đa đến 12, số sợi chập song song đến 8. Ngày nay, do sử dụng cách điện sợi dây (cách điện vòng dây) cao cấp và kỹ thuật hàn hiện đại, các máy có công suất tới 500 – 700 kVA người ta cũng dùng dây quấn phần tử mềm. Số sợi chập song song trong máy này có thể lên tới 30.

Dây quấn stato được hình thành từ các nhóm bố dây, trong một nhóm thường có q bố được quấn liên tục từ một sợi dây. Việc hàn nối chỉ ở chỗ đầu các nhóm bố với nhau. Trong các động cơ công suất nhỏ, thậm chí người ta còn quấn liên tục tất cả các bố dây của cùng một pha bằng một sợi dây liên tục. Quấn như vậy sẽ đơn giản được việc hàn nối, nhưng khi lồng dây có phức tạp hơn vì các bố dây dính với nhau.

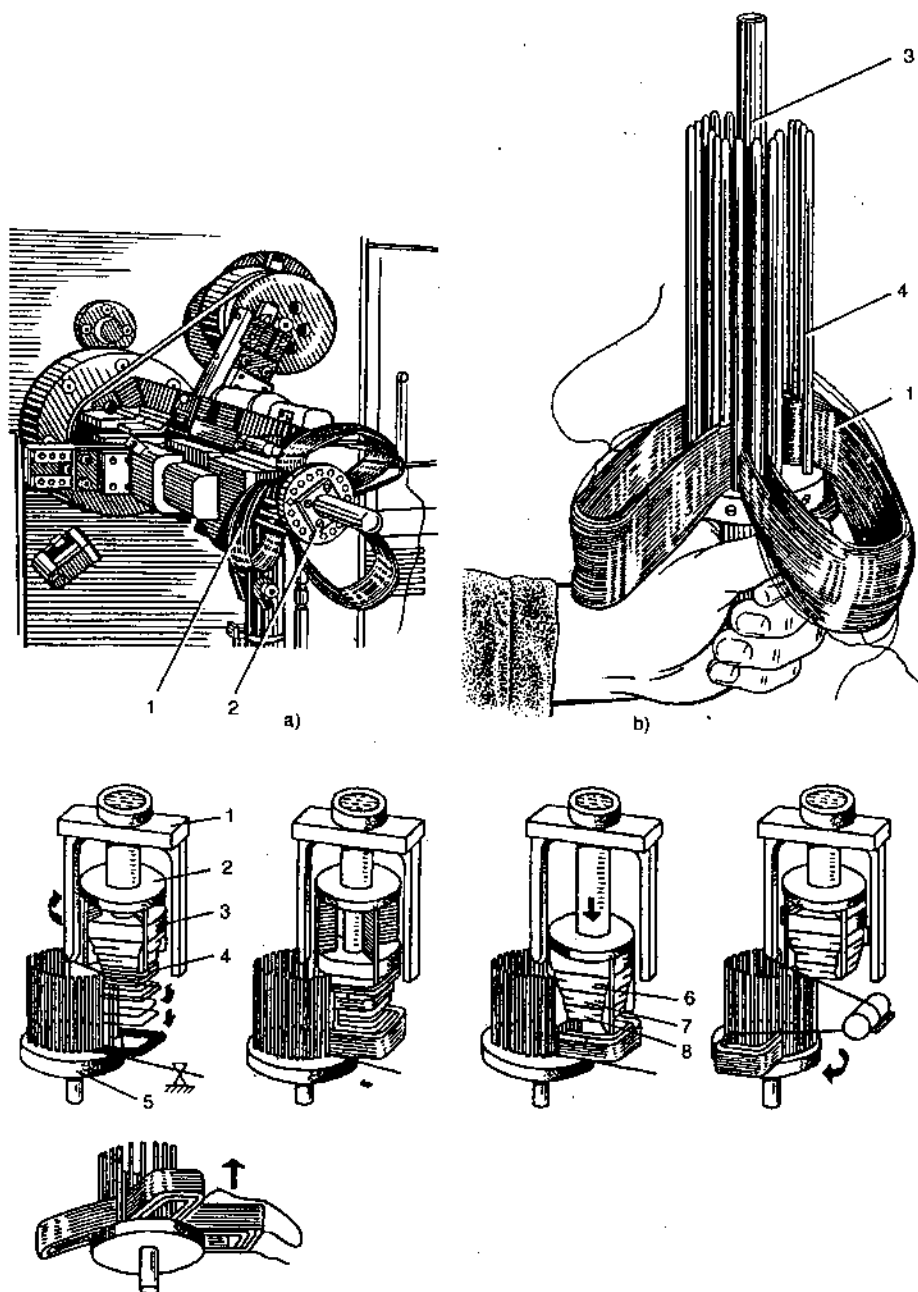
a) Khuôn quấn dây

Để quấn các bố dây người ta phải dùng khuôn quấn dây. Trong thực tế có hai cách: quấn sợi dây lên khuôn đứng yên và lên khuôn quay.

Theo cách thứ nhất, sợi dây sau khi ra khỏi rulô được luồn qua lòng một ống cong và khi ống này quay sợi dây được quấn lên một khuôn hình côn. Vòng dây sau khi định dạng theo hình dạng khuôn thì tuột khỏi khuôn (vì bề mặt khuôn hình côn) và rơi vào một cơ cấu chia bố. Hình 3.7 mô tả một kiểu khuôn như vậy. Cơ cấu mang sợi dây dẫn 1 quay và quấn sợi dây dẫn lên khuôn cố định 3.

Vòng dây được định dạng trên bề mặt hình côn 4 bị trượt và rơi xuống bộ chia bố 5 gồm có nhiều thanh gỗ tròn cắm vòng quanh một mâm gỗ. Sau khi quấn xong một bố tám dây 2 đẩy khuôn xuống một nấc để tiếp tục quấn bố thứ 2. Để quấn các nhóm tiếp theo khuôn (hoặc cơ cấu chia bố) được xoay đi một góc và lặp lại các thao tác trên. Loại khuôn này thường áp dụng cho những bố dây có ít số sợi chập song song, thường là 2.

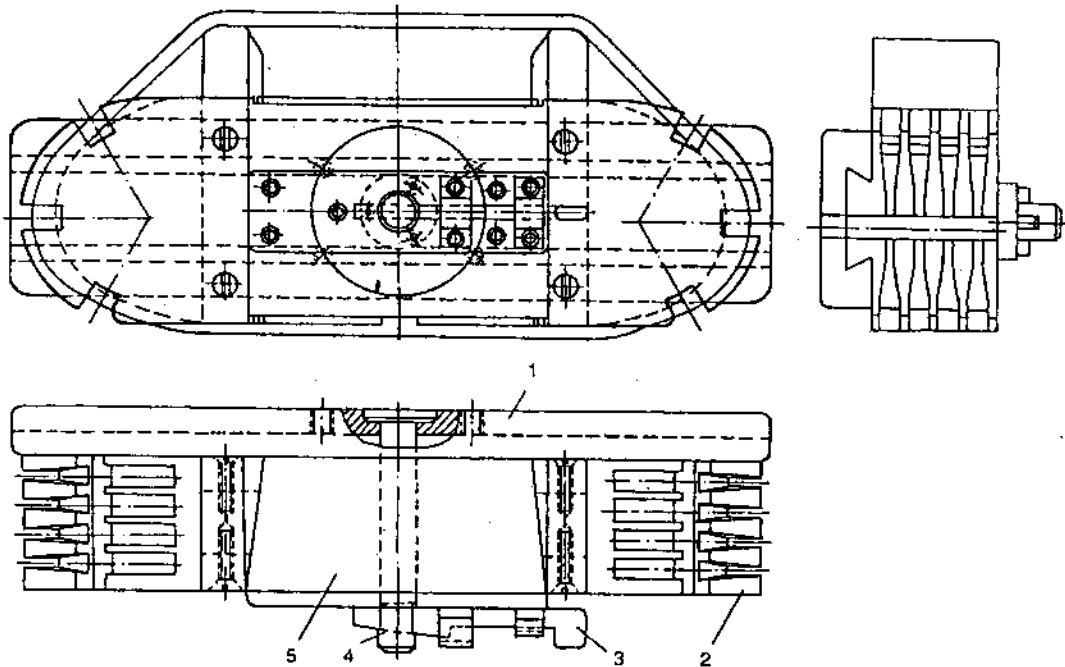
Theo cách thứ hai khuôn được quay xung quanh trục, các sợi dây dẫn được lấy từ các rulô dây qua một cơ cấu dẫn hướng và đi vào các khuôn. Khuôn quấn dây được làm bằng gỗ hoặc bằng nhôm. Việc tính toán khuôn phải được cân nhắc cẩn thận, có tính đến kinh tế trong sản xuất. Nếu khuôn nhỏ quá sẽ tiết kiệm được dây đồng, nhưng năng suất lồng dây và độ tin cậy thấp. Nếu khuôn lớn quá thì ngược lại, hơn thế nữa có thể chạm dây quấn với nắp máy. Kích thước các cạnh của khuôn cũng rất quan trọng. Nếu kích thước không hợp lý năng suất lồng dây sẽ giảm, phần đầu nối dây quấn không đẹp làm giảm tính thương phẩm, dây dẫn bị uốn nắn đập gõ nhiều sẽ giảm độ tin cậy của dây quấn.



Hình 3.7. Quấn bối dây phần tử mềm trên khuôn đứng yên

Sau đây giới thiệu một kiểu khuôn quấn dây thường dùng (hình 3.8).

Trên hình 3.8 trình bày một kiểu khuôn bằng gỗ dùng trong sản xuất loạt lớn hoặc vừa. Loại khuôn này tính vạn năng thấp. Trên tấm 1 người ta xẻ một rãnh có tiết diện hình thang. Khuôn quấn dây 2 được gắn trên một thanh gỗ có chuỗi hình thang có thể trượt trong rãnh hình thang của tấm 1. Trên khuôn có rãnh để quấn các bối dây. Nêm 5 tạo khoảng cách giữa hai đầu khuôn. Với các nêm khác nhau ta có thể quấn các nhóm bối dây có chiều dài khác nhau. Đầu trục khuôn có rãnh hình chữ nhật dọc theo trục khuôn để đóng then 3 (hình nêm) tạo điều kiện tháo lắp khuôn được nhanh chóng. Khi lấy các bối dây ra khỏi khuôn ta chỉ việc tháo then 3, nêm 5 rồi tụt hai đầu khuôn vào giữa là được.



Hình 3.8. Khuôn quấn dây bằng gỗ

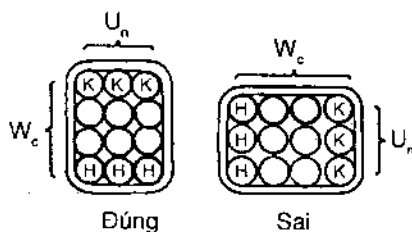
b) Máy quấn dây

Yêu cầu đối với máy quấn dây là có khả năng điều chỉnh tốc độ trơn, khi khởi động không giật, khi dừng máy trục khuôn phải được hãm ngay, không bị giật ngược lại làm sổ dây ra khỏi khuôn, trục máy và khuôn không bị đảo để các sợi dây không bị chéo khi quấn, cơ cấu đếm số vòng chính xác. Để đáp ứng các yêu cầu trên máy thường được trang bị bộ hộp số cơ khí kết hợp ly hợp ma sát hoặc truyền động bằng động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc qua biến tần có điều khiển.

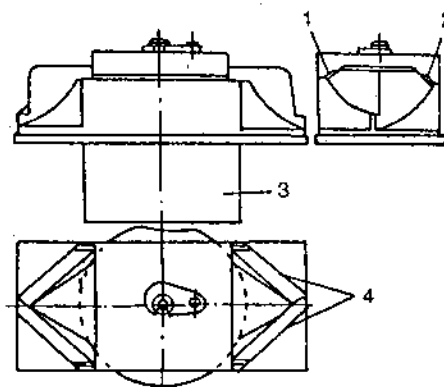
Trên máy quấn dây, người ta bố trí hệ thống nắn và căng dây và tự động rải dây để tạo thành lớp. Khi chuyển sang quấn bởi sau hệ thống này dịch đi một khoảng bằng khoảng cách giữa 2 khuôn cạnh nhau để đảm bảo cho các sợi dây đi vào khuôn được thẳng. Nếu quấn nhiều sợi chập, các sợi chập cần có lực căng như nhau và cùng đi vào khuôn ở một chỗ. Thông thường để tạo độ căng của dây quấn người ta kẹp chúng giữa 2 tấm các tông cách điện và hướng dây bằng cách cho qua hệ thống các con lăn kiểu trục cán.

2. Quấn cuộn dây phản ứng máy một chiều bằng dây dẫn tròn

Các máy điện một chiều công suất từ 1kW đến 15kW có dây quấn 2 lớp thường được quấn bằng dây dẫn tròn đặt trong rãnh hở. Các bối dây sau khi quấn xong được kéo để tạo hình, sao cho đúng như trạng thái nó được nằm trên phần ứng. Các cuộn dây như vậy thường bao gồm một số phần tử vì số phiến góp bao giờ cũng lớn gấp đôi số lần số rãnh thực. Để thuận lợi trong việc quấn, kéo và sau này trong việc nối các đầu của các phần tử vào các phiến góp, khi quấn người ta sắp xếp các phần tử theo chiều rộng rãnh còn các vòng dây theo chiều cao rãnh (hình 3.9). Ví dụ, quấn một cuộn dây gồm có 3 phần tử, mỗi phần tử 4 vòng thì ta kéo 3 sợi từ 3 rulo dây và quấn tất cả 4 vòng chồng lên nhau. Nếu bố trí các sợi dây như hình 3.9 ta phải quấn lần lượt 3 sợi, mỗi sợi 4 vòng, như vậy thời gian quấn lâu hơn và làm phức tạp thêm việc nối các đầu dây vào phiến góp. Nếu phải quấn chập song song hai sợi thì hai sợi đó được phân bố theo chiều cao rãnh.



Hình 3.9. Bố trí các sợi dây khi quấn
bối dây phần ứng máy điện một chiều



Hình 3.10. Khuôn ép phần đầu nối cuộn dây
phần ứng

Sau khi kéo tạo hình, người ta phải uốn phần đầu nối trong một khuôn ép đặc biệt bằng khí nén (hình 3.10). Cạnh trên và dưới của phần đầu nối được đặt trong các rãnh 1 và 2 khi uốn.

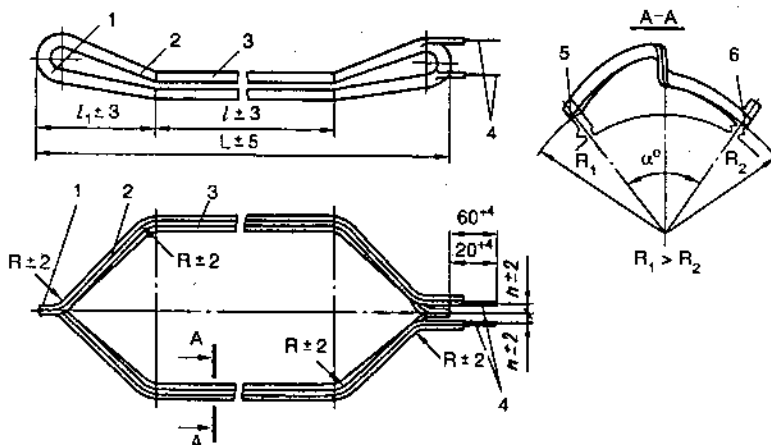
Cuộn dây sau khi tạo hình phải được bọc cách điện. Việc bọc cách điện các bối dây này cũng tương tự như đối với các cuộn dây phần tử cứng (h.3.10).

3. Chế tạo cuộn dây stato bằng dây dẫn tiết diện chữ nhật

Đối với các máy điện công suất trên 100kW việc dùng dây quấn phần tử mềm quấn từ dây dẫn tròn trở nên khó khăn vì phải tăng số sợi chập song song và số mạch nhánh song song quá lớn. Bởi vậy đối với các máy lớn người ta chuyển sang dùng dây dẫn hình chữ nhật để chế tạo các bối dây phần tử cứng. Trong một số động cơ công suất trung bình ($20 \div 100\text{kW}$) đòi hỏi độ an toàn cao (ví dụ như động cơ chống nổ) người ta cũng dùng bối dây phần tử cứng quấn từ dây dẫn hình chữ nhật. Dây quấn loại này được đặt trong các rãnh có thành rãnh song song nửa hở hoặc hở. Loại rãnh nửa hở có ưu điểm so với rãnh hở là giảm được tổn hao do từ thông đập mạch và do đó nâng cao được hiệu suất. Đồng thời do từ trở nhỏ cũng cải thiện được phần nào hệ số công suất $\cos\varphi$. Mặt khác, do chiều rộng miệng rãnh bằng một nửa chiều rộng rãnh nên để đặt dây vào rãnh người ta phải chia đôi bối dây theo chiều rộng, số bối dây sẽ tăng gấp đôi (2 lần số rãnh) việc chế tạo cũng như cách điện sẽ phức tạp và mất công hơn. Khi đặt dây phải đặt từng nửa bối dây và cũng phải bọc cách điện riêng. Gắn đây để khắc phục tình trạng nói trên, người ta đã thay đổi việc bọc cách điện phần đầu nối vào một loại sơn đặc biệt КП22. Sau khi kéo tạo hình cuộn dây, người ta nhúng phần đầu nối vào sơn, đem sấy ở nhiệt độ $150^{\circ}\text{C} \div 170^{\circ}\text{C}$ trong thời gian $5 \div 10$ phút rồi đặt vào rãnh. Việc tẩm sơn bộ bối dây trong sơn КП22 cho phép thay thế cả cách điện phần rãnh bằng lớp giấy điện thoại vì sơn này có khả năng kết dính cao. Công nghệ mới này cho phép giảm khá nhiều khối lượng công việc và nâng cao được năng suất lao động đối với kiểu dây quấn đặt trong rãnh nửa hở.

Đối với máy có điện áp cao hơn 660V, kết cấu cách điện rãnh không còn đảm bảo tin cậy nữa. Lúc đó cách điện giữa các bối dây với lõi sắt được quấn trực tiếp lên bối dây. Số lớp cách điện phụ thuộc vào điện áp chế độ làm việc và tầm quan trọng của động cơ (hệ số an toàn cao). Loại dây quấn này chỉ có thể đặt trong rãnh hở, không có cách điện rãnh. Hình 3.11 mô tả một bối dây phần tử cứng gồm phần trong rãnh 3, phần đầu

nối có phần thẳng 2 và phần cong 1. Hai cạnh tác dụng của bố dây nằm ở lớp trên 6 và lớp dưới 5 của hai rãnh khác nhau và hợp với nhau một góc α .

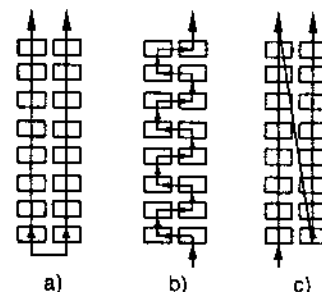


Hình 3.11. Bối dây phần tử cứng xoắn từ dây chữ nhật

Cuộn dây quấn bằng dây dẫn hình chữ nhật thường là dây П, ППЛБ0, ПСД. Dây ППЛБ0 được bọc 3 lớp màng lớp san và một lớp sợi bông. Gần đây người ta thay dây П bằng dây emay ПЗВП có cách điện bổ sung bằng một lớp sợi tổng hợp.

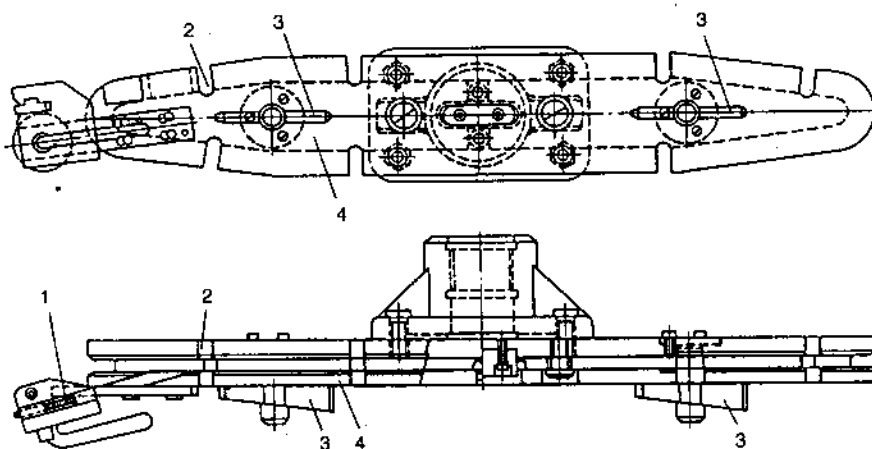
Trong các máy điện lớn thường các vòng dây trong một bối dây (trong một rãnh) phân bố làm hai dãy theo chiều rộng rãnh. Hình 3.12 chỉ ra các phương án có thể thực hiện được.

Hình 3.12a cho phương án quấn rất đơn giản trong công nghệ, nhưng các vòng đầu tiên và cuối cùng nằm sát nhau, rất không có lợi cho các máy điện áp cao. Hình 3.12b cho phương án quấn lần lượt các vòng nằm cạnh nhau, tránh được nhược điểm trên, nhưng công nghệ khó khăn vì sau mỗi vòng phải uốn sợi dây để chuyển từ phải qua trái và ngược lại. Hình 3.12c cho phương án quấn dứt điểm từng dãy. Có thể quấn độc lập hai dãy rồi hàn nối lại.

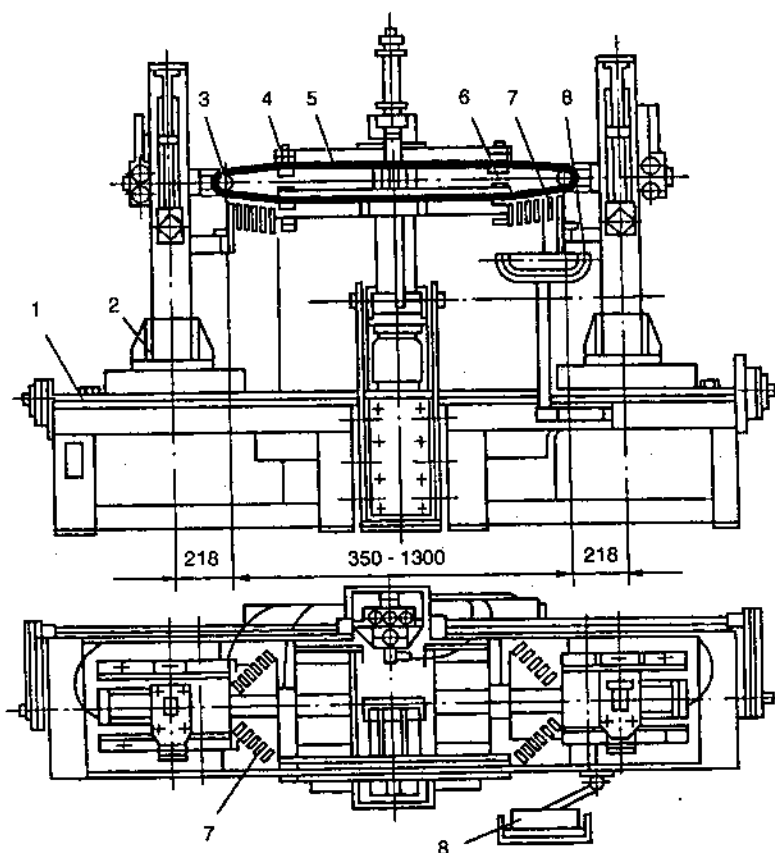


Hình 3.12. Các phương án bố trí các vòng dây trong một bối

Các bối dây trước khi đưa vào máy kéo tạo hình (hình 3.14) phải được quấn trên khuôn phẳng (hình 3.13). Khuôn phẳng gồm hai tấm vách 4 kẹp khuôn ở giữa và được chốt chặt nhờ các then hình thang 3. Trên các tấm vách cắt hờ các rãnh 2 để cố định sơ bộ các vòng dây. Đầu dây được kẹp chặt bởi cơ cấu kẹp 1 để khi quấn sợi dây không bị trượt đi. Khác với việc kéo tạo hình cuộn dây phần ứng máy điện một chiều, ở đây cuộn dây có phần đầu nối cong ngược lại (vì nằm trên stato). Như vậy, khi đặt các bối dây vào rãnh phần đầu nối có xu hướng tách xa nhau (đối với phần ứng một chiều phần đầu nối các bối dây ép vào nhau). Các máy xoay chiều dùng loại dây quấn này thường lớn, nên cần có những máy kéo tạo hình lớn. Hiện nay người ta đã chế tạo những máy kéo tạo hình cuộn dây bán tự động, người công nhân chỉ cần đặt bối dây phẳng vào máy và ấn nút, máy sẽ làm tất cả các nguyên công kéo tạo bước dây, uốn tạo góc lệch giữa hai thanh dẫn và ép nút xoắn đầu bối dây. Hình 3.14 mô tả một máy kéo tạo hình bối dây phần tử cứng kiểu như vậy.



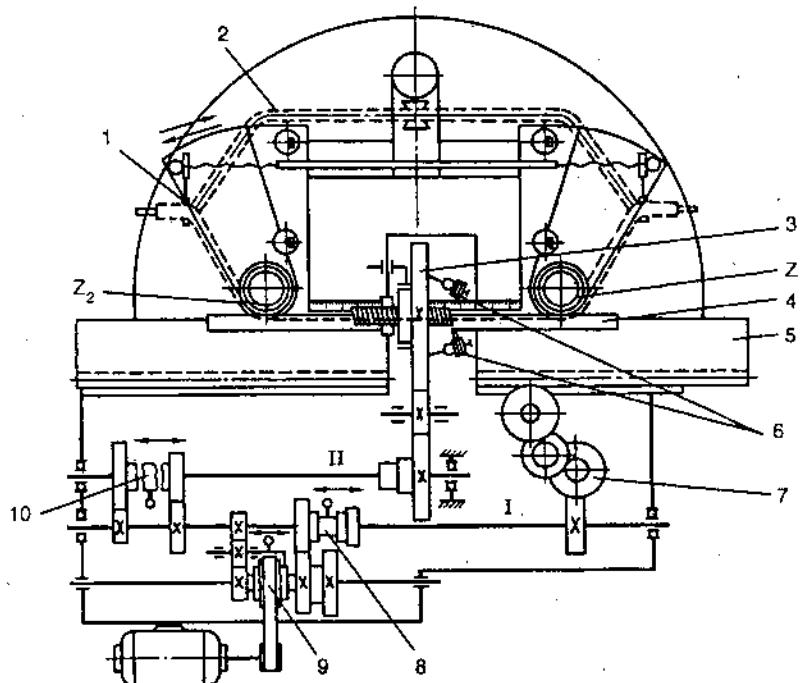
Hình 3.13. Khuôn để quấn cuộn dây trong mặt phẳng



Hình 3.14. Máy kéo tạo hình bối dây phần tử cứng

Bối dây trong mặt phẳng 5 sau khi được quấn cách điện sơ bộ được kẹp chặt bởi các chốt 3 trên phần đầu nối, còn phần thẳng của hai cạnh thì được kẹp bằng các thanh 4 và 6. Máy được điều khiển bởi tủ điều khiển 8. Việc kéo tạo hình được thực hiện bởi các cơ cấu cơ khí chuyển động kéo hai cạnh tác dụng về hai phía ngược nhau đồng thời xoay đi một góc định trước. Khuôn 7 cũng được chuyển động theo để uốn các phần đầu nối đến độ cong thích hợp. Các trụ đỡ 2 trong quá trình kéo được chuyển động theo máng trượt 1

(hình 3.14). Trên các máy kéo tạo hình hiện đại, bối dây phần tử cứng sau khi lấy ra khỏi máy kéo tạo hình có kích thước hoàn toàn chính xác, không cần nắn sửa gì nữa.



Hình 3.15. Máy cách điện bối dây phần tử cứng

Nguyên công tiếp theo là bọc cách điện bối dây. Đối với máy điện áp cao người ta áp dụng phương pháp quấn băng liên tục cả phần rãnh và phần đầu nối. Tất cả băng tạm thời để giữ trước khi ép nắn và được tháo bỏ trước khi quấn băng mới. Hình 3.15 mô tả sơ đồ động học quấn băng cách điện lên các cạnh bối dây. Bối dây 2 được gá lên bàn 5 nhờ cơ cấu giữ 1 và được di chuyển dọc theo bàn nhờ các bánh răng Z_1 và Z_2 cùng với thanh răng 4. Hai cuộn băng 6 tự quay quanh trục và được quay xung quanh cạnh tác dụng bối dây nhờ trục 2 khi ly hợp 10 chuyển sang phải. Việc chuyển động tịnh tiến qua phải hoặc qua trái của bàn 5 nhờ trục 1 và ly hợp 8 thông qua cặp trục vít 7.

Sau khi ép định hình các vòng dây và bọc băng cách điện người ta đem tẩm sấy chân không bằng loại sơn cách điện có cấp chịu nhiệt tương ứng. Việc tẩm sấy chân không các bối dây có thể thực hiện nhiều lần tùy theo cấp điện áp và tầm quan trọng của máy.

Bọc băng trước khi ép có gia nhiệt là phương pháp có thể thay cho tẩm sấy. Khi bọc băng người ta bọc lần vào trong đó một loại bột keo đặc biệt, khi ép bối dây trong khuôn có gia nhiệt, bột keo chảy ra lấp kín các khe hở giữa các vòng dây, đồng thời kết dính các vòng dây lại với nhau một cách chắc chắn. Sau khi để nguội cuộn dây sẽ được định hình theo ý muốn.

Quy trình công nghệ chế tạo các bối dây của máy điện áp cao gồm các nguyên công sau:

- Quấn cuộn dây phẳng, cách điện các vòng dây.
- Bọc tạm bối dây bằng băng.
- Kéo tạo hình cuộn dây.

- Ép lần thứ nhất cuộn dây trong khuôn ép thủy lực.
- Chuẩn bị tổ hợp với epôxi lần thứ nhất.
- Sơn và sấy cuộn dây lần thứ nhất.
- Bỏ băng tạm thời, bọc băng mới có bột keo.
- Ép có gia nhiệt trên máy ép lần thứ hai.
- Kiểm tra và sửa lại hình dạng cuộn dây.
- Nắn lại cuộn dây trong khuôn.
- Bọc thêm lớp cách điện bảo vệ bên ngoài.
- Sơn sấy trong chân không.
- Kiểm tra lại cuộn dây bằng calíp, làm sạch hai đầu cuộn dây.

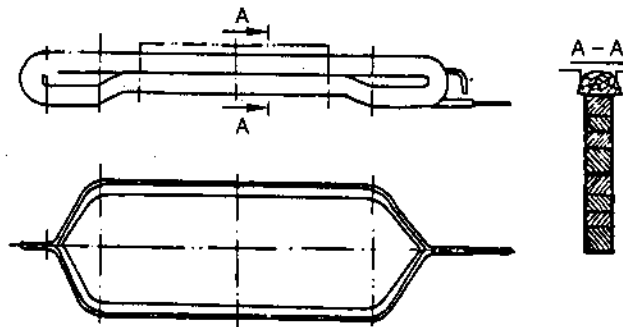
Các nguyên công 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12 thường được cơ khí hoá, các nguyên công còn lại làm bằng tay.

4. Chế tạo cuộn dây rôto bằng dây dẫn chữ nhật

Trong động cơ không đồng bộ, rôto dây quấn thường dùng 2 kiểu dây quấn: dây quấn kiểu bối dây, quấn từ dây dẫn tròn đối với động cơ công suất dưới 10kW và dây quấn thanh dẫn đối với động cơ lớn. Gần đây người ta áp dụng dây quấn phần tử cứng cho tất cả các động cơ đến 100kW. Các bối dây trong trường hợp này được đặt trong rãnh hở và được quấn bằng dây dẫn có tiết diện chữ nhật đã cách điện.

Đặc điểm của loại dây quấn này là các thanh dẫn nằm trong rãnh theo một dãy như hình 3.16. Điều này làm phức tạp cho việc quấn các bối dây nhưng cải thiện được điều kiện làm mát dây quấn vì 2 cạnh của sợi dây được áp vào thành rãnh. Dây quấn kiểu bối dây ở động cơ công suất nhỏ có ưu điểm hơn so với kiểu thanh dẫn là: giảm đáng kể số lượng mối hàn bởi vì cuộn dây được quấn trên khuôn bằng một sợi dây dẫn liên tục; không phải cách điện lại thanh dẫn và uốn nó trong rãnh vì bối dây được quấn bằng dây dẫn đã được cách điện và uốn tạo hình bối dây trước khi đặt vào rãnh; giảm đáng kể thời gian đặt dây quấn vào rãnh.

Để quấn nhóm cuộn dây của dây quấn rôto người ta dùng khuôn thép tương tự như quấn bối dây phần tử cứng ở stato. Vì dây dùng để quấn là dây tiết diện chữ nhật thường rất cứng, khi quấn phải siết rất căng nên việc lấy cuộn dây ra khỏi khuôn khó khăn, dễ gây biến dạng cuộn dây và hỏng cách điện.

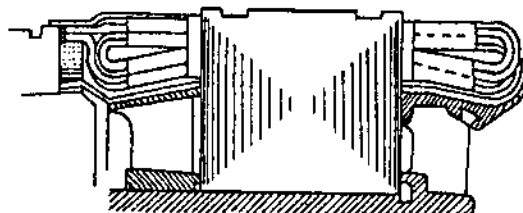


Hình 3.16. Cuộn dây nhiều vòng kiểu phần tử cứng của dây quấn rôto

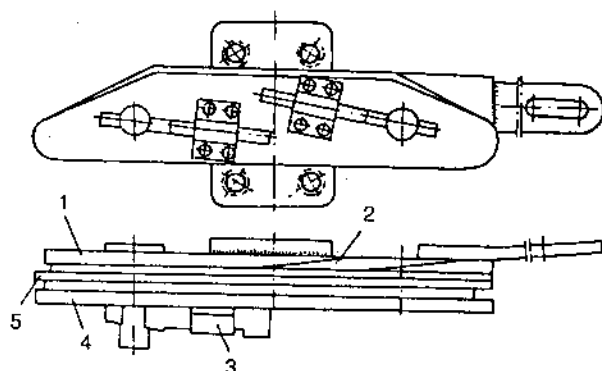
Để khắc phục hiện tượng này lõi khuôn được chia làm 3 phần: phần giữa và hai phần đầu. Phần giữa được cố định bằng với tấm cách này còn 2 phần đầu thì gắn với tấm cách kia và có thể trượt được về phía tâm của khuôn. Sau khi uốn nhóm bó dây xong người ta tháo bó dây bằng cách trượt lõi khuôn ở hai đầu về phía tâm, bó dây được lấy rất dễ dàng. Nhờ kết cấu khuôn theo kiểu này sẽ bớt được nguyên công nắn sợi dây sau khi lấy ra khỏi khuôn, nâng cao được năng suất lao động và chất lượng dây quấn.

5. Chế tạo cuộn dây phản ứng bằng dây dẫn có tiết diện chữ nhật

Khi quấn cuộn dây phản ứng bằng dây chữ nhật khó khăn là việc xử lý đầu ra của bó dây vì hai đầu của nó được nối với lớp trên và lớp dưới của 2 rãnh khác nhau. Các đầu ra này không được giao nhau để tránh làm hỏng cách điện của nhau. Để giải quyết khó khăn này người ta chuyển chỗ giao nhau nối trên sang phía phần đầu nối đối diện với cổ góp. Cuộn dây ở chỗ giao nhau có chiều dày gấp đôi và được gọi là cuộn dây đầu kép (hình 3.17).



Hình 3.17. Cuộn dây có đầu kép



Hình 3.18. Khuôn để quấn bó dây có đầu kép

Khuôn để quấn cuộn dây loại này phức tạp hơn khuôn để quấn bó dây mềm. Khuôn có 2 má và một tấm cách. Má thứ nhất nối với trục của máy quấn dây, má thứ hai nối với má thứ nhất bằng 2 trục cố định trên má thứ nhất. Tấm cách có xẻ một rãnh chéo để dây dẫn chuyển tiếp giữa các lõi khuôn (hình 3.18).

Cuộn dây có đầu kép theo nguyên tắc phải có ít nhất 2 vòng (đầu đối xứng). Nếu số vòng lớn hơn ta sẽ có 2 lần

cách điện vì trong quá trình quấn rất dễ bị sây sát cách điện. Phần đầu của bó dây phải có cách điện tăng cường bằng băng và tấm cách điện. Việc kéo tạo hình được thực hiện như bó dây quấn bằng dây dẫn tròn. Máy quấn dây để quấn các bó dây loại này có tốc độ quay chậm, việc tăng giảm tốc độ phải êm và khi dừng phải dừng ngay.

6. Công nghệ chế tạo dây quấn kiểu thanh dẫn

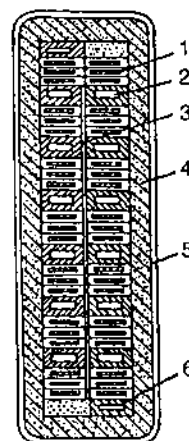
Dây quấn kiểu thanh dẫn được dùng trong các máy phát điện lớn mà mỗi vòng dây chỉ có 1 vòng. Mỗi thanh dẫn được ghép từ một số thanh dẫn con (có khi tới trên 40 thanh).

a) Dây quấn kiểu thanh dẫn ở stato

Để giảm tổn hao do dòng điện xoáy và để dòng điện phân bố đều trong các thanh dẫn con, người ta phải hoán vị các thanh dẫn đó với nhau. Các thanh dẫn con được phân bố thành hai dãy theo chiều rộng rãnh và do đó mỗi thanh dẫn gồm 2 nửa nằm trong cách điện chung (hình 3.19).

Phần lớn dây quấn kiểu thanh dẫn là dây uốn 2 lớp, có hai thanh dẫn trong một rãnh. Thông thường máy phát hai cực (tuabin hơi) được làm dây quấn xếp (hai đầu thanh dẫn được bẻ về cùng một phía) còn các máy phát tuabin nước (nhiều cực) được làm dây quấn sóng (2 đầu thanh dẫn được bẻ về hai phía khác nhau). Chiều dài thanh dẫn của máy phát điện tua bin hơi có thể dài tới 6m và nặng tới 135 kG.

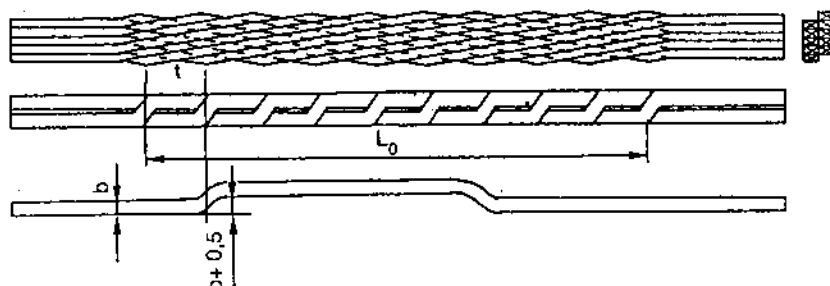
Khi công suất máy trên 100.000 kW một số dây dẫn được làm rỗng để dẫn nước làm mát. Ở cuối các thanh dẫn như thế người ta hàn một đoạn vòi bằng đồng để đưa nước vào, đồng thời để phân biệt với các thanh dẫn đặc. Các thanh dẫn rỗng được bố trí xen giữa các dây dẫn đặc (2 và 1 trên hình 3.19). Giữa các dây thanh dẫn con, người ta đặt các miếng bìa amiăng 3 dày 0,5mm đã được tẩm sơn bakêlít. Tất cả các thanh dẫn con của thanh dẫn được quấn (chồng một nửa) tới 20 lớp băng mica (4) dày 0,13mm. Bọc bên ngoài lớp băng mica là lớp băng amiăng dày 0,5mm (5). Ở chỗ chuyển tiếp đặt thêm cách điện tăng cường bằng một tấm mica mềm 6.



Hình 3.19. Mặt cắt ngang phần rãnh của một thanh dẫn

Trên hình 3.20 mô tả quá trình hoán vị các thanh dẫn nguyên tố trong thanh dẫn lớn.

Khoảng cách t giữa các vị trí uốn để hoán vị của hai sợi dây (thanh dẫn con) gọi là bước hoán vị. Chiều dài phần hoán vị của thanh dẫn:



Hình 3.20. Hoán vị các thanh dẫn nguyên tố trong dây quấn kiểu thanh dẫn

Để $L_0 = 2nt$

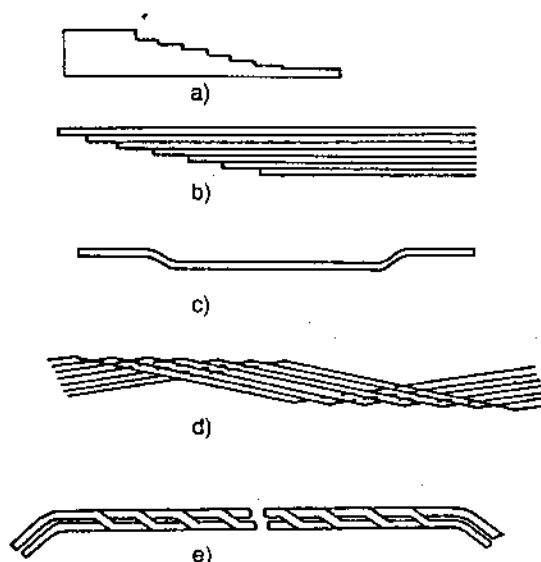
Trong đó n – số thanh dẫn con theo chiều cao của thanh dẫn.

Các thanh dẫn con được cắt ra từ các cuộn dây đặc hoặc rỗng. Các cuộn dây rỗng phải được thử nghiệm về độ kín và độ bền cơ. Cách thử như sau:

- Khuôn để xếp so le các thanh dẫn con khi uốn;
- Vị trí các thanh dẫn con khi uốn;
- Thanh dẫn sau khi uốn;
- Hoán vị (đan) các thanh dẫn con;
- Thanh dẫn đã được đan hoàn chỉnh.

Dùng bơm thủy lực bơm nước vào cuộn ống cho nước chảy ra đầu kia để kiểm tra xem cuộn ống có thông gió không. Để kiểm tra độ kín và khả năng chịu lực, êtô kẹp chặt đầu cuối rồi nén nước vào đến áp suất 70 kg/cm^2 , giữ trong một phút nếu áp suất không suy giảm thì cuộn ống được coi là tốt.

Nguyên công cắt dây được thực hiện trên máy cắt dây đồng bán tự động, hoặc điều khiển theo chương trình. Sau khi làm sạch cách điện hai đầu đoạn dây người ta đưa đến bàn ép để uốn những chỗ hoán vị. Việc đan các thanh dẫn con lại để thành thanh dẫn được tiến hành từ giữa các nửa thanh dẫn. Đầu tiên tất cả các thanh dẫn con được đan ở những chỗ uốn thứ nhất sao cho thanh thứ 2 đối chỗ cho thanh thứ nhất, thanh thứ 3 đối chỗ cho thanh thứ 2 và cứ như thế thanh cuối cùng đối chỗ cho thanh trước đó (hình 3.21d). Sau đó đan các thanh trên và thanh dưới đối chỗ cho nhau. Việc đan lần thứ hai của nửa thanh dẫn được tiến hành ở chỗ uốn thứ hai. Bây giờ tất cả các thanh dẫn con nằm trên hai đầu đều có vị trí như nhau theo chiều cao của thanh dẫn.

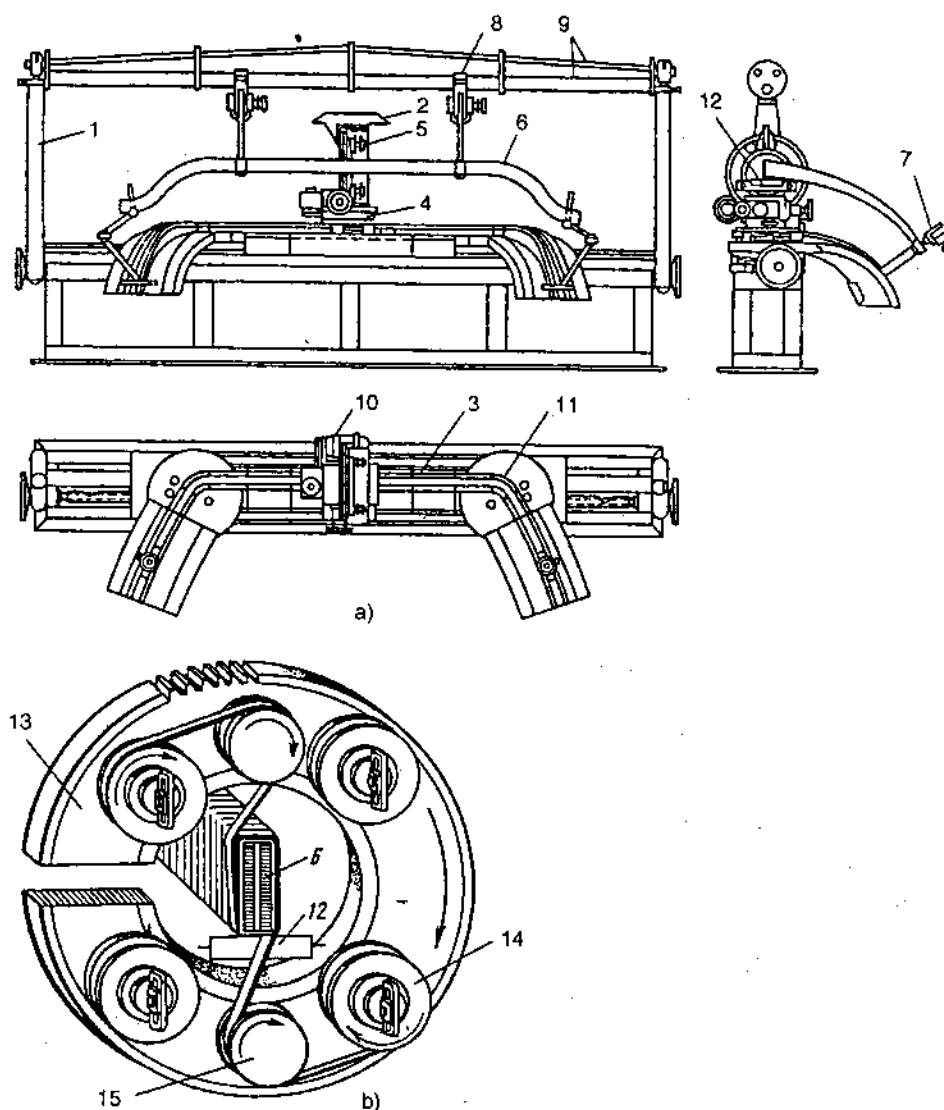


Hình 3.21. Quá trình đan và tạo hình thanh dẫn

Nửa thanh dẫn thứ hai cũng được cắt uốn và đan tương tự như nửa thanh thứ nhất. Để hoàn thiện thanh dẫn, người ta đặt vào giữa hai nửa thanh dẫn một tấm cách điện, nắn thanh dẫn cho thẳng, đổ đầy bột amiăng tẩm sơn bitum hoặc bakêlít vào những chỗ khuyết rồi đem ép để đảm bảo toàn thanh dẫn liền thành một khối. Quá trình ép có gia nhiệt để cho sơn bakêlít pôlime hoá được thực hiện bằng cách đưa hơi nước nóng ($150^{\circ}\text{C} + 160^{\circ}\text{C}$) áp suất cao (8kG/cm^2) vào các thanh dẫn rỗng.

Nguyên công cách điện thanh dẫn bằng băng mica là một nguyên công khó và mất nhiều thời gian. Ví dụ để bọc toàn bộ thanh dẫn của một máy phát tua bin hơi công suất 100.000kW cần phải bọc gần 100km băng mica. Vì vậy, khâu này thường được cơ khí hoá để nâng cao năng suất lao động. Hình 3.22 mô tả một máy bọc cách điện phục vụ cho việc bọc cách điện các thanh dẫn.

Thanh dẫn 6 được treo trên hai thanh treo 8, phần cuối của thanh dẫn được giữ bởi các chốt 7. Các thanh treo 8 được cố định với dầm 9 lắp trên hai trụ 1 có thể thay đổi được chiều cao. Đầu quán cách điện 5 được đặt trên bàn trượt 4 mà có thể trượt được trên thanh trượt 3 có dạng giống như thanh dẫn nhờ động cơ điện 10. Vấu 2 đặt phía trên đầu quán cách điện sẽ gạt tách thanh treo 8 ra khỏi thanh dẫn khi nó đi qua đó. Đầu quán cách điện gồm bánh răng 13, trên đó mang 4 rulô băng cách điện: 2 cuộn băng mica và 2 cuộn băng sợi thủy tinh. Các cuộn băng mica trước khi quấn lên thanh dẫn được dẫn qua 2 trục rulô 15 được gia nhiệt đến $80 - 100^{\circ}\text{C}$ nhờ dây điện trở Cr-Ni đặt bên trong. Thanh dẫn cần bọc cách điện 6 được lăn trên trục lăn 12. Phối hợp tốc độ chuyển động của thanh dẫn với tốc độ góc của bánh răng để thực hiện việc quấn chồng $1/2$ (bọc hai lớp).



Hình 3.22. Máy bọc cách điện thanh dẫn

Sau khi cách điện xong, thanh dẫn được nắn 2 đầu theo đúng kích thước và hình dáng như khi nó được đặt trong rãnh của stato.

Khâu cuối cùng là thử nghiệm cường độ cách điện. Đo điện trở cách điện giữa các thanh dẫn con với nhau xem có bị chập không, sau đó thử chọc thủng cách điện thanh dẫn. Bọc một lớp kim loại mỏng (giấy thiếc chẳng hạn) ra ngoài thanh dẫn rồi đặt điện áp thử một cực lên thanh dẫn một cực lên lớp kim loại đó ta sẽ kiểm tra được cường độ cách điện của thanh dẫn.

Bề mặt dây quấn stato máy điện có điện áp cao hơn 6000V được phủ một lớp sơn bán dẫn 462 JI có tạp chất bô hóng để loại trừ hiện tượng phóng điện văng quang. Dung môi của loại sơn này là toluow. Dùng sơn bán dẫn trên bề mặt phần đầu nối làm cân bằng điện trường ở mép rãnh và làm tăng điện áp phóng điện văng quang. Để phủ phần rãnh người ta dùng sơn JI. 9000 có điện trở bề mặt $10^4 \div 10^{11} \Omega$, để phủ phần đầu nối dùng sơn JI 9001 có điện trở bề mặt $10^9 \div 10^{11} \Omega$.

b) Dây quấn kiểu thanh dẫn ở rôto

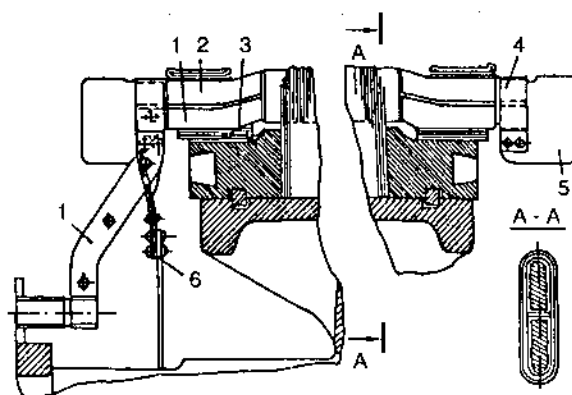
Trong các động cơ rôto dây quấn công suất lớn dây quấn rôto được làm từ các thanh dẫn. Thanh dẫn của dây quấn rôto được làm từ các thanh đồng tròn rồi bọc cách điện sau. Dây quấn loại này có thể là dây quấn và cũng có thể là dây quấn xếp. Ưu điểm của dây quấn sóng là số mối nối ở đầu nối giữa các cuộn dây ít.

Trên hình 3.23 trình bày một dây quấn kiểu thanh dẫn trên rôto.

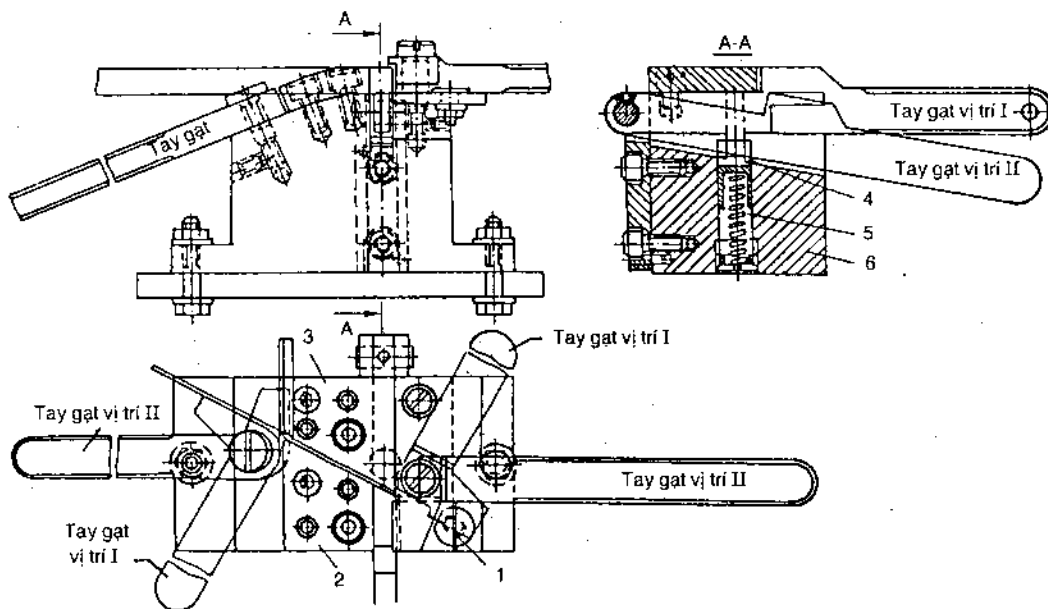
Một thanh dẫn gồm có hai thanh: một thanh lớp trên, một thanh lớp dưới được cách điện với nhau và bó với nhau bằng cách điện chung. Các thanh dẫn này được vẽ tròn góc ở hai đầu để khi bọc cách điện xong tiết diện của chúng có dạng ôvan (mặt cắt A-A). Dây quấn kiểu này có thanh dẫn đặt trong rãnh kín nên các thanh dẫn chỉ được uốn tạo hình sẵn ở một đầu, còn đầu kia để thẳng, sau khi cho vào rãnh rồi mới uốn sau.

Khi đi ra khỏi rãnh, thanh dẫn được uốn để phần đầu nối kể cả đai phải thấp hơn phần lõi sắt. Các thanh dẫn được nối với nhau bằng các vòng ôm 4 rồi hàn lại. Có thể hàn thêm vào đó cánh quạt 5 để làm mát. Đầu dấu Y được thực hiện bằng cách hàn 3 đầu cuối của các pha với một vành chung 6. Các đầu của các pha được hàn với các tấm 7 để từ đó nối với 3 vành trượt.

Nguyên công đầu tiên trong việc sản xuất các thanh dẫn là uốn và cắt phôi trên máy cắt dây. Tiếp theo thanh dẫn được uốn trên khuôn uốn (hình 3.24) để tạo hình phần đầu nối.



Hình 3.23. Dây quấn kiểu thanh dẫn trên rôto



Hình 3.24. Khuôn để uốn thanh dẫn rôto

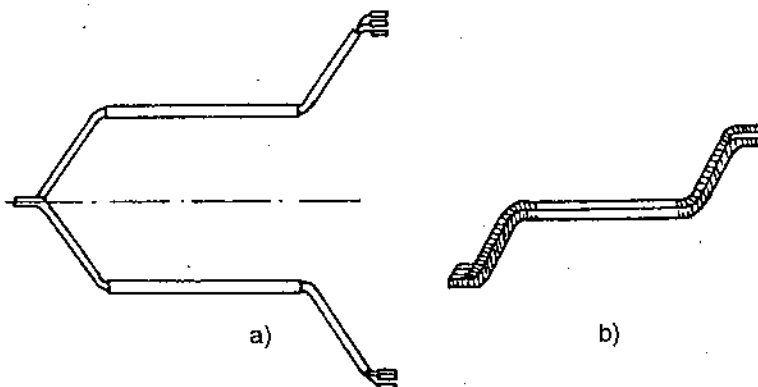
Khuôn hay bàn uốn gồm có hộp 6, trên đó bố trí các đòn bẩy kiểu tay gạt để uốn các chỗ cong và vòng xoắn trên ở phần đầu nối của thanh dẫn. Các tấm 2 và 3 tạo thành rãnh hẹp có chiều rộng đủ lọt phôi thanh dẫn và có thể điều chỉnh được với các chiều dày thanh dẫn khác nhau. Các tay gạt 1 và 2 dùng để uốn thanh dẫn, tay gạt 3 để lấy thanh dẫn ra khỏi khuôn uốn.

Trong sản xuất khối người ta uốn các thanh dẫn trên các máy uốn truyền động bằng khí nén.

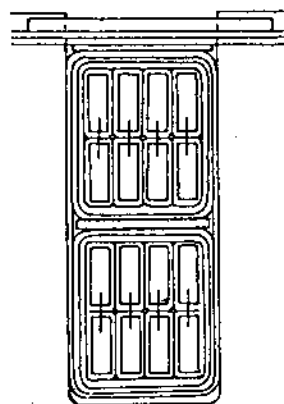
Sau khi uốn các đầu thanh dẫn người ta tiến hành bọc cách điện. Trong các động cơ dây thống nhất, công suất cao hơn 100kW phần rãnh được cách điện bằng băng vải thủy tinh tấm sơn exkapo có khả năng chịu va đập cơ khí, chịu nhiệt, ít hút ẩm và không bị vi khuẩn phá hoại (động cơ rôto dây quấn thường là kiểu bảo vệ). Sau khi quấn băng và tấm sơn (có thể là sơn dạng bột khô quấn lẫn cùng với băng) người ta ép nóng và dôn ép cách điện phần rãnh trên các máy ép hình có gia nhiệt.

3. Dây quấn kiểu thanh dẫn trên phản ứng máy một chiều

Dây quấn phản ứng của máy một chiều kiểu thanh dẫn mỗi bố trí dây chỉ có 1 vòng. Nếu tiết diện thanh dẫn nhỏ hơn 30mm^2 có thể dùng dây dẫn đã có cách điện để chế tạo còn nếu tiết diện lớn hơn thì việc cách điện được tiến hành sau khi uốn thanh dẫn. Có hai kiểu dây quấn kiểu thanh: có thể để cả vòng dây hoặc hai nửa vòng (hình 3.25).



Hình 3.25. Dây quấn phản ứng kiểu thanh dẫn
a) Cả vòng; b) Nửa vòng



Hình 3.26. Mặt cắt ngang rãnh phản ứng

Loại 2 nửa vòng chỉ được dùng khi công suất máy lớn, việc chế tạo cả vòng không thuận lợi.

Tuỳ theo số rãnh nguyên tố trong một rãnh thực và số dây dẫn xếp theo chiều cao rãnh (hình 3.26) người ta gộp các sợi dây với nhau rồi đưa lên máy uốn cùng một lúc. Tất cả nguyên công uốn tuỳ theo trình độ cơ khí hoá có thể một lần hoặc nhiều lần.

Sau khi uốn tạo hình xong người ta bọc cách điện áo (giấy bakêlit đối với cách điện cấp A, băng micaphôn đối với cách điện cấp B. Cách điện vòng dây thường là băng mica quấn chồng 1/2). Chiều dày băng mica là 0,1mm. Theo chiều ngang rãnh cách điện chiếm một phần đáng kể. Ví dụ, nếu chiều dày dây là 1mm, chiều dày cách điện trên cả hai phía là 0,4mm tức $0,4/1,08 = 37\%$ chiều dày đồng. Điện áp giữa các sợi dây cạnh nhau không được vượt quá 40V. Nhiều khi để tiết kiệm cách điện và công, người ta bố trí xen kẽ các sợi dây không cách điện và các dây được cách điện.

3.2.4. Công nghệ đặt các bó dây vào rãnh, dấu và đai giữ phần đầu nối dây quấn

Nguyên công đặt các bó dây vào rãnh của lõi thép là một nguyên công quan trọng vì nó quyết định một phần đáng kể chất lượng, độ tin cậy và giá thành chế tạo dây quấn.

Yêu cầu kỹ thuật của nguyên công này là:

- Khi đưa dây vào rãnh không làm hỏng cách điện vòng dây, bó dây hoặc cách điện rãnh.
- Đảm bảo các sợi dây nằm sát và song song với nhau, không được chồng chéo, làm cong sợi dây. Kinh nghiệm thực tế cho thấy độ tin cậy của dây quấn giảm rất nhanh nếu rãnh đầy; khó vào dây hoặc tay nghề công nhân lồng dây thấp.
- Phần đầu nối dây quấn loe vừa phải, các sợi dây sóng, khi lồng hạn chế đập gõ lên dây, tránh làm trầy xước cách điện.

Cường độ cách điện, khả năng chịu ẩm của cách điện giảm rất nhanh nếu bị đập hoặc nhàu nát. Chính khâu lồng dây là khâu dễ tạo ra trong dây quấn những điểm cách điện yếu làm giảm tuổi thọ dây quấn mà khi thử nghiệm không phát hiện hết được.

1. Các phương pháp đặt dây vào rãnh dây quấn phần tử mềm (lồng dây)

a) Lồng dây bằng tay

Dây quấn phần tử mềm được đặt vào rãnh hiện nay ở nước ta chủ yếu bằng tay vì sản lượng sản phẩm hàng năm thấp, mặt khác lại quá nhiều chủng loại, kích cỡ. Khi lồng dây bằng tay thông thường phải giữ một số bó chờ. Lồng chờ có ưu điểm phần đầu nối đẹp, kết cấu chắc chắn nhưng có nhược điểm là vướng, khó lồng. Xu hướng ngày nay các máy điện thường được kéo dài, đường kính nhỏ nên việc lồng chờ rất khó khăn, người ta thường lồng thẳng, không chờ, đặc biệt khi lồng bằng máy (đối với công suất nhỏ hơn 10kW).

Dây quấn các máy điện dưới 10kW có phần đầu nối không bọc kín (IP44), giữa các bó dây trong cùng một nhóm không cần đặt cách điện phần đầu nối. Các máy điện trên 10kW hoặc cấp bảo vệ IP23, IP11 cần đặt cách điện bó dây ở tất cả phần đầu nối và khuyến khích bọc kín phần đầu nối các bó dây bằng băng cách điện (băng sợi thủy tinh).

Nếu phần đầu nối không bọc kín thì sau khi lồng dây và hàn nối xong phải dùng băng (vải, sợi thủy tinh) hoặc dây ni lông (quấn liên tục hoặc dây thít dạng lát nhựa) bó chặt phần đầu nối (bó thừa). Nếu phần đầu nối các bó dây đã được bọc kín thì không cần bó lại bằng đai nữa mà chỉ cần bó các dây nối.

Để tăng độ tin cậy cho dây quấn, tất cả các dụng cụ dùng để lồng dây phải có độ bóng cao, hạn chế dùng dụng cụ bằng kim loại, không gõ đập trực tiếp lên dây mà phải qua một vật trung gian như tre, gỗ bọc vải.

Khi lồng dây bằng tay máy điện xoay chiều cần chú ý đến trật tự lồng các bó trong một nhóm sao cho các đầu dây của các nhóm phân bố đều trên phần đầu nối, việc đấu nối sẽ thuận lợi, ít nhầm lẫn và phần đầu nối sau khi đai dấu sẽ tròn đều, đẹp.

b) Cơ khí hoá và tự động hoá quá trình lồng dây

Việc cơ khí hoá và tự động hoá quá trình lồng dây rất khó và chỉ áp dụng cho các máy điện công suất nhỏ đến vài chục kW. Cơ khí hoá và tự động hoá việc lồng dây sẽ thuận lợi hơn khi hệ số đầy rãnh thấp, máy ngắn, miệng rãnh rộng và chỉ có ý nghĩa kinh tế khi sản lượng lớn.

Hiện nay người ta dùng nhiều phương pháp với các cấp độ tự động khác nhau tùy theo sản lượng sản phẩm nhiều hay ít. Thường có 4 cấp độ tự động như sau:

– Tất cả các nguyên công phụ và vận chuyển đều do người vận hành làm, chẳng hạn chuyển các cuộn dây đến máy, lắp bộ chia các cuộn dây vào máy, chuyển và lắp lõi thép lên máy, tháo dỡ và chuyển sản phẩm đến nguyên công tiếp theo. Máy chỉ duy nhất tự động khâu kéo các bối dây vào rãnh.

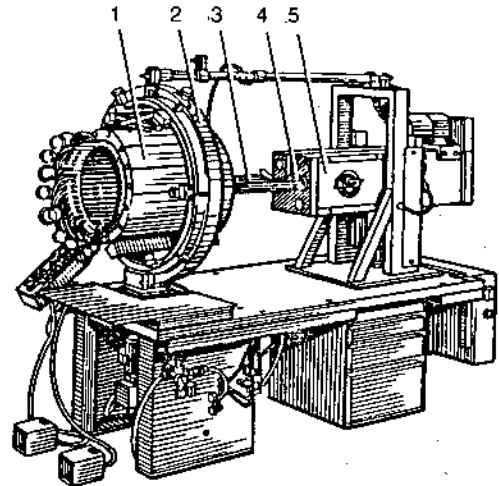
– Tự động hoá từng phần các nguyên công phụ và vận chuyển, chẳng hạn tháo các nhóm bối ra khỏi máy quấn dây và đưa đến lắp vào máy kéo dây, chuyển sản phẩm đến nguyên công tiếp theo...

– Tự động hoá gần hết các nguyên công phụ và vận chuyển trừ nguyên công chuyển lõi thép đến máy kéo dây.

– Tự động hoá hoàn toàn tất cả các nguyên công từ quấn các bối dây đến việc tháo sản phẩm và chuyển đến nguyên công tiếp theo.

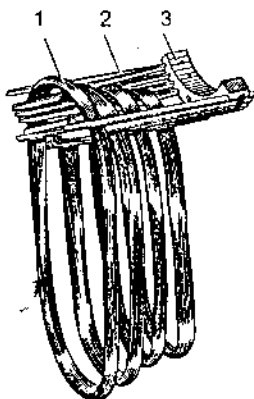
Sau đây sẽ trình bày một số hệ thống cơ khí hoá và tự động hoá ứng với các cấp độ nói trên.

Nếu sản lượng động cơ đến hàng chục ngàn chiếc trong một năm và chủng loại không nhiều người ta dùng một cơ cấu kéo dây đơn giản như hình 3.27. Cơ cấu này gồm có vành 2 để cố định lõi thép stato. Trong hộp 5 bố trí một thanh răng nối với vành xecmăng 4 trên đó có gắn những ngón 3 để cố định các bối dây trong nhóm.

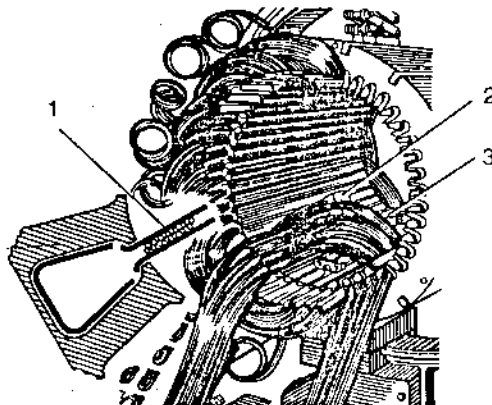


Hình 3.27. Cơ cấu kéo các bối dây vào rãnh stato

Trên hình 3.28 ta thấy các bối dây 1 được móc vào giữa các ngón 2 gắn trên vành xecmăng 3. Khi lồng dây, vành xecmăng 3 cùng với các cuộn dây được đưa vào trong lòng stato và được nối với thanh răng. Thanh răng chuyển động tịnh tiến theo hướng nằm ngang và được truyền động bởi một bánh răng trên trục của một động cơ bố trí trong hộp 5. Khi động cơ chạy, thanh răng chạy lùi lại và kéo toàn bộ các bối dây cùng với cách điện lớp (nếu có) và nôm vào các rãnh (hình 3.29). Với cơ cấu này năng suất lồng dây tăng gấp 4 lần so với lồng tay. Loại cơ cấu này thường áp dụng cho sản xuất đơn chiếc, loạt nhỏ hoặc sửa chữa.

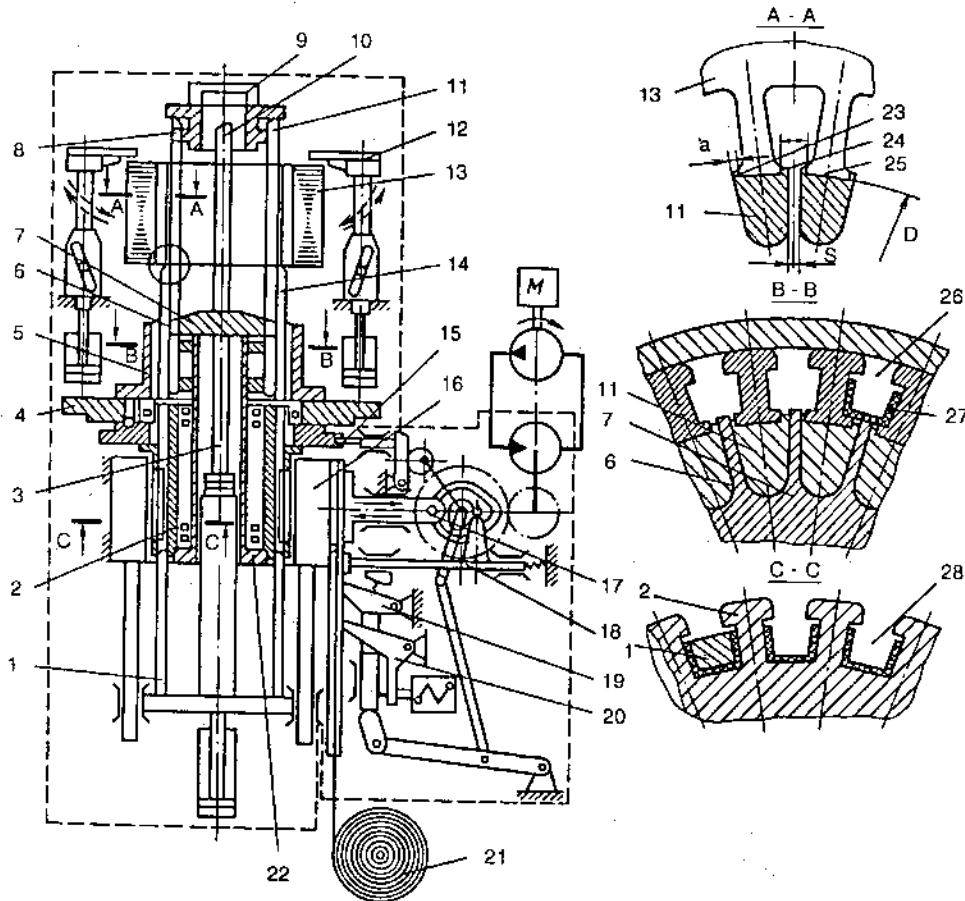


Hình 3.28. Vị trí các cuộn dây giữa các ngón



Hình 3.29. Kéo một nhóm cuộn dây vào rãnh stato

Trong sản xuất loạt lớn hoặc sản xuất khối người ta dùng các máy lồng dây có năng suất cao, trong khoảng 3 đến 6 giây máy có thể kéo toàn bộ dây quấn vào các rãnh của lõi thép. Hình 3.30 mô tả nguyên lý một cơ cấu kéo dây như vậy.



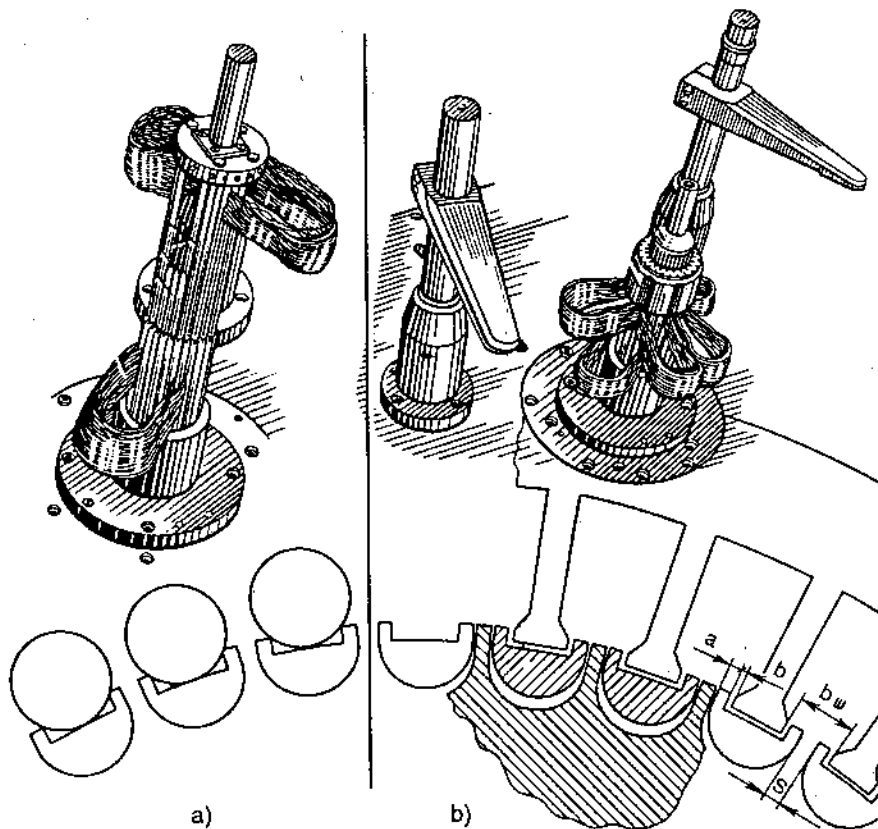
Hình 3.30. Sơ đồ động học trục lồng dùng để kéo các bó dây vào rãnh

Việc lồng dây được thực hiện bằng một cơ cấu gọi là trục lồng. Trục lồng có thể thực hiện đồng thời việc lồng dây và đặt cách điện lớp, cách điện úp miệng rãnh.

Trục lồng bao gồm vỏ 4, ống lót 5, trục rỗng 22, các trục chốt bán nguyệt 11 và đầu đẩy 7. Số chốt bán nguyệt bằng số rãnh của lõi thép stato và được phân bố đều trên một chu vi có đường kính bằng đường kính trong stato 13 (hình 3.30, mặt cắt A – A). Khoảng cách giữa các vấu của trục chốt bán nguyệt bằng chiều rộng đỉnh răng stato. Bên trong trục rỗng 22 có thanh nối 3 lắp dưới đầu đẩy 7 có các răng dạng hình côn 6. Trên mặt cắt B – B ta thấy các răng của đầu đẩy 7 chuyển động trong các khe giữa các trục chốt bán nguyệt. Đầu định vị 9 (có thể tháo rời) có các răng cố định 8 dùng để đảm bảo độ chính xác của các chốt bán nguyệt. Trên đầu đẩy 7 có bố trí thanh 10 để đẩy đầu định vị 9 khi việc kéo các cuộn dây vào rãnh kết thúc. Để đặt nắp rãnh bằng các tấm cách điện úp người ta dùng bu lông hình trụ 2 được kết cấu có thể xoay đi từng góc để đón miếng cách điện úp do con đẩy 15 đưa tới. Các tấm cách điện úp được uốn tạo hình bởi bộ khuôn có cối 16 và chày 17. Cuộn bìa cách điện dùng để làm cách điện 21 được kéo ra bởi các con đẩy 19, 20 và được cắt bởi dao 18.

Buồng hình trụ với các rãnh 28 có hình dạng và kích thước giống như tấm cách điện úp, bước rãnh của buồng hình trụ bằng bước rãnh của lõi thép stato. Trong ống lót 5 người ta đặt các ống dẫn hướng 14 tạo ra các rãnh 26 để hướng miếng cách điện úp khi đi vào rãnh stato. Các rãnh này trùng với rãnh của buồng hình trụ và có hình dạng tương tự.

Quá trình kéo các bối dây vào rãnh stato như sau: Cơ cấu chia bối mang các bối dây được đem ghép đối diện với trục lồng rồi dùng tay chuyển các bối dây sang các chốt bán nguyệt tương ứng (hình 3.31). Tiếp theo lắp lõi thép chồng lên trên rồi lắp đầu định vị 9. Lõi thép được cố định bằng các vấu giữ (cơ cấu thủy lực). Các răng của lõi sắt stato 25 phải nằm giữa các vấu 24, 25 của chốt bán nguyệt. Khi máy kéo dây làm việc đầu đẩy 7 chuyển động lên trên, các răng hình côn móc vào phần đầu nối cuộn dây và kéo chúng vào các rãnh stato.



Hình 3.31. Quá trình kéo các bối dây vào rãnh stato

a) Chuyển các bối dây từ cơ cấu chia bối sang trục lồng; b) Vị trí các cuộn dây và lõi sắt trước khi kéo vào rãnh

Việc kéo các bối dây vào rãnh có thể thực hiện đồng thời toàn bộ dây quấn (máy nhỏ) hoặc kéo từng phần, làm nhiều lần.

Chất lượng và độ tin cậy của dây quấn thực hiện trên máy quấn dây loại này phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: lực kéo, chất lượng cách điện sợi dây, hệ số dây rãnh, hệ số ma sát giữa dây và cách điện rãnh, dạng rãnh...

Việc kéo dây vào rãnh chỉ thực hiện được đối với rãnh thẳng. Tuy nhiên, trong thực tế có một số máy có rãnh nghiêng ở stato, chẳng hạn máy phát điện đồng bộ có hệ thống cực

từ quay, rãnh của stato phải được đánh nghiêng đi một bước rãnh. Để thực hiện kéo dây trong trường hợp này người ta làm như sau (hình 3.32):

Trên các lá tôn người ta dập một lỗ nhỏ, các lỗ này sẽ tạo thành một lỗ trên lõi thép stato sau khi ghép. Trước hết người ta ghép lõi thép để tạo thành rãnh thẳng (chưa ép chặt) rồi tiến hành kéo các bố dây vào rãnh. Sau khi kéo dây xong người ta cho một thanh thép vào trong lỗ như đã nói ở trên rồi tiến hành đánh chéo lõi thép đi một góc thích hợp, sau đó ép chặt lõi sắt lại.

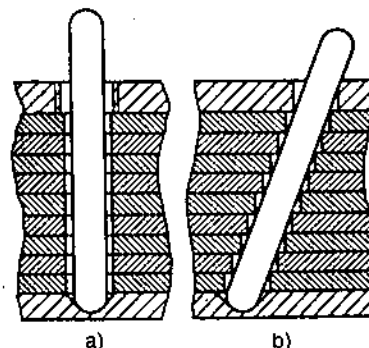
Với các máy quấn cuộn dây và trục lồng dây kiểu đã nêu người ta kết cấu thành những tổ hợp máy hoặc dây chuyền có năng suất từ hàng chục ngàn đến hàng triệu sản phẩm năm. Đặc điểm của những hệ thống này là không có tính vạn năng nên việc áp dụng chúng chỉ có thể ở những nhà máy chuyên sản xuất một cỡ máy nào đó ứng với một chiều cao tâm trục nhất định. Sau đây giới thiệu 4 hệ thống tự động đang được dùng phổ biến hiện nay.

1. Đặt dây trên các máy riêng biệt

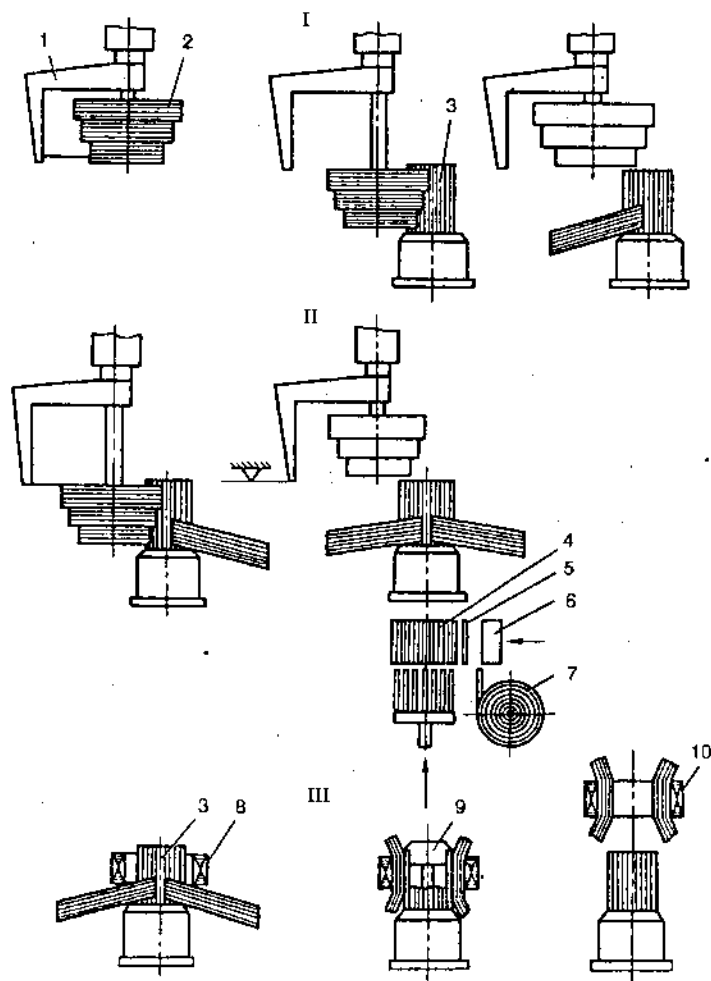
Khi sản lượng các sản phẩm không lớn (50 đến 120.000 chiếc stato/năm cùng loại) người ta dùng hệ thống các máy riêng rẽ hợp thành một hệ thống đồng bộ bao gồm hai máy quấn dây, một máy kéo dây và một máy ép tạo hình phần đầu nối. Các cuộn dây được quấn trên máy quấn và chứa vào các cơ cấu chia bố. Người vận hành chuyển các bộ chia bố cùng với các cuộn dây đến lắp vào máy kéo cuộn dây để thực hiện việc lồng dây vào lõi thép stato. Việc chuyển các stato đã kéo dây sang máy ép tạo hình phần đầu nối cũng do người vận hành thực hiện.

2. Đặt dây trên các máy tổ hợp

Khi sản xuất với một số lượng lớn các máy cùng loại (200 – 300 ngàn chiếc/năm) người ta dùng các máy tổ hợp, mà trên đó hai máy quấn dây và máy kéo các bố dây vào rãnh được thống nhất lại làm một. Việc chuyển các bố dây từ máy quấn bố dây sang máy kéo dây được thực hiện tự động. Đây là một loại máy tổ hợp rất phức tạp, đòi hỏi người vận hành phải có chuyên môn cao. Máy thường có 3 trục kéo dây bố trí trên một bàn xoay và hai trục quấn bố dây. Sơ đồ công nghệ của loại máy tổ hợp này như minh họa trên hình 3.33. Việc quấn các bố dây thực hiện trên khuôn cố định nhờ cơ cấu dẫn dây 1 và khuôn 2. Trong nguyên công I, các cuộn dây được thả và trục kéo dây. Các bố dây được phân chia bởi các trục chốt bán nguyệt 3. Nguyên công II lặp lại trình tự của nguyên công I đồng thời kéo cuộn bằng cách điện đưa vào khuôn 6 để tạo tám cách điện úp và xếp vào buồng chữ nhật 4 cùng với các nêm 5. Trong nguyên công III, lõi thép 8 được lắp lên trên đầu kéo dây và đầu đẩy 9 sẽ kéo các bố dây vào rãnh stato đồng thời với việc đặt cách điện úp và nêm rãnh. Người vận hành máy phải làm hai việc: lắp lõi sắt stato lên máy và tháo nó ra khỏi máy.

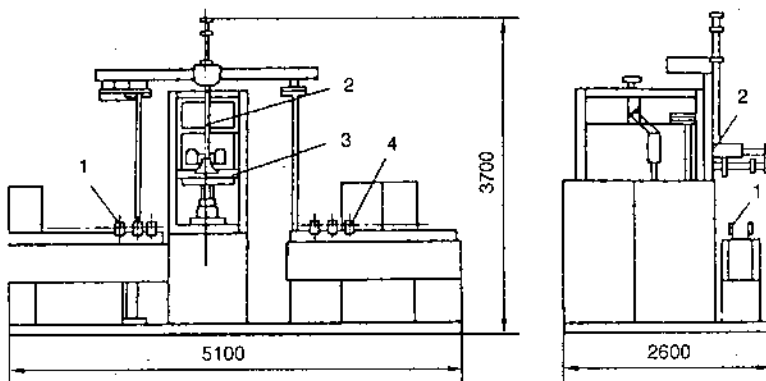


Hình 3.32. Đánh chéo rãnh của lõi thép stato sau khi lồng dây



Hình 3.33. Sơ đồ công nghệ lồng dây thực hiện trên máy tổ hợp

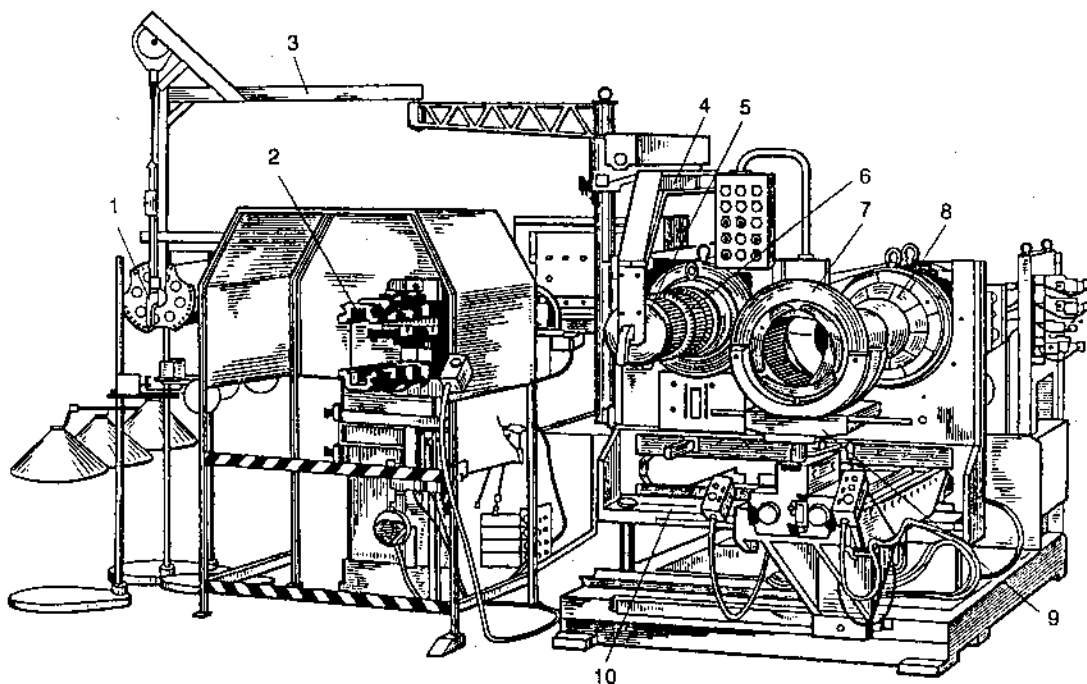
Trên cơ sở máy tổ hợp, người ta nâng cấp lên thành một hệ thống tự động hoá hoàn chỉnh như sơ đồ hình 3.34. Trên hệ thống này lõi thép trước và sau khi lồng dây (1 và 4) di chuyển trên một băng chuyền được điều khiển bởi động cơ bước. Việc chuyển lõi thép từ băng chuyền lên máy tổ hợp 3 để lồng dây rồi chuyển nó ra khỏi máy đều do một cơ cấu tay máy 2 điều khiển từ một rôbốt thực hiện.



Hình 3.34. Một hệ thống máy tổ hợp do rôbốt điều khiển

3. Đặt dây quấn trên các máy đa chức năng

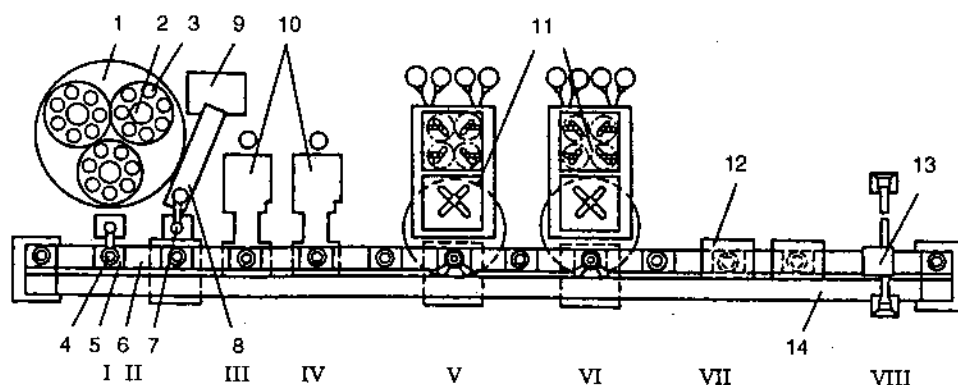
Khi kích thước các chi tiết tăng kéo theo trọng lượng tăng làm cho việc chuyển chúng từ nguyên công này đến nguyên công khác gặp nhiều khó khăn. Bởi vậy để đặt dây các stato có đường kính trong từ 132 đến 315mm người ta phải tiến hành trong một máy tổ hợp đa chức năng như hình 3.35, trong đó các nguyên công được thực hiện kế tiếp nhau theo một chuỗi các vị trí trên cùng một bàn công tác. Kết cấu công nghệ theo kiểu này không gian không cần nhiều mà việc vận chuyển chi tiết được hạn chế tối đa. Khuôn quấn dây 2 trong trường hợp này quay nên có thể quấn các bố dây với một số sợi chập song song không hạn chế. Các nhóm bố sau khi được các cơ cấu chia bố thông qua các bộ chuyển 3 và 4 chuyển đến trục kéo 6. Lõi thép stato được ghép lên đồ gá 7 và có thể di chuyển cùng với bàn 9 theo bộ dẫn hướng 10 để đến các vị trí của các nguyên công kéo các bố dây, ép tạo hình phần đầu nối. Máy được cấu tạo để kéo được dây quấn hai lớp qua 4 nguyên công. Trong mỗi nguyên công, lõi thép stato được chuyển đến trục kéo, nhóm bố được kéo vào rãnh, sau đó stato được chuyển đến trục gá 8 để ép tạo hình phần đầu nối và đặt cách điện giữa các lớp. Các nhóm bố 1, 2, 3 có các cạnh bố dây được đặt lần lượt ở lớp trên và lớp dưới. Nhóm bố cuối cùng cả hai cạnh tác dụng đều nằm ở lớp trên. Các rãnh đã được kéo cả hai lớp dây thì được đặt cách điện úp và đóng nẹp đồng thời khi kéo xong bố dây. Mỗi máy lồng dây đa nguyên công có hai người điều khiển. Người thứ nhất theo dõi việc quấn và chuyển các nhóm bố dây đến trục kéo đồng thời theo dõi việc đặt cách điện úp và đóng nẹp. Người thứ hai giám sát việc chuyển lõi thép đến trục kéo dây, việc kéo các bố dây vào rãnh, đặt cách điện lớp, chuyển stato đến khuôn ép tạo hình phần đầu nối. Năng suất mỗi máy với hai người vận hành có thể đạt 20 – 40 ngàn sản phẩm/năm.



Hình 3.35. Máy lồng dây đa chức năng để lồng dây stato kích thước lớn

4. Đặt dây trên các dây chuyển tự động

Dây chuyển lồng dây tự động được sử dụng trong các nhà máy sản xuất động cơ nhỏ cho máy giặt, máy lạnh... Năng suất của dây chuyển có thể đạt 0,6 – 1 triệu sản phẩm năm. Năng suất cao ở các dây chuyển này là nhờ tính đồng bộ và cơ khí hoá tất các nguyên công. Các nguyên công thực hiện trên dây chuyển bao gồm: chuyển lõi sắt đến, đặt cách điện rãnh, quấn bối dây, kéo bối dây vào rãnh, đặt cách điện úp và đóng nệm, tháo lõi thép đã quấn dây chuyển ra ngoài. Sơ đồ nguyên lý của dây chuyển như hình 3.36.



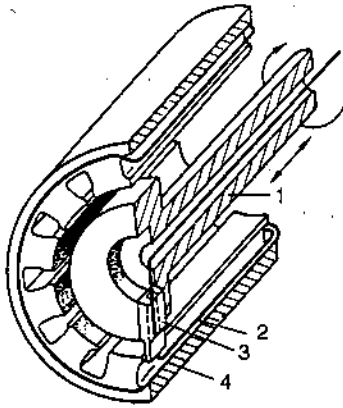
Hình 3.36. Sơ đồ công nghệ lồng dây tự động stato

Dây chuyển được tính toán để kéo toàn bộ một dây quấn, chẳng hạn dây quấn chính của động cơ một pha. Trên mâm quay 1 người ta bố trí 3 buồng 2 cùng với các trục kéo bối dây. Các lõi sắt 3 được bố trí xung quanh mâm quay. Trong nguyên công I thiết bị 4 mang lõi thép chuyển đến cơ cấu vệ tinh 5, cơ cấu này chuyển động trên băng chuyền 6. Trong nguyên công II thiết bị 7 kiểm tra độ chính xác của lõi thép (kích thước miệng rãnh, góc giữa các rãnh, chiều dày lõi). Lõi thép nào không đạt yêu cầu sẽ bị tay máy 8 chuyển sang băng chuyền 9 để đi ra ngoài, những lõi sắt đạt yêu cầu sẽ được chuyển sang nguyên công III và IV để đặt cách điện rãnh (trên hai đặt cách điện 10). Lúc này lõi sắt đứng yên trong cơ cấu vệ tinh. Nguyên công thứ V là nguyên công kéo các bối dây vào rãnh. Các bối dây được quấn sẵn trên các máy quấn dây 11 và lắp sẵn vào trục kéo dây. Nguyên công VI là nguyên công cắt. Trong nguyên công VII Bloc 12 tiến hành ép tạo hình phần đầu nối và đóng nệm rãnh. Nguyên công VIII thực hiện việc tách các lõi thép đã lồng dây ra khỏi cơ cấu vệ tinh để chuyển chúng đến nguyên công tiếp theo. Các cơ cấu vệ tinh được chuyển ngược trở lại đầu dây chuyền để tiếp tục vòng công nghệ sau. Mỗi dây chuyển chỉ được thiết kế cho một sơ đồ dây quấn nhất định. Chiều dài dây chuyển loại này thường từ 5 đến 10m.

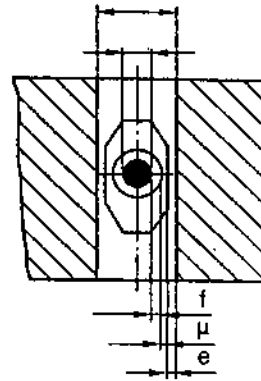
2. Quấn dây quấn bằng phương pháp quấn trực tiếp lên lõi thép

Phương pháp quấn dây trực tiếp lên lõi thép được mô tả trên hình 3.37. Việc quấn dây vào các rãnh được thực hiện nhờ một trục quấn 1 mang sợi dây 2 trong lỗ kim 3 vừa chuyển động tịnh tiến vừa quay trong lòng lõi thép stato 4. Sợi dây dẫn được dẫn qua lỗ kim 3 được dẫn hướng để lọt qua khe miệng rãnh. Phần đầu nối bối dây được

hình thành khi trục quán quay. Sau khi quán đủ số vòng trục quán tự động quay đi một góc định trước để quán nối tiếp theo. Kim đưa sợi dây chuyển động trong miệng rãnh nên chiều rộng miệng rãnh được thiết kế sao cho đủ rộng để chuyển động của nó được dễ dàng.



Hình 3.37. Sơ đồ công nghệ quấn dây tự động trực tiếp lên stato



Hình 3.38. Lỗ cơ cấu dẫn dây

Chiều rộng miệng rãnh thường được tính theo công thức sau (hình 3.38):

$$b_4 = d_{cd} + 2f + 2\mu + 2e + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4$$

Trong đó d_{cd} – đường kính sợi dây có cách điện, f – khe hở giữa lỗ kim và dây dẫn, μ – chiều dày cho phép nhỏ nhất của thành kim theo hướng vuông góc với miệng rãnh, e – khe hở giữa kim và thành miệng rãnh, δ_1 – dung sai chế tạo lá tôn, δ_2 – độ không song song của miệng rãnh so với trục lõi thép, δ_3 – dung sai góc trục rãnh so với bán kính lá tôn stato, δ_4 – dung sai của chuyển động của kim khi quay. Thông thường các lượng trên nằm trong khoảng sau:

$$f = 0,2; \mu = 0,2 - 0,3; e = 0,1 - 0,2;$$

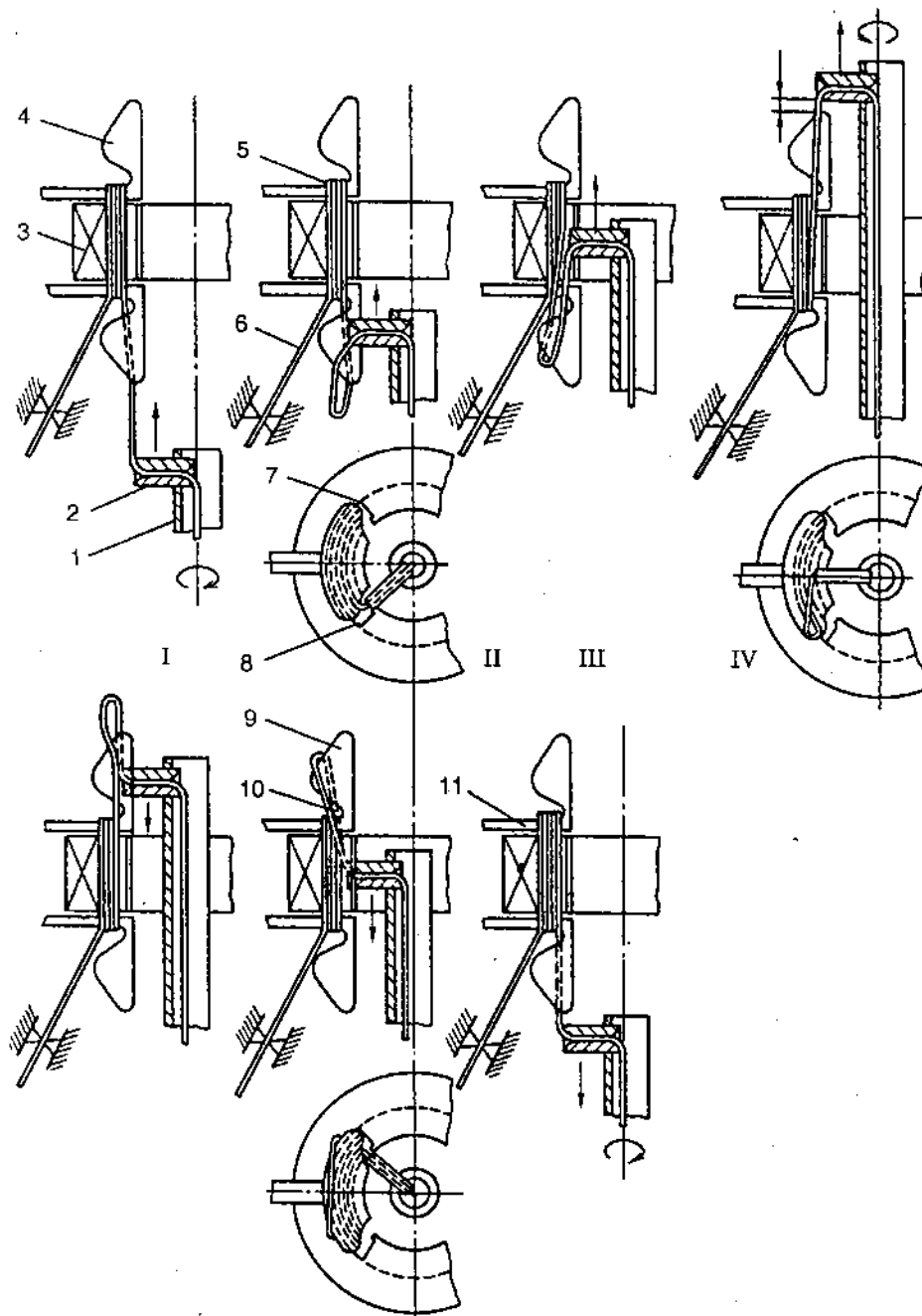
$$\delta_1 = \delta_3 = \delta_4 = 0,2; \delta_2 = 0,2 - 0,3.$$

Bởi vậy chiều rộng nhỏ nhất của rãnh nằm trong khoảng $d_{cd} + (1,8 - 2,3)$ hoặc có thể tính theo công thức thực nghiệm sau:

$$b_4 = 1,9d_{cd} + 2,45 \cdot 10^{-3} D_i + 0,38$$

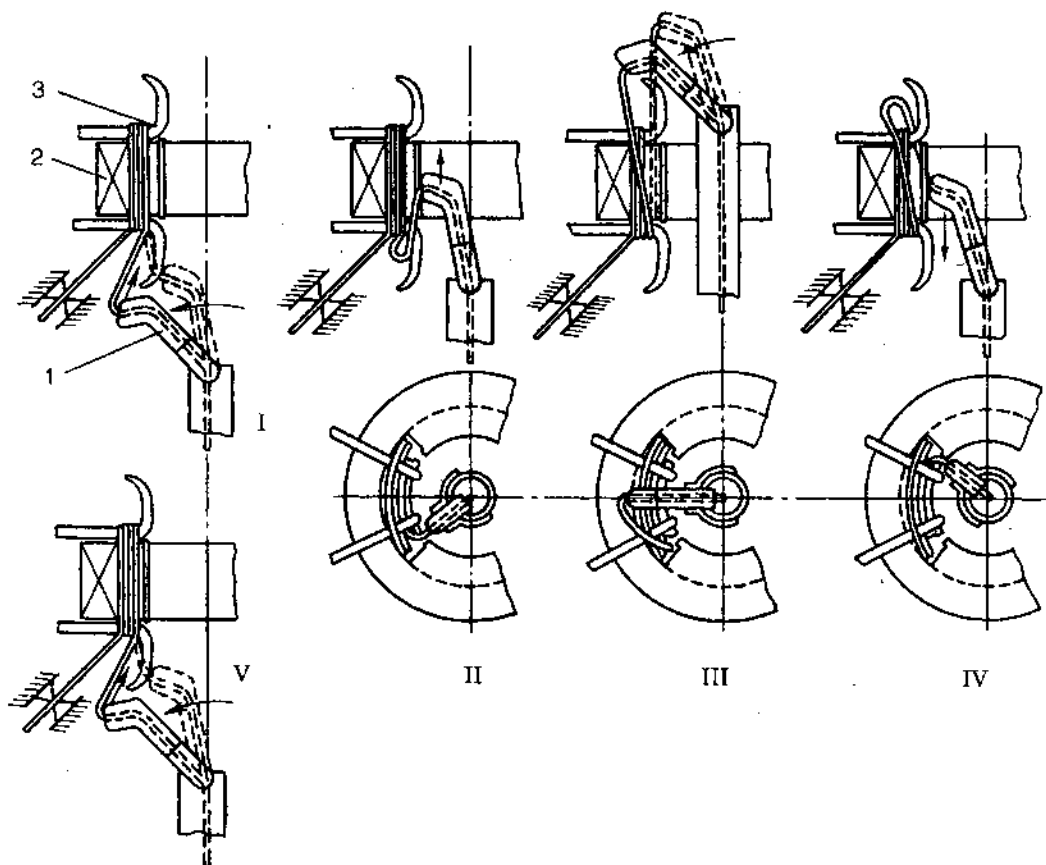
Trong đó D_i là đường kính trong stato.

Các vòng dây lần lượt được xếp từ đáy rãnh, phần đầu nối được uốn về phía lưng phần ứng nhờ các khuôn hình côn như hình 3.39. Lỗ dẫn dây 1 gắn trên kim 2 khi quán sợi dây lên khuôn hình côn 4 thì được uốn về phía lưng phần ứng, kết quả là phần đầu nối nối giữa hai rãnh 7 và 8 không đi tắt qua rãnh mà nằm trên phần lưng của phần ứng (nguyên công I và II). Nguyên công III sợi dây được đưa vào rãnh qua miệng rãnh. Các nguyên công tiếp theo IV, V, VI, VII cũng tương tự nhưng ở phía đối diện và rãnh thứ hai của bội dây.



Hình 3.39. Sơ đồ công nghệ quấn dây tự động lên stato có khuôn tạo hình phần đầu nối

Đối với dây dẫn lớn, việc tạo hình phần đầu nối nhờ khuôn hình côn gặp nhiều khó khăn vì sợi dây có độ đàn hồi lớn. Trong trường hợp này người ta dùng phương pháp cố định vào hai đầu các máng dẫn hướng phần đầu nối, còn sợi dây được khoắc vào máng dẫn nhờ một lấy gạt dây có thể xoay quanh trục của nó như hình 3.40. Trên các máy quấn dây loại này người ta trang bị thêm các cơ cấu tự động xoay lấy, tự động xoay stato đi một góc thích hợp...



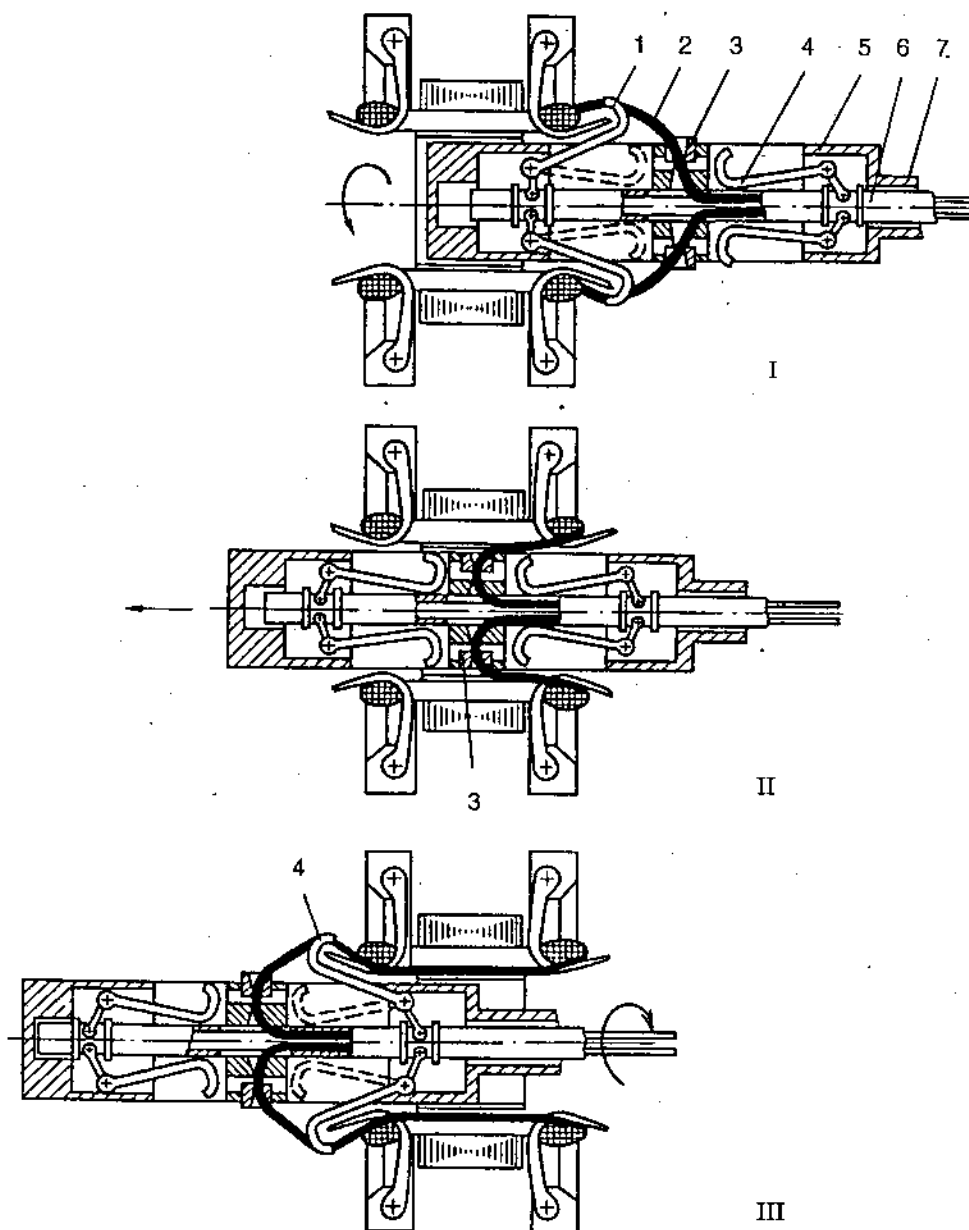
Hình 3.40. Sơ đồ công nghệ quấn dây tự động stato nhờ lấy gạt dây

Năng suất của máy quấn dây khuôn hình còn có tốc độ cao, có thể đạt 1200 đến 1600 vòng dây trong 1 phút, nhưng chỉ áp dụng cho máy nhỏ (quạt bàn). Loại có lấy gạt đạt năng suất 80 đến 180 vòng dây trong một phút, trong các máy có chiều dài nhỏ có thể đạt 300 vòng dây /phút. Để tránh các nhược điểm trên người ta đã tích hợp chức năng của hai loại máy quấn dây trên thành máy quấn dây hỗn hợp khuôn – lấy có tốc độ đạt 700 vòng dây trong một phút.

Tiếp tục cải tiến phương pháp dẫn hướng sợi dây người ta đưa ra một loại cơ cấu quấn dây mà có thể quấn hai sợi dây dẫn cho hai bội đồng thời như trên hình 3.41.

Hai sợi dây 2 được dẫn qua ống rỗng 6, đi qua kim hướng dây 3 và nhờ các tay gạt 1 đẩy banh ra khoắc vào vành tạo hình phần đầu nối (nguyên công I). Ống 6 cùng với cơ cấu quấn tiếp tục được đẩy qua bên trái làm tay gạt 1 cụp vào, kim hướng dây dẫn các sợi dây vào rãnh (nguyên công II). Khi tay gạt 4 thoát khỏi vành tạo hình phần đầu nối bên trái nó sẽ tự động bật ra và đẩy hai sợi dây banh ra, cơ cấu quấn dây quay đi một góc và khoắc các sợi dây vào vành tạo hình phần đầu nối bên trái (nguyên công III). Cơ cấu quấn lại chuyển động ngược lại để đưa sợi dây vào rãnh.

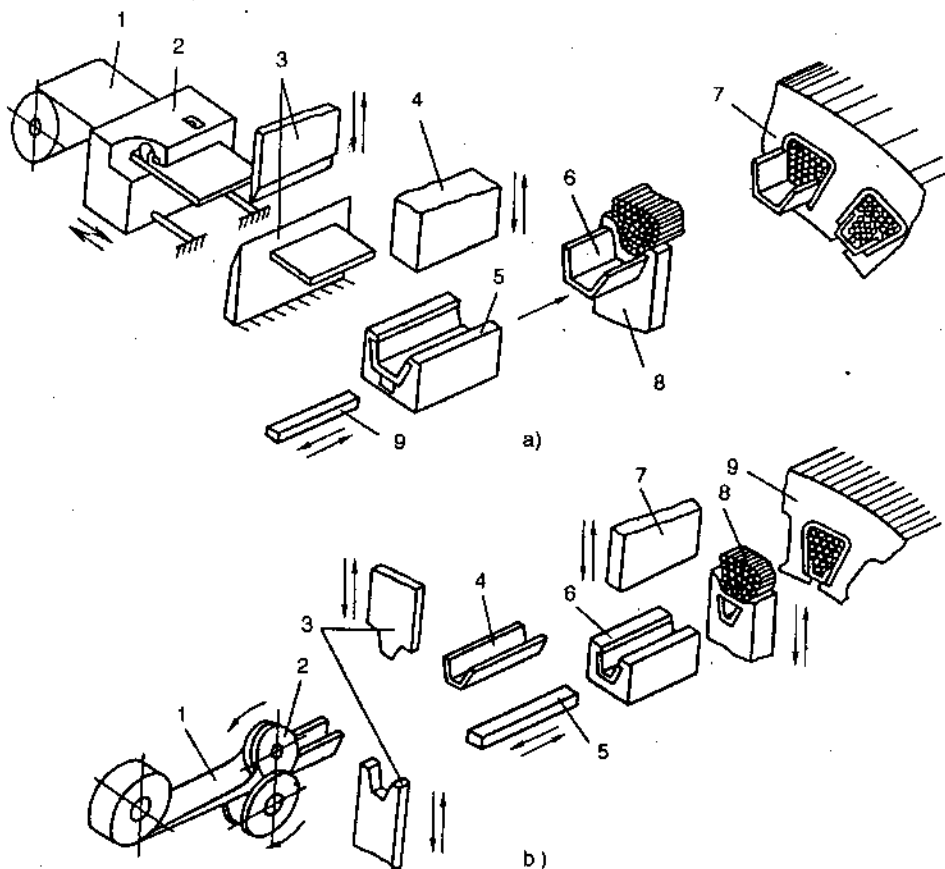
Các máy quấn dây kiểu này chỉ dùng để quấn các bội dây tập trung (ví dụ: quạt bàn) hoặc các động cơ nhỏ công suất đến hàng chục W.



Hình 3.41. Sơ đồ công nghệ quấn dây tự động stato trên máy quấn kép

Để đóng cách điện nắp miệng rãnh chúng ta có thể áp dụng một trong hai phương pháp mô tả trên hình 3.42. Bìa cách điện để làm các tấm cách điện úp thường dày hơn cách điện rãnh để tạo độ cứng, chịu được lực đẩy của chày đẩy và không bị gãy gập khi đi vào rãnh. Theo phương pháp thứ nhất (hình 3.42a) cuộn bìa cách điện 1 được cơ cấu truyền 2 kéo ra và được cắt thành tấm nhờ kéo 3. Miếng cách điện úp sau khi được tạo hình bởi chày ép 4 và khuôn 5 được đẩy vào rãnh. Khuôn 8 có tác dụng nâng phần đầu nối tại mép rãnh để miếng cách điện úp đi vào rãnh được dễ dàng.

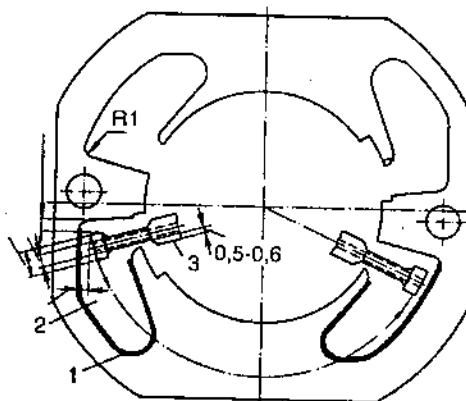
Theo phương pháp thứ hai (hình 3.42b), cuộn bìa cách điện được kéo qua máy tạo hình trước rồi dùng máy dập để cắt. Các nguyên công tiếp theo như phương pháp trên.



Hình 3.42. Sơ đồ công nghệ đặt cách điện miệng rãnh stato

Quấn dây quấn trực tiếp lên các lõi thép stato có cực lõi (máy nhỏ)

Đối với những lõi stato của các động cơ cực nhỏ chỉ có hai đến 4 cực dạng cực lõi như hình 3.43 người ta sử dụng một đầu quấn dây 3 quay xung quanh cực mà trong lòng nó mang một sợi dây dẫn được dẫn hướng qua một lỗ kim nhỏ. Đặc điểm của loại máy này là tất cả các cực đều được quấn đồng thời nên số đầu quấn bằng số lượng cực. Các máy này hiện được thiết kế với năng suất đầu quấn đạt 1200 đến 1500 vòng dây trong một phút với dây dẫn có đường kính 0,12 đến 0,55mm, đường kính ngoài mạch từ đến 60 – 90mm, đường kính trong đến 10 – 50mm.



Hình 3.43. Mặt cắt ngang lõi sắt stato có cực lõi

3. Đặt dây quấn phân tử cứng

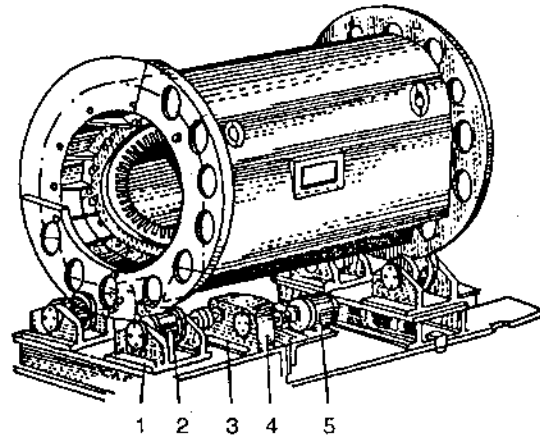
Các bối dây phân tử cứng có 2 loại: một loại đặt vào rãnh nửa hờ, một loại đặt vào rãnh hờ. Nói chung việc đặt các bối dây phân tử cứng vào rãnh khá đơn giản vì chúng đã

được tạo hình chính xác và cách điện rất cẩn thận. Việc đặt dây ở đây không ảnh hưởng lớn đến chất lượng cũng như độ tin cậy của máy.

4. Đặt dây quấn kiểu thanh dẫn

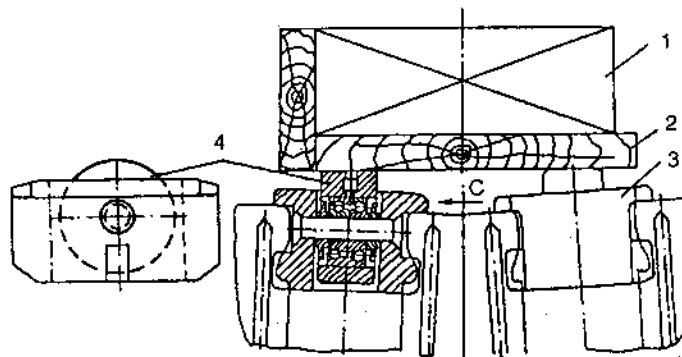
Dây quấn kiểu thanh dẫn rất đơn giản trong khâu đặt dây. Người ta đặt các thanh dẫn vào rãnh, đóng nêm rồi hàn các đầu dây với nhau là xong. Khe hở giữa thanh dẫn và thành rãnh đủ lớn để việc đặt dây không gây xây xát cách điện. Nếu rãnh kín việc đặt các thanh dẫn phức tạp hơn chút ít: đút thanh dẫn vào từ một đầu, dùng đồ gá (khuôn uốn) uốn đầu thanh dẫn theo kích thước cho trước rồi hàn.

Việc đặt các thanh dẫn của máy phát tua bin hơi khá phức tạp vì nó vừa dài vừa nặng (6 đến 8m, nặng tới $120 \div 135\text{kG}$). Trước đây việc đặt dây được thực hiện bằng tay, hiện nay khâu này đã được cơ khí hoá đáng kể. Stato của máy phát được đặt trên giá lắp có con lăn 2 để làm chỗ tựa cho 2 mặt bích ở hai đầu. Một trong 4 con lăn được truyền chuyển động quay từ động cơ 5 thông qua hộp số 4. Giá lắp ráp có độ cao, sao cho phía dưới stato cao hơn nền khoảng 1m (hình 3.44).



Hình 3.44. Stato trên giá lắp ráp

Trước khi đưa vào rãnh, thanh dẫn được sấy nóng đến $90 \div 100^\circ\text{C}$ (sấy bằng dòng ngắn mạch qua một máy biến áp đặc biệt) rồi được đưa vào stato trên một giá gỗ 2 (hình 3.45).



Hình 3.45. Đưa thanh dẫn vào stato

Giá gỗ 2 được lăn trên giá đỡ 3 nằm trong hai gờ miệng rãnh cạnh nhau. Khi thanh dẫn đã nằm đúng vị trí người ta lật giá gỗ đưa thanh dẫn vào rãnh. Người ta nêm tạm miệng rãnh bằng nêm gỗ, phần đầu nối được giữ tạm bằng các vành đai. Sau khi các thanh dẫn đã được đặt hết vào rãnh người ta dùng kích vít để đẩy phần đầu nối vào vị trí chính xác của nó. Dụng cụ thiết bị để đặt thanh dẫn vào rãnh đã giảm được khó khăn và nâng cao độ tin cậy cũng như chất lượng của dây quấn.

Việc đặt các thanh dẫn dây quấn stato của máy phát thủy điện đơn giản hơn. Trước đây người ta lắp hoàn chỉnh lõi sắt stato (đường kính 16m) rồi mới lắp đặt các thanh dẫn ở trạng thái thẳng đứng. Ngày nay, để nâng cao độ chính xác lắp ráp người ta lắp thanh dẫn vào các mảng riêng của stato trước, sau đó ghép các mảng đó lại thành stato hoàn chỉnh. Thường stato được chia thành 6 mảng. Dây quấn được lắp đặt ở trạng thái các thanh dẫn nằm ngang, như vậy dễ đạt độ chính xác cao hơn. Việc nối các đầu dây của các mảng đó với nhau được thực hiện ở chỗ lắp đặt máy phát.

Khâu cuối trong công nghệ đặt dây là hàn các đầu thanh dẫn với nhau, hàn các đầu ra và đầu đầu Y. Hàn các dây dẫn lớn tiết diện chữ nhật hoặc thanh dẫn là một khâu công nghệ quan trọng, có ảnh hưởng đến chất lượng máy. Những mối hàn không đạt chất lượng như diện tích hàn quá nhỏ, bị rỗ... sẽ bị phá ra dần dần do phát nóng ở chỗ tiếp xúc xấu. Trong các máy phát lớn, hàn thanh dẫn đồng thời là ống dẫn chất làm mát càng quan trọng vì không được phép để rò rỉ các chất làm mát đó ra ngoài.

5. Đặt dây máy điện một chiều

Dây quấn máy điện một chiều gồm các bố dây trong đó có thể chứa một số phân tử ($u = Z_m/Z_n$). Việc đặt dây vào rãnh hở tương tự như các loại máy khác nhưng có một số đặc điểm sau:

- Vì các bố dây được đặt trên rôto nên phần đầu nối các bố dây có xu hướng ép lên than, điều này làm cho kết cấu của dây quấn chắc chắn hơn nhưng cách điện giữa các bố dây ở phần đầu nối dễ bị hỏng do các bố cọ sát với nhau.

- Các đầu dây của bố dây đặt trong rãnh nào được nối với phiến góp nào cần phải được xác định theo các bước dây sao cho khi chổi than nối ngắn mạch một phân tử thì phân tử đó phải có 2 cạnh tác dụng nằm trên đường trung tính hình học. Như vậy, khi xác định vị trí bố dây và các đầu dây của nó trên vành góp cần phải biết chổi than nằm ở vị trí nào so với cực từ.

6. Quấn dây phản ứng các máy nhỏ

Các máy điện một chiều công suất nhỏ hoặc máy điện xoay chiều có vành góp thường dây quấn phản ứng (rôto) được quấn bằng tay trực tiếp vào các rãnh của lõi sắt. Đường kính phản ứng các loại này không vượt quá 100mm. Quấn trực tiếp vào rãnh có ưu điểm, phần đầu nối ngắn, dây quấn chặt chẽ về cơ nhưng năng suất thấp, dễ làm mất đối xứng về cơ cũng như về điện (điện trở các bố dây khác nhau). Để cách điện phần đầu nối với lõi sắt và trục người ta đặt 2 đầu lõi sắt 2 tấm bìa các tông cách điện được dập rãnh như lá tôn và dùng băng cách điện quấn 2 đầu trục ở đoạn sát với lõi sắt. Dây dẫn dùng để quấn yêu cầu phải có độ bền cách điện cao thường là dây emay có chiều dài cách điện tăng cường.

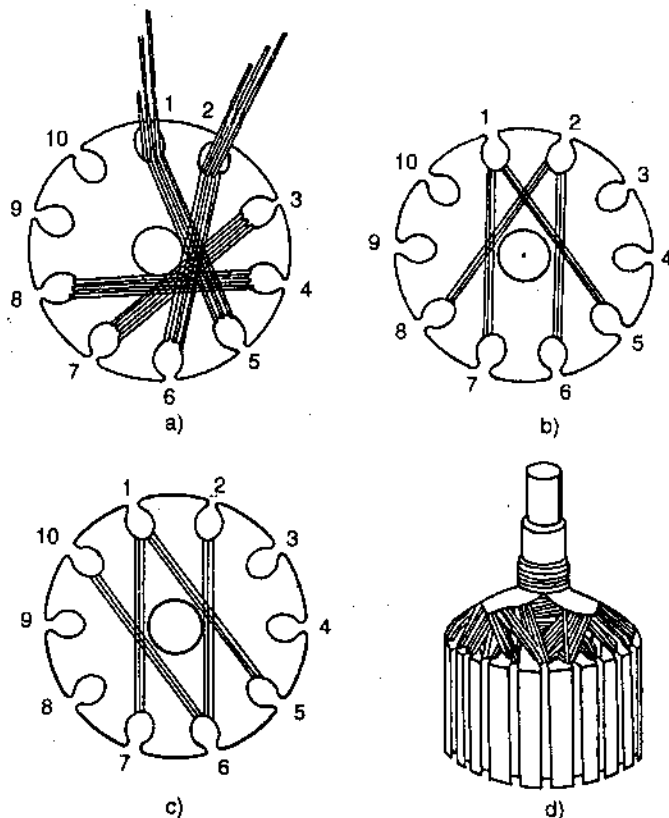
Hình 3.46a, b, c cho ta các phương án quấn dây khác nhau. Hình 3.46d là một phản ứng đã quấn xong. Trên hình 3.46a các cuộn dây quấn theo trình tự 1–5; 2–6; 3–7 cho đến hết. Nhược điểm của sơ đồ này là dây quấn không đối xứng về cơ (khi cân bằng động phải lấy đi nhiều) vì các bố dây có kích thước khác nhau phân bố không đối xứng qua trục. Hình 3.46b cho độ cân bằng hơn, nhưng không hoàn toàn. Theo sơ đồ này mỗi phân tử được chia làm hai phần, chẳng hạn một nửa quấn từ 1 đến 5, còn một nửa quấn từ 1 đến 7. Lúc này rãnh 1 được một nửa còn các rãnh 5 và 7 mới được 1/4. Sơ đồ quấn

dây ở hình 3.46c khá đối xứng vì lúc nào cũng có 2 phần tử song song đối xứng qua trục. Trình tự quấn ở đây là 1 đến 5, sau đó quấn 10 đến 6...

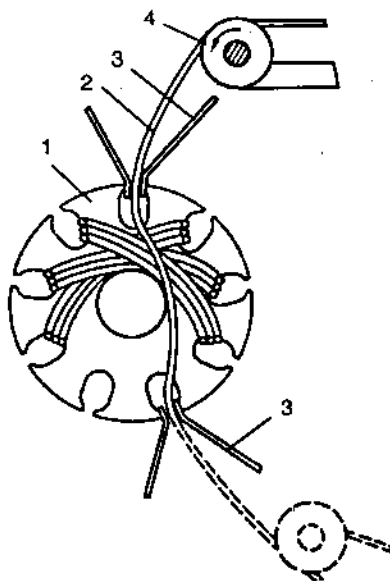
Khi quấn dây người ta chấp $u = Z_m/Z_t$ sợi để quấn, tức là quấn cùng một lúc tất cả các phần tử trong một bố. Đầu và cuối các bố dây được xoắn với nhau để khi hàn vào vành góp không lẫn sang đầu dây các bố khác. Để xác định 2 đầu dây của một phần tử người ta dùng ôm kế đo thông mạch.

Việc cơ khí hoá các thao tác trên được thực hiện thông qua một cơ cấu quấn dây chạy theo quỹ đạo giống như tay người. Sợi dây được truyền qua một bánh xe và rải sợi vào một phễu bằng bìa cách điện đặt trên miệng rãnh, từ đó nó được xếp vào rãnh.

Hình 3.47 mô tả một thiết bị như vậy, trong đó: 1. Lõi thép phản ứng; 2. Sợi dây dẫn được quấn vào rãnh qua phễu 3; 4. Đầu quấn dây.



Hình 3.46. Các phương pháp quấn dây



Hình 3.47. Sơ đồ công nghệ quấn dây tự động phản ứng máy công suất nhỏ

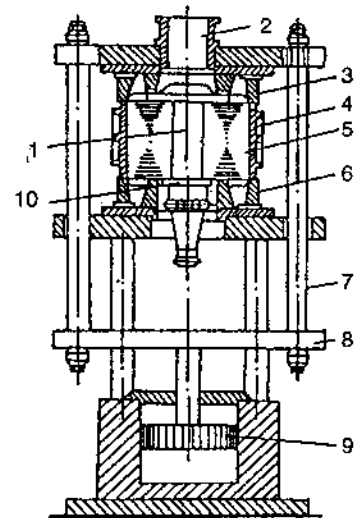
7. Công nghệ chế tạo rôto lồng sóc

Động cơ rôto lồng sóc được chế tạo đến công suất 1000kW. Đối với động cơ công suất đến 400kW người ta dùng rôto đúc nhôm. Đúc nhôm rôto lồng sóc cho đến nay vẫn là phương pháp tốt nhất vì năng suất cao, liên kết giữa thanh dẫn và vành ngắn mạch chắc chắn, có thể thực hiện dễ dàng với dạng rãnh bất kỳ, trên vành ngắn mạch có thể đúc cả cánh khuấy gió rất tiện cho việc làm mát, dễ gắn hoặc lấy đi các vật làm khối lượng hiệu chỉnh khi cân bằng động. Đối với động cơ dây thông dụng, nhôm để đúc dây quấn rôto là nhôm tinh khiết. Trong một số động cơ cần mômen mở máy lớn người ta dùng nhôm hợp kim để tăng điện trở rôto. Các động cơ công suất lớn thường làm rôto thành đồng và trong thời gian gần đây cũng dùng động cơ rôto thanh nhôm và vành ngắn mạch nhôm hàn với nhau bằng phương pháp hàn hồ quang trong khí acgông.

Quy trình công nghệ đúc nhôm rôto là một quy trình khá phức tạp do cấu tạo của dây quấn lồng sóc không thích hợp với công nghệ đúc. Chỗ chuyển tiếp giữa thanh dẫn và vành ngắn mạch không lợi cho công nghệ đúc vì đó là chỗ nối giữa một thanh mỏng (thanh dẫn) với một chi tiết dày (vành ngắn mạch) và vuông góc với nhau, nhôm ở nhiệt độ cao rất dễ bị ôxy hoá và tạo thành ở đó một màng ôxít có điện trở lớn. Vì thế mà chỗ này rất hay bị rỗ khuyết hoặc bị đứt do quá nhiệt khi làm việc. Mặt khác, mạch từ rôto sau khi ghép được đưa vào lò nung đến nhiệt độ $350 - 780^{\circ}\text{C}$. Nếu nhiệt độ lõi thép thấp nhôm sẽ đông cứng trước khi điền đầy, nếu cao quá phải chờ nhôm đông cứng làm giảm năng suất và dễ gây rỗ ở chỗ đậu ngót. Chính nguyên công này làm phức tạp thêm quá trình đúc, mặt khác gây hao hụt một lượng nhôm khoảng 2%.

Nhôm cần được nấu chảy trong lò với nổi graphit và phải loại trừ hết các tạp chất và lớp màng ôxít trên mặt để tránh rỗ khuyết khi đúc. Để hạn chế độ tăng nhiệt của động cơ và tăng hiệu suất của chúng cần tăng điện trở tiếp xúc giữa các thanh dẫn và lõi thép, điều này phụ thuộc vào phương pháp và chế độ đúc.

Trong sản xuất đơn chiếc, loạt nhỏ có thể đúc theo phương pháp đúc rót tĩnh, đúc rung hoặc đúc ly tâm. Phương pháp đơn giản nhất là phương pháp đúc rót tĩnh khi rôto đứng yên. Khuôn để đúc nhôm được trình bày trên hình 3.48. Thép lõi sắt rôto 5 được ép vào trục giả 1, trên có vành 10 và có chốt. Sau đó rôto được đưa lên khuôn đúc và được giữ bằng cơ cấu thủy lực 7, 8, 9. Trên hình 3.48 ta thấy, khuôn 3 và 6 để tạo vành ngắn mạch và cánh khuấy, áo khuôn 4 dùng để chắn không cho nhôm chảy ra khỏi miệng rãnh. Nhôm nóng chảy ở nhiệt độ $750 - 780^{\circ}\text{C}$ được rót vào đậu rót 2. Sau khi nhôm đông đặc, người ta cho cơ cấu thủy lực hoạt động để bỏ khuôn trên và lấy rôto ra. Để không khí trong khuôn thoát ra ngoài dễ dàng khuôn được cấu tạo sao cho nhôm lỏng dâng dần từ dưới lên qua các rãnh trong lõi sắt. Phương pháp này đơn giản nhưng chất lượng đúc không cao, dễ bị rỗ khuyết hay phế phẩm.

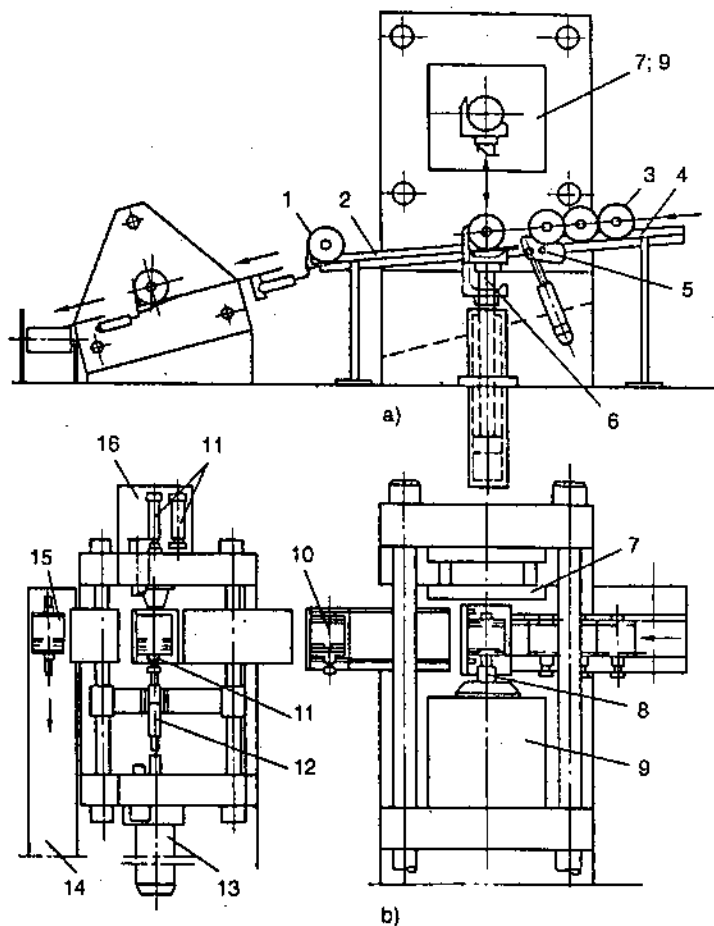


Hình 3.48. Khuôn đúc nhôm rôto lồng sóc

Để nâng cao chất lượng đúc, người ta áp dụng chế độ đúc rung. Theo phương pháp này toàn bộ khuôn đúc được đặt lên một bàn có động cơ chạy lệch tâm để gây rung. Biên độ và tần số rung được điều chỉnh theo kinh nghiệm. Đúc rung do nhôm xuống tốt hơn, hệ số điền đầy cao nên tỷ lệ phế phẩm ít hơn đúc rớt tĩnh.

Trong sản xuất khối hoặc loạt lớn, việc đúc rôto theo hai phương pháp trên không đáp ứng được chất lượng cũng như số lượng nên tuyệt đại bộ phận rôto đều được đúc bằng máy đúc áp lực dưới áp suất cao. Hiện nay 95% rôto các máy công suất nhỏ và vừa (đường kính rôto đến 250mm) đều đúc trên thiết bị đúc áp lực. Các máy có đường kính rôto lớn hơn 250mm do lượng nhôm đúc lớn nên đúc áp lực không thích hợp nên thường đúc trên máy đúc áp suất thấp.

Đúc nhôm rôto trên hệ máy đúc áp lực với áp suất cao có ưu điểm là không cần nung nóng lõi thép rôto trước do đó năng suất đúc cao hơn, chu trình công nghệ ngắn hơn do không làm gián đoạn dây chuyền công nghệ. Sự điền đầy khuôn đúc là do cường bức chứ không phải do chảy tự nhiên nên chất lượng đúc cao hơn. Trong thực tế, nếu rôto có đường kính nhỏ (60 – 90mm), người ta thường đúc chúng trên các máy đúc thẳng đứng nhiều khuôn cho năng suất cao, đạt 100 – 300 sản phẩm/giờ. Nếu rôto đường kính lớn (200 – 250mm) thường đúc trên các máy đúc một khuôn nằm ngang, năng suất đạt 30 sản phẩm/giờ. Trên các máy đúc tự động các nguyên công chuyển rôto vào máy, lắp khuôn, ép nhôm nóng chảy vào khuôn, cắt áp lực, lấy sản phẩm, làm sạch khuôn và bôi trơn khuôn đều được tự động hoá. Hình 3.49 mô tả nguyên lý một máy đúc nhôm rôto áp suất cao kiểu nằm ngang.



Hình 3.49. Máy đúc nhôm rôto áp suất cao kiểu nằm ngang

Lõi thép rôto 3 được ghép lên trục gá (sau này sẽ tháo ra) và được thả lên máng nghiêng 4. Lẫy chặn 5 lần lượt cấp từng chiếc một vào cơ cấu nâng 6 để đưa lên vị trí lắp khuôn 7 và vị trí máy đúc 9. Khuôn đúc 8 được chụp vào hai đầu lõi sắt cùng với áo khuôn. Toàn bộ rôto sau khi ghép khuôn được tay máy đưa vào hốc đúc 9 và nhôm nóng

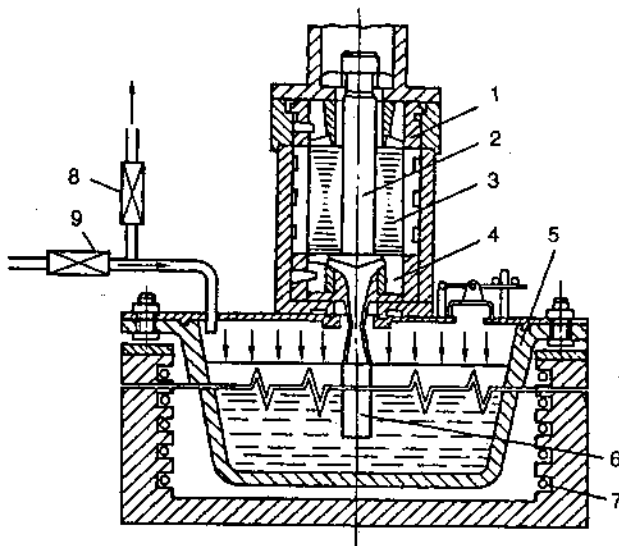
chảy được ép cường bức dưới áp suất cao vào rôto. Rôto sau khi đúc 10 được chuyển đến máy tháo khuôn 11 đặt trên bàn 16, ở đây toàn bộ khuôn vành ngăn mạch, áo khuôn được tháo bỏ. Rôto tiếp tục được chuyển đến máy ép 13 để tháo bỏ trục gá 11 và ép trục chính thức 12. Rôto sau khi đúc và ép trục 15 được cơ cấu chuyển 14 chuyển sang nguyên công sau.

Chất lượng đúc phụ thuộc nhiều yếu tố trong đó bao gồm nhiệt độ nhôm nóng chảy, tốc độ ép nhôm, thời gian giữ nhôm dưới áp lực,... Các thông số kỹ thuật đúc như sau: điện dẫn nhôm nguyên liệu $33,5 \cdot 10^6 (\Omega m)^{-1}$, sau khi đúc không nhỏ hơn $30 \cdot 10^6 (\Omega m)^{-1}$, áp suất đúc 5 – 6 kG/cm², tốc độ rót 0,5 đến 1 m/s, nhiệt độ nhôm 690 – 700°C. Nhôm được nấu chảy trong nồi graphit.

Sơ đồ công nghệ đúc rôto dưới áp lực thấp trình bày trên hình 3.50. Theo công nghệ này nhôm được truyền vào khuôn đúc từ dưới lên nên không khí trong các rãnh được đẩy ra ngoài khi nhôm dâng lên, mặt khác nhôm được lấy từ giữa nên tránh được lớp nhôm ôxit trên bề mặt nhôm nóng chảy. Điều này hạn chế được hiện tượng rỗ khuyết trong thanh dẫn thường xảy ra trong công nghệ đúc rót.

Quá trình đúc được thực hiện theo trình tự sau. Lõi sắt 3 được ghép lên trục gá 2 và được nung nóng sơ bộ đến nhiệt độ 400°C – 500°C sau đó thả vào phần dưới của khuôn đúc 4. Tiếp theo lắp áo khuôn, phần trên khuôn đúc 1. Mở van 9 để đưa khí nén vào nồi nhôm nóng chảy 5, nhôm sẽ dâng lên trong ống dẫn 6 và điền đầy vào khuôn. Khi nhôm đã đầy cần tăng áp suất và giữ cho đến khi nhôm đông cứng thì mở van 8 để xả khí nén để đưa áp suất trong nồi trở về áp suất khí quyển. Nồi được đun nóng bằng dây điện trở 7.

Đối với các động cơ lớn lồng sóc chế tạo từ các thanh dẫn nằm trong rãnh và được nối ngắn mạch bằng hai vành ngắn ở hai đầu. Vật liệu dùng ở đây là đồng hoặc hợp kim đồng và gần đây cũng dùng cả nhôm và hợp kim nhôm. Ưu điểm của loại rôto này là độ tin cậy cao vì các thanh dẫn được chế tạo bên ngoài dễ giám sát chất lượng, không sợ bị rỗ khuyết, nhược điểm là công nghệ chế tạo phức tạp, giá thành cao. Chiều dài thanh dẫn được cắt sao cho khi ép hai vòng ngắn mạch vào, thanh dẫn nhô ra khoảng 2 – 4 mm. Hai đầu thanh dẫn được làm côn đi, để khi ghép với vành ngắn mạch chúng tạo thành một cái rãnh phễu, khi hàn kim loại que hàn nóng chảy dễ lọt vào. Các thanh dẫn cần có tiết diện giống như tiết diện rãnh, trong thực tế người ta cắt chúng từ các thanh đồng đúc hoặc cán định hình. Các lỗ trên vành ngắn mạch được tạo ra nhờ khoan hoặc đột. Khe hở giữa thanh dẫn và thành lỗ khoan khoảng $0,2 \div 0,4$ mm. Việc hàn các thanh dẫn với vành ngắn mạch được thực hiện bằng phương pháp hàn tiếp xúc cực than.

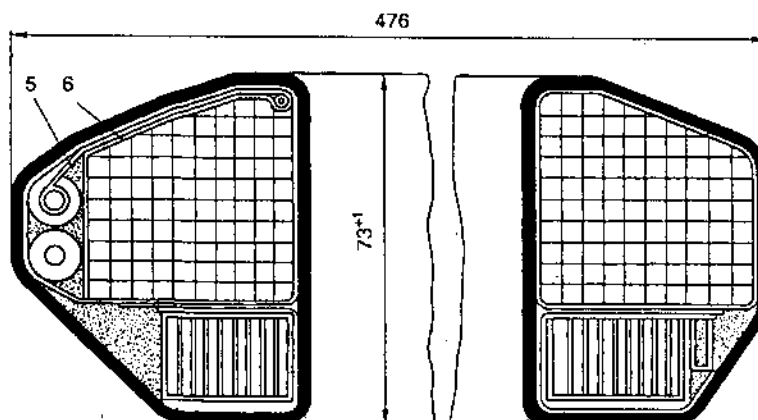


Hình 3.50. Máy đúc nhôm áp suất thấp

8. Công nghệ chế tạo dây quấn cực từ

Dây quấn cực từ bao gồm dây quấn cực từ chính, dây quấn cực từ phụ, dây quấn bù trong máy điện một chiều, dây quấn cản trong máy phát đồng bộ, dây quấn mở máy trong động cơ đồng bộ.

Dây quấn kích từ đặt trên cực từ chính của máy điện một chiều có thể bao gồm dây quấn kích từ nối tiếp, kích từ song song hoặc hỗn hợp (hình 3.51).

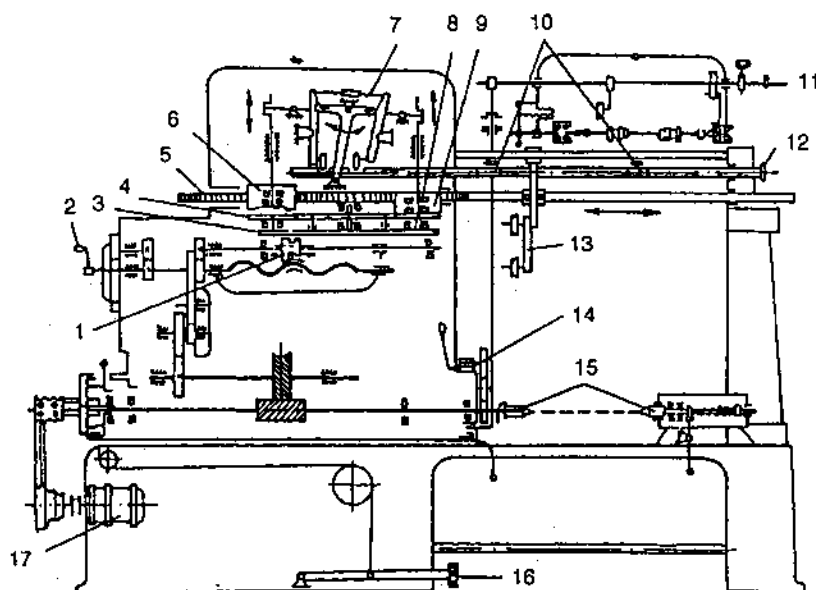


Hình 3.51. Dây quấn kích thích hỗn hợp của máy điện một chiều

Dây quấn cực từ của máy một chiều nằm trên phần tĩnh. Dây quấn cực từ của máy đồng bộ phần lớn nằm trên rôto (có một số máy công suất nhỏ cực từ nằm trên stato) nên phải tính đến lực ly tâm tác dụng lên cuộn dây khi rôto quay.

Nếu dây dẫn để quấn cuộn dây nằm trong khoảng 7mm^2 đối với dây tròn và đến 16mm^2 đối với dây có tiết diện chữ nhật, thì dùng dây đã cách điện. Nếu tiết diện dây lớn hơn thì nên quấn từ dây đồng trần rồi bọc cách điện vòng dây sau.

Nếu cuộn dây nhiều vòng được quấn từ dây dẫn trên kích thước nhỏ ($0,06 \div 0,6\text{mm}$) người ta quấn chúng trên máy quay nhanh (đến 5000vg/ph). Trên máy có đồng hồ để đếm số vòng quấn. Hình 3.52 trình bày sơ đồ động học một máy quấn dây kiểu như vậy.



Hình 3.52. Sơ đồ động học của máy quấn cuộn dây nhiều vòng

Máy quấn dây kiểu này có khả năng tự động rải dây từng lớp, vòng nọ sát vòng kia trong phạm vi đường kính dây tới 0,6mm, tự động quấn ngược lại khi hết lớp và tự động đặt cách điện lớp. Máy cũng có khả năng tự động dừng lại khi đủ số vòng định quấn hoặc dây bị đứt trong khi quấn. Với kiểu này một công nhân quấn dây có thể đứng 2 máy đồng thời.

Trục 15 được trang bị cơ cấu điều chỉnh tốc độ trong phạm vi từ $850 \div 4900 \text{ vg/ph}$. Máy được truyền động bằng động cơ điện 17. Cơ cấu rải dây 13 làm việc được nhờ các bộ truyền bánh răng và ma sát gồm đĩa 3 và con lăn 1. Nhờ tay gạt 2 con lăn 3 có thể thay đổi vị trí so với đĩa 3. Các bánh răng 4 và 9 được quay theo hai hướng khác nhau. Các pinhông 6 và 8 lần lượt khớp với chúng để làm cho cơ cấu rải dây chuyển động qua lại. Việc chuyển pinhông được thực hiện nhờ các con chặn 10 đặt trên thanh 12 làm cho cơ cấu đòn bẩy đảo chiều 7 tác động. Các con chặn được đặt vào vị trí tương ứng với chiều dài cuộn dây cần quấn. Bước rải (tùy theo đường kính dây) được hiệu chỉnh vị trí của con lăn 1 với đĩa 3. Khuôn để quấn dây có thể làm bằng gỗ hoặc nhôm và nếu là cuộn hút của các khí cụ điện thì quấn trực tiếp và cố định lên khung nhựa. Cuộn dây sau khi quấn phải đảm bảo chắc chắn. Muốn vậy phải điều chỉnh độ căng dây hợp lý, hiệu chỉnh để các vòng dây sát nhau và sau đó phải tẩm sấy. Việc tẩm sấy mất khá nhiều thời gian cho nên ngày nay người ta dùng loại dây có lớp emay đặc biệt để quấn và sau đó thiêu kết ở nhiệt độ $130^{\circ}\text{C} \div 160^{\circ}\text{C}$ trong thời gian $15 \div 20$ phút để các vòng dây sẽ liên kết với nhau thành một khối chắc chắn.

Khi quấn các cuộn dây có tiết diện hình chữ nhật (cực từ hoặc lõi nam châm cuộn hút có tiết diện chữ nhật) cần chú ý đến hệ số nở của cuộn dây trên các cạnh. Tiết diện ngang một cạnh cuộn dây được tính theo công thức:

$$F = n_k \cdot d_{cd} \cdot k_1$$

Trong đó: n_k – số vòng dây trong cuộn dây;

d_{cd} – đường kính dây có cách điện;

k_1 – hệ số nở. Đối với dây emay $k_1 = 1,1$; đối với dây bọc sợi $k_1 = 1,05$.

Chiều dày cuộn dây:

$$b = n_1 \cdot d_{cd} \cdot k_2$$

n_1 – số lớp cuộn dây.

Chiều cao cuộn dây:

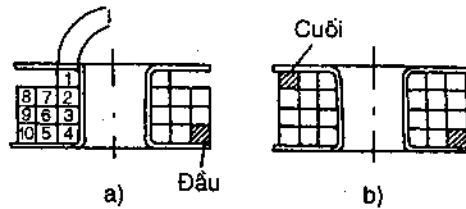
$$h = n_2 \cdot d_{cd} \cdot k_2$$

n_2 – số dây dẫn trong một lớp;

k_2 – hệ số nở, đối với dây tròn $k_2 = 1,04$; đối với dây chữ nhật $k_2 = 1,07$.

Đầu dây trong của cuộn dây quấn từ dây dẫn tròn được đưa ra ngoài bằng một lá đồng có chiều dày không quá 1mm.

Đối với cuộn dây cực từ quấn bằng dây có tiết diện chữ nhật, để đưa cả đầu dây ra phía ngoài ta quấn cuộn dây như hình 3.53. Khi quấn ta trừ ra một đoạn đủ để quấn một số vòng bằng một số lớp. Lớp đầu tiên quấn đủ số vòng của một lớp, các lớp sau trừ vòng đầu của lớp không quấn. Sau khi quấn xong các lớp, ta quấn ngược đoạn dây và cuộn dây, đầu dây cuộn dây sẽ ra phía ngoài (hình 3.53b).

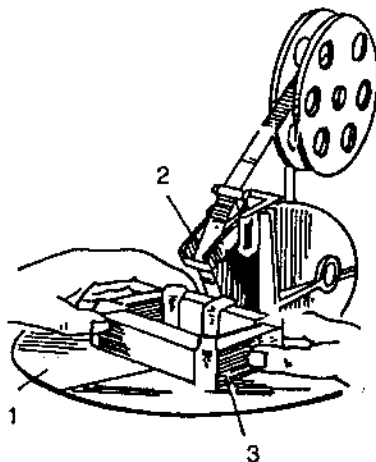


Hình 3.53. Sơ đồ quấn cuộn dây nhiều vòng có hai đầu dây cùng nằm phía ngoài

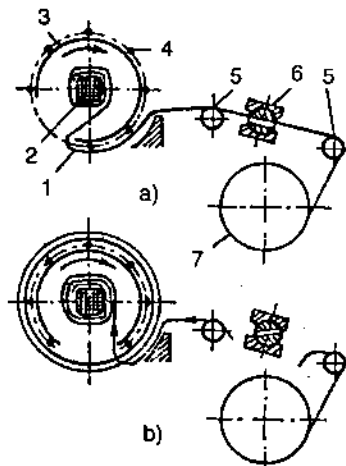
Cuộn dây sau khi quấn xong được bọc bằng cách điện (băng sợi thủy tinh). Số lớp băng có thể 2 hoặc 3 lớp. Để quấn băng cách điện xung quanh cuộn dây cực người ta dùng máy quấn băng như hình 3.54.

Cuộn dây 3 được đặt trên một mặt bàn nhỏ của máy. Khi quấn băng, người công nhân dùng tay xê dịch cuộn dây và xoay nó theo 4 cạnh. Vành hờ 3 quay xung quanh cạnh cuộn dây và quấn băng lên nó. Hình 3.55 biểu diễn sơ đồ làm việc của máy.

Băng 1 từ rulô 7 qua trục lăn 5 và dao trụ 6 đi vào vành hờ 3. Trên bề mặt của vành hờ 3 người ta đặt vành 4. Đầu cuộn băng được cố định trên cuộn dây 2. Khi vành hờ 3 quay, băng được quấn đồng thời lên cuộn dây và lên vành 4. Băng được cắt bằng dao trụ 6 và tiếp tục quấn lên cuộn dây từ vành 4.



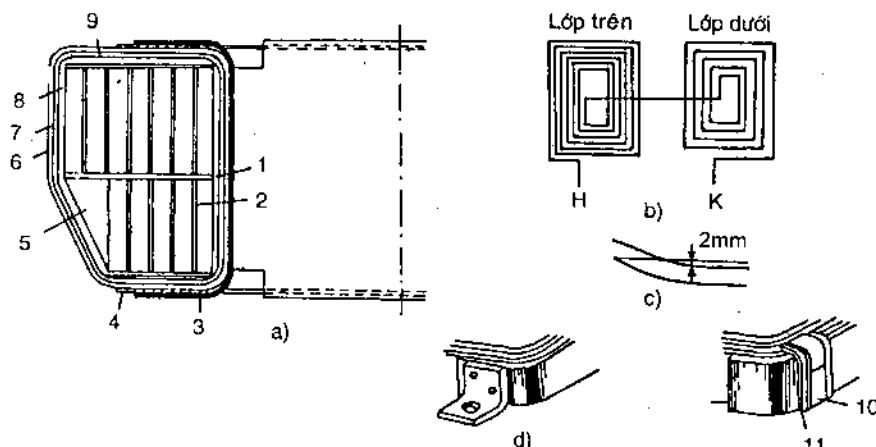
Hình 3.54. Máy quấn cách điện cuộn dây cực từ



Hình 3.55. Sơ đồ động học của máy quấn băng cuộn dây cực từ

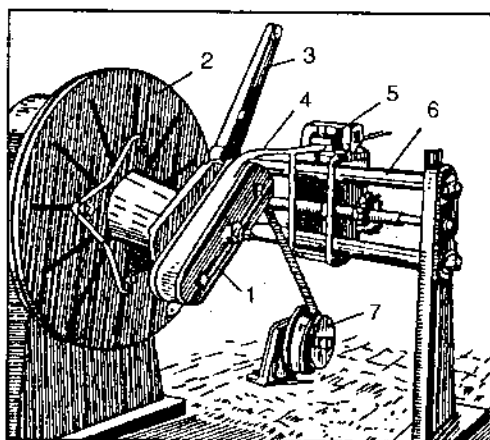
Những cuộn dây cực từ ít vòng quấn bằng dây dẹt có 2 loại: loại quấn theo chiều dẹt và loại quấn theo cạnh sườn của sợi dây. Hình 3.56 trình bày một cuộn dây và cách quấn nó theo chiều dẹt sợi dây. Cuộn dây được quấn thành 2 bậc, số vòng trong mỗi bậc khác nhau. Để đầu dây dẫn ra phía ngoài, người ta uốn thanh dẫn sao cho từ chỗ uốn quấn về hai phía khác nhau ta thu được 2 cuộn dây mà đầu 2 cuộn dây chính là chỗ uốn đó (hình 3.56b và 3.56c). Cách điện giữa cuộn dây với cực từ và vỏ máy bằng các tấm mica 9, băng amiăng 8, băng mica 7 và băng sợi thủy tinh 6. Chỗ khuyết ở góc 5 được độn đầy bằng bột amiăng nhào với sơn cách điện. Để bảo vệ cách điện cuộn dây, người ta dùng một khung tôn 3 lót bên trong cuộn dây nhằm tránh sự cọ sát giữa cuộn dây và cực từ. Để xác định chiều dày cuộn dây ta phải biết chiều dày dây dẫn, chiều dày cách điện và hệ số nở. Hệ số

nở tùy theo chiều dày dây dẫn. Khi chiều dày dây dẫn bằng $0,3 \div 1,16\text{mm}$, $k_n = 1,2$; khi chiều dày $1,25 \div 1,5\text{mm}$, $k_n = 1,1$; khi chiều dày bằng $2,1\text{mm}$ $k_n = 1,06$.



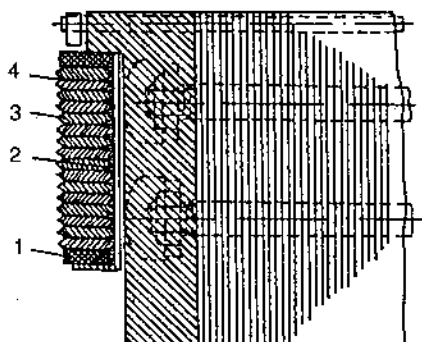
Hình 3.56. Cuộn dây cực từ quấn từ thanh đồng dẹt theo chiều dẹt

Các cuộn dây quấn theo chiều dẹt được quấn trên máy quấn dây (hình 3.57) chạy chậm. Khuôn 1 được cố định trên giá khuôn quay cùng với mâm máy 2. Dây đồng 4 được kéo qua bộ phận ép dây 5. Băng giấy amiăng được kéo từ rulo 7 để quấn lên khuôn cùng với dây dẫn và tạo thành cách điện vòng dây. Trên máy này cũng có thể quấn các cuộn dây theo cạnh sườn sợi dây (có độ chênh 2 kích thước không lớn quá) bằng cách trang bị thêm tay đòn 3. Máy có bộ phận hãm khi dừng và được truyền động từ một động cơ điện cùng với hộp giảm tốc. Việc lấy đầu ra của cuộn dây có thể thực hiện như hình 3.56d,e.

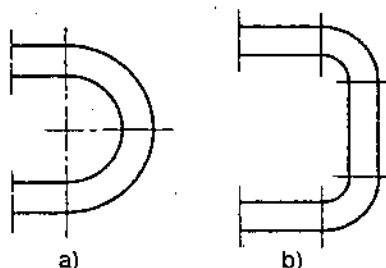


Hình 3.57. Máy để quấn các cuộn dây cực từ theo chiều dẹt của sợi dây

Cuộn dây cực từ quấn theo chiều nghiêng (cạnh sườn) của sợi dây (hình 3.58) khó thực hiện hơn. Loại cuộn dây này thường dùng cho cực từ phụ của máy điện một chiều hoặc cực chính của máy phát điện cực lõi. Dây quấn cực quấn theo kiểu này chặt chẽ hơn, chắc chắn hơn, rất thích hợp khi kết cấu máy có hệ thống cực từ quay. Dây được quấn trên một lớp nền điều kiện làm cho các vòng dây tốt hơn. Về công nghệ có thể tận dụng công suất máy quấn tốt hơn vì có thể quấn cả cuộn dài, sau đó cắt ra từng đoạn để được số vòng trên một cực. Cách điện giữa cuộn dây và cực là 2 tấm tectolit I và một số lớp micaphôn 2 được quấn trên lõi cực. Bề mặt ngoài cuộn dây để hở để cải thiện điều kiện làm mát. Để tăng bề mặt tỏa nhiệt mặt ngoài mỗi vòng dây được chế tạo có tiết diện hình tam giác. Cách điện giữa các vòng dây là các tấm amiăng tấm sơn cách điện.



Hình 3.58. Cuộn dây quấn theo chiều nghiêng

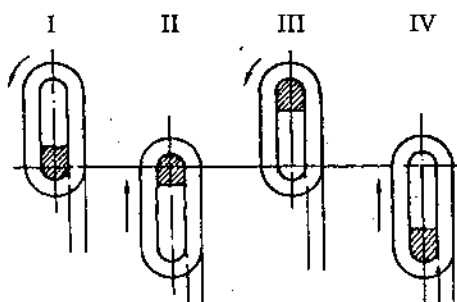


Hình 3.59. Phần đầu nối các cuộn dây 2 chỗ uốn và 4 chỗ uốn

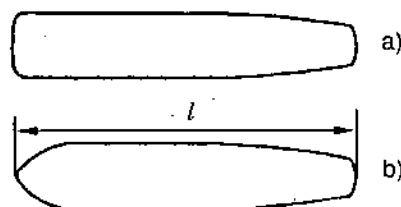
Các cuộn dây cực quấn theo chiều nghiêng sợi dây có 2 loại: loại có 2 đầu lượn tròn dùng cho cực từ phụ của máy phát điện một chiều, cực từ của máy phát cực lõi và loại thứ 2 có 4 góc lượn tròn dùng trong cực từ chính động cơ kéo một chiều (hình 3.59). Để quấn được cuộn dây có 4 góc lượn tròn yêu cầu máy quấn có kết cấu khá phức tạp vì bán kính lượn tròn nhỏ. Để uốn thanh dẫn theo cạnh sườn của nó cần phải có lực tương đối lớn. Chỗ uốn lượn góc ở phía trong thanh dẫn do bị nén lại nên phình ra hai bên, còn ở phía ngoài thì bị kéo nên mỏng đi. Muốn các vòng dây sát nhau phải phay hoặc dũa chỗ phình đi rồi mới quấn tiếp các vòng tiếp theo. Để dẫn hướng và uốn thanh dẫn người ta dùng một cơ cấu tay đòn có rãnh dẫn hướng đặc biệt đặt ngay gần chỗ uốn và có thể lùi dần ra phía sau để uốn chỗ khác.

Khi quấn bố trí khuôn như hình 3.60 (phần gạch chéo trong cuộn dây). Khuôn có thể chạy đi chạy lại trong lòng cuộn dây; để nằm ở chỗ khi uốn lợi về lực nhất.

Khi quấn một cuộn dây người ta quấn số vòng nhiều hơn so với thiết kế (khoảng 2 ÷ 3 vòng). Sau đó cắt cuộn dây theo đúng số vòng thiết kế. Số vòng còn lại nằm vào cuộn sau. Như vậy ta không phải quấn vòng đầu tiên là vòng khó quấn nhất. Nếu cuộn dây đồng dùng để quấn hết, ta hàn đầu cuối cùng vào cuộn tiếp theo để quấn tiếp. Ở các nhà máy lớn có sản lượng cuộn dây cực cao, người ta quấn chúng trên các máy chuyên dụng chạy bằng động cơ điện và chỉ cần một công nhân vận hành.



Hình 3.60. Trình tự quấn một vòng dây



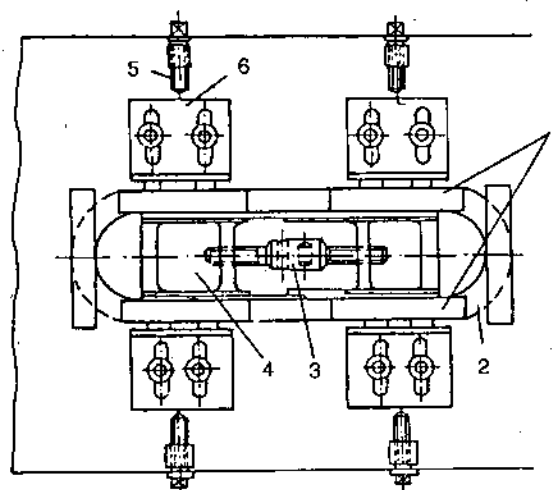
Hình 3.61. Tiết diện ngang một thanh dẫn để quấn cuộn dây cực

Cuộn dây cực từ của máy phát thủy điện có kích thước rất lớn, thậm chí trọng lượng còn vượt quá các cuộn dây nguyên liệu. Trong trường hợp đó người ta chia cuộn dây cực

thành một số đoạn sau đó hàn chúng lại với nhau. Phần nở ra của thanh dẫn ở chỗ uốn được phay đi bằng máy phay đúng. Hiện nay một số nhà máy dùng đồng cán định hình có tiết diện đặc biệt để quấn (hình 3.61). Khi quấn cho phía có tiết diện nhỏ vào phía trong. Ở chỗ uốn thanh dẫn nở phình ra vừa đúng bằng chiều dày thanh dẫn ở phía ngoài. Như vậy ở những chỗ không uốn giữa các vòng sẽ có chỗ khuyết, khi hoàn thiện cuộn dây chúng được lấp đầy bằng amiăng cách điện.

Các vòng dây được nắn sửa (bằng búa chì), tẩy bavia và sau đó được đưa vào lò điện ở nhiệt độ $500 \div 600^{\circ}\text{C}$. Cuộn dây sau khi ủ có thể làm nguội nhanh bằng nước hoặc không khí tự nhiên. Trước khi các cuộn dây nhỏ được hàn với nhau để thành cuộn lớn người ta kiểm tra và nắn hiệu chỉnh trên khuôn nắn (hình 3.62).

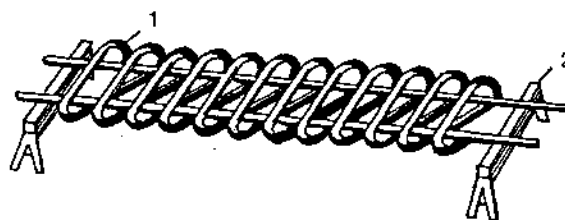
Khuôn nắn trong 4 để xác định kích thước ngang trong lòng cuộn dây và được định chỉnh nhờ trục vít 3. Các tấm 1 đặt phía trên để nắn cho thanh dẫn được phẳng, bằng cách dùng búa đập gián tiếp qua đó. Bề mặt ngoài cuộn dây được nắn nhờ các tấm thép góc 6 bằng cách điều chỉnh các vít 5.



Hình 3.62. Nắn hiệu chỉnh cuộn dây trong khuôn nắn

Sau khi nắn sửa kích thước các cuộn nhỏ hoàn chỉnh, người ta hàn chúng với nhau để tạo thành cuộn lớn. Cuộn dây được ép nguội trên máy ép thủy lực để kiểm tra kích thước.

Cách điện cuộn dây cực kiểu này là các tấm bìa amiăng tẩm sơn cách điện có chiều rộng lớn hơn chiều rộng thanh dẫn khoảng 1mm. Khi đặt cách điện, người ta đặt cuộn dây lên một cái giá (hình 3.63) rồi kéo ra như một cái lò xo. Sửa sang và kiểm tra bề mặt các vòng dây, đặt các tấm cách điện vào giữa chúng rồi ép lại. Cuộn dây được ép nóng trên máy ép thủy lực ở nhiệt độ $180 \div 200^{\circ}\text{C}$. Phương pháp gia nhiệt cho cuộn dây là cấp vào hai đầu cuộn dây một nguồn dòng lấy từ một máy biến áp hạ áp.

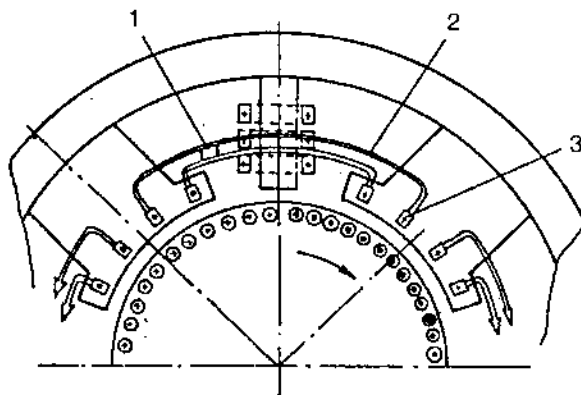


Hình 3.63. Cách điện các vòng dây của cuộn dây cực

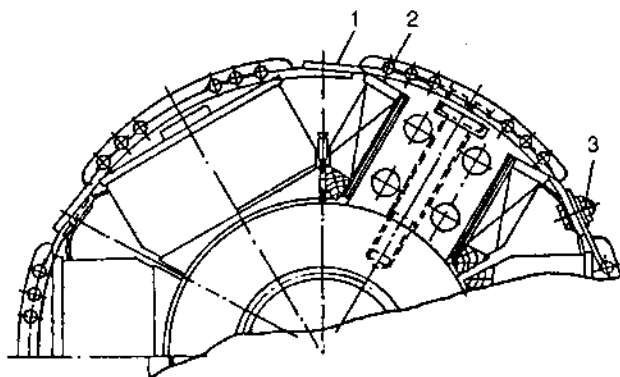
Cuộn dây cực của máy phát tuabin hơi gồm các cuộn dây đồng tâm. Các vòng dây được quấn theo chiều nghiêng (cạnh sườn). Dây quấn cực từ của máy phát tuabin hơi phải được chế tạo sao cho đạt được yêu cầu về chịu nhiệt, vì mật độ dòng điện trong nó khá cao (do không gian có hạn). Tuy điện áp chỉ khoảng $115\text{V} \div 540\text{V}$, nhưng lực ly tâm ép lên cách điện rất lớn nên cuộn dây phải được cách điện rất tốt. Một yêu cầu nữa là độ bền cơ phải cao vì tốc độ rôto lớn, lực ly tâm tác dụng lên dây quấn rất lớn.

Dây quấn bù được đặt trong các rãnh gắn mặt cực của các cực từ máy điện một chiều lớn (từ 400kW trở lên). Chúng được nối tiếp với dây quấn phản ứng do đó chúng được thực hiện từ dây dẫn có tiết diện lớn (hình 3.64).

Dây quấn bù được chế tạo kiểu thanh dẫn 3 có tiết diện hình chữ nhật, đặt trong các rãnh trên mòm cực. Các thanh dẫn này được nối nối tiếp với nhau nhờ các cung đồng 2. Các cung đồng thường cách điện khá xa nên không cần cách điện với nhau. Để tránh lực điện động lớn khi tải dao động mạnh, làm cho các cung đồng chạm nhau người ta đặt giữa chúng các tấm cách điện 1. Gần đây dây quấn bù cũng được áp dụng cho các máy bé hơn, đặc biệt đối với các động cơ có phạm vi điều chỉnh tốc độ rộng, bằng cách thay đổi kích từ. Trong trường hợp đó dây quấn bù cũng được quấn thành bố đặt trong các rãnh hở trên mòm cực.



Hình 3.64. Dây quấn bù trong máy một chiều



Hình 3.65. Dây quấn cản hoặc mở máy trong máy đồng bộ

Dây quấn cản (trong máy phát điện đồng bộ) hoặc dây quấn mở máy (trong động cơ đồng bộ) là dây quấn ngắn mạch kiểu rôto lồng sóc (hình 3.65). Chúng gồm các thanh dẫn bằng đồng đỏ hoặc đồng thau đặt trong các rãnh trên mòm cực. Hai đầu các thanh dẫn đó được nối ngắn mạch bằng các cung đồng. Các cung đồng này được nối với nhau bằng bu lông khi lắp máy.

3.3. CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO DÂY QUẤN MÁY BIẾN ÁP

3.3.1. Những vấn đề chung

Yêu cầu đối với dây quấn MBA là cảm ứng được một sức điện động cho trước, cho phép dòng định mức đi qua lâu dài mà không nóng quá mức cho phép, chắc chắn, có kích thước đúng theo thiết kế (để không làm thay đổi khoảng cách cách điện), và tản nhiệt tốt. Hai yêu cầu trên do người thiết kế quyết định, các yêu cầu còn lại do người chế tạo quyết định.

Tuổi thọ và độ tin cậy của MBA phụ thuộc chủ yếu vào công nghệ chế tạo dây quấn của nó. Vì vậy, việc xây dựng một công nghệ chế tạo cuộn dây hoàn chỉnh, có biện pháp giám sát chặt chẽ quá trình quấn dây sẽ đảm bảo độ tin cậy và tuổi thọ cao cho máy biến áp. Một đặc thù của máy biến áp là giá thành chế tạo mới rất cao nhưng khi đã dễ xảy ra

sự cố cháy hỏng thì giá trị của nó còn lại rất thấp. Vì vậy, nâng cao độ tin cậy cho MBA là việc làm cực kỳ quan trọng.

Dây quấn của MBA bao gồm 2 phần chính: dẫn điện và cách điện. Ngoài ra, còn có các chi tiết phụ khác như vòng điện dung, vòng chấn điện dung... Dây dẫn dùng để làm dây quấn MBA có thể là đồng (đồng đỏ M1) hoặc nhôm. Dây nhôm có nhược điểm dẫn điện kém nhưng có ưu điểm là nhẹ và rẻ. Tuy nhiên, để đánh giá tổng thể tính kinh tế của máy thì phải tiến hành thiết kế song hành hai phương án dây đồng và dây nhôm. Để đảm bảo tổn hao không đổi khi dùng dây nhôm ta phải dùng dây to hơn, như vậy cuộn dây sẽ to hơn, cửa sổ mạch từ sẽ rộng hơn, lượng tôn gông từ sẽ tăng, vỏ máy phải lớn hơn và đương nhiên tổn thất hơn. Về tính công nghệ dây đồng dễ hàn hơn, dây nhôm khó hàn, khó xử lý các mối ghép đồng – nhôm. Cách điện của dây quấn đóng vai trò chính trong việc nâng cao chất lượng và độ tin cậy của dây quấn. Cách điện của dây quấn có các loại: cách điện vòng dây, cách điện lớp, cách điện giữa các cuộn dây, cách điện giữa các đầu dây ra, giữa các pha với nhau và giữa các pha với đất (gông, trụ).

Về kết cấu công nghệ có thể phân dây quấn MBA ra làm 5 kiểu chính: hình ống trụ, hình xoắn ốc, dây quấn phân đoạn và dây quấn xoáy ốc liên tục. Trong MBA điện lực rất ít khi dùng dây quấn kiểu xen kẽ nên không dẫn ra trong cuốn sách này.

Dây quấn có thể có một lớp hoặc nhiều lớp, có thể có ít hoặc nhiều cuộn dây (galet). Giữa các lớp dây, bồi dây, bánh dây và giữa các pha có rãnh thông dầu dọc hoặc ngang trục. Các rãnh này vừa làm nhiệm vụ tăng cường cách điện vừa làm rãnh dầu để dầu lưu thông mang nhiệt thoát ra ngoài. Các cuộn dây có 2 cách quấn: quấn hướng trục (vòng sau nằm cạnh vòng trước), quấn hướng kính (vòng sau chồng lên vòng trước theo hướng kính).

Dây dẫn dùng để quấn cuộn dây MBA có thể là dây bọc giấy (phổ biến nhất), bọc sợi cotton, dây tráng men. Chiều dày cách điện sợi dây phụ thuộc vào điện áp vòng dây và kiểu quấn dây.

3.3.2. Phân loại dây quấn về phương diện công nghệ

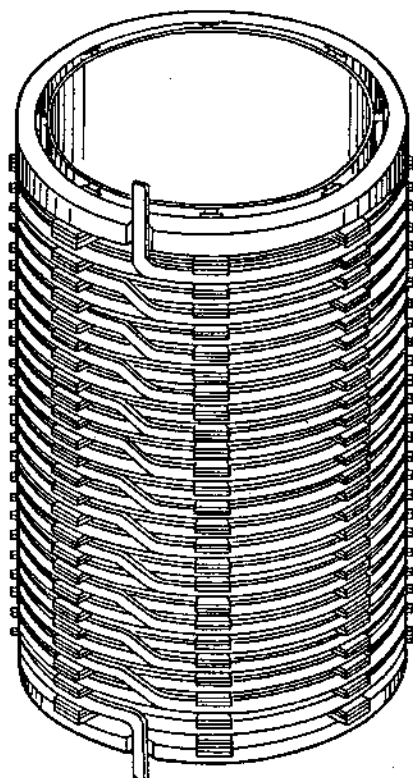
1. Dây quấn kiểu xoáy ốc liên tục

Dây quấn xoáy ốc liên tục có các đặc điểm sau:

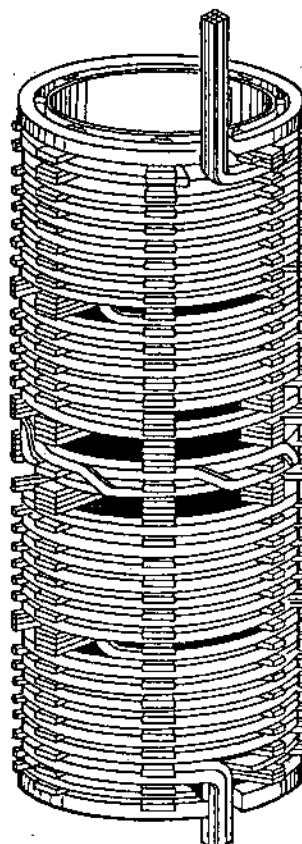
- Quấn từ dây dẫn có tiết diện chữ nhật (là dây có tiết diện lớn).
- Quấn hướng kính (vòng sau chồng lên vòng trước) để tạo thành các đĩa (bánh, galet) dây.
- Các bánh dây nối tiếp nhau liên tục.
- Có thể chập từ nhiều sợi để quấn nên thích hợp với dòng lớn.
- Trong mỗi galet quấn được nhiều vòng (từ 2 đến 50 vòng) và có thể quấn được nhiều galet nối tiếp nhau (từ 30 đến 150) nên thích hợp với áp cao.
- Giữa các galet có rãnh dầu ngang nên diện tích tản nhiệt của dây quấn lớn.
- Sự phân bố các vòng dây lần lượt từ đầu đến cuối cuộn nên phải coi trọng biện pháp chống sét cho dây quấn (đặt vòng điện dung, vòng chấn, tăng cường cách điện các vòng đầu cuộn dây...).
- Vì quấn hướng kính và lại chập từ nhiều sợi nên khi quấn phải hoán vị các sợi dây trong một vòng ở các galet khác nhau.

- Vừa thích ứng với dòng lớn lại áp cao nên dây quấn này thường dùng cho các máy biến áp truyền tải công suất vừa và lớn ($\geq 16.000\text{kVA}$) điện áp $\geq 22\text{kV}$).
- Số vòng dây trong một galét có thể là phân số.
- Kết cấu chắc chắn chịu được lực điện động lớn.
- Công nghệ quấn phức tạp.

Hình 3.66 trình bày một cuộn dây quấn theo kiểu xoáy ốc liên tục.



Hình 3.66. Dây quấn xoáy ốc liên tục



Hình 3.67. Dây quấn hình xoắn

2. Dây quấn hình xoắn

Dây quấn hình xoắn có các đặc điểm sau:

- Quấn từ dây có tiết diện chữ nhật.
 - Quấn hướng trục (vòng sau cạnh vòng trước tương tự như quấn một cái lò xo).
- Giữa các vòng dây có rãnh dầu ngang.
- Có thể chap từ nhiều sợi để quấn. Các sợi được chap theo hướng kính nên phải hoán vị khi quấn.
 - Có thể quấn một lộ (dây quấn xoắn đơn), quấn hai hoặc 4 lộ song hành để tạo thành dây quấn xoắn kép.
 - Quấn được ít vòng vì chỉ quấn một lớp mà giữa các vòng còn có rãnh dầu ngang.
 - Phạm vi ứng dụng: dây quấn hạ áp có dòng điện lớn (cuộn hạ áp của MBA phân phối trên 1000kVA).
 - Cuộn dây có hai đầu dây, một đầu trên, một đầu dưới.
 - Vì có nhiều rãnh dầu ngang nên đây là loại dây quấn có diện tích làm mát lớn.

3. Dây quấn hình ống trụ

Dây quấn hình ống trụ có hai loại: quấn từ dây tròn và dây có tiết diện chữ nhật.

– Đối với dây quấn quấn từ dây dẫn chữ nhật:

+ Quấn từ dây dẫn có tiết diện chữ nhật.

+ Quấn theo hướng trục, vòng sau sát bên cạnh vòng trước.

+ Nếu dây có tiết diện gần như vuông và kích thước nhỏ thì có thể quấn nhiều lớp. Nếu dây có tiết diện tương đối lớn thì thường chỉ quấn một đến hai lớp.

+ Vì các vòng dây sát nhau nên diện tích tản nhiệt ít. Việc tăng cường diện tích tản nhiệt được thực hiện bằng cách tạo rãnh dầu dọc giữa hai lớp dây.

+ Có thể chap một số sợi để quấn nhưng chỉ được chap theo hướng trục. Cũng có thể chap hai sợi theo hướng kính nhưng kích thước tổng của hai sợi theo hướng kính không nên quá 7mm, nếu không tổn hao phụ trong dây quấn sẽ tăng.

+ Phạm vi ứng dụng: dây quấn hạ áp của các MBA phân phối công suất nhỏ.

– Đối với dây quấn quấn từ dây dẫn tròn:

+ Dây quấn được quấn từ dây dẫn tròn có đường kính tối đa không quá 3mm.

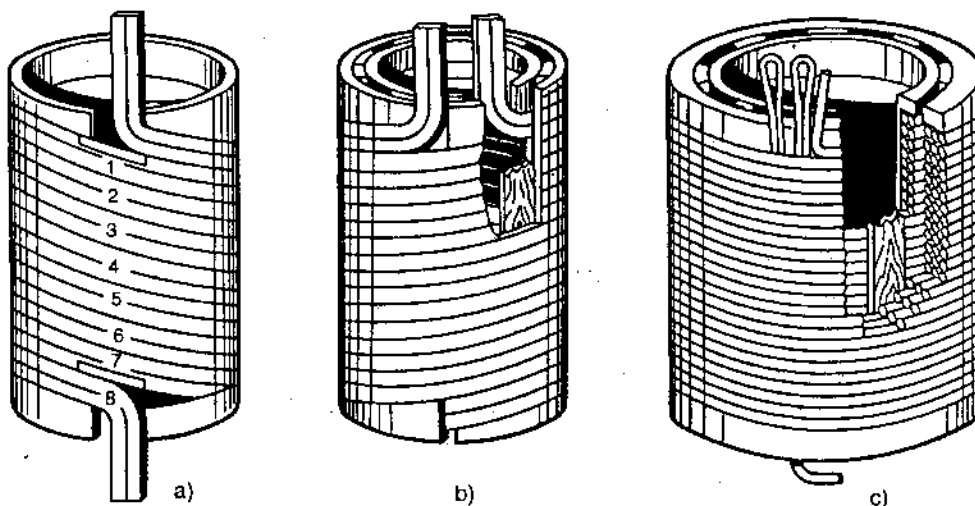
+ Có thể chap từ một số sợi để quấn.

+ Điện áp giữa hai lớp kề nhau lớn (bằng điện áp của hai lớp) nên cách điện lớp rất dày.

+ Có thể quấn được nhiều lớp nhưng để tăng diện tích tản nhiệt cần chia các lớp thành 2 (hoặc 3) tổ lớp cách nhau bởi rãnh dầu dọc. Nếu diện tích làm mát vẫn chưa đủ thì có thể chia cuộn dây thành hai nửa (một rãnh dầu ngang).

+ Do quấn được nhiều lớp và trong mỗi lớp có thể quấn nhiều vòng nên loại dây quấn này thích hợp cho cuộn cao áp của máy phân phối công suất nhỏ (công suất đến 630kVA, điện áp đến 35kV).

+ Do quấn nhiều lớp sát nhau, giữa các lớp có cách điện lớp nên loại dây quấn này có diện tích làm mát nhỏ, dễ bị nóng cục bộ ở các lớp nằm giữa các tổ lớp.



Hình 3.68. a, b) Dây quấn hình ống quấn từ dây dẫn tròn
c) Dây quấn hình ống quấn từ dây dẫn chữ nhật

4. Dây quấn phân đoạn

Dây quấn phân đoạn thực chất là dây quấn hình ống nhiều lớp dây dẫn tròn nhưng được phân làm nhiều đoạn (nhiều cuộn). Mỗi cuộn là một dây quấn hình trụ nhiều lớp nhưng không có cách điện lớp vì điện áp lớp rất thấp. Chiều cao mỗi cuộn chỉ vào khoảng 3 đến 4cm. Các cuộn dây có hai đầu dây được đưa ra ngoài và được nối tiếp với nhau. Giữa các cuộn có thể có rãnh dầu ngang hoặc không. Mỗi pha có hai đầu đầu và đầu cuối nằm phía trên và dưới dây quấn nên phải lưu ý vấn đề chống sét. Kiểu này thường dùng làm dây quấn cao áp cho MBA công suất nhỏ.

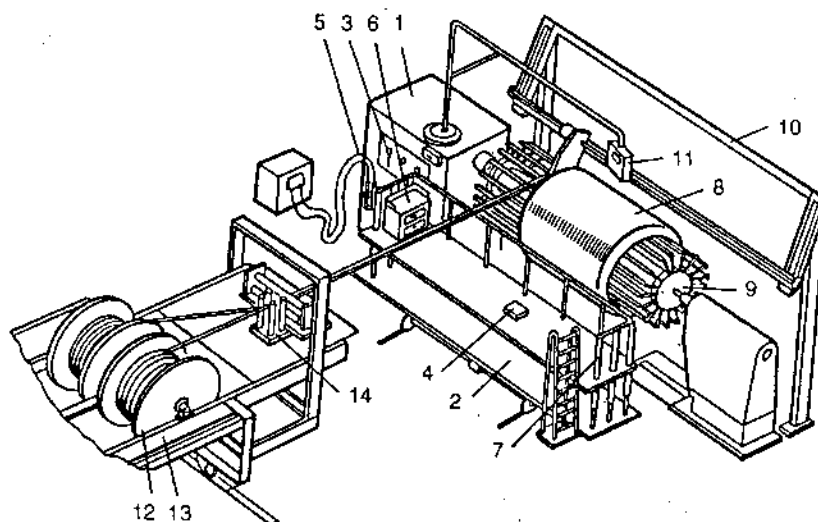
5. Dây quấn quấn từ bằng đồng

Theo kiểu này chiều cao mỗi vòng dây bằng chiều cao cuộn dây. Tiết diện mỗi vòng dây là tích số của chiều cao cuộn dây (chiều rộng băng đồng) với chiều dày băng đồng. Các vòng được quấn đồng trục với nhau, vòng sau đè lên vòng trước. Thông thường đồng để quấn là đồng lá mỏng chưa có cách điện quấn trên rulô, khi quấn người ta quấn song hành lá đồng với lá cách điện để tạo cách điện vòng dây. Chiều dày lá đồng thường từ 0,1 đến 1mm. Phạm vi ứng dụng loại dây quấn này là dây quấn hạ áp của máy biến áp phân phối công suất đến 2500kVA.

3.3.3. Thiết bị dùng để chế tạo dây quấn

1. Máy quấn dây của dây quấn MBA cũng tương tự như máy quấn dây máy điện quay nhưng thường lớn hơn. Máy có hai gối đỡ để đỡ hai đầu trục của khuôn quấn. Yêu cầu chung của máy quấn dây vẫn là có tốc độ quay thích hợp (được khống chế bằng hộp số và côn), có phanh hãm tốt để chống quay ngược khi dừng máy, điều khiển đơn giản. Máy quấn dây MBA có 2 kiểu: trục ngang và trục đứng nhưng trục ngang thông dụng hơn, máy trục đứng thường dùng trong trường hợp cuộn dây quá lớn. Trên máy quấn dây người thợ thực hiện tất cả các công đoạn (lắp ống cách điện hoặc khuôn, quấn các vòng dây, đặt cách điện, hoán vị, lấy đầu dây ra, hàn nối, băng đai...) chỉ ở một vị trí đó là khoảng không gian giữa máy và các cuộn dây nguyên liệu (thường gọi là quấn cấp nách). Hình 3.69 mô tả các bộ phận của một hệ thống công nghệ bao gồm máy quấn dây 1, giá treo các cuộn dây 13 và vị trí người vận hành (thường chỉ có một, cuộn dây lớn có thể hai người).

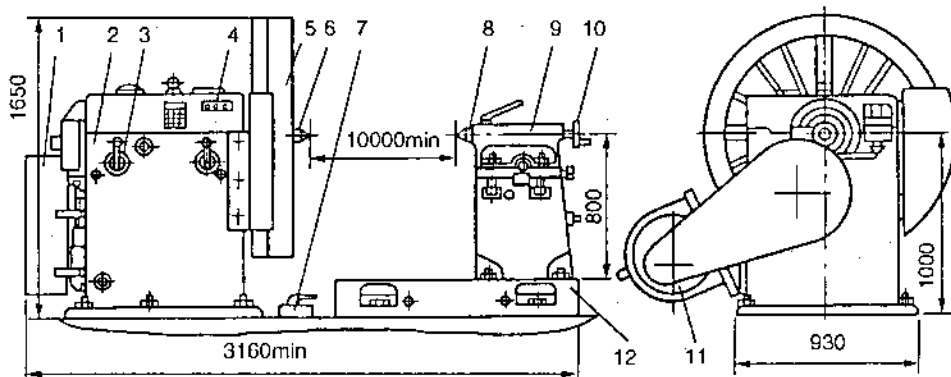
Trên hình 3.69 ta thấy người vận hành đứng trên tấm giá đứng 2 có thể nâng lên hạ xuống (trượt theo các trục dẫn hướng 7) tùy theo kích thước của cuộn dây 8 nhờ bộ điều khiển 3. Các sợi dây dẫn từ các rulô dây 12 treo trên giá đỡ 13 được đưa vào khuôn quấn thông qua một hệ thống nắn thẳng và ép giữ để tạo độ căng 14. Bên tay trái người vận hành có bố trí thùng đựng dụng cụ cầm tay 6. Các vòng dây được ép chặt với nhau theo hướng trục và được nén chặt theo hướng kính nhờ cơ cấu cơ khí 10. Việc đếm số vòng dây và dừng máy khi đủ số vòng theo thiết kế được thực hiện bởi bộ điều khiển theo chương trình 11. Bên cạnh máy có hộp 5 đựng các tài liệu công nghệ của máy và cuộn dây đang quấn. Trong thực tế các máy quấn dây kiểu nằm ngang được thiết kế để quấn các cuộn dây có đường kính đến 3200mm, chiều dài đến 3500mm và khối lượng đến 20 tấn.



Hình 3.69. Vị trí làm việc của thợ quấn dây

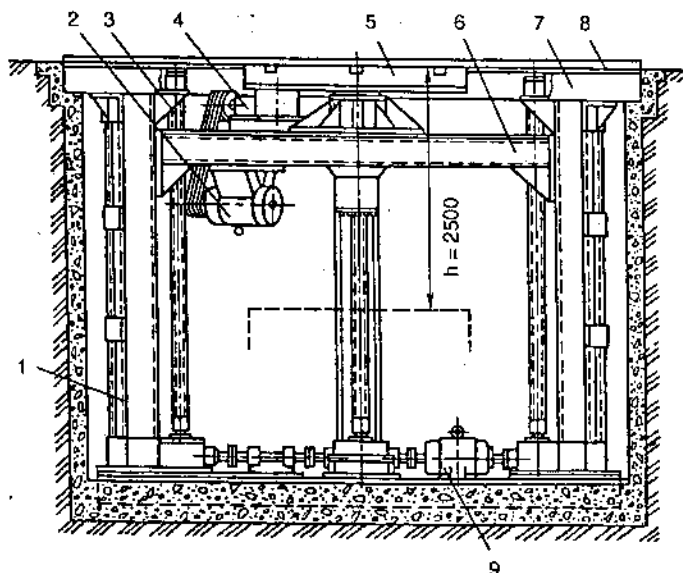
Về cấu hình điều khiển máy có thể có từ đơn giản (khi làm việc người công nhân dùng chân để điều khiển máy chạy hoặc dừng) đến phức tạp (điều khiển xung hoặc số NC hoặc CNC). Các máy nhỏ, quấn từ dây tròn thường được quấn trên các máy quấn có cấu hình điều khiển cao. Các cuộn dây máy lớn thường quấn trên các máy do người điều khiển (do quấn chậm vì phải thao tác uốn dây để thực hiện hoán vị...).

Trên hình 3.70 giới thiệu một máy quấn dây kiểu nằm ngang để quấn các cuộn dây của các MBA cỡ 5 đến cỡ 8 đối với dây dẫn tròn và dây dẹt. Trên hình ta thấy khuôn quấn cuộn dây được lắp vào giữa hai mũi chống tâm 6 và 8 và được dẫn động nhờ các vấu trên khuôn cắm vào các lỗ trên tấm thép phẳng 5. Tùy theo chiều dài cuộn dây mà người ta điều chỉnh vị trí của ổ động 9 lắp trên bộ máy 12 và vị chỉnh bằng trục tâm (mũi chống tâm) 8 nhờ tay quay 10. Tủ điều khiển (thế hệ các máy cũ thì đây là hộp số) 2 với tay gạt điều chỉnh tốc độ 3 cho phép chọn tốc độ thích hợp với mỗi loại dây quấn. Bảng hiển thị số vòng quấn và số vòng đặt trước 4 thông báo chế độ và tình trạng làm việc của máy. Máy được trang bị động cơ điện 11 và cơ cấu truyền động (dai hoặc xích) 1. Bàn đạp 7 cho phép người vận hành khởi động và dừng máy khi cần thiết.



Hình 3.70. Máy quấn dây kiểu nằm ngang

Để quấn những cuộn dây lớn người ta thường dùng loại máy quấn kiểu thẳng đứng như hình 3.71. Toàn bộ hệ thống truyền động khuôn quấn được bố trí trong một chiếc hầm đặc biệt nằm dưới mặt đất. Khuôn quấn được lắp với mặt bích 5 và được dẫn động bởi động cơ 2 qua bộ truyền và thay đổi tốc độ 4. Toàn bộ hệ thống trên được lắp trên hệ thống dầm 6 và được nâng lên hạ xuống nhờ hệ thống trục vít 3 thông qua hệ thống dẫn động 9. Tấm sàn 8, khung 7 cùng với các trụ 1 tạo thành một hệ thống định vị cho các trục vít 3. Khi quấn dây người vận hành cùng các hệ thống rulô



Hình 3.71. Máy quấn dây kiểu đứng

dây, nắn, ép dây nằm trên mặt sàn, còn cuộn dây quấn xong đến đâu sẽ chìm dần xuống hố đến đó để giữ cho vị trí của tay người vận hành và các vòng dây đang quấn không thay đổi.

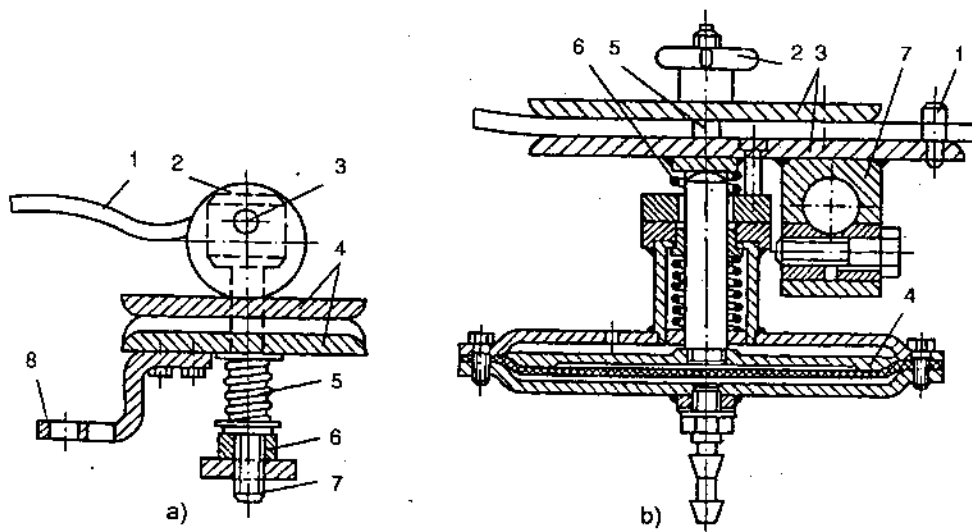
2. Hệ thống dẫn hướng và ép dây dẫn

Một trong những điều kiện để đảm bảo độ tin cậy và kích thước của dây quấn các vòng dây phải chặt chẽ theo cả hai hướng dọc trục và hướng kính. Các sợi dây dẫn sau khi ra khỏi cuộn dây nguyên liệu phải được dẫn qua hệ thống nắn thẳng (nắn hai chiều), dẫn hướng, kẹp giữ, và được căng với một lực nhất định trước khi sợi dây đi vào khuôn quấn. Các cuộn dây nguyên liệu (rulô) trước khi quấn được đưa lên một giá đỡ đảm bảo tự quay được xung quanh trục.

Nếu sợi dây không đủ căng cuộn dây của MBA sẽ không được chặt chẽ, kích thước cuộn dây có thể lớn hơn thiết kế và như vậy khoảng cách điện sẽ bị thu nhỏ ảnh hưởng đến tuổi thọ của máy. Nhưng nếu căng quá sẽ khó quấn, mặt khác sợi dây đi qua móc kẹp có thể bị trầy xước cách điện. Để đạt yêu cầu trên, người ta chế tạo cơ cấu kẹp giữ như hình 3.72a. Hai má kẹp giữ trên và dưới 4 có bề mặt phẳng, gờ góc được lượn tròn để không làm rách cách điện sợi dây. Má dưới được đẩy lên nhờ lò xo 5 và được điều chỉnh độ cứng bằng êcu 6 lắp trên trục 7. Má trên được tỳ xuống bằng lực ép có thể điều chỉnh được nhờ bánh cam lệch tâm 2 lắp trên trục 3 thông qua tay điều chỉnh 1. Toàn bộ cơ cấu được lắp trên bàn thép qua tấm đỡ 8.

Để điều chỉnh một cách linh hoạt và tự động hiện nay người ta thường dùng bộ kẹp giữ bằng khí nén như hình 3.72b, trong đó khí nén được đưa vào buồng khí 4.

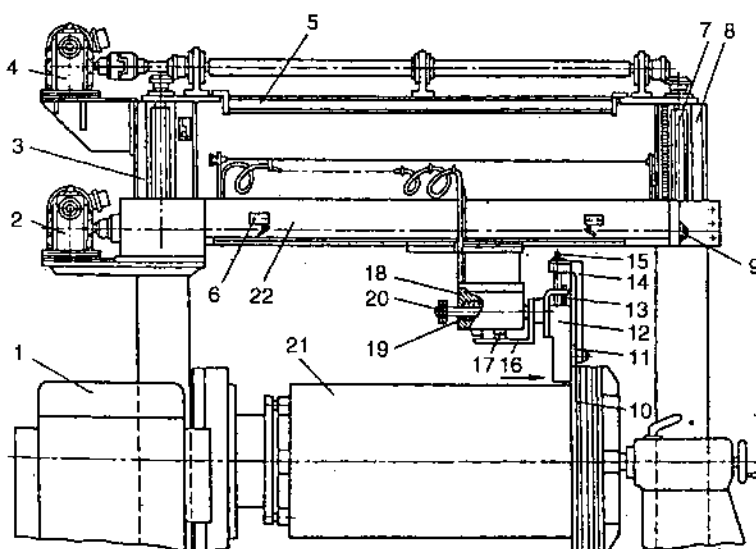
Để nắn thẳng các sợi dây có thể dùng hệ thống puli đặt vuông góc nhau giống như đối với máy nắn cắt dây trong công nghệ chế tạo máy điện quay.



Hình 3.72. Cơ cấu ép giữ dây dẫn

Để ép các vòng dây theo hướng dọc trục khi quấn các loại dây quấn hình xoắn hoặc xoáy ốc liên tục người ta dùng một cơ cấu cơ khí như hình 3.73.

Cơ cấu ép này độc lập về cơ khí với máy quấn và bao gồm các cụm chi tiết sau. Các trụ đứng 3 và 8 giữ cố định xà 5 và bộ truyền động 4. Xà đỡ 22 mang cụm cơ cấu đầu ép 18 có thể chuyển động lên xuống và cho phép đầu ép chuyển động dọc theo nó theo sự điều khiển của bộ truyền động 2. Đầu ép 18 bao gồm thanh ép 12 luôn luôn tỳ vào má bên của vòng dây đang quấn của cuộn dây 10, lò xo 19 dùng để ép vào thanh ép 12, công tắc hành trình 17 cùng với tấm trượt 16 dùng để khống chế vị trí của lò xo ép 19, con lăn ép 11 dùng để ép sợi dây theo hướng kính dưới lực ép của lò xo 13 lắp trên giá treo 14, lò xo 19 được lắp trên trục dẫn hướng 20. Toàn bộ cơ cấu ép được lắp phía trước máy quấn dây 1 và thợ quấn dây.



Hình 3.73. Thiết bị để ép sợi dây theo hướng trục

Việc ép tự động các vòng dây được thực hiện như sau: khi lực ép của tấm ép 12 lên vòng dây đang quấn đạt đến một lực nhất định, lò xo 19 bị nén co lại, tác động lên công tắc hành trình 17 làm cho bộ truyền 2 làm việc chuyển dịch lùi đầu ép 18 dọc theo dây quấn, tách tấm ép 12 ra khỏi vòng dây đang quấn. Khi lò xo 19 dần đến mức dài nhất và lực ép của tấm ép 12 nhỏ nhất thì bộ truyền động 2 lại được làm việc để chuyển dịch tiến đầu ép sang phải. Quá trình quấn dây tiếp tục thì lực ép của tấm ép 12 tiếp tục tăng lên và quá trình trên được lặp lại một cách tự động. Lực ép của tấm ép lên bánh dây của dây quấn hình xoắn hoặc xoắn ốc liên tục có thể đạt từ 1650 đến 6000N. Các cơ cấu ép này thường dùng khi quấn các cuộn dây có đường kính từ 400 đến 2800 và chiều dài đến 3200mm trên các máy quấn dây nằm ngang.

3. Khuôn quấn dây

Yêu cầu đối với khuôn quấn dây là đảm bảo chắc chắn, cứng vững để không làm biến dạng cuộn dây khi quấn cũng như khi vận chuyển. Khuôn phải dễ tháo lắp đối với máy quấn và đối với cuộn dây mà không làm biến dạng nó khi quấn cũng như khi vận chuyển, ép hoàn chỉnh, tấm sấy... Có khả năng điều chỉnh đường kính và chiều dài khuôn để đảm bảo tính vạn năng trong một phạm vi nhất định. Việc truyền mômen từ máy đến khuôn, từ khuôn đến cuộn dây thích hợp để các vòng dây không bị trượt so với khuôn khi quấn. Việc thiết kế khuôn cần căn cứ vào các yếu tố sau: kiểu dây quấn, tiết diện và số sợi chập, đặc điểm sản xuất (nhiều, ít, thậm chí sửa chữa), máy quấn.

Hình 3.74a dẫn ra hai loại khuôn, một loại hàn cố định, một loại có thể tháo lắp được. Hình 3.74a là một khuôn hàn từ ống thép 1 bên trong hàn 4 đĩa thép 2 và 3. Giữa các đĩa lắp ống 7 có hai ống lót 9 ở hai đầu. Hai đĩa ngoài cùng được hàn các gân tăng cứng 4 có lỗ 8 để nâng hạ khi lắp và tháo khuôn. Trên hai trong số các gân tăng cứng có lỗ 6 để nối với các vấu của mâm truyền động của máy quấn. Ở hai đầu khuôn, trên bề mặt ngoài của ống khuôn người ta hàn một số vấu để lắp các thanh khuôn bằng gỗ. Loại khuôn này chế tạo đơn giản, rẻ, chắc chắn nhưng tính vạn năng thấp. Có thể tăng đường kính trong phạm vi hẹp bằng cách tăng chiều cao các thanh gỗ dùng làm thanh khuôn nhưng như thế vừa tốn gỗ lại phải có máy chuyên làm thanh khuôn và diện tích mặt bằng cho công đoạn sản xuất phụ này.

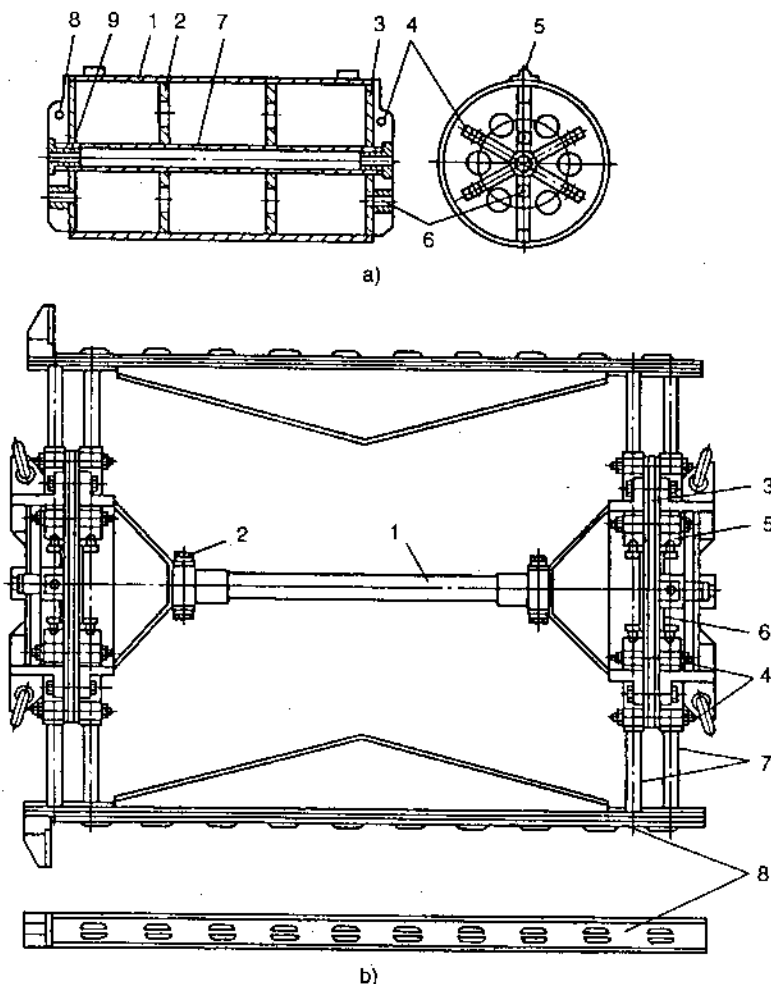
Hình 3.74b dẫn ra một loại khuôn vạn năng hơn, vừa thay đổi được đường kính vừa thay đổi được chiều dài, mặt khác vừa có thể dùng cho máy quấn dây nằm ngang hoặc thẳng đứng. Khuôn cho phép quấn tất cả các kiểu dây quấn có đường kính từ 600 đến 2800, trọng lượng dưới 1250kg, chiều dài từ 500 – 3200mm. Nếu cần mở rộng phạm vi điều chỉnh đường kính và chiều dài đối với loại khuôn này chỉ cần dự trữ thêm một bộ pinhông và một bộ thanh khuôn nữa là đủ.

Các cụm chi tiết cơ bản của khuôn bao gồm trục 1 có thể thay đổi chiều dài nhờ bulông 2, cụm các chi tiết cho phép điều chỉnh đường kính khuôn ở hai đầu (3, 4, 5, 6, 7) và cụm các thanh khuôn 8.

Cụm các chi tiết điều chỉnh đường kính bao gồm các pinhông 7 chuyển động vào ra được trong các hộp dẫn hướng nhờ các bánh răng con 5. Các bánh răng con 5 xoay được nhờ bánh răng trung tâm 6. Khi quay trục vít của bánh răng chủ 6 tất cả các bánh răng con sẽ quay và đồng thời đẩy các pinhông 7 nhô ra hoặc thụt vào làm thay đổi đường

kính khuôn. Các hộp dẫn hướng cho pinhông 7 được gắn trên bề mặt trong và ngoài của đĩa thép 3. Các bulông 4 sẽ định vị các pinhông 7 trong các hộp dẫn hướng của chúng.

Để định tâm cho khuôn người ta thường dùng các mũi chống tâm ở hai đầu. Việc truyền mômen từ máy sang khuôn thường được thực hiện nhờ các vấu trên khuôn cắm vào các lỗ trên mâm truyền động của máy quấn hoặc ngược lại các vấu trên mâm truyền động cắm vào các lỗ trên khuôn.



Hình 3.74. Các loại khuôn quấn dây MBA

Các thanh khuôn nằm trên bề mặt khuôn có hai tác dụng: ép trực tiếp lên bề mặt trong của ống cách điện cuộn dây để truyền mômen quấn và xác định sơ đồ dây quấn. Trong trường hợp không có ống cách điện các vòng dây được quấn trực tiếp lên các thanh khuôn, trong trường hợp này để bề mặt trong cuộn dây gần với hình tròn số thanh khuôn phải nhiều. Vì vậy các thanh khuôn được phân thành hai loại chính và phụ. Các thanh khuôn chính dùng để xác định sơ đồ dây quấn, vị trí các chỗ hoán vị và chuyển từ vòng này qua vòng khác. Các thanh khuôn phụ nằm xen giữa các thanh khuôn chính để lớp dây trong cùng gần với hình tròn.

3.3.4. Phương pháp quấn các loại dây quấn MBA

1. Phương pháp quấn dây xoáy ốc liên tục

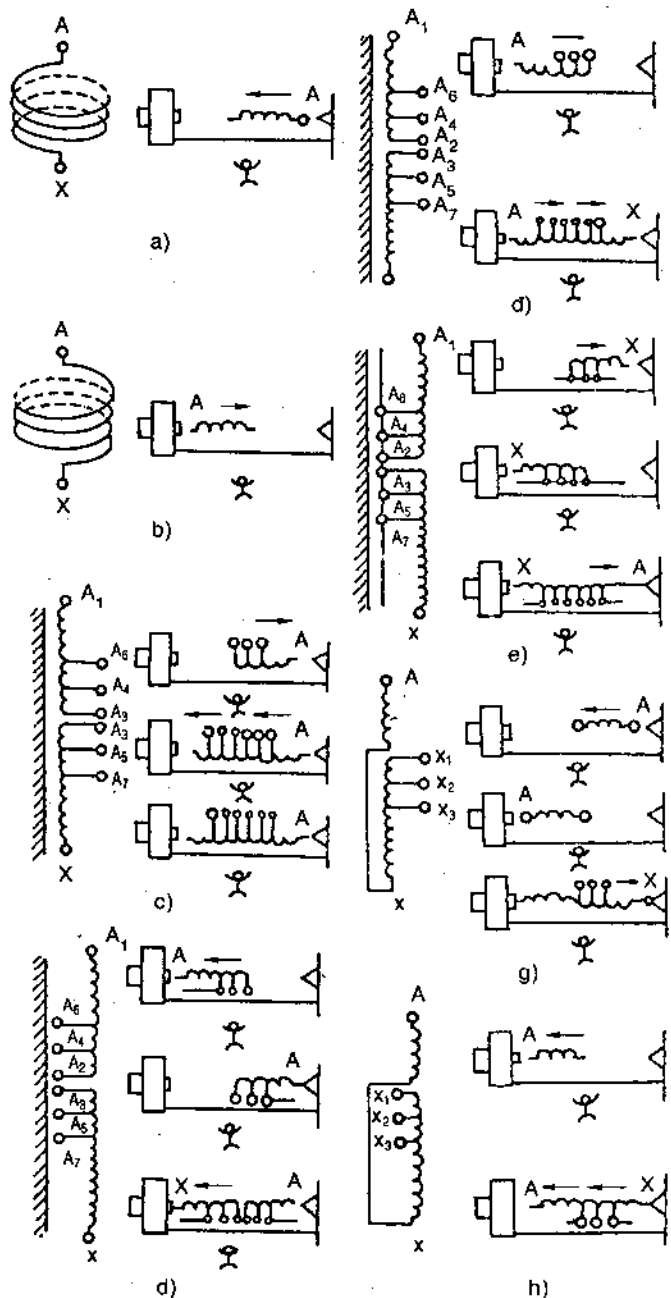
Thông thường khi quấn dây người công nhân được cấp một phiếu công nghệ trong đó ghi đầy đủ các số liệu của dây quấn như bản vẽ khai triển và các bảng ghi mã hiệu và tiết diện dây, số vòng dây của mỗi bối, số bối của dây quấn, hướng quấn dây và các kích cỡ bản của nó...

Tuỳ theo kiểu cấu tạo của dây quấn xoáy ốc liên tục chúng có thể khác nhau về số lượng bối dây, số vòng dây trong mỗi bối, tiết diện và cách điện của sợi dây, số sợi dây chập vào để quấn (tiết diện vòng dây) số rãnh dẫu giữa các bối dây, số tấm cách điện giữa các rãnh dẫu, vị trí phân bố những bối dây điều chỉnh kích thước đường kính trong, đường kính ngoài, chiều dài tổng của dây quấn, có hay không có vòng điện dung, vòng chấn bảo vệ.

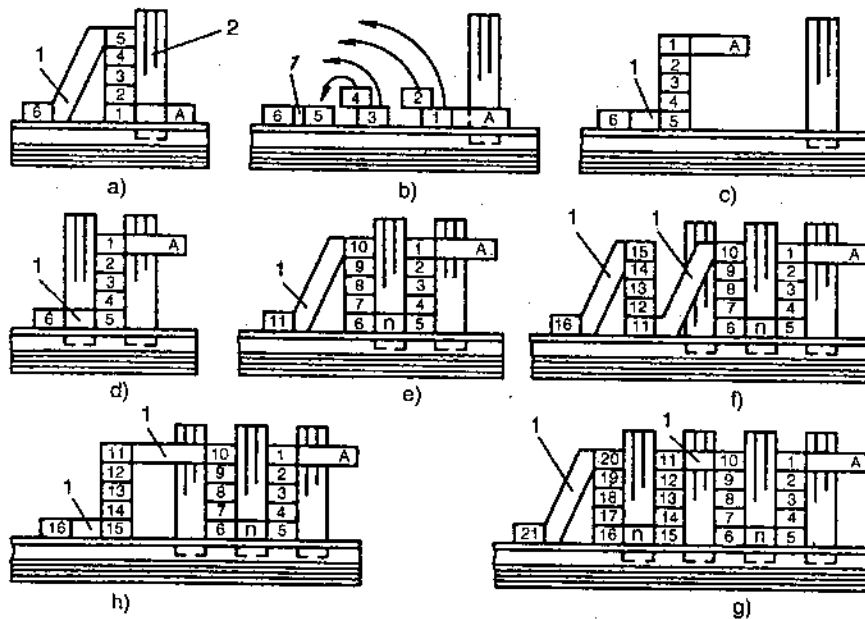
Nếu yêu cầu các đầu dây của bối dây nằm ở vòng ngoài cùng của nó thì số bối phải là chẵn. Dây quấn xoáy ốc liên tục có thể quấn bằng nhiều cách khác nhau theo sơ đồ thuận hoặc nghịch cho ở hình 3.75. Chúng ta hãy xét hai trường hợp: dây quấn có một sợi chập và nhiều sợi chập.

a) Dây quấn xoáy ốc liên tục chỉ quấn bằng một sợi dây

Ta xét một trường hợp đơn giản là dây quấn có số vòng dây nguyên, số sợi chập bằng 1, dây đã bọc cách điện, các đầu dây ra nằm phía ngoài, quấn theo sơ đồ hình 3.75a, chiều quấn trái. Trình tự quấn như sau (hình 3.76):



Hình 3.75. Quấn dây quấn xoáy ốc liên tục bằng các kiểu khác nhau



Hình 3.76. Trình tự quấn các cuộn dây của dây quấn xoay ốc liên tục

1. Chỗ chuyển tiếp; 2. Các tấm cách

– Uốn đầu dây vuông góc rồi găm vào khuôn sau khi cho qua bộ phận nắn, ép. Cho máy quấn làm việc theo chiều kim đồng hồ.

– Quấn sơ bộ bằng máy (không cần kéo căng) cuộn thứ nhất cho đủ số vòng theo bản vẽ (ví dụ 5 vòng). Gạt tấm cách vào.

– Dìm dây dẫn xuống sát mặt khuôn quấn tiếp bởi dây thứ hai; dìm dây dẫn xuống sát mặt khuôn, cố định tạm vào khuôn.

– Quấn lại bởi thứ nhất bằng tay bằng cách dìm chỗ chuyển tiếp giữa bởi thứ nhất và bởi thứ hai xuống sát mặt khuôn và bắt đầu quấn từ đó. Các vòng của bởi thứ nhất được tờ dẫn ra và quấn lại, đầu cuối của nó sẽ ra phía ngoài và là đầu đầu của dây quấn. Dồn cả hai bởi vừa quấn vào sát thành khuôn. Chỗ chuyển tiếp giữa 2 bởi 1 và 2 nằm sát mặt khuôn. Dùng búa gỗ vỗ để dồn các vòng dây sao thật chặt. Kiểm tra chiều dày dây quấn.

– Gạt tấm cách vào sát bởi thứ 2 và bắt đầu quấn bởi thứ 3. Lúc này chỗ chuyển tiếp đang bị chéo từ đỉnh bởi 2 xuống đáy bởi 3. Gạt tấm cách vào sát bởi 3, dìm dây dẫn sát khuôn.

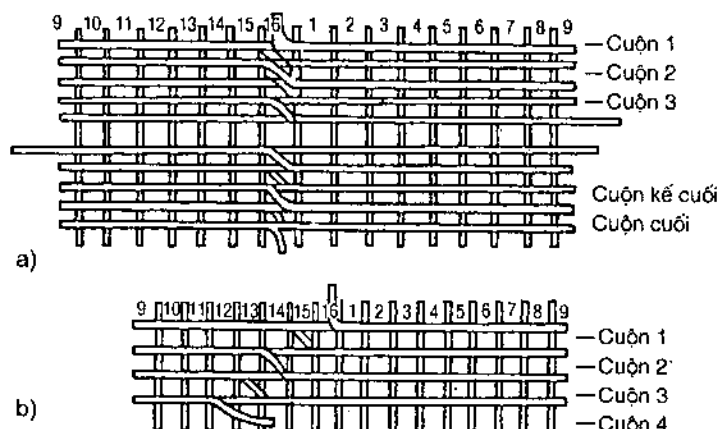
– Quấn bởi 4, dìm dây dẫn xuống sát mặt khuôn cố định tạm vào khuôn.

– Quấn lại bởi thứ 3 giống như đã làm đối với bởi thứ nhất (quấn bằng tay).

Như vậy tất cả các cuộn lẻ đều phải quấn lại bằng tay. Cuộn cuối cùng sẽ có chỉ số chẵn.

Các bởi dây quấn lại được chuyển vào sát với bởi trước và tiến hành dồn chặt các vòng dây. Khi dồn chặt kéo căng sợi dây và dùng búa gỗ vỗ vào bởi dây, dùng băng vải buộc chặt đầu dây. Tất cả các bởi không phải quấn lại bằng tay thì kẹp dây cho chặt và quấn chặt luôn. Tất cả các chỗ chuyển tiếp giữa các bởi đều được uốn nhờ các dụng cụ uốn chuyên dụng và được bọc tăng cường bằng băng vải. Kích thước và hình dạng các chỗ uốn phải giống nhau. Nếu số vòng dây của các bởi là số nguyên thì tất cả các chỗ chuyển tiếp đều trùng nhau theo một đường thẳng dọc khuôn (hình 3.77a). Nếu số vòng

dây của mỗi bối không phải là một số nguyên thì chỗ chuyển tiếp giữa các bối dây không trùng nhau trên một khoảng thanh khuôn (hình 3.77b).



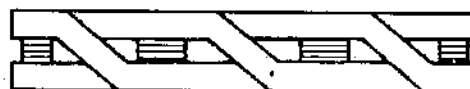
Hình 3.77. Sơ đồ khai triển dây quấn xoáy ốc liên tục
a) Số vòng dây trong một cuộn nguyên; b) Số vòng dây trong một cuộn là phân số

Nếu yêu cầu đầu dây ra của dây quấn nằm ở trong thì các bối dây chẵn phải quấn lại bằng tay.

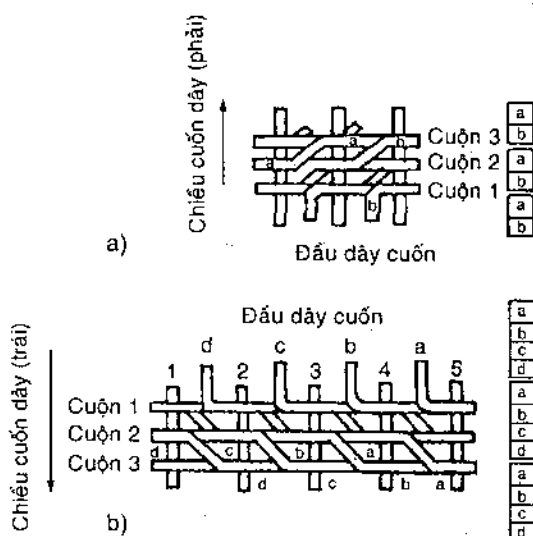
b) Dây quấn xoáy ốc liên tục được quấn từ nhiều sợi chập

Nguyên tắc quấn các cuộn dây của dây quấn này không khác so với loại một sợi, chỉ có 2 đặc điểm cần lưu ý:

- Khi chuyển từ bối nọ sang bối kia chỗ chuyển tiếp được rải ra, mỗi sợi chuyển trên 1 khoảng thanh khuôn khác nhau. Số chỗ chuyển tiếp bằng số sợi chập (hình 3.78).



Hình 3.78. Chuyển tiếp giữa các cuộn dây chập 3



Hình 3.79. Hoán vị các sợi dây chập

- Để đảm bảo chiều dài các sợi chập giống nhau trong từ trường tản (để điện trở và diện kháng tản các sợi chập bằng nhau, đồng trong chúng bằng nhau, hạn chế được tổn hao phụ) các sợi chập được hoán vị khi chuyển từ bối này sang bối khác. Hình 3.79 mô tả sự hoán vị như vậy. Hình 3.79a có 2 sợi chập, ở bối một các sợi dây đè lên nhau theo thứ tự ba, cuộn thứ hai là ab cuộn thứ 3 là ba. Hình 3.79b có 4 sợi chập song song, từ trên xuống dưới ta thấy cuộn 1 abcd, cuộn thứ 2 là dcba; cuộn thứ ba là abcd.

Để hạ dần độ cao những đoạn chuyển tiếp phía ngoài bối dây cố định xuống sát mặt những thanh khuôn quấn dây người ta dùng nêm hình bậc thang đặt xuống dưới vòng dây thứ nhất của bối dây quấn lại. Nhờ

có nèm này những đoạn chuyển tiếp được đặt đúng vị trí đã cho và những vòng dây ở đó cũng chập sít với nhau.

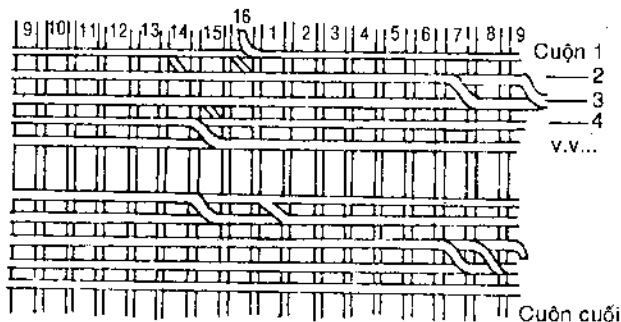
Việc xác định vị trí đầu đầu và đầu cuối của một bối dây nào đó căn cứ vào quy tắc sau:

– Đối với dây quấn có hai sợi chập thì xác định đầu đầu và cuối của bối dây theo sợi thứ 2 phía dưới.

– Đối với dây quấn gồm 4 sợi chập (hoặc chẵn) thì chia số sợi làm hai phần bằng nhau tính theo thứ tự từ trên xuống dưới theo sợi thứ nhất của phần thứ 2 (ví dụ nếu là 4 sợi thì theo sợi thứ 3, 6 sợi theo sợi thứ 4, 8 sợi theo sợi thứ 5).

– Đối với dây quấn có 3 sợi chập (hoặc lẻ) thì theo sợi giữa.

Trường hợp số vòng dây trong một bối là phân số ta phải xác định vị trí chuyển tiếp giữa các bối dây. Để minh họa ta lấy ví dụ dây quấn có 3 sợi chập song song để quấn. Số thanh khuôn quấn dây lấy là 16. Yêu cầu quấn bối thứ nhất gồm 25/16 vòng, bối thứ hai 28/16 vòng, bối thứ ba 28/16 vòng, tất cả những bối còn lại đều quấn 3 vòng. Hình 3.80 trình bày sơ đồ dây quấn đó.



Hình 3.80. Sơ đồ dây quấn xoáy ốc liên tục có số vòng trong một bối là phân số

c) Dây quấn xoáy ốc liên tục có nhánh điều chỉnh

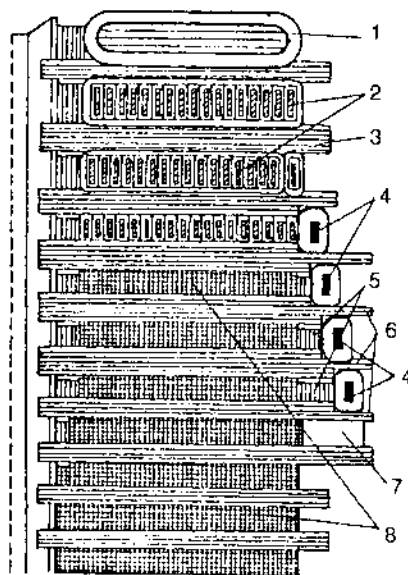
Các đầu ra của các đầu điều chỉnh được làm từ các sợi dây nhỏ hoặc lá đồng mỏng chập lại theo yêu cầu tiết diện, sau đó bọc giấy cách điện và ép chặt lại. Các đầu dây này được uốn bẻ thích hợp và được bọc, lót cách điện đối với các vòng dây bên cạnh. Đầu ra thường được hàn ở gần đoạn chuyển tiếp giữa các bối dây theo trình tự sau: nếu đầu ra phân bố ở ngoài thì hàn đầu ra vào phía trên của sợi dây của vòng dây trên; nếu phân bố ở trong thì hàn vào phía dưới sợi dây của vòng dây dưới. Thường các cuộn dây đều có một khoảng gián đoạn ở giữa và các đầu ra điều chỉnh được bố trí ở quãng này. Đối với sơ đồ nghịch (hình 3.75g) và (hình 3.75h) cũng gồm có hai nửa cuộn dây nhưng mỗi nửa quấn theo một chiều khác nhau, nửa này quấn theo chiều kim đồng hồ (quấn phải) còn nửa kia quấn theo chiều ngược lại (quấn trái).

d) Đặc điểm công nghệ khi quấn dây quấn xoáy ốc liên tục cao áp 110 ÷ 330 kV

Đối với dây quấn cao áp ngoài bối dây ra còn có các chi tiết bảo vệ dây quấn như vòng chắn, vòng điện dung. Vì vậy, khi quấn các cuộn dây đó có thêm các động tác lắp các chi tiết đó.

Sơ đồ lắp vòng chắn như hình 3.81.

Các vòng điện dung, vòng chắn và đầu cuộn dây A được nối với nhau.



Hình 3.81. Cách lắp vòng chắn và vòng điện dung trong dây quấn cao áp

e) Dây quấn hình đĩa (bối dây có nhiều vòng quấn chồng lên nhau liên tục)

Khác với dây quấn thông thường dây quấn hình đĩa chỉ có một hoặc hai bối dây có nhiều vòng dây quấn theo kiểu bánh dày. Chiều cao của nó rất ngắn. Thực tế nó là một phần của dây quấn cao áp đặt ở phần đầu. Công nghệ quấn bối dây này đơn giản, nhưng phải chú ý tăng cường cách điện đoạn chuyển tiếp giữa 2 cuộn, khi quấn bối dây bằng nhiều sợi phải hoán vị chúng.

f) Chế tạo vòng điện dung và vòng chắn bảo vệ

Nhằm mục đích cân bằng điện trường và hạ thấp điện áp xung ở các đầu dây quấn cao áp các máy 110kV trở lên người ta phải dùng vòng điện dung. Vòng điện dung gồm một vòng các tông hình xuyến bằng các tông ép, các băng đồng lá mỏng có bọc cách điện, các miếng đồng lá và đầu ra bằng cáp đồng. Chiều dày vòng các tông để làm lõi không nhỏ hơn $8 \div 10\text{mm}$. Các mép vòng các tông được làm tròn. Các dải đồng được cắt từng đoạn và quấn các vòng hở xung quanh vòng các tông, các vòng cách nhau khoảng $40 \div 50\text{mm}$. Các vòng đầu tiên và cuối cùng cách nhau $60 \div 70\text{mm}$. Giữa các vòng được nối bằng các miếng đồng lá và được hàn lại với nhau. Vòng đầu tiên và vòng cuối cùng phải để hở, tránh tạo thành vòng ngắn mạch. Tất cả các vòng và miếng nối đều được bọc cách điện $4 \div 5\text{mm}$ mỗi phía bằng giấy cáp.

Vòng chắn bảo vệ dùng để hạ thấp gradien điện áp đặt ở phía ngoài các cuộn dây cũng là một vòng điện dung hở. Dây đồng dùng để chế tạo vòng chắn này chính là dây dùng để chế tạo dây quấn nhưng được tăng cường cách điện ($5 \div 8\text{mm}$ một phía). Thường người ta dùng máy bọc cách điện dây trước, sau đó cắt thành từng đoạn để uốn. Khi uốn vòng điện dung để không làm hỏng cách điện người ta ngâm đoạn dây vào nước nóng khoảng 1 giờ (ở 80°C). Vòng điện dung và vòng chắn sau khi quấn xong thì sấy khô và tẩm sơn rồi đem ép để tạo thành một khối rắn chắc.

2. Dây quấn hình xoắn

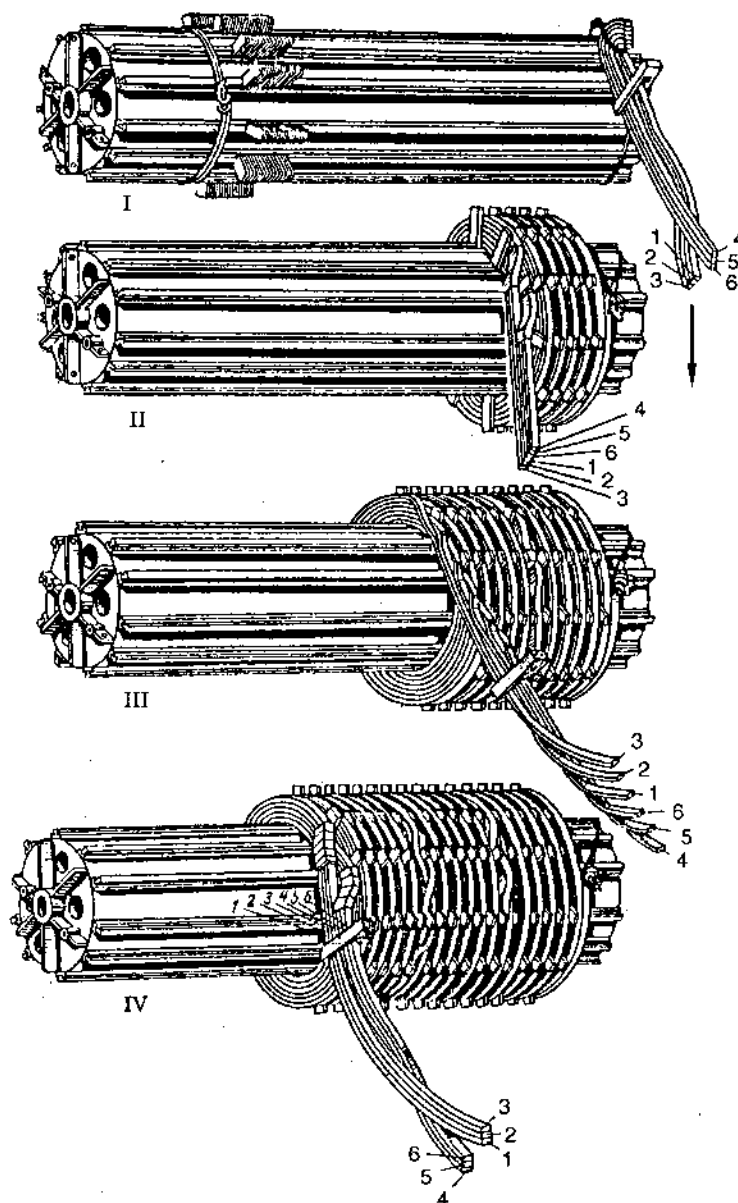
Quá trình chuẩn bị để quấn dây tương tự như dây quấn xoáy ốc liên tục. Điều quan trọng ở đây là việc bố trí sắp xếp thứ tự các cuộn dây để quấn và ghép các sợi dây để làm đầu ra của nó. Thường dây quấn kiểu này được quấn chập từ nhiều sợi nên các cuộn dây được bố trí trên giá đỡ thành nhiều hàng và nhiều tầng sao cho các sợi dây đi qua bộ phận kẹp giữ không vướng nhau.

Các bước công nghệ để quấn cuộn dây hình xoắn mạch đơn như sau:

– Kéo các đầu dây từ các rulô dây qua bộ phận kẹp giữ, uốn vuông góc các đầu sợi dây và bó chúng lại với nhau để tạo thành đầu dây ra của cuộn dây. Kẹp đầu dây ra thật chặt vào khuôn.

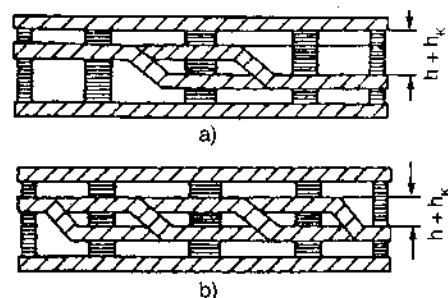
– Cho máy quấn dây chạy để quấn. Tốc độ máy quấn dây $8 \div 16\text{vg/ph}$. Quấn xong vòng đầu dồn các tấm cách vào để tạo khoảng cách cách điện giữa các vòng và rãnh thông đầu.

– Tiếp tục quấn vòng thứ hai và các vòng tiếp theo cho đến chỗ hoán vị lần thứ nhất. Đánh dấu cho tâm của lần hoán vị đầu tiên, dùng kẹp giữ chặt vòng dây lại và chia các sợi dây làm hai nhóm, đặt chúng ở hai vùng qua tâm hoán vị và tiến hành hoán vị chúng như hình 3.82.



Hình 3.82. Hoán vị các sợi dây trong dây xoắn hình xoắn mạch đơn

Từ hình vẽ ta thấy rằng, ở vùng thứ nhất phần dây phía ngoài được uốn giống như đoạn dây chuyển tiếp sang vùng thứ 2 và đổi chỗ vào phía trong, còn phần dây phía trong sau khi uốn đổi chỗ từ trong ra ngoài. Sau đó cả hai phần nhập với nhau để tiếp tục xoắn các vòng tiếp theo cho đến chỗ hoán vị toàn bộ nửa dây xoắn. Khi uốn các sợi dây của mỗi phần người ta dùng dụng cụ để uốn từng sợi một, uốn xong dùng băng vải quấn lại chỗ uốn. Như vậy ta thấy chiều dày của vòng dây ở chỗ hoán vị tăng gấp đôi (hình 3.83).



Hình 3.83. Sự tăng chiều cao của dây xoắn hình xoắn khi hoán vị

– Đến chỗ hoán vị toàn bộ tiến hành hoán vị và quấn tiếp. Kết cấu các chỗ hoán vị xử lý giống nhau.

Các đầu đầu và đầu cuối của dây quấn nên bố trí đối xứng qua đường trục của tâm hoán vị. Bước cuối cùng là kiểm tra lại các chi tiết cách điện như băng dai, các tấm cách điện lót...

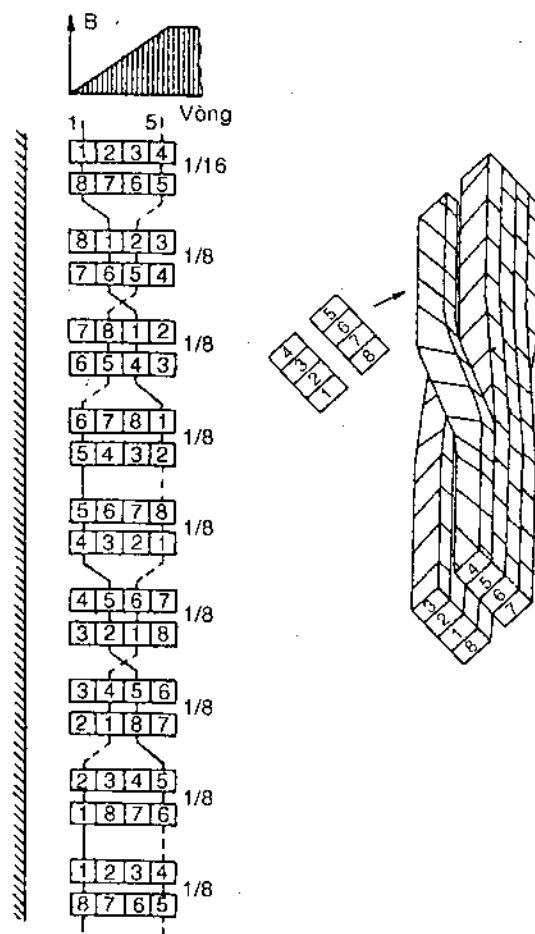
Đối với dây quấn hình xoắn mạch kép công nghệ chế tạo hoàn toàn tương tự, điểm khác nhau ở đây là mỗi mạch dây quấn được tạo thành do những cuộn dây đặt trên giá đỡ thuộc tầng trên và tầng dưới của mỗi hàng. Dây quấn của các mạch được đi qua bộ phận kẹp giữ dùng để căng dây và tạo điều kiện thuận lợi khi hoán vị các sợi dây trong khi quấn dây quấn hình xoắn mạch kép.

Quấn dây quấn hình xoắn mạch kép trước hết uốn đầu dây vuông góc rồi cột chặt vào khuôn quấn. Khi quấn, khuôn quay được một vòng ta được một vòng dây nhưng hai nhánh song song. Đến chỗ hoán vị sau khi uốn những đoạn chuyển tiếp và bọc cách điện người ta chuyển sợi dây trên của mạch I sang phía trên của mạch II và sợi dây dưới của mạch II sang phía dưới của mạch I. Tiếp tục quấn đến chỗ chuyển tiếp tiếp theo lại làm tương tự như lần trước (hình 3.84).

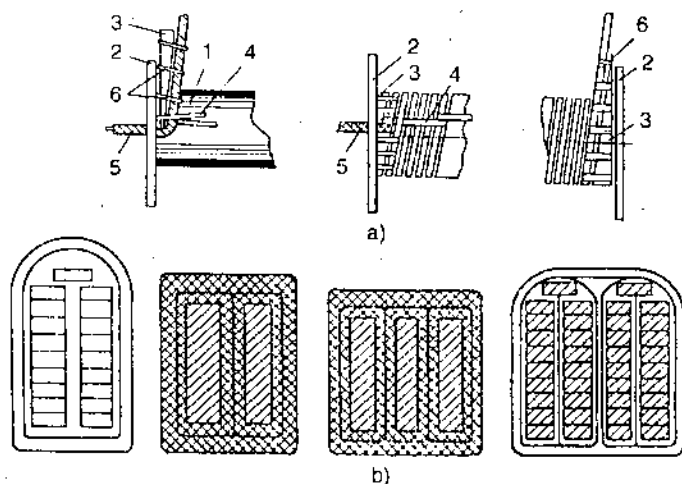
Cuộn dây hai mạch kép cũng được quấn tương tự nhưng các sợi dây chỉ được hoán vị trong mỗi mạch kép. Cuộn dây sẽ có hai chỗ hoán vị toàn bộ. Các mạch kép được nối song song với nhau bằng cách kẹp chung các đầu dây trên và đầu dưới của hai mạch với nhau.

3. Dây quấn hình trụ

Dây quấn hình ống trụ quấn bằng dây tiết diện hình chữ nhật một lớp hoặc hai lớp có một hoặc nhiều sợi chập song song (hình 3.85) thường được quấn trên ống cách điện 1 bằng giấy – bakelit. Khi quấn dây quấn này trước tiên uốn đầu dây 5 một góc gần 90°, dùng các tấm các tông bakelit 3 cắt chéo cột kèm với đầu dây dộn vào phần khuyết của dây quấn để cho 2 đầu dây quấn bằng phẳng. Các tấm này ngoài tác dụng san bằng chỗ khuyết cuộn dây còn có tác dụng giữ vòng dây cuối không bị bung ra. Hình 3.85 mô tả quá trình quấn từ đầu đến cuối cuộn dây.



Hình 3.84. Hoán vị các sợi dây khi quấn dây quấn hình xoắn mạch kép



Hình 3.85. a) Quấn dây quấn hình trụ từ dây dẹt;
b) Các loại dây dẫn hoàn vị sẵn

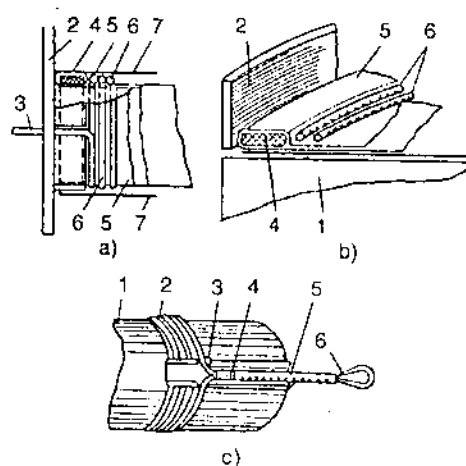
Nếu các cạnh của sợi dây không chèn nhau nhiều ta có thể quấn chúng theo chiều dẹt hoặc chiều nghiêng. Quấn theo chiều nghiêng khó quấn hơn và thường hay bị lệch so với trục sợi dây, điều này không cho phép vì bề mặt ngoài cuộn dây không phẳng và làm tăng đường kính cuộn dây.

Sau khi quấn xong dùng băng vải quấn kín bên ngoài cuộn dây để giữ chặt các vòng dây.

Với loại dây dẫn đã dập và hoàn vị sẵn như hình 3.85b dây quấn loại này có thể dùng những máy có công suất lớn hơn.

Dây quấn hình trụ nhiều lớp quấn bằng dây dẫn tròn cũng được quấn tương tự như đối với dây dẹt, tuy nhiên nhiều lớp hơn và giữa các lớp có cách điện lớp bằng giấy cách điện (hình 3.86b). Sau khi uốn và ghim đầu dây 3 vào đầu khuôn 2, đặt vòng cách điện chặn 4 có lớp bọc bằng giấy điện thoại ở đầu cuộn dây rồi bắt đầu quấn các vòng dây 6. Vòng cách điện 4 có chiều dày bằng đường kính dây dẫn có tác dụng cách điện, san bằng đầu cuộn dây và giữ vòng dây cuối cùng. Sau khi quấn xong một lớp, đặt vòng cách điện đầu cuộn dây, đặt cách điện lớp 7 và bắt đầu quấn lớp thứ 2 theo chiều ngược lại.

Rãnh thông dầu dọc được thực hiện bằng cách đặt các thanh bakelit dọc theo cuộn dây. Cũng có thể quấn rãnh ngoài lớp dây cuối cùng của tổ lớp thứ nhất một lớp bìa cách điện đã được quấn ziczac để tạo rãnh thông dầu dọc thay cho các thanh phíp nói trên. Đối với máy lớn người ta chia mỗi cuộn thành 2 galét (2 cuộn) để tạo rãnh thông dầu ngang trục đồng thời giảm bớt cách điện lớp (do giảm điện áp lớp).



Hình 3.86. Quấn dây quấn hình trụ từ dây dẫn tròn

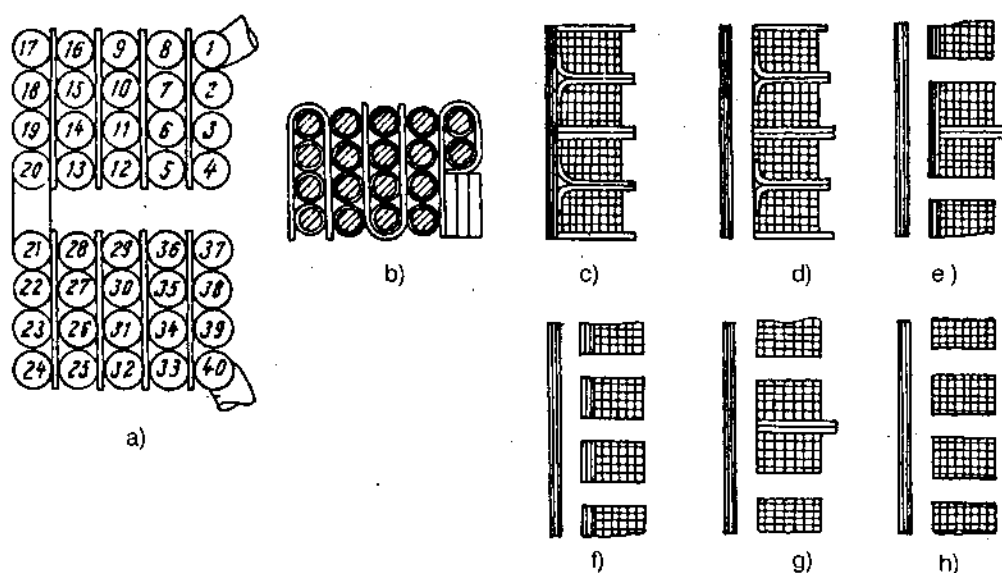
Các đầu điều chỉnh được lấy ra ngoài như hình 3.86. Đầu ra của các đầu điều chỉnh có thể lấy chính dây quấn đó để làm (hình 3.86b) hoặc hàn một dải đồng mỏng có tiết diện bằng tiết diện dây dẫn (hình 3.86c).

Đối với các MBA cỡ I, II nếu không cần tản sơn thì sau khi quấn xong cuộn hạ áp thì dùng nó làm khuôn quấn cuộn cao áp ra ngoài để tiết kiệm nhân lực.

4. Dây quấn phân đoạn

Dây quấn phân đoạn được quấn tương tự như dây quấn hình trụ nhiều lớp dây dẫn tròn, tuy nhiên không có cách điện lớp (hình 3.87c,d) hoặc có nhưng rất mỏng (hình 3.87b) và không có rãnh dấu dọc. Các cuộn dây có thể được xếp sát nhau hoặc cách nhau để tạo rãnh dấu ngang giữa các cuộn hoặc nhóm cuộn, có thể lồng trực tiếp lên ống cách điện hoặc cách ly với ống cách điện để tăng cường làm mát như hình 3.87c, d, e, f, g, h.

Một vấn đề cần giải quyết trong khi quấn kiểu dây quấn này là để nối nối tiếp các cuộn dây với nhau, các đầu dây mỗi cuộn phải được đưa ra phía ngoài. Muốn vậy, mỗi cuộn dây được quấn từ hai nửa (hình 3.87a) cuộn có chiều ngược nhau. Trên hình vẽ ta thấy một nửa sợi dây dùng để quấn nửa cuộn trên từ vòng 20 đến 1, một nửa sợi còn lại quấn nửa cuộn dưới từ vòng 21 đến 40. Việc nối các cuộn dây với nhau để được dây quấn được thực hiện khi lắp ráp ruột máy.



Hình 3.87. Thực hiện dây quấn phân đoạn

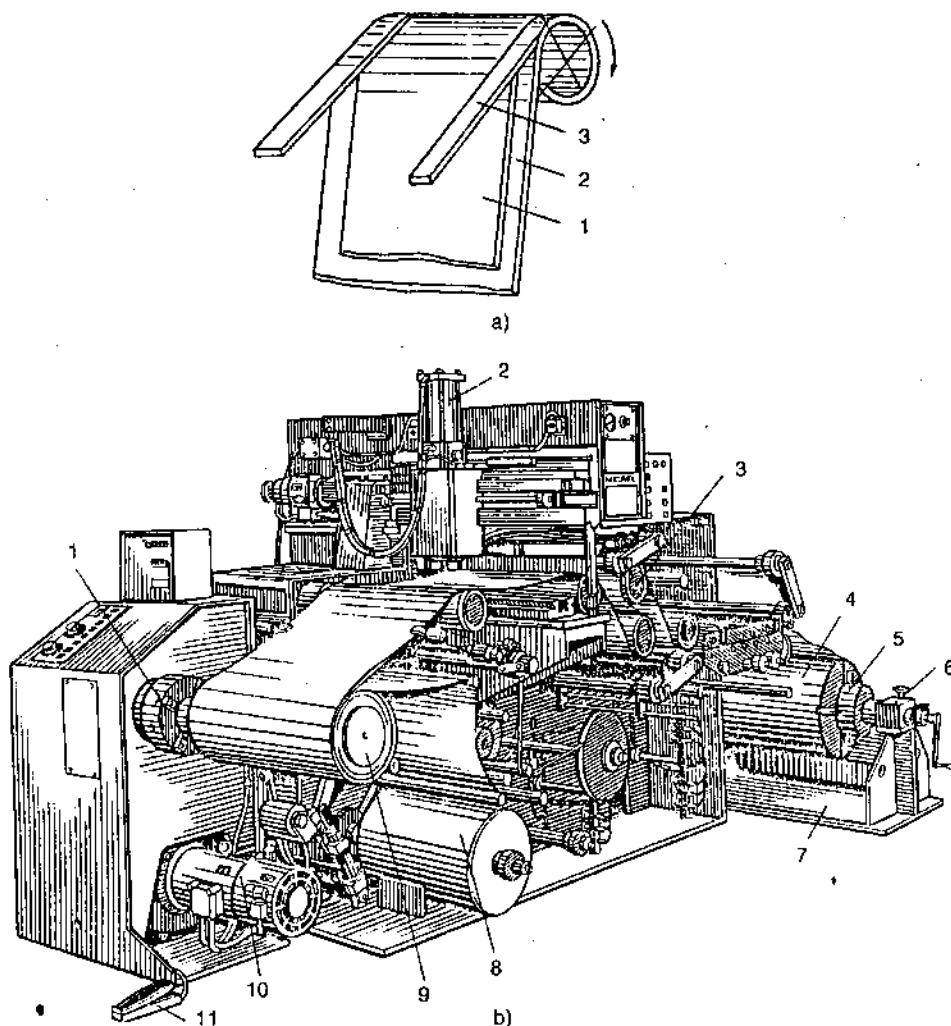
5. Dây quấn quấn từ băng đồng

Hình 3.88 trình bày sơ đồ quấn cuộn dây từ băng đồng hoặc nhôm. Băng đồng hoặc nhôm 1 trần có chiều rộng thích hợp được quấn thành rulô. Cách điện giữa các vòng dây là băng giấy 2 cũng được quấn thành rulô. Chiều rộng băng giấy rộng hơn chiều rộng băng đồng. Để chặn băng đồng không bị trôi ra mép người ta dùng hai dải băng cách điện 3 có chiều dày bằng băng đồng chặn ở hai đầu.

Trình tự công nghệ quấn như sau:

- Đem thanh cái đồng làm đầu ra cuộn dây hàn vào đầu băng đồng.
- Gắn đầu tấm cách điện lên mặt khuôn. Gắn đầu băng đồng đã hàn thanh dẫn làm đầu ra đè lên băng cách điện.
- Gắn đầu hai tấm cách điện chặn lên cạnh băng đồng.
- Cho máy chạy cho đến khi đủ số vòng theo thiết kế.
- Nếu thiết kế có rãnh thông dầu dọc thì đến số vòng theo quy định đặt băng giấy hình sóng tạo rãnh dầu dọc rồi quấn tiếp.
- Cắt các băng đồng và cách điện.
- Hàn thanh cái đầu ra lên băng đồng.
- Bọc kín một lớp giấy cách điện bên ngoài.
- Hiện nay nhiều hãng dùng loại băng giấy có in lên đó một màng nhựa mỏng, sau khi quấn xong người ta đem cuộn dây sấy nóng lên, nhựa sẽ chảy ra dính tấm đồng và tấm cách điện với nhau, không cần tấm sơn.

Hình 3.88 mô tả một máy quấn của hãng “Micafil” thực hiện tất cả các nguyên công trên.



Hình 3.88. Máy quấn dây từ vật liệu dạng băng

Trên hình vẽ ta thấy khuôn quấn 9 được gắn lên trục máy 1 và được quay bằng động cơ 10. Động cơ được điều khiển chạy và dừng nhờ bàn đạp 11. Băng đồng 4 quấn trên rulô 5 được hệ thống trục truyền 3 cấp vào khuôn sau khi được máy hàn đầu ra 2 hàn thành cái vào đầu băng. Băng cách điện được quấn trên rulô 8 qua một hệ thống trục truyền đưa tới khuôn. Rulô băng đồng được đặt lên các gối đỡ 6 trên bệ 7.

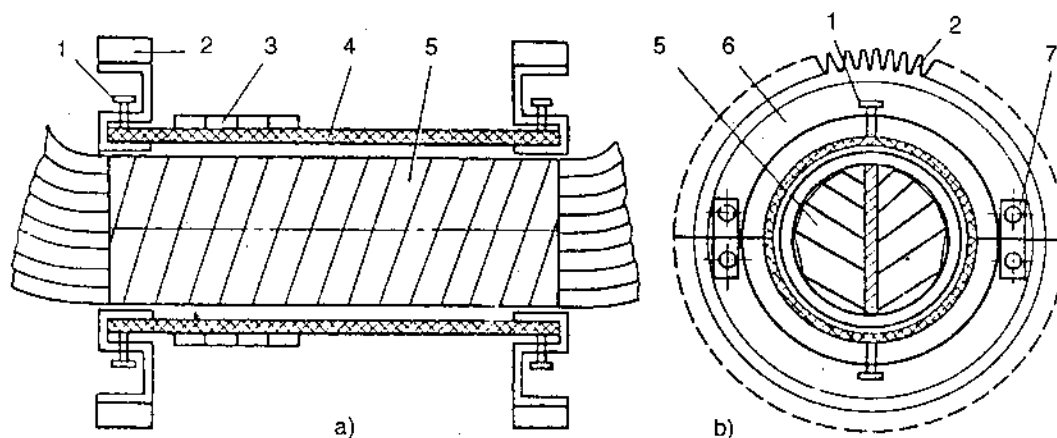
Loại máy này có thể quấn được các cuộn dây hình trụ hoặc hình chữ nhật. Trong phạm vi công suất từ 25 đến 2500kVA có thể dùng các kiểu dây quấn khác nhau cho dây quấn hạ áp và cao áp. Chẳng hạn dây quấn hạ áp dùng loại quấn từ băng đồng, dây quấn cao áp quấn từ dây dẫn bình thường. Trong trường hợp đó có thể quấn trực tiếp dây quấn cao áp lên dây quấn hạ áp loại này mà không cần quấn riêng rẽ, đỡ được công lắp ráp.

6. Dây quấn của máy biến áp không gian

Như đã biết trong chương trước máy biến áp không gian có ba loại: loại mạch từ tam giác gông rời, loại mạch từ tam giác quấn từ tôn cuộn có gông liền trụ và loại mạch từ đầu “Y” có gông liền trụ, dạng ghép từ ba chữ C. Riêng loại tam giác gông rời hình Δ dây quấn của nó không khác dây quấn khác. Riêng loại có gông liền trụ dây quấn phải được quấn trực tiếp lên trụ. Sau đây giới thiệu một trong các phương pháp đó.

Hình 3.89 mô tả một khuôn quấn được ghép lên trụ để quấn dây trực tiếp lên mạch từ không gian kiểu tam giác quấn từ tôn cuộn. Phần trụ có cuộn dây được quấn bằng băng sợi thủy tinh 5. Ống cách điện 4 được chia làm hai nửa để ốp vào trụ thông qua một vành thép hình chữ Z 6 và được cố định với vành này bằng bulông 1. Vành chữ Z có hai nửa được liên kết với nhau thông qua các tấm nối được nối với nhau bằng vít 7. Toàn bộ khuôn hình chữ Z được quay thông qua bánh răng truyền động 2 và luôn luôn được cách ly khỏi trụ một khe hở nhỏ. Các vòng dây được quấn lên khuôn như bất cứ kiểu dây quấn nào. Dây quấn cao áp được quấn đè lên dây quấn hạ áp. Sau khi quấn dây xong người ta tháo bỏ khuôn chữ Z và đóng vào giữa trụ và ống cách điện các thanh gỗ hoặc phíp để cố định dây quấn.

Việc tẩm sấy dây quấn được thực hiện cùng với lõi thép.



Hình 3.89. Nguyên lý quấn cuộn dây trực tiếp lên lõi thép của MBA không gian

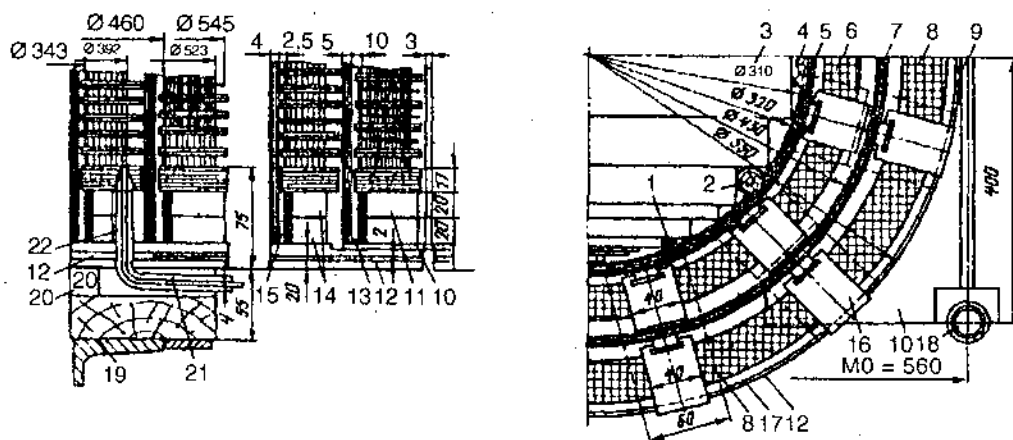
3.3.5. Chế tạo các chi tiết cách điện của MBA

1. Các chi tiết cách điện trong máy biến áp

Trong chế tạo và vận hành MBA chất lượng cách điện quyết định tuổi thọ và độ tin cậy của máy. Yêu cầu của cách điện là có cường độ cách điện cao, độ bền điện cao, chịu nhiệt, tính năng hoá học ổn định trong dầu và theo thời gian, có độ bền cơ khí cao (chịu ép, chịu uốn, chịu rung).

a) Phân loại cách điện trong MBA

Cách điện trong MBA bao gồm cách điện trong vỏ máy và cách điện ngoài vỏ máy. Cách điện ngoài bao gồm cách điện giữa các đầu ra các pha với đất và giữa chúng với nhau. Cách điện trong bao gồm cách điện chính và cách điện dọc. Cách điện chính bao gồm cách điện giữa các pha dây quấn với nhau và giữa các pha với đất (vỏ, lõi thép). Cách điện dọc là cách điện giữa các phần khác nhau của dây quấn. Có thể thấy rõ kết cấu cách điện của dây quấn trên hình 3.90.



Hình 3.90. Kết cấu cách điện trong máy biến áp ba pha cấp điện áp 35kV

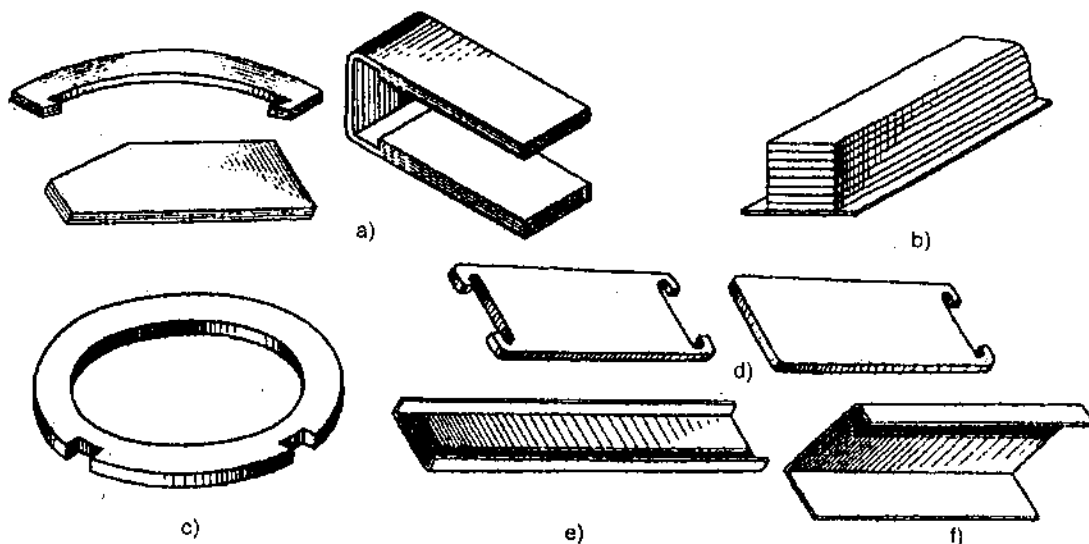
- 1,2,4. Thanh gỗ tròn để ép lõi thép và cố định ống cách điện hạ áp; 3. Mạch từ; 5. Ống cách điện hạ áp bằng giấy-bakelit; 6. Dây quấn hạ áp; 7. Ống cách điện hạ áp bằng giấy-bakelit; 8. Dây quấn cao áp; 9. Cách điện giữa các pha; 10. Tấm cách điện đỡ trên gông; 11. Vành đỡ dây quấn cao áp; 12. Cách điện gông; 13. Thanh khuôn dây quấn cao áp; 14. Vành đỡ dây quấn hạ áp; 15. Thanh khuôn dây quấn hạ áp; 16. Các tấm cách dây quấn cao áp; 17. Tấm đệm bằng các tông cách điện; 18. Ống giấy bakelit bọc ti thép; 19. Tấm gỗ kê giữa dây quấn và gông; 20. Tấm cách điện san bằng; 21, 22. Đầu ra giữa các dây quấn

b) Phân loại các chi tiết cách điện theo vật liệu phương pháp chế tạo

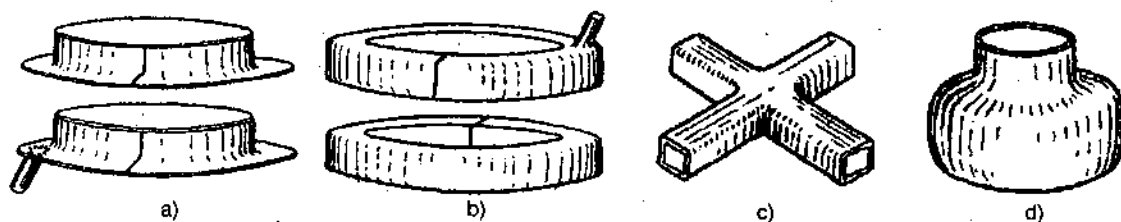
– Các chi tiết cách điện bằng giấy nện được dán với nhau bao gồm các tấm cách điện hình chữ nhật, hình chữ U, hình vành khăn và các dạng khác nhau như hình 3.91a, b, c hoặc dạng tấm bản được dập hoặc uốn như hình 3.91d, e, f.

– Các chi tiết bằng các tông cách điện được ép tạo hình bằng phương pháp ép tạo hình trong khuôn như hình 3.92a, b, c, d.

– Các chi tiết bằng gỗ hoặc bằng nhựa gia công bằng dụng cụ cơ khí hoặc dán như hình 3.93a, b, c, d.

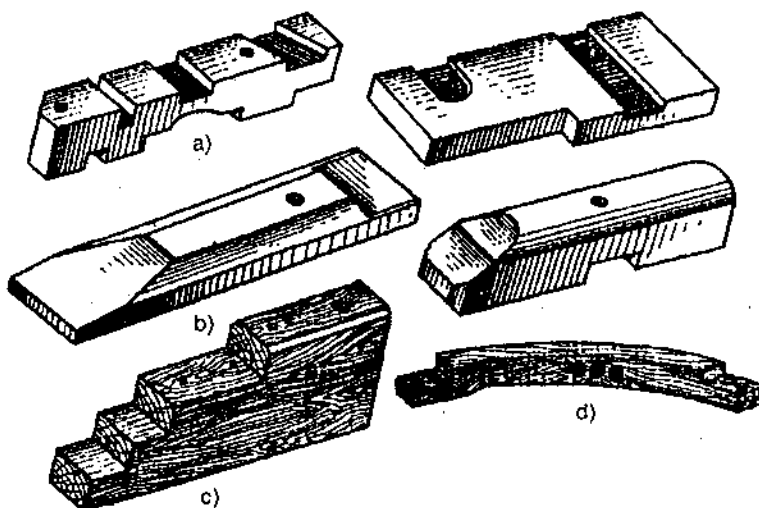


Hình 3.91. Các chi tiết cách điện bằng giấy nện được dán hoặc dập



Hình 3.92. Các chi tiết cách điện bằng bột giấy được tạo hình trong khuôn

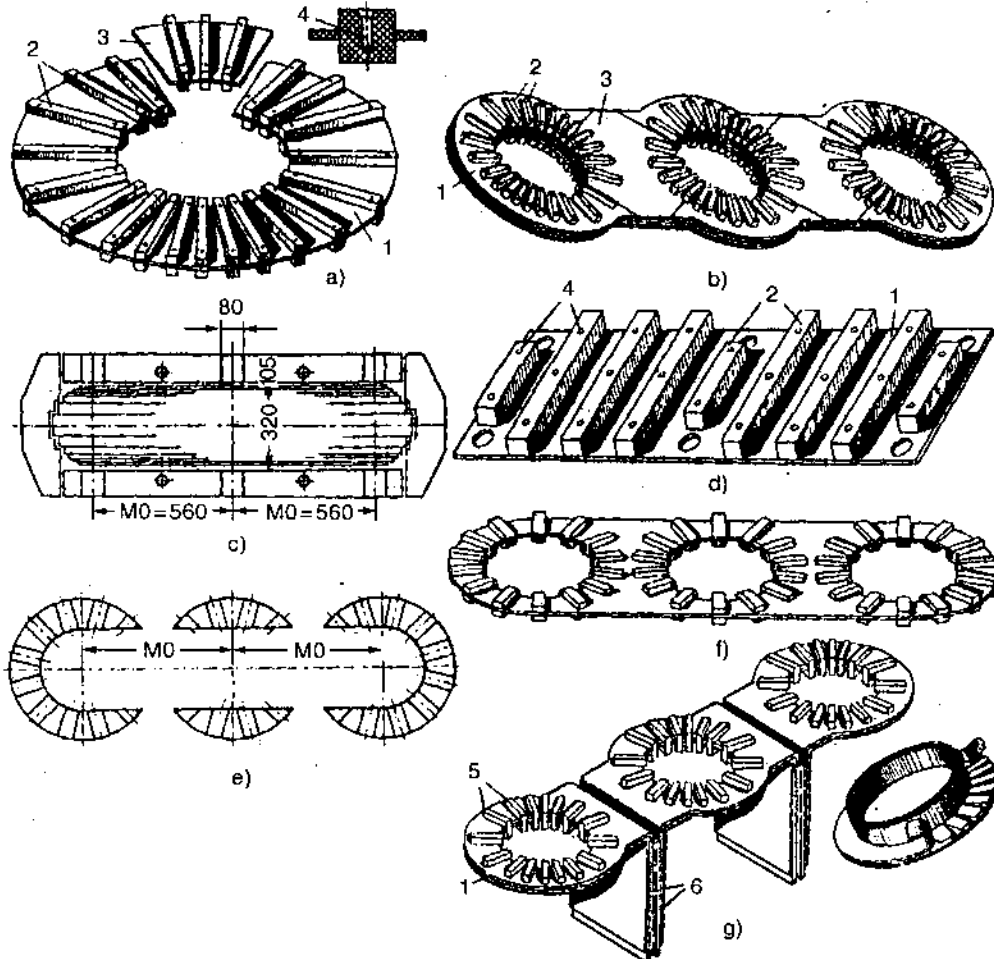
a, b) Tấm đệm cách điện có đầu ra lót ở cuối dây quấn; c, d) Cách điện dạng chữ thập hoặc dạng ống



Hình 3.93. Các chi tiết bằng gỗ và nhựa

a) Thanh gỗ cố định đầu dây ra; b) Nêm gỗ để cố định dây quấn với trụ;
c) Thanh gỗ có bậc để đỡ mạch từ; d) Xecmăng cách điện vòng điện dung

Các chi tiết cách điện lẻ trên lại được liên kết với nhau để tạo thành những chi tiết cách điện phức hợp thực hiện một chức năng nhất định như hình 3.94.



Hình 3.94. Các chi tiết cách điện chính trong MBA điện lực

a, b) Cách điện với gông; c) Cách điện san bằng dưới dạng các tấm gỗ rời; d) Cách điện dạng tấm các tông thẳng gắn thanh gỗ; e, f) Cách điện san bằng bằng tấm các tông tròn gắn thanh gỗ; g) Cách điện với gông và cách điện giữa các pha.

c) Phân loại vật liệu cách điện để làm các chi tiết cách điện

Theo yêu cầu trên, trong chế tạo MBA người ta thường dùng các loại sau:

– Giấy cáp, thường dùng của Nga, ký hiệu là K08, K12, K17 có chiều dày là 0,08; 0,12; 0,17. Tỷ trọng của giấy là 0,7. Trong MBA dùng nhiều loại K12. Loại này có độ bền cơ cao. Khi có chiều rộng 15mm ứng suất kéo ngang là 15kG, ứng suất kéo dọc không nhỏ hơn 7kG. Giấy cáp có năng lực hút dầu MBA cao. Trước khi ngâm dầu giấy K12 có độ bền chịu cao áp là 9kV/mm; sau khi ngâm dầu là 16kV/mm. Loại giấy này dùng để quấn bọc dây dẫn dùng làm dây quấn MBA; cách điện lớp, bọc tăng cường các đầu ra, đầu chuyển tiếp...

– Giấy điện thoại. Ký hiệu của Nga là KTH. Chiều dày quy định là 0,05mm, tỷ trọng 0,82, công dụng giống như giấy cáp.

Khi sử dụng 2 loại giấy cách điện trên cần chú ý các đặc điểm sau: Chịu nhiệt kém ($110 \div 115^\circ\text{C}$), khi ngâm dầu độ bền cơ kém rõ rệt.

– Vải sơn cách điện chịu dầu là loại vải sợi bông hoặc lụa tơ tằm tẩm 3 lần sơn dày 0,17; 0,2; 0,24mm cuộn thành cuộn. Loại này dùng ở những nơi cần tính đàn hồi cao như chỗ hàn đầu dây, những chỗ uốn... chủ yếu dùng làm cách điện tăng cường.

– Băng vải. Loại băng dệt có khổ rộng 1,5 đến 2cm bằng sợi bông, chủ yếu dùng để cột, đai, bó các chi tiết của cuộn dây.

– Bìa cách điện. Bìa cách điện được dùng nhiều trong MBA như chế tạo ống cách điện, đập các tấm cách giữa các vòng dây và các tấm đệm lót ở những nơi khác. Bìa cách điện có chiều dày $0,5 \div 3\text{mm}$, tỷ trọng là 1, năng lực hút dầu tùy theo nhiệt độ dầu và chiều dày bìa. Bìa cách điện dễ hút ẩm nên cần được bảo quản nơi khô ráo.

– Giấy tẩm sơn. Chiều dày là 0,07 và 0,12mm. Có hai loại sơn, sơn một mặt và sơn hai mặt. Ống cách điện trong MBA được chế tạo bằng loại giấy này.

– Các loại nhựa epôxi, bakelit, tectolit, composit...

– Các vật liệu vô cơ như sợi thủy tinh, mica...

2. Chế tạo các chi tiết cách điện

a) Cắt các tấm cách điện

Để cắt các tấm cách điện người ta thường dùng các loại dao cắt phẳng (có các lưỡi song song hoặc lưỡi nghiêng một góc), cắt đĩa và cắt rung (cắt rung) như hình 3.95.

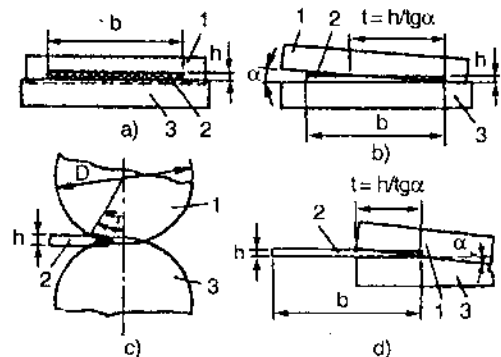
Cắt phẳng có lưỡi song song (hình 3.95a) gồm hai lưỡi dao trên 1 chuyển động và dưới 3 tĩnh. Tấm cách điện 2 được đưa vào giữa hai lưỡi dao. Phương pháp này chỉ áp dụng cho cắt ngang vì chiều rộng lưỡi dao có hạn, quá trình cắt không liên tục nên năng suất thấp, mặt khác lực cắt đòi hỏi lớn nên hiện nay ít dùng.

Cắt phẳng có lưỡi nghiêng một góc $3^\circ - 6^\circ$ (hình 3.95b) khắc phục được một phần nhược điểm trên là lực cắt nhỏ (chỉ bằng 1/100 so với

trên) nhưng khi cắt có thể bị đẩy làm cho nhát cắt bị lệch. Phương pháp này cũng được dùng chủ yếu cho việc cắt ngang các tấm cách điện.

Cắt đĩa (hình 3.95c) là dạng cắt liên tục chủ yếu dùng để cắt dọc hoặc pha các cuộn giấy cách điện thành nhiều cuộn có kích thước khác nhau. Vì cắt liên tục và có thể dùng nhiều cặp dao đồng thời nên cắt đĩa có năng suất cao và chính xác.

Trong những trường hợp phải cắt các tấm cách điện hình tròn hoặc có dạng đường cong bất kỳ người ta dùng dao cắt rung. Dao cắt rung có hai lưỡi (hình 3.95d), lưỡi dưới 3 cố định lưỡi trên 1 chuyển động với biên độ nhỏ nhưng tần số cao. Chi tiết cách điện được cắt lượn theo đường cong tùy theo chuyển động của tấm cách điện. Việc điều khiển chuyển động của tấm cách điện có thể thực hiện bằng tay hoặc tự động nhờ các động cơ bước dưới sự điều khiển của máy tính.



Hình 3.95. Các kiểu dao cắt cách điện

a) Dao cắt phẳng có lưỡi song song;

b) Dao cắt phẳng có lưỡi nghiêng;

c) Dao cắt đĩa; d) Dao cắt rung

Các tấm cách điện trước khi dùng yêu cầu phải khô nên trước khi cắt các chi tiết thành phẩm ta phải sấy các tấm cách điện bán thành phẩm trong các lò sấy. Thường chế độ sấy là 4 giờ ở nhiệt độ $110^{\circ}\text{C} \div 115^{\circ}\text{C}$. Các thép cách điện gồm 5 ÷ 6 tờ được gác cách ly để nhiệt độ phân bố đều.

b) Dập các chi tiết cách điện nhỏ có hình tròn (như vòng đệm, tấm lót, tấm cách, đệm...) hoặc có hình dạng phức tạp. Nguyên tắc dập không khác gì dập các chi tiết cơ khí. Vật liệu để làm khuôn mẫu thường là Y8 hoặc Y10 (Nga). Độ cứng của khuôn tôi đến $R_c = 58 \div 60$; khe hở giữa chày và cối không vượt quá $0,038 \div 0,076\text{mm}$.

c) Dán các chi tiết cách điện

Dán là phương pháp tạo các chi tiết cách điện có độ dày theo yêu cầu. Việc dán được thực hiện sau khi dập hoặc cắt thành hình chi tiết. Trong MBA các chi tiết cần dán là vành cách điện ở hai đầu cuộn dây, cách điện gông, lõi sắt, các tấm cách... Keo dán là nhựa bakêlít, là một loại nhựa tổng hợp, hoá mềm ở nhiệt độ $55^{\circ}\text{C} \div 80^{\circ}\text{C}$, đến $100^{\circ}\text{C} \div 110^{\circ}\text{C}$ nhựa này hoá cứng (polime hoá hoàn toàn) không bị tan mềm ra nữa. Nhựa bakêlít có độ bền cơ và tính cách điện cao.

Công nghệ dán các tấm cách điện như sau: dùng loại nhựa ký hiệu của Nga là 189 có tỷ trọng $0,95 \div 1,05$, dung môi loại nhựa này là cồn. Tráng nhựa hay bôi nhựa lên bề mặt tấm cách điện với lượng nhựa khoảng $160 \div 250\text{g/m}^2$. Để ngoài không khí 10 ÷ 15 phút rồi dán. Tiếp tục để ngoài không khí độ 0,5 ÷ 1 giờ. Sấy và ép trên máy ép có gia nhiệt bằng nước nóng. Nhiệt độ sấy là $110^{\circ}\text{C} \div 120^{\circ}\text{C}$, thời gian sấy chuẩn bị tùy theo chiều dày chi tiết. Sau khi sấy thì chuẩn bị ép với lực $35 \div 50\text{kg/cm}^2$ thời gian ép và sấy khô cũng tùy theo chiều dày chi tiết nằm trong khoảng từ 1 đến 2 giờ, nhiệt độ sấy lúc này được nâng lên $125 \div 130^{\circ}\text{C}$.

d) Đúc các chi tiết cách điện

Các chi tiết có hình dạng phức tạp có thể đúc chúng từ nhựa composit hoặc epôxi trong các khuôn đúc. Loại nhựa này tự đông cứng khi tiếp xúc với không khí. Cốt của các chi tiết này thường là sợi thủy tinh hoặc amian.

e) Ép tạo hình các chi tiết cách điện từ các tông cách điện

Giấy các tông cách điện được cắt khai triển hình chi tiết cần ép rồi đưa vào khuôn ép. Mép nối được dán bằng nhựa.

f) Gia công cơ khí các chi tiết bằng gỗ hoặc nhựa

Trong máy biến áp các chi tiết gỗ kê tạo khoảng cách giữa dây quấn và gông... thường làm bằng gỗ nhẹ như thông, mỡ, sồi... hoặc bằng nhựa. Các chi tiết này được gia công bằng các máy gia công gỗ như đục, bào, cưa...

g) Quấn ống cách điện bằng giấy và nhựa bakêlít

Ống bakêlít là chi tiết cách điện quan trọng nhất của MBA. Ống bakêlít cách điện giữa dây quấn hạ áp với trụ (trong các máy cỡ nhỏ có thể không cần), giữa dây quấn cao áp với dây quấn hạ áp. Giấy dùng để quấn ống bakêlít là giấy điện thoại hoặc giấy cáp có chiều dày 0,07mm được quét nhựa bakêlít cả hai mặt. Hàm lượng nhựa trên giấy là $29\% \div 33\%$, các chất bay hơi là 7%, lượng nhựa hoà tan được là 90%.

3.4. CHẾ TẠO CUỘN DÂY KHÍ CỤ ĐIỆN

3.4.1. Phân loại cuộn dây khí cụ điện

1. Các cuộn dây quấn từ dây dẫn tròn có kích thước nhỏ. Loại này bao gồm các cuộn dây role áp, cuộn áp của công tơ, cuộn hút công tắc tơ một chiều và xoay chiều, cuộn dây sơ cấp máy biến điện áp...

2. Các cuộn dây ít vòng quấn từ dây dẫn tròn hoặc dây có tiết diện chữ nhật. Loại này bao gồm các cuộn dây role dòng, cuộn dòng trong công tơ, dây quấn máy biến dòng điện...

3.4.2. Công nghệ chế tạo

1. Chế tạo cuộn dây nhiều vòng nhiều lớp từ dây tròn kích thước nhỏ

Đối với các cuộn dây của cuộn kháng, biến áp nhỏ, role hoặc công tắc tơ cuộn dây được quấn trên khung nhựa hoặc khung giấy. Do điện áp giữa các lớp nhỏ nên không cần cách điện lớp. Các vòng dây được quấn rải đều từng lớp giống như khi quấn các cuộn dây kích thích công suất nhỏ (hình 3.52). Sau khi quấn xong, cuộn dây được sấy khô trong chân không sau đó đúc trong nhựa bitum, paraffin hoặc tẩm sơn cách điện trong thiết bị tẩm siêu âm và sấy khô.

2. Chế tạo cuộn dây ít vòng từ dây tròn hoặc dây chữ nhật

Các cuộn dây này có thể có khung nhựa hoặc không. Trong trường hợp cuộn dây không có khung thì việc quấn được thực hiện trên khuôn sau đó tháo ra đem tẩm epôxi để cố định các vòng dây. Một số trường hợp số vòng ít việc quấn có thể chỉ thực hiện bằng tay.

3. Cuộn dây quấn trên mạch từ hình xuyên

Nếu số lượng cuộn dây không lớn ta có thể quấn bằng tay bằng cách quấn chui từng vòng một lên lõi thép. Cuộn dây nguyên liệu được quấn lên một thanh gỗ mỏng và dài, hai đầu cắt thành hình chữ V để giữ dây, khi quấn luôn cuộn dây qua hình xuyên. Nếu số lượng cuộn dây lớn phải quấn bằng máy. Máy quấn dây loại này có nguyên lý làm việc như máy bọc cách điện cuộn dây cực từ, lõi thép hình xuyên được xoay đi từng góc tương ứng với một vòng dây.

3.5. CÔNG NGHỆ HÀN VÀ CỐ ĐỊNH DÂY QUẤN TRONG CHẾ TẠO DÂY QUẤN THIẾT BỊ ĐIỆN

Việc hàn nối dây dẫn trong công nghệ chế tạo dây quấn là một công đoạn hết sức quan trọng. Yêu cầu của mối nối là có cường độ cơ khí cao, dẫn nhiệt tốt, không phát nhiệt hoặc bị oxy hoá trong quá trình máy điện làm việc, không bị chảy chất hàn ở các chế độ nặng của máy như khởi động, quá tải... Quá trình hàn nối không được để ảnh hưởng đến cách điện các vùng lân cận. Trong thực tế có thể phân loại các phương pháp hàn nối dây trong chế tạo thiết bị điện như sau: hàn nóng và hàn lạnh, hàn cứng và hàn mềm, hàn tiếp xúc, hàn hồ quang.

Hàn nóng là hàn có gia nhiệt. Nguồn nhiệt bao gồm nhiệt hồ quang, nhiệt do điện trở tiếp xúc, nhiệt do đèn khò hoặc axetylen. Hàn nguội là dạng hàn không gia nhiệt,

mối nối được tạo ra do sự tiếp xúc cưỡng bức nhờ lực ép, phần kim loại trên mối nối được khuếch tán vào nhau tạo sự liên kết cả về cơ và điện.

Hàn mềm và hàn cứng là dạng hàn có chất hàn trung gian (gọi là que hàn) liên kết hai phần kim loại muốn nối với nhau. Chất hàn thường là hợp kim thiếc – chì hoặc đồng – phot pho, đồng – bạc. Tất cả các chất hàn kể trên đều có thuộc tính chung là khi nóng chảy thì chảy loãng và dễ thấm thấu vào tất cả các khe hẹp giữa các sợi dây của mối hàn. Hợp kim thiếc – chì tùy theo hàm lượng thiếc có nhiệt độ nóng chảy vào khoảng $200^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$. Mối hàn dùng chất hàn loại này thuộc loại hàn “mềm”. Hợp kim đồng – phot pho hoặc đồng – bạc có nhiệt độ nóng chảy tùy theo hàm lượng đồng vào khoảng 635°C đến 800°C . Mối hàn dùng chất hàn loại này gọi là hàn “cứng”. Sau đây sẽ mô tả công nghệ hàn một số chi tiết đặc trưng nhất trong chế tạo thiết bị điện. Chất trợ dung (giúp chảy) trong hàn mềm thường là nhựa thông; trong hàn cứng thường là hàn the.

Hàn tiếp xúc là dạng hàn dùng năng lượng tỏa ra từ điện trở tiếp xúc trên mối hàn. Trong hàn dây dẫn thường dùng phương pháp hàn tiếp xúc cực than.

Hàn hồ quang là phương pháp hàn dùng năng lượng của ngọn lửa hồ quang phát ra ở đầu cực hàn. Trong hàn dây dẫn thường dùng phương pháp hàn hồ quang cực than, hàn hồ quang trong khi bảo vệ (thường là acgông).

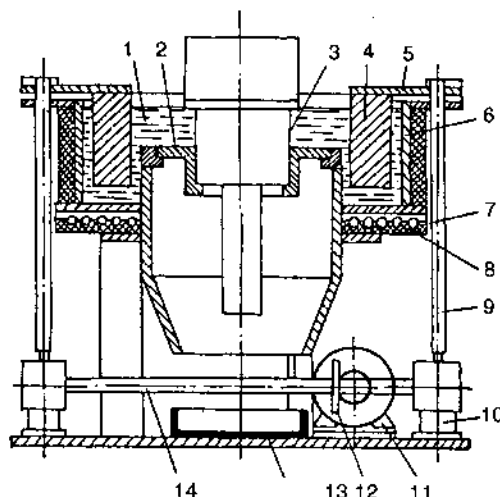
3.5.1. Hàn các đầu dây vào cổ góp

Cổ góp máy điện được ghép từ nhiều phiến góp được cách điện với nhau bằng mica hoặc nhựa. Đối với cổ góp các máy nhỏ, cách điện có khả năng chịu nhiệt không cao (cổ góp ép nhựa) hoặc các máy lớn nhưng chạy chậm ta có thể hàn dây dẫn với phiến góp bằng thiếc (hợp kim thiếc – chì). Yêu cầu khi hàn không được gây nóng cục bộ quá mức làm hỏng cách điện giữa các phiến góp nâng cao năng suất hàn trong sản xuất lớn. Để đạt mục đích đó ta có thể áp dụng các phương pháp sau.

1. Đối với các máy một chiều và động cơ vạn năng công suất đến 500W trên các phiến góp người ta tạo các rãnh vừa lọt sợi dây đã làm sạch, sau khi cho cả hai sợi dây vào rãnh người ta dùng một mũi nhọn đóng tu vào rãnh để chèn chặt dây, không hàn (hàn nguội). Phương pháp này cho khả năng cơ khí hoá cao, nhưng cần tính toán để lực đập vừa phải không làm đứt dây hoặc biến dạng phiến góp gây hỏng cách điện.

2. Tất cả các sợi dây được làm sạch và đặt sẵn vào các rãnh của các phiến góp rồi nhúng cả cổ góp vào thiếc nóng chảy. Hình 3.96 mô tả một thiết bị nhúng cổ góp kiểu như vậy.

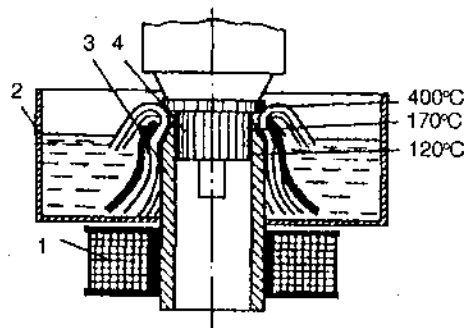
Trên thiết bị này có thể hàn các cổ góp có đường kính từ 260 đến 420mm. Thùng gồm có vỏ thép hàn 6 trong đó đựng thiếc hàn 1 và được đốt nóng bằng dây điện trở 8 đặt trong khay. Mức thiếc hàn được điều chỉnh bằng một vành gang 4 nhúng trong thiếc và có thể nâng lên hạ xuống nhờ các thanh 9,



Hình 3.96. Hàn nhúng dây quấn vào cổ góp

hộp giảm tốc 10, ly hợp ma sát 12, trục 14 và động cơ điện 11. Phần ứng được thả vào theo phương pháp đúng để cho cổ góp lọt vào vành 2. Phần đuôi cổ góp (chỗ cần hàn) ngấp xuống đến mức nếu hạ vành 4 chìm xuống, thiếc sẽ dâng lên chìm phần cần hàn. Để cho thiếc vào sâu các khe giữa dây dẫn và phiến góp rồi hạ mức thiếc xuống (nâng vành 4 lên) và kết thúc việc hàn. Ưu điểm của phương pháp này là nhanh, tiết kiệm thiếc hàn, cổ góp không bị đốt nóng quá mức cho phép, vì chỉ cần nhúng đến nhiệt độ nóng chảy của thiếc hàn trong thời gian ngắn.

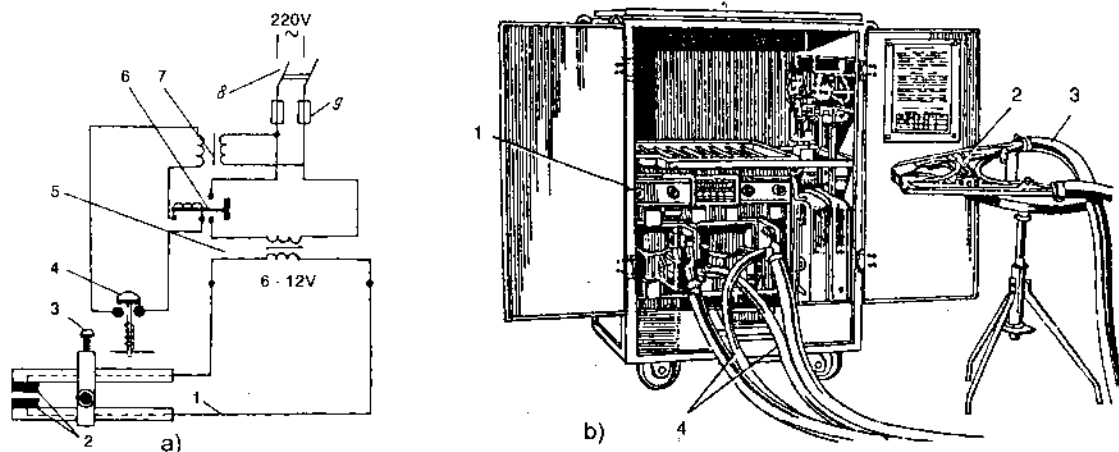
Một thiết bị hàn nhúng cổ góp khác có sử dụng hiệu ứng từ – điện động gần đây cũng được sử dụng rộng rãi do có nhiều ưu điểm so với thiết bị trên (hình 3.97). Trên hình vẽ ta thấy, ở phần dưới thùng thiếc 2 có cuộn dây xoay chiều ôm lấy ống thép 3. Khi đóng điện vào cuộn dây này từ trường do cuộn dây sinh ra sẽ tác động với dòng điện cảm ứng trong thiếc nóng chảy sẽ đẩy thiếc dâng lên đến vị trí mối hàn trên cổ góp 4. Theo phương pháp này cổ góp được hàn xong sau thời gian 10 – 240 giây tùy theo kích thước và trọng



Hình 3.97. Một phương pháp hàn nhúng cổ góp sử dụng hiệu ứng từ – điện động

lượng cổ góp. Cổ góp chỉ bị nóng tại điểm hàn, ở các vị trí khác nhiệt độ rất thấp. Thiếc được đun nóng chảy trước bằng dòng điện cảm ứng trong thời gian không tới 40 phút. Mặt khác, lượng thiếc trong thùng không cần nhiều nên lượng thiếc bị oxy hoá và bay hơi không lớn. Quá trình sử dụng cho thấy tiết kiệm được 30% thiếc so với phương pháp khác và tiết kiệm được tới 70% năng lượng. Tính vạn năng của thiết bị cao. Nếu cần hàn cổ góp có kích thước khác việc thay ống thép 3 không quá một phút.

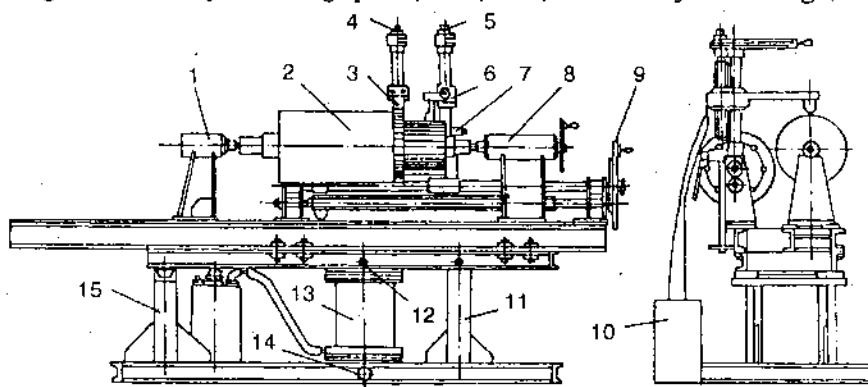
3. Trong các máy cách điện giữa các phiến góp có cường độ chịu nhiệt cao, ta có thể hàn các đầu dây với cổ góp theo phương pháp hàn cứng. Que hàn dùng trong trường hợp này là đồng – phot pho hoặc đồng – bạc. Nguồn nhiệt để hàn là máy hàn tiếp xúc cực than. Hình 3.98 mô tả sơ đồ nguyên lý (a) và một kiểu máy hàn tiếp xúc (b) ứng dụng nguyên lý đó.



Hình 3.98. Máy hàn tiếp xúc cực than

a) Sơ đồ nguyên lý hàn tiếp xúc cực than; b) Một kiểu máy hàn tiếp xúc cực than

Việc hàn cứng các đầu dây vào cổ góp được thực hiện trên máy hàn cứng (hình 3.99)



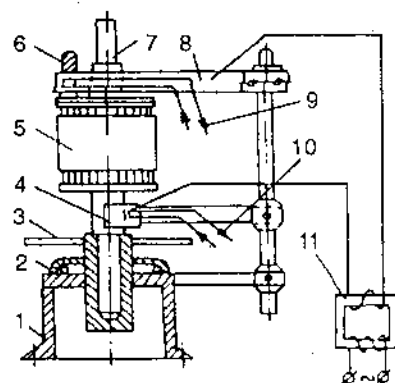
Hình 3.99. Thiết bị hàn cứng cổ góp

Trên hệ máy có ụ đỡ động 1, ụ đỡ tĩnh 8 có chốt tâm để đỡ và cho phép phần ứng 2 xoay quanh trục của nó. Các điện cực hàn 3 và 6 (cực 3 là than graphít, cực 6 là đồng). Các bulông 4 và 5 điều chỉnh cực lên xuống. Hệ thống trục vít có tay quay 9 để di chuyển cực theo hướng dọc trục. Nguồn điện để hàn là một máy biến áp hạ áp 12kVA, điện áp thứ cấp điều chỉnh được để dòng qua cực than khoảng từ $500 \div 1100A$. Bề mặt đuôi cổ góp (bề mặt hàn) được bôi chất trợ dung. Tất cả các đầu dây được làm sạch và ghép vào rãnh trên các phiến góp. Ấn nút ấn cấp điện vào mối hàn, cực than và đuôi phiến góp nóng đỏ ngay lập tức, ta quẹt que hàn vào khe chứa đầu dây, que hàn sẽ chảy loãng và thấm sâu vào khe đó. Mỗi hàn được thực hiện trong thời gian $5 \div 10$ giây. Với que hàn ПС_р-3-Kл nhiệt độ nóng chảy khoảng $300^{\circ}C \div 325^{\circ}C$ (que hàn đồng-bạc-katmi).

3.5.2. Hàn các thanh dẫn với vành ngăn mạch trong chế tạo rôto lồng sóc đồng

Các thanh dẫn được hàn với vành ngăn mạch bằng phương pháp hàn cứng (que hàn là đồng – phốt pho hoặc đồng – bạc). Khi hàn, rôto được để trên bàn xoay 2 theo phương thẳng đứng. Bàn xoay 2 có thể quay trên giá 1 (hình 3.100).

Dây quấn thứ cấp của máy biến áp 11 cấp điện vào trục rôto thông qua vành đồng 4 và đầu hàn 8 có cực than 6. Các cực dẫn dòng đều có nước làm mát ở phía trong (10, 9). Trước khi hàn từng thanh người ta gia nhiệt vành ngăn mạch đến khoảng $100^{\circ}C$ bằng đèn khò xăng để hạn chế mỗi hàn tán nhiệt quá nhanh. Mỗi hàn được cực than đốt đến nhiệt độ khi ta quẹt que hàn vào, que hàn chảy loãng ngay là được ($705^{\circ}C - 730^{\circ}C$). Khi chuyển sang hàn mối khác, ta chỉ cần xoay bàn 2 đi một góc nhỏ nhờ tay gạt 3 trong khi đầu cực than đứng yên. Hàn xong một phía, đảo đều để hàn phía kia của rôto. Yêu cầu hàn phải ngẫu (phải đủ nhiệt độ), diện tích hàn rộng. Nếu chất lượng mối hàn không đảm bảo (mật độ dòng qua mối hàn quá lớn) mối hàn sẽ bị phá hủy dần



Hình 3.100. Hàn nối thanh dẫn với vành ngăn mạch

dẫn do tiếp xúc. Hiện tượng này thường xảy ra đối với động cơ công suất trung bình, các mối hàn không được cấp đủ nhiệt (do vành ngăn mạch quá lớn) nên hàn không ngấu hoặc diện tích hàn quá ít.

3.5.3. Hàn dây dẫn tròn và hàn thanh dẫn hoặc các dây dẫn chữ nhật lớn

Một trong những nguồn nhiệt dùng để hàn nối các chi tiết lớn là máy hàn tiếp xúc cực than. Nguyên lý hàn tiếp xúc cực than như sau: dùng 2 tấm cực than graphít áp sát mối hàn, đặt một điện áp khoảng $6 \div 12V$ lấy từ một máy biến áp hạ áp lên 2 cực than, cực than nhanh chóng nóng đỏ lên, trở thành nguồn nhiệt làm nóng toàn bộ mối hàn. Nếu ở chỗ tiếp xúc bắt đầu bắn ra các tia lửa thì tạm thời ngắt dòng. Nếu nhiệt độ mối hàn chưa đủ ta lại cấp điện tiếp cho đến khi quệt que hàn vào mối hàn, que hàn bị nóng chảy. Ưu điểm của phương pháp này là cấp nhiệt nhanh, không làm biến dạng mặt hàn và ít cháy lây ra xung quanh. Phương pháp này cũng có nhược điểm tổn cực than, nóng lan vào kim hàn nên chóng hỏng kim. Hình 3.98a trình bày sơ đồ nguyên lý và hình 3.98b là một máy hàn loại này.

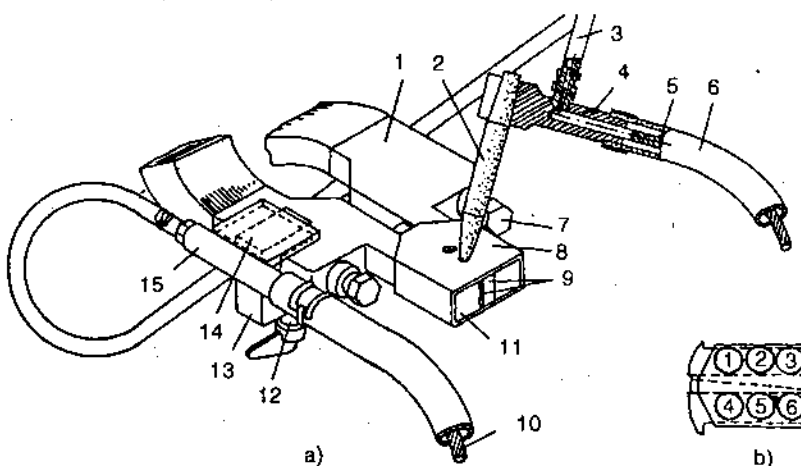
1. Hàn mềm

Hàn mềm có ưu điểm thuận lợi trong việc sửa chữa, công nghệ hàn đơn giản nhưng cường độ cơ khí mối hàn không cao.

Việc hàn nối các sợi dây đồng tròn bằng phương pháp hàn mềm chỉ dùng trong sửa chữa vì năng suất thấp. Khi hàn hai đầu dây phải được cạo sạch cách điện, xoắn cùng chiều với nhau, tấm nhựa thông nóng, dùng mỏ hàn điện thường gia nhiệt đến $200^{\circ}C$ rồi chấm que hàn thiếc vào.

Để hàn thiếc các đầu thanh dẫn (tạo thành vòng dây) người ta phải làm vành ôm hoặc túi vây rồi đổ thiếc điện chảy vào trong đó. Tùy theo kích thước mối hàn và tầm quan trọng của nó mà chọn loại thiếc có độ nóng chảy thích hợp.

Hình 3.101 mô tả cách hàn mềm hai đầu dây của hai thanh dẫn với nhau bằng máy hàn tiếp xúc cực than. Kim hàn 4 được làm mát bằng nước dẫn theo ống 3, ống 15 để đồng thời làm mát cáp dẫn 10. Điện được cấp từ ống cáp 15 qua tấm đồng 14, vấu 13 qua thanh dẫn về cực than rồi theo cáp dẫn 5 về nguồn. Dòng chảy qua mối hàn khoảng $400 \div 600A$, điện áp không



Hình 3.101. Dùng máy hàn tiếp xúc cực than để hàn mềm hai thanh dẫn

a) Phương pháp hàn; b) Thứ tự kiểm tra bằng siêu âm

quá 40V (có thể điều chỉnh được), công suất máy hàn khoảng 16 kVA. Khi nhiệt độ mối hàn đạt nhiệt độ nóng chảy của thiếc ($183 \div 250^{\circ}\text{C}$ đối với thiếc ПСО-40) người ta lấy thanh thiếc đặt vào miệng lỗ trên hộp dây để thiếc từ từ chảy vào cho đến khi điền đầy hộp.

Việc hàn nối các sợi dây đồng tròn nhỏ thường được thực hiện bằng phương pháp hàn hồ quang cực than. Các sợi dây tham gia mối hàn được được cạo sạch cách điện và xoắn cùng chiều với nhau. Cắt phẳng đầu mối hàn. Cực hàn là một cực than graphit (to, nhỏ tùy theo kích thước mối hàn), cấp vào đó một điện áp khoảng 6 – 12 V xoay chiều, dây mát nối với chân mối hàn. Chạm nhẹ cực than vào đầu mối hàn rồi nâng lên ngay. Hồ quang sẽ phát ra dưới cực than làm nóng chảy phần đồng, đầu mối hàn tạo thành một giọt đồng, nối tất các các sợi dây với nhau.

2. Hàn cứng

Hàn theo phương pháp này có độ bền cơ mối hàn cao, mối hàn nhỏ gọn và đẹp nhưng cần nguồn nhiệt lớn khi hàn.

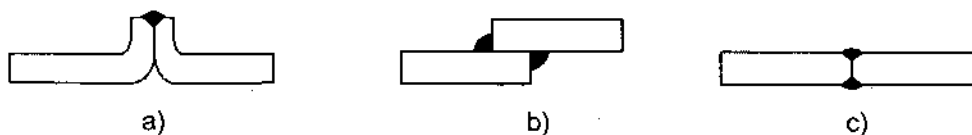
Nguồn nhiệt để hàn có thể dùng các thiết bị tạo nhiệt sau:

- Đèn khò xăng: Đèn khò xăng có ưu điểm là cơ động, ngọn lửa to có thể phủ vật hàn khá lớn nhưng nhược điểm là nhiệt lượng không cao, dễ làm cháy lây cách điện các chi tiết bên cạnh và làm biến dạng mặt hàn.

- Thiết bị hàn axêtilen. Hàn axêtilen có ưu điểm cho nhiệt lượng cao, tập trung nhưng cũng dễ cháy bề mặt hàn và cháy lây cách điện các chi tiết lân cận, thường không áp dụng khi hàn thiếc.

- Hàn bằng máy hàn tiếp xúc cực than.

Khi hàn các thanh dẫn hoặc dây dẫn hình chữ nhật bằng phương pháp hàn cứng, các đầu dây được làm sạch và sắp xếp với nhau như hình 3.102.



Hình 3.102. Sắp xếp các sợi dây hình chữ nhật khi hàn

Việc hàn nối hai đầu dây có tiết diện hình chữ nhật cũng có thể dùng phương pháp hàn hồ quang (dùng que hàn đồng) hoặc hàn hồ quang trong khi bảo vệ acgông (dùng que hàn đồng – bạc). Lúc này các sợi dây cần được làm sạch và xếp cùng chiều.

Chất lượng của mối hàn được đánh giá bởi độ đồng nhất (điền đầy vật liệu hàn) của mối hàn. Việc kiểm tra chất lượng mối hàn rất quan trọng và được thực hiện bằng các thiết bị dựa vào các nguyên lý sau:

- Dùng siêu âm phát vào mối hàn, nếu trong mối hàn có chỗ không đồng nhất siêu âm bị phản hồi và được ghi vào máy. Hình 3.102b chỉ thứ tự vị trí đặt các điểm đặt đầu dò để kiểm tra. Đồng hồ đo trên mặt máy sẽ thông báo tình trạng của từng vị trí một.

- Đốt nóng toàn bộ dây quấn bằng dòng điện bằng 1,5 lần định mức từ một nguồn bên ngoài đến nhiệt độ $70 \div 75^{\circ}\text{C}$. Những khuyết tật trong mối hàn được thể hiện qua hiệu số nhiệt độ của hai thanh dẫn (ở 2 bên mối hàn).

– Kiểm tra mối hàn bằng phương pháp dòng điện xoáy. Đặt mối hàn cần kiểm tra vào từ trường do một đất-tríc đặc biệt tạo ra. Sự thay đổi từ trường do dòng điện xoáy trong mối nối gây ra được cảm biến nhờ một dụng cụ đo đặc biệt đặt trong các cực của mạch từ và đặc trưng cho chất lượng mối nối.

3.5.4. Cố định dây quấn ở rôto

Dây quấn trên rôto có dây quấn phản ứng của máy điện một chiều, dây quấn của động cơ rôto dây quấn, rôto máy phát đồng bộ, động cơ xoay chiều có cổ góp. Riêng rôto máy đồng bộ hệ thống cực từ quay sẽ trình bày ở phần sau. Khi rôto quay, dây quấn chịu một lực ly tâm tỷ lệ với bình phương tốc độ quay. Ví dụ khi đường kính của phần ứng bằng 0,5m, tốc độ quay 1000vg/ph lực ly tâm tác dụng lên dây quấn lớn gấp 250 lần khối lượng của nó. Khi tăng tốc độ lên 2000vg/ph lực ly tâm sẽ tăng 4 lần và mỗi một kg khối lượng trên chu vi của phần ứng chịu một lực tác dụng là một tấn (1000kG).

Để giữ dây quấn người ta dùng nêm và đai. Nêm được đóng vào gờ miệng rãnh để giữ dây quấn phần rãnh trong các rôto cỡ nhỏ không có đai. Trong các máy lớn, phải vừa nêm vừa đai phần rãnh. Để giữ dây phần đầu nối nhất thiết phải quấn đai.

Đai thép được quấn từ dây thép đặc biệt tráng thiếc, có độ bền cơ khí cao (180kG/mm²) đường kính 0,2 đến 2,5mm. Khi quấn đai kim loại phải kéo căng đến lực quy định, được đo bằng cân lực. Lực này nén dây quấn xuống phía đáy rãnh và trị số phải lớn hơn lực ly tâm khi rôto quay, do đó dây quấn không bị xô dịch trong rãnh.

Lực kéo khi đai tùy theo đường kính phần ứng, đường kính dây đai, số lớp đai được cho trong bảng sau:

Đường kính phần ứng (mm)	Đường kính dây đai (mm)	Lực kéo dây khi đai (kG)			
		Đai tạm	Đai chính thức		
			Lớp I	Lớp II	Lớp III
Từ 100 – 200	0,8	35 – 60	30 – 50	30 – 50	30 – 45
201 – 400	1	65 – 90	50 – 80	50 – 80	45 – 70
401 – 600	1,2	95 – 130	80 – 120	75 – 115	65 – 105
601 – 1000	1,5	140 – 230	125 – 185	115 – 175	100 – 165
Lớn hơn 1000	2	250 – 360	220 – 330	205 – 315	180 – 290

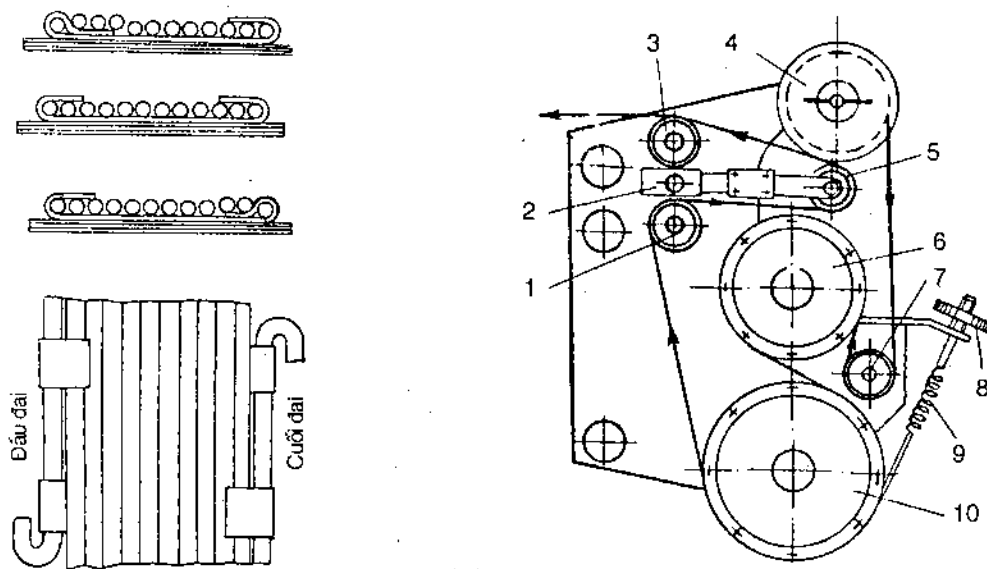
Theo bảng trên ta thấy khi đai nhiều lớp sau phải kéo với lực nhỏ hơn (nếu kéo căng hơn lớp trong mất tác dụng). Giữa các lớp đai đặt cách diện bằng bìa amiăng để hạn chế dòng xoáy trong đai. Nếu không có đai tương ứng theo bảng trên mà phải thay dây khác thì phải lưu ý độ bền của mỗi vòng dây phụ thuộc vào bình phương của đường kính. Ví dụ theo tính toán cần phải quấn 50 vòng dây đường kính 1,2mm, nhưng

thay dây có đường kính 1mm thì cần phải quấn $50 \cdot \frac{1,2^2}{1^2} = 72$ vòng. Khi quấn đai ở phần

lõi sắt, người ta phải tiện bớt lõi sắt để tạo thành rãnh xung quanh rôto. Điều cần lưu ý là chiều rộng rãnh đó không quá 25 – 30mm để tránh dòng điện xoáy quá lớn trong vùng đai.

Trước khi đai chính thức cần tiến hành đai tạm với lực kéo đai lớn để dồn ép dây quấn cho chặt. Khi bắt đầu đai chính thức thì bỏ dây đai tạm ra.

Kết cấu đai nhìn và sơ đồ nguyên lý máy quấn đai như hình 3.103. Các miếng sắt lót cách đều nhau ở dưới đai có tác dụng giữ không cho vòng đai ngoài cùng lỏng ra. Dưới lớp đai và các miếng sắt lót là lớp bìa cách điện mica mềm hoặc các tông cách điện. Sau mỗi lớp đai cần tráng thiếc để liên kết tất cả các vòng đai lại với nhau.



Hình 3.103. Kết cấu đai và cơ cấu kéo đai

a) Kết cấu đai; b) Cơ cấu kéo đai

Đai thép có nhược điểm tạo ra một vùng có dòng xoáy khá lớn, gây tổn hao năng lượng, công nghệ đai phức tạp, nếu dây đai bị đứt, tuột sẽ gây hỏng cả phần stato, dùng nhiều vật liệu đắt tiền, giá thành cao. Hiện nay người ta đã tìm được phương pháp và vật liệu mới thay thế đai kim loại. Băng sợi thủy tinh được chọn làm vật liệu đai có thể loại trừ được các nhược điểm của đai thép. Vấn đề ở đây là phải tìm được một loại keo dính có cường độ cơ khí cao, để dính các vòng dây thành một khối đồng nhất. Chất keo đó là epôxi ЭТP5. Người ta đã áp dụng vật liệu đai mới này cho một động cơ kéo tàu điện ngầm và thu được kết quả rất tốt: đã tiết kiệm được 65kg đai kim loại, 4,7kg thiếc, 15kg mica mềm và 5kg các tông cách điện. Khi đai bằng thủy tinh được kéo với lực 40 – 100kG tùy theo kích thước của phần ứng. Hình 3.103b giới thiệu một cơ cấu băng khi đai bằng băng thủy tinh. Sau khi đai, rôto được đem đi sấy sấy bình thường, lớp epôxi sẽ khô cứng và cùng với băng thủy tinh tạo thành một vòng đai đồng nhất, có độ bền cơ thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật. Theo hình 3.103b ta thấy cơ cấu máy quấn băng khi đai rất đơn giản. Băng được quấn trong tang 4 đi qua con lăn dẫn hướng 7 vòng qua tang 6 và 10 để tạo ra lực kéo cần thiết. Băng đi tiếp qua các trục lăn dẫn hướng 1, 3, 5 và từ đó được quấn lên phần ứng. Lực kéo băng được điều chỉnh bằng lò xo 9 và vít 8 và được tra bằng cân lực 2.

Khi thay thế đai kim loại bằng đai thuỷ tinh số vòng đai được tính toán theo công thức:

$$W_u = \frac{\sigma_c \cdot \pi d_c^2 W_c}{4 \sigma_u \cdot S_u}$$

Trong đó: σ_c – giới hạn bền khi kéo đai thép bằng kim loại 140 ÷ 170kG/mm²

d_c – đường kính dây kim loại mm

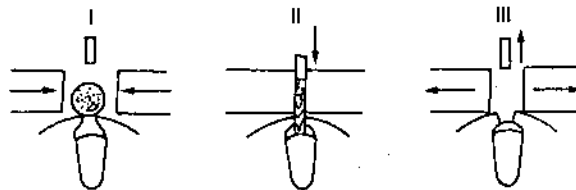
W_c – số vòng đai kim loại

σ_u – giới hạn bền khi kéo đai thuỷ tinh bằng 40kG/mm²

S_u – tiết diện băng thuỷ tinh mm²

Tiết diện tổng của đai thuỷ tinh thường lớn gấp 2 đến 2,5 lần.

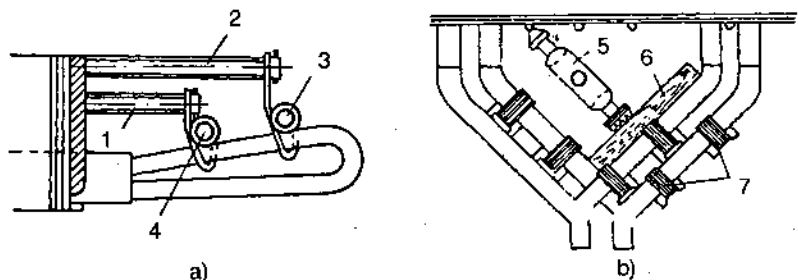
Nêm rãnh ở rôto cũng như ở stato thường dùng gỗ, tre. Nếu dùng tre gỗ phải được tẩm sấy kỹ trước khi dùng để hạn chế sự co ngót về sau. Tiết diện ngang của nêm thường có hình thang, hình bán nguyệt hoặc gần với hình thoi (trông rãnh hở). Nhược điểm của nêm loại này là phải đóng nêm bằng tay, do đó năng suất thấp; nêm được đóng từ hai đầu vào để gây rách cách điện trong rãnh. Gần đây người ta áp dụng phương pháp mới có thể khắc phục được những nhược điểm trên của nêm thông thường. Theo phương pháp mới, nêm được sản xuất dưới dạng cuộn dây bằng chất dẻo. Khi nêm, dùng 2 chày ép ở hai bên để sợi dây bẹp xuống có chiều dày đủ lọt miệng rãnh. Dùng một chày khác áp từ trên xuống cho nêm lọt vào trong rãnh (hình 3.104). Cắt nêm khỏi cuộn dây, thế là xong. Phương pháp này cho năng suất rất cao (hơn 80 rãnh trong một phút), dễ cơ khí hoá, không làm hỏng cách điện trong rãnh và đã áp dụng cho rôto cũng như stato động cơ dây thống nhất cỡ vỏ số 3.



Hình 3.104. Phương pháp nêm rãnh

3.5.5. Cố định dây quấn stato

Đối với các bố dây đặt trong rãnh hở vì phần đầu nối đã được bọc kín nên không đai bó cả phần đầu nối của tất cả các bố. Trong trường hợp này phần đầu nối của các bố có xu hướng tách ra khỏi nhau nên giữa chúng bao giờ cũng có khe hở.



Hình 3.105. Cố định phần đầu nối dây quấn stato

Việc giữ phần đầu nối có thể thực hiện bằng cách đặt một hoặc một số (có thể tới 4) vòng thép kín phía gáy phần đầu nối và cột chặt các bồi dây vào đó (hình 3.105).

Đối với các máy công suất lớn ($> 100\text{kW}$) các vành thép này còn được neo giữ với một số ti thép (1,2) cấy vào vành ép lõi sắt stato. Các vành đai 3, 4 được cách điện bằng băng mica và băng sợi thủy tinh có tấm sơn. Vì phần đầu nối dây quấn có hình côn mà vành đai lại ở phía sau nên phải đặt nó vào trước khi đặt các bồi dây vào rãnh.

Khoảng cách giữa các bồi dây ở phần đầu nối phải được giữ cách đều. Để đảm bảo điều đó người ta dùng kích 5 để nắn ép (gián tiếp qua mảnh gỗ đệm 6) phần đầu nối các bồi dây và đặt vào giữa chúng các tấm cách điện 7. Các tấm cách điện này không cần lớn tránh làm lấp kín khi hở giữa hai bồi dây (để thông gió tốt) và được cột chặt vào dây quấn để khỏi rơi ra ngoài.

3.5.6. Cố định dây quấn máy biến áp

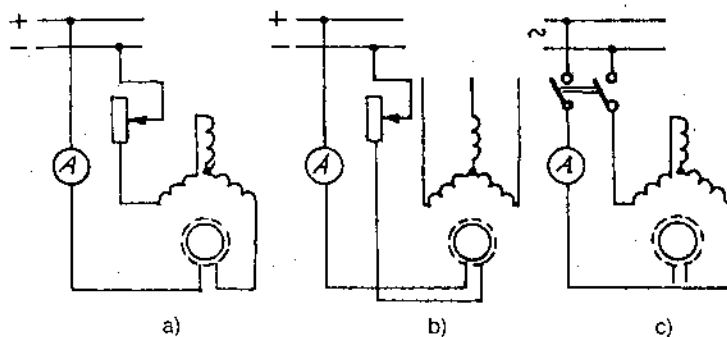
Khi xảy ra quá dòng điện trong MBA (dòng điện không tải, mang tải đột ngột, ngắn mạch...) dòng điện chảy trong dây quấn có thể bằng vài chục lần dòng định mức. Lực điện động do tác động giữa dòng điện này với từ trường tản sẽ rất lớn, có thể làm phá hỏng cuộn dây hoặc xô dịch chúng, làm cho khoảng cách điện thay đổi dẫn đến giảm tuổi thọ của máy. Vì vậy việc cố định các vòng dây, cuộn dây và các đầu dây ra của dây quấn là một công đoạn hết sức quan trọng. Sau đây giới thiệu một số cách cố định phổ biến nhất hiện nay.

1. Cố định các vòng dây

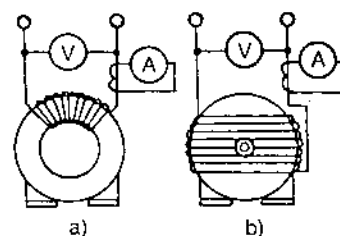
Đối với dây quấn hình trụ nhiều lớp dây dẫn tròn, dây quấn quấn bằng băng đồng, các vòng dây ở đầu và cuối mỗi lớp được chặn bằng giấy cách điện có chiều dày bằng đường kính sợi dây có cách điện. Đối với dây quấn hình trụ, dây dẫn chữ nhật, các vòng dây ở hai đầu được chặn bằng các tấm giấy bakelit. Các vòng dây ở giữa được giữ bằng sơn cách điện dính các vòng và giấy cách điện lớp với nhau. Đối với dây quấn hình xoắn và xoáy ốc liên tục các vòng dây được giữ bằng các tấm cách và các dải băng giấy nện đặt trong rãnh mang cá của tấm cách (hình 3.106).

2. Cố định các cuộn dây các pha với lõi thép vào với nhau

Dây quấn hạ áp của MBA được bố trí bên trong, gần với trụ thép. Để cố định cuộn hạ áp thường người ta đóng các nêm hình trụ vào khoảng trống giữa các bậc của trụ và ống cách điện của cuộn dây. Giữa các dây quấn hạ và cao áp có rãnh dẫu dọc, rãnh dẫu này được tạo ra bằng cách đóng các thanh gỗ hình trụ dọc theo đường sinh của cuộn dây. Các thanh gỗ này đồng thời có tác dụng ép cuộn dây hạ áp vào trong và đẩy căng cuộn cao áp ra ngoài, làm cho chúng không chuyển dịch được theo hướng kính. Theo hướng trục, các cuộn dây được giữ khoảng cách với gông trên và gông dưới bằng các miếng gỗ hoặc phíp. Các miếng gỗ này được cố định lên một tấm cách điện hình xuyên đồng thời tạo ra rãnh dẫu ngang trên và dưới để dẫu có thể đi vào và đi ra các rãnh thông dẫu dọc. Điều chỉnh khoảng cách các xà ép gông bằng đai ốc trên các ti thép, các cuộn dây sẽ được ép chặt giữa các xà ép. Trong các MBA lớn trên xà ép người ta bố trí các bu lông ép cục bộ lên toàn phần cuộn dây như hình 3.107.



Hình 3.106. Giữ các vòng dây bằng tấm cách



Hình 3.107. Các phương pháp ép giữ cuộn dây máy biến áp

3. Cố định các đầu dây ra

Các đầu dây ra từ dây quấn đến chân sứ được đi trong ống giấy cách điện và cột chặt với một giá gỗ, đảm bảo đầu dây không xô dịch làm thay đổi khoảng cách cách điện khi có dòng điện ngắn mạch.

3.5.7. Cố định dây quấn khí cụ điện

Dây quấn khí cụ điện thường có kích thước không lớn và được quấn trong khung bằng nhựa nên việc cố định thường dùng phương pháp tẩm sơn, tổ hợp cách điện (đúc trong bitum hoặc epôxi). Riêng đối với máy biến điện áp hoặc máy biến dòng điện áp cao thì việc cố định dây quấn tương tự như đối với máy biến áp.

3.6. TẮM, SẤY DÂY QUẤN

3.6.1. Mục đích ý nghĩa của việc tẩm, sấy dây quấn

Dây quấn máy điện sau khi chế tạo xong được đem đến phân xưởng tẩm, sấy. Ở phân xưởng này người ta sấy khô dây quấn rồi nhúng vào một loại sơn cách điện, sau đó đem sấy khô. Mục đích của công đoạn này là nâng cao tuổi thọ cách điện của dây quấn. Thời hạn phục vụ của máy điện được kéo dài do các yếu tố sau:

1. Tẩm, sấy nâng cao được cường độ cách điện của dây quấn

Cường độ cách điện được nâng cao do hơi ẩm trong cách điện bị rút đi trong quá trình sấy, đồng thời làm đồng nhất vật liệu cách điện do tẩm sơn.

2. Tẩm, sấy nâng cao độ bền điện của vật liệu cách điện

Sơn cách điện khi khô đi cũng là một vật liệu cách điện tốt. Việc tẩm sơn cách điện làm cho quá trình phá huỷ cách điện dưới tác dụng của điện áp xảy ra chậm hơn. Mặt khác, độ bền điện của cách điện được nâng cao do sơn cách điện ngăn chặn được các tác nhân làm hỏng cách điện như vi khuẩn, hoá chất, ẩm v.v...

3. Tẩm, sấy nâng khả năng chịu nhiệt của vật liệu cách điện

Tẩm sấy làm giảm nhanh tốc độ phá huỷ cách điện do quá trình ôxi hoá xảy ra trong đó nên có thể nâng cao khả năng chịu nhiệt. Chẳng hạn các vật liệu cấp Y sau khi tẩm sấy được coi là vật liệu cấp chịu nhiệt A (từ 90°C lên 105°C).

4. Tẩm sấy để nâng cao khả năng chịu ẩm của vật liệu cách điện

Các lỗ hổng trong vật liệu cách điện bị sơn cách điện chiếm chỗ nên hơi ẩm không vào được, làm cho vật liệu cách điện mất khả năng hút ẩm.

5. Tăng khả năng truyền nhiệt do sơn cách điện điền đầy các lỗ hổng làm cho dây quấn trở thành một khối đồng nhất. Nhiệt do tổn hao trong dây quấn được truyền nhanh ra ngoài, không gây nóng cục bộ do đó nâng cao tuổi thọ cách điện.

6. Tẩm sấy nâng cao độ bền cơ khí

Sau khi tẩm các vòng dây của dây quấn được gắn liền với nhau tạo thành một khối vững chắc. Quá trình mở máy hoặc mang tải đột ngột không làm các vòng dây xô dịch do lực điện động, điều này làm cách điện không bị hỏng và nâng cao được thời hạn phục vụ.

7. Tẩm sấy tạo ra lớp bảo vệ cách ly dây quấn với môi trường ngoài, tránh được sự phá hoại do vi khuẩn hoặc hoá chất.

Nói chung việc tẩm sấy có thể kéo dài tuổi thọ của dây quấn lên gấp đôi so với không tẩm sấy. Ở nước ta khí hậu nhiệt đới ẩm là tác nhân xấu tới tuổi thọ cách điện nên việc tẩm sấy càng trở nên quan trọng.

3.6.2. Quá trình sấy, tẩm và sơn

Vật liệu cách điện trước khi tẩm bao giờ cũng bị nhiễm ẩm kể cả vật liệu cao cấp. Bởi vậy, trước khi tẩm cần phải sấy khô toàn bộ dây quấn (hoặc bố dây). Trong trường hợp tẩm sơn emunxi thì không cần sấy vì dung môi sơn emunxi là nước. Hơi ẩm trong cách điện sẽ hỗn hợp với nước trong sơn và được loại trừ sau khi sấy khô.

Nhiệt độ sấy càng cao quá trình bay hơi của hơi nước xảy ra càng nhanh nhưng không được cao quá cấp chịu nhiệt tương ứng của vật liệu cách điện. Có thể đẩy nhanh quá trình sấy khô dưới áp suất thấp nhưng chú ý trước khi hút chân không phải sấy nóng dây quấn đến nhiệt độ quy định trước.

Phương pháp tẩm cơ bản là nhúng toàn bộ dây quấn đã sấy khô (còn nóng) vào sơn cách điện. Sơn được thấm sâu vào cách điện nhờ mao dẫn và áp suất do khối lượng sơn bên trên tạo ra. Số lần tẩm sơn phụ thuộc vào điều kiện vận hành của máy điện và loại vật liệu cách điện được dùng.

Khi tẩm trong bình chân không và áp lực cần phải theo một quy trình định trước, đảm bảo thời gian và áp lực quy định (3 đến 5 phút dưới áp lực 7 đến 8kG/cm²).

Sau khi tẩm để ráo sơn người ta tiếp tục sấy khô sơn. Giai đoạn sấy khô có thể chia làm 2 công đoạn: loại trừ dung môi của sơn và thiêu kết lớp màng sơn. Thời gian sấy và nhiệt độ sấy tùy thuộc điện trở cách điện của vật liệu.

Các máy điện làm việc ở điều kiện khắc nghiệt như độ ẩm cao, không khí bị iôn hoá nhiều thì cần phải tổ hợp dây quấn trong một hỗn hợp bitum hoặc epôxi đặc biệt. Quá trình tổ hợp cách điện dây quấn là: sấy dây quấn trong chân không – tẩm sơn trong chân không và dưới áp lực ($7 \div 8 \text{ kG/cm}^2$) – sấy khô. Sau khi tổ hợp cách điện trong dây quấn không còn các lỗ hổng, ổ khí, toàn bộ dây quấn là một khối đồng nhất. Nhiệt độ áp dụng ở chế độ tổ hợp phụ thuộc vào cấp chịu nhiệt của vật liệu cách điện. Công nghệ này thường áp dụng cho các máy điện có điện áp cao.

Dây quấn sau khi tẩm sấy được phủ lên bề mặt một lớp sơn phủ. Lớp phủ này có tác dụng cách ly dây quấn với môi trường. Sơn phủ thường có màu ghi hoặc màu hồng. Để tạo lớp sơn mỏng người ta dùng đầu phun sơn với áp suất $4 \div 6 \text{ kg/cm}^2$ tạo lớp bụi sơn bám vào bề mặt dây quấn. Sau khi sơn có thể để khô tự nhiên trong không khí hoặc sấy lại trong lò sấy.

3.6.3. Các thiết bị để tẩm, sấy

1. Các thiết bị để sấy

Quá trình sấy không phải chỉ thực hiện khi sản xuất mà còn phải thực hiện trước và sau khi lắp ráp. Đối với những máy lớn, việc sấy trước và sau khi lắp ráp được thực hiện ở hiện trường, rất xa nơi chế tạo. Trong quá trình vận hành cũng có nhiều tình huống phải sấy bảo dưỡng. Các phương pháp sấy phải đảm bảo thoả mãn mọi tình huống trong mọi điều kiện. Về nguyên tắc mọi nguồn nhiệt đều có thể dùng để sấy máy điện.

a) Sấy trong tủ sấy hoặc buồng sấy

Ở các nhà máy chế tạo tùy theo sản lượng người ta trang bị một buồng sấy có nguồn nhiệt là dây điện trở. Buồng sấy có 2 vỏ, giữa hai vỏ bố trí các phần tử đốt nóng. Bên ngoài có lớp cách nhiệt để giữ nhiệt cho buồng sấy. Phía trên buồng sấy có đường thoát hơi để đưa không khí chứa hơi nước ra ngoài. Phía dưới hoặc bên cạnh có bố trí quạt gió để thông gió. Cửa buồng sấy có gioăng kín. Để đưa máy vào buồng sấy người ta dùng các xe goòng chạy trên đường ray. Buồng sấy cũng có thể kết cấu theo kiểu kín để sấy dưới áp suất thấp (hút chân không). Tủ sấy hay buồng sấy được khống chế và điều chỉnh nhiệt trong phạm vi $80 \div 120^\circ\text{C}$. Bộ nguồn nhiệt được thiết kế cấp nhiệt nhanh (công suất lớn) để giảm thời gian đốt nóng ban đầu. Vỏ ngoài của buồng được xây bằng gạch chịu lửa để đảm bảo tuổi thọ lâu dài và giữ nhiệt. Sấy bằng tủ sấy hoặc bằng buồng sấy có ưu điểm để giữ nhiệt nên hiệu suất cao, tiết kiệm được năng lượng và đặc biệt có thể sấy chân không với thời gian sấy rất ngắn.

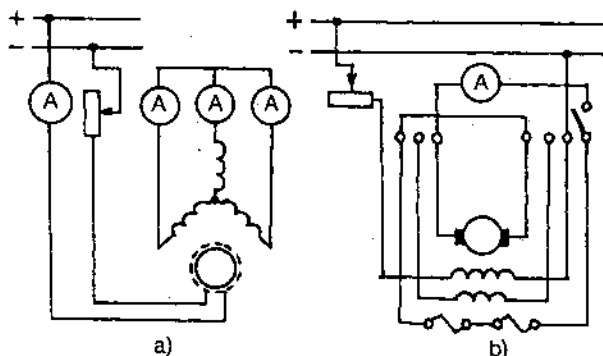
b) Sấy ngắn mạch

Sấy ngắn mạch là cấp trực tiếp vào dây quấn một dòng điện đủ để đốt nóng dây quấn đến nhiệt độ định trước. Nhiệt được toả từ dây quấn ra vì chính dây quấn là phần tử đốt nóng. Ưu điểm của phương pháp này là cấp nhiệt nhanh nếu ngay từ đầu ta điều chỉnh để cấp dòng lớn đột ngột (phương pháp sấy bằng nguồn nhiệt ngoài không có được ưu điểm này vì phải có thời gian để dẫn nhiệt vào trong). Phương pháp này còn có ưu điểm là nhiệt độ ở trong dây quấn cao hơn nên hơi nước có xu hướng bị đẩy ra phía ngoài nhanh hơn. Nhược điểm của phương pháp này là khó sấy với số lượng lớn và cần phải có máy biến áp hạ áp có thể điều chỉnh được điện áp để đáp ứng cấp dòng trong một phạm vi rộng rãi. Phương pháp này tiện lợi trong việc sửa chữa, lắp ráp, bảo dưỡng máy điện. Đối với mỗi loại máy ta có các biện pháp riêng.

Khi sấy máy đồng bộ người ta thường dùng dòng một chiều để cấp vào dây quấn. Sơ đồ đấu dây để sấy như hình 3.108.

Trên hình 3.108a dòng được cấp vào cả stato và rôto trong trường hợp kích thước hai dây quấn đó xấp xỉ nhau. Các hình 3.108b và c chỉ sấy một trong hai dây quấn, dây quấn

kia sẽ được nóng theo. Vì sấy tĩnh nên dòng cấp vào các dây quấn chỉ vào khoảng 0,5 đến 0,7 dòng định mức. Trong quá trình sấy cần thường xuyên kiểm tra nhiệt độ dây quấn.



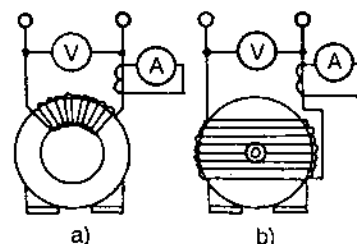
Hình 3.108. Sơ đồ đấu dây để sấy máy điện đồng bộ bằng dòng một chiều

Khi sấy động cơ không đồng bộ nếu là kiểu hở (IP11) hoặc bảo vệ (IP23) có thể để nguyên rôto trong động cơ để sấy nhưng tìm cách hãm không cho quay. Nếu động cơ kiểu kín thì phải tháo rôto ra ngoài. Dòng điện cấp vào là dòng 3 pha hoặc 1 pha. Điện áp đặt lên dây quấn khoảng 5 đến 10% định mức nếu không tháo rôto và khoảng 30 đến 40% khi bỏ rôto ra ngoài. Điện áp đặt cần phải căn cứ vào nhiệt độ ở chế độ ổn định, về nguyên tắc không được cao hơn nhiệt độ của cấp chịu nhiệt tương ứng. Nếu sấy 2 động cơ giống nhau ta có thể nối theo sơ đồ hình 3.109a.

Nếu sấy bằng dòng một chiều hoặc một pha thì nối mạch theo hình 3.109b. Nguồn sấy bằng phương pháp ngắn mạch thường là các loại máy phát hàn hoặc máy biến áp hàn. Thời gian sấy tùy thuộc vào mức độ ẩm. Trong quá trình sấy tiến hành kiểm tra điện trở cách điện để quyết định thời gian sấy.

c) Sấy bằng phương pháp cảm ứng

Phương pháp này lợi dụng tổn hao do dòng điện xoáy trong mạch từ làm nguồn nhiệt để sấy và có thể áp dụng cho tất cả các loại máy điện. Có hai cách tạo từ trường xoay chiều trong mạch từ stato, ta quấn một số vòng dây lên nó như hình 3.109a và đặt lên dây quấn đó điện áp xoay chiều một pha.



Hình 3.109. Sơ đồ đấu dây để sấy máy điện bằng phương pháp cảm ứng

Dây quấn từ hoá để sấy cảm ứng được tính toán như sau.

$$\text{– Số vòng dây: } w = \frac{45U}{0,0001.B.Q}$$

Trong đó B – từ cảm thường chọn trong khoảng 6000 đến 8000 Gaus.

U – điện áp đặt lên dây quấn từ hoá.

$$Q = k_c(1 - nb)h_c = k_c.l_c.h_c$$

k_c – hệ số ép chặt lõi sắt, $k_c = 0,92 \div 0,95$.

l_c – chiều dài toàn phần của lõi sắt [cm].

h_c – chiều cao gông stato (cm).

n – số rãnh thông gió ngang.

b – chiều rộng rãnh thông gió ngang (cm).

– Sức từ hoá cần thiết:

$$I_w = \pi \cdot D_{tb} \cdot i_{w_0}$$

Trong đó D_{tb} – đường kính trung bình của lõi sắt stato tính bằng cm; i_{w_0} – sức từ động riêng (trên một cm chiều dài mạch từ) tùy theo loại thép (bảng dưới).

Từ cảm [Gaus]	Sức từ hoá i_{w_0} đối với thép	
	Hợp kim nhẹ	Hợp kim cao
5000	0,66 – 0,85	1,5
6000	1,1 – 1,2	2,2
7000	1,3 – 1,45	2,75
8000	1,7 – 2	3,7
10.000	2,15 – 2,8	4,3 – 5,6

– Dòng điện chạy trong dây quấn từ hoá $I[A]$

$$I = aw/w$$

aw – suất từ hoá; w – số vòng dây

Dây quấn từ hoá được chọn cách điện với lõi thép. Kích thước dây được chọn sao cho dòng I trên chỉ chiếm khoảng 0,5 đến 0,7 dòng cho phép của nó.

Sấy bằng tổn hao trong vỏ stato (hình 3.109b) được thực hiện bởi dây quấn từ hoá quấn trực tiếp lên vỏ máy. Nguồn điện sấy thường là máy hàn (biến áp) có điều chỉnh dòng. Dây quấn từ hoá trong trường hợp này được tính toán như sau:

– Xác định công suất tiêu thụ để sấy:

$$P_{dm} = k \cdot F (t_s - t_m) [kW]$$

Trong đó: F – diện tích bề mặt vỏ máy [m^2]; k – hệ số truyền nhiệt, $k = 12 \cdot 10^{-3} kW/(m^2 \text{ độ})$ đối với máy không giữ nhiệt và $k = 5 \cdot 10^{-3} kW/(m^2 \text{ độ})$ đối với máy có giữ nhiệt (vây kín).

t_s ; t_m là nhiệt độ sấy và nhiệt độ môi trường. Nhiệt độ sấy thường lấy bằng $90 \div 100^\circ C$.

– Tổn hao riêng được xác định theo công thức:

$$\Delta p = P_{dm} / F_0 [kW/m^2]$$

trong đó F_0 là diện tích bề mặt vỏ phần nằm dưới dây quấn từ hoá [m^2].

– Số vòng dây của dây quấn từ hoá:

$$W = \frac{U \cdot A}{L}$$

Trong đó: U – điện áp đặt lên dây quấn [V]; L – chiều dài một vòng dây [m]; A – hệ số phụ thuộc vào trị số Δp .

– Xác định cường độ dòng trong dây quấn:

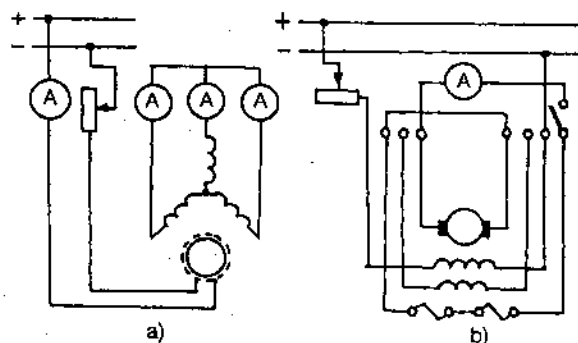
$$I = \frac{P_{dm}}{U \cos \varphi} [A]$$

Trong đó $\cos \varphi$ sơ bộ lấy bằng 0,5 đến 0,7. Tiết diện dây dẫn được chọn theo dòng điện trên cơ sở lấy mật độ dòng khoảng 3A/mm^2 .

Hệ số A phụ thuộc vào Δp cho bảng sau:

Δp	A	Δp	A	Δp	A	Δp	A
0,1	4,21	1	1,85	1,8	1,49	2,8	1,27
0,3	2,76	1,2	1,72	2,0	1,44	3	1,24
0,5	2,3	1,4	1,63	2,2	1,39	3,25	2,2
0,7	2,06	1,5	1,6	2,4	1,35	3,5	1,18
0,9	1,9	1,6	1,55	2,6	1,31	4	1,12

Phương pháp sấy cảm ứng trên nguyên tắc dùng tổn hao trong dây quấn làm nguồn nhiệt sấy thực chất là sấy ngắn mạch bằng dòng do cảm ứng trong chính dây quấn sinh ra. Phương pháp này thường áp dụng để sấy các máy phát đồng bộ hoặc máy điện một chiều kiểu hở trước khi đưa vào vận hành. Dùng động cơ sơ cấp quay máy phát, kích từ bằng dòng điện một chiều, ngắn mạch 3 đầu ra của máy phát, trong dây quấn 3 pha sẽ có dòng ngắn mạch chảy. Để khống chế dòng điện trong máy phát ta có thể điều chỉnh tốc độ quay của máy phát hoặc điều chỉnh kích từ của nó. Dòng sấy trong các pha bằng 0,7 đến 1 dòng định mức.



Hình 3.110. Sơ đồ đấu dây để sấy máy điện đồng bộ và máy một chiều bằng dòng cảm ứng

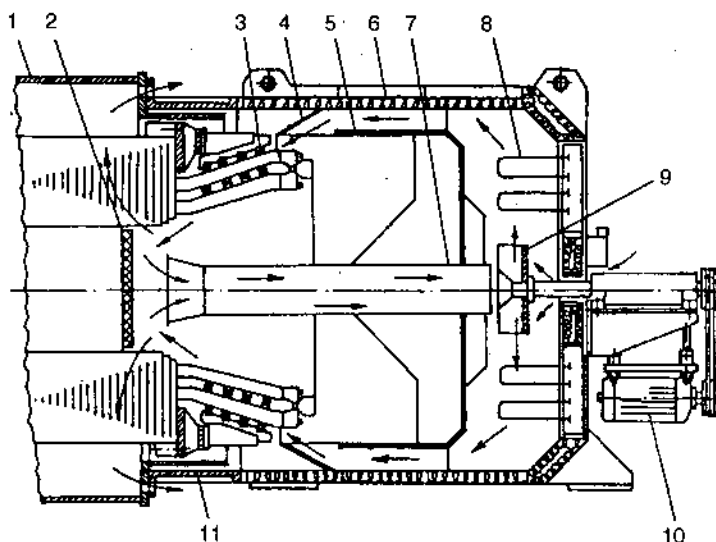
Trong khi sấy chú ý theo dõi dòng đồng thời theo dõi nhiệt độ dây quấn. Đối với máy một chiều mắc mạch như hình 3.110, phương pháp sấy giống như đối với máy phát đồng bộ.

d) Sấy máy điện trong và sau khi lắp ráp hoặc sấy bảo dưỡng máy trước khi đưa vào vận hành

Trong quá trình lắp ráp máy lớn có dây quấn phần tử cứng người ta phải sấy phần đầu nối để nắn ép và đai giữ. Trong trường hợp đó sấy bằng nguồn nhiệt ngoài với hệ thống hướng gió như hình 3.11 là rất hợp lý.

Trên hình 3.111 quạt gió 9 được quay bằng động cơ điện 10 thổi qua phần tử đốt nóng 8, đi qua phần đầu nối theo khe giữa vỏ trong 5 và vỏ ngoài 6 của lò. Sau khi ra khỏi phần đầu nối, một số ít bị lọt ra ngoài theo các rãnh thông gió ngang trục còn phần lớn được hút quay trở lại quạt theo ống 7. Đoạn ống bao 11 để nối vỏ ngoài của lò với thân máy tùy theo chiều dài phần đầu nối mà thay đổi. Khí nóng ở đây gần như đi trong một chu trình kín nên hiệu suất lò sấy rất cao.

Nếu muốn sấy toàn bộ dây quấn của máy tại hiện trường người ta sấy máy điện trong một buồng sấy lưu động như hình 3.112.



Hình 3.111. Sấy phần đầu nổi máy điện bằng máy sấy lưu động

Gió nóng được một quạt gió thổi qua nguồn nhiệt và đi vào buồng sấy, qua máy điện rồi lại trở về phía sau quạt gió tạo thành chu trình kín. Thỉnh thoảng người ta mở cửa gió để thoát hơi ẩm ra ngoài. Nguồn nhiệt ở đây có thể là dây điện trở, lò đốt bằng dầu hoặc than đá tùy theo điều kiện tại nơi ấy. Nếu nguồn nhiệt là lò điện, có thể tính công suất theo công thức sau:

$$P = 0,07 Q_B C_p (t_2 - t_{m1}), [\text{kW}]$$

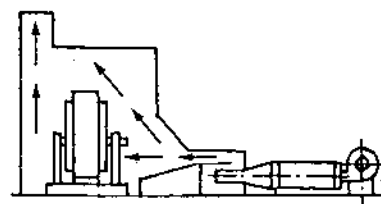
Trong đó: P – Công suất của lò, [kW];

Q_B – lượng khí do quạt gió thổi buồng sấy, [$\text{m}^3/\text{phút}$];

C_p – Nhiệt dung của không khí bằng 0,273 kcal/kg;

t_2 – Nhiệt độ sấy;

t_{m1} – Nhiệt độ môi trường xung quanh.



Hình 3.112. Sấy máy điện bằng phương pháp thổi gió nóng

Lượng không khí thổi qua buồng sấy trong một phút Q_B lấy bằng 1,5 Q_k . Q_k – thể tích buồng sấy (m^3).

Trong thực tế người ta tính sơ bộ công suất lò sấy như sau:

- Máy (cần sấy) công suất đến 500kW cần công suất sấy 3,5% công suất máy.
- Máy công suất từ 500kW đến 1000kW, cần công suất sấy từ 1,5 – 3% công suất máy.

Chế độ sấy có thể áp dụng như sau: nhiệt độ không khí sấy không quá 90°C , nhiệt độ dây quấn không quá 80°C , thời gian sấy không hạn chế, nói chung điện trở cách điện dây thì dừng.

e) Sấy bằng nước nóng hoặc khí nóng

Nước nóng hoặc khí nóng được gia nhiệt từ một nguồn nhiệt nào đó được bơm vào một hệ thống ống xoắn (calorifair) đặt trong lòng thiết bị cần sấy. Để giữ nhiệt cần vây kín thiết bị cần sấy giống như một cái lò sấy. Nếu máy lớn có hệ thống làm mát bằng

nước hoặc bằng khí đặt xen trong dây quấn hoặc lõi sắt ta có thể nén trực tiếp nước nóng (khí nóng) vào đó. Nước nóng hoặc khí nóng cần được khép kín thành một hệ thống tuần hoàn để tiết kiệm nhiệt năng.

2. Các thiết bị để tẩm sơn

Trong sản xuất dây quấn máy điện, tùy theo mức độ quan trọng và điện áp của máy người ta áp dụng các biện pháp tẩm khác nhau.

Đối với các máy điện thông dụng điện áp không quá 600V, phương pháp tẩm sơn là nhúng chìm toàn bộ dây quấn trong sơn (đã được sấy khô) cách điện cho đến khi không còn thấy sỏi bột nữa là được. Thiết bị ứng với phương pháp này là một bể chứa sơn. Nhược điểm của phương pháp này là sơn thấm thấu vào dây quấn không đều do một số lỗ hỏng bị sơn bao xung quanh tạo thành một ổ khí không thoát ra ngoài được. Thiết bị sơn tẩm hở nên dung môi bị bay hơi mất nhiều, cần phải bổ sung dung môi liên tục để đảm bảo độ nhớt vừa phải. Nhược điểm này có thể khắc phục phần nào bằng cách cho dâng sơn vào bể tẩm từ một bể sơn khác. Mức sơn được dâng lên ngập dần thiết bị và đẩy không khí ra ngoài. Sau khi tẩm xong cho rút sơn về bể chứa để hạn chế bay hơi của dung môi.

Đối với dây quấn các máy điện cần có độ tin cậy cao hơn hoặc điện áp cao hơn người ta tẩm chúng trong chân không. Khi toàn bộ thiết bị cần tẩm đã được thả vào thùng tẩm người ta đậy nắp lại rồi tiến hành rút chân không (khi thiết bị còn nóng). Khi rút chân không toàn bộ hơi ẩm và không khí trong dây quấn được rút hết (đến một độ chân không nào đó) người ta mở van cho sơn từ một thùng khác dâng lên. Việc rút sơn ra khỏi thùng tẩm có thể dùng khí nén hoặc đặt thùng sơn thấp hơn thùng tẩm. Trong quá trình ngâm tẩm có thể dùng khí nén để tăng áp suất trong bình tẩm lên $7 \div 8 \text{ kg/cm}^2$.

Đối với dây quấn có điện áp cao và độ tin cậy rất cao (các cuộn dây của máy phát điện công suất lớn) người ta không tẩm sấy mà dùng epôxi dưới dạng bột khô cho vào bó dây khi bọc băng sau đó ép nóng. Epôxi nóng chảy và điền đầy tất cả các khe hở giữa các sợi dây của thanh dẫn làm chúng trở thành một khối đồng nhất.

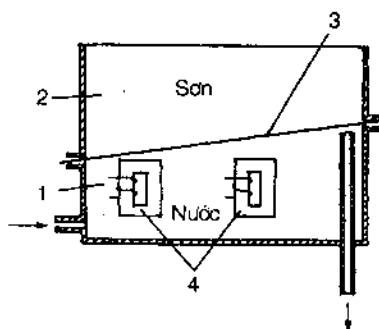
Đối với dây quấn MBA dưới 35kV thì sấy trong tủ hoặc buồng sấy có quạt thông gió. Nhiệt độ sấy không quá $103 - 110^\circ\text{C}$. Thời gian sấy phụ thuộc vào kích thước cuộn dây.

Dây quấn sau khi sấy khô được đưa ra ngoài để nguội đến $45 \div 50^\circ$ thì thả xuống bể sơn ngâm cho đến khi không còn sỏi bột nữa là được (khoảng 10 phút).

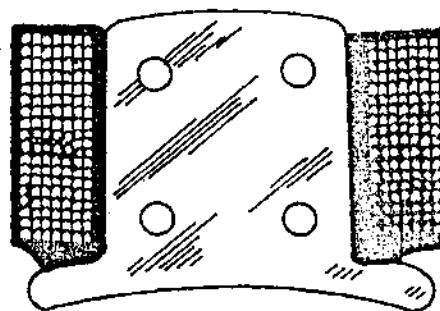
Để ráo sơn cuộn dây được đem vào sấy lại cho khô sơn. Thời gian sấy khô sơn phụ thuộc vào nhiệt độ sấy và loại sơn. Sơn của Nga loại МП - 92 chóng khô (10 giờ sấy) còn sơn ГП - 95 lâu khô hơn (20 giờ). Sơn sau khi sấy khô được polime hoá hoàn toàn không còn tan hoặc mềm ra khi ở trong dầu biến thế nữa. Nếu sấy chân không sau khi tẩm sơn thì chế độ sấy như sau: Cứ mỗi giờ tăng nhiệt độ từ sấy lên 20°C cho đến khi đạt $95 \div 105^\circ\text{C}$. Giữ nhiệt độ này trong một giờ rồi bắt đầu hút chân không đến 250mmHg. Sau ba giờ tăng áp suất chân không lên 750mmHg. Giữ nhiệt độ và độ chân không này đến khi bộ phận đo hơi ẩm báo không còn hơi ẩm nữa là được. Giữ điều kiện đó trong 3 giờ rồi xả chân không, mở cửa tủ cho nguội tự nhiên.

Để tăng độ thấm thấu của sơn vào sâu trong bối dây (nhất là các cuộn dây nhiều lớp nhiều vòng) và giảm thời gian ngâm tẩm người ta tẩm chúng trong thiết bị tẩm có sử dụng siêu âm (hình 3.113).

Hình 3.113 trình bày nguyên lý một thiết bị tẩm siêu âm có thể giảm thời gian tẩm từ 2,5 giờ xuống còn 2 phút. Sơn tẩm có thể thấm rất sâu vào tất cả các khe giữa các lá tôn và cách điện giữa các phiến góp. Thùng tẩm gồm hai phần. Phần dưới 1 đặt các nguồn phát xạ siêu âm 4 được cấp dòng cao tần. Nước cấp vào phần dưới 1 lưu động theo một chu trình khép kín. Giữa hai phần được cách bằng một lớp đồng phốt pho đóng vai trò như một màng rung. Phần trên 2 chứa sơn cách điện và các thiết bị cần tẩm. Do sơn thấm sâu nên phải có thiết bị sấy tương ứng nếu không thời gian sấy phải tăng.



Hình 3.113. Thùng để tẩm siêu âm các cuộn dây máy điện



Hình 3.114. Cuộn dây được tẩm cùng với cực từ

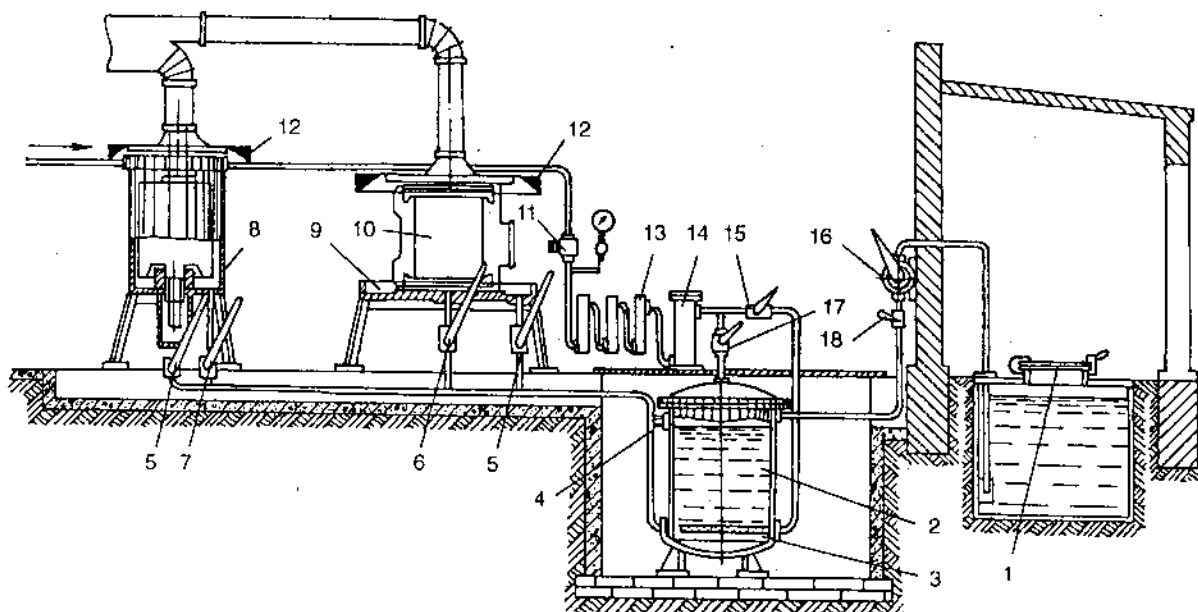
Đối với các cuộn dây cực từ theo công nghệ truyền thống được quấn bằng xung quanh, đem tẩm sấy rồi đặt vào cực. Như vậy, thường giữa cực từ và cuộn dây có một khe hở nhỏ làm giảm độ cứng vững, đồng thời giảm hệ số dẫn nhiệt từ cuộn dây ra lõi sắt. Ngày nay, những cuộn dây như thế sau khi quấn bằng được lắp luôn vào cực từ. Khoảng không giữa cực và cuộn dây được đổ đầy những mẫu thạch anh. Toàn bộ cực và cuộn dây được đưa vào tẩm sấy theo phương pháp tẩm siêu âm hoặc tổ hợp với bitum hoặc epôxi) để làm cho chúng liền thành một khối (hình 3.14). Kết quả các cuộn dây rất chắc chắn, toả nhiệt tốt và kích thước cuộn dây bé đi.

Đối với các máy điện trung bình (trên dưới 100kW) thiết bị tẩm khá phức tạp. Việc tẩm sơn phải tập trung vào dây quấn, không làm dính sơn ra ngoài vỏ hoặc lên ngồng trục (nếu là rôto). Điều này là cần thiết nếu không vừa lãng phí sơn, vừa mất công làm vệ sinh những chỗ không cần sơn.

Hình 3.115 trình bày một thiết bị sơn tẩm dùng để tẩm sơn cách điện các máy lớn. Thiết bị này cho phép tẩm từng chiếc một, một thùng (10) tẩm stato một thùng tẩm rôto (thùng 8).

Thùng 8 để tẩm rôto có lỗ ở dưới để cho ngồng trục tụt xuống, giảm được chiều cao thùng không cần thiết. Ngồng trục khi tẩm được bọc để sơn không dính vào. Thùng 10 có tẩm đệm ở đáy để khi tẩm người ta ép một đầu vỏ lên đó, sơn sẽ chỉ dâng lên bên trong stato. Phía trên các thùng có hệ thống thông hơi ra ngoài để hơi sơn không ở trong phân xưởng gây độc hại (phễu hút 12). Thùng đựng sơn tẩm 2 được để thấp hơn để sơn sau khi tẩm tự chảy về thùng chứa. Khi tẩm sơn được dâng lên nhờ khí nén qua van 15 đi vào đáy thùng 3 với áp suất khoảng 2kg/cm^2 . Khí nén trước khi đưa vào thùng sơn

được lọc qua bộ lắng lọc 13 và 14. Van 11 dùng để duy trì áp suất trên trong thời gian sấy. Sơn trong thùng 2 được bổ sung từ một thùng để ở buồng bên cạnh nhờ bơm tay 16. Khi bơm chuyển phải khoá các van 5, 17 và mở các van 4, 18. Van 4 có tác dụng như một dụng cụ chỉ mức sơn trong thùng 2. Thiết bị loại này cho năng suất thấp và chất lượng tấm không ổn định.

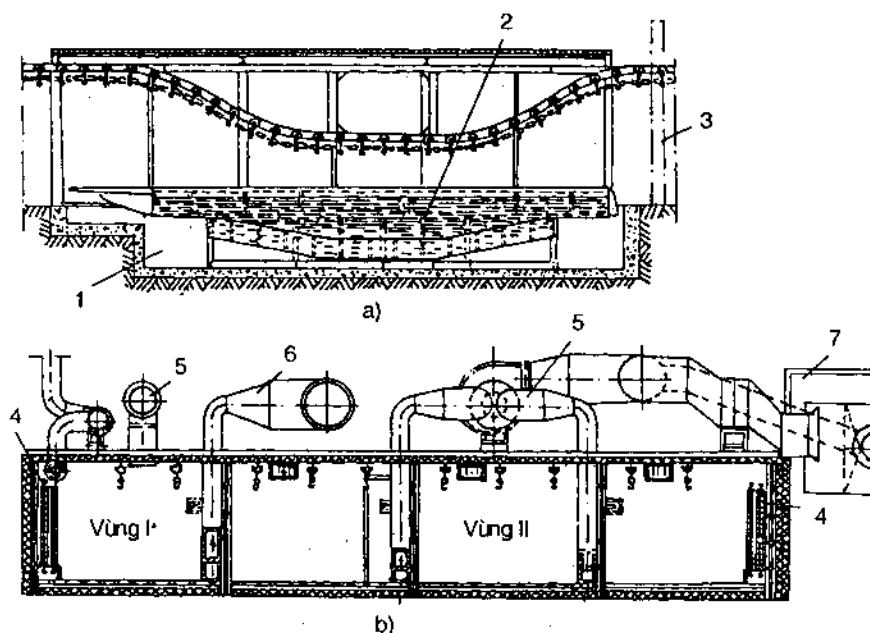


Hình 3.115. Thiết bị để tẩm đơn chiếc các máy lớn.

3. Thiết bị sơn, tẩm và sấy phối hợp

a) Hệ thống tẩm sấy liên tục

Hệ thống này dùng để tẩm sấy máy điện khi sản xuất loại lớn. Toàn bộ hệ thống được điều khiển tự động. Thời gian các công đoạn được thay đổi tùy theo kích thước, kết cấu của máy điện. Việc vận chuyển thiết bị tẩm được thực hiện trên một dây chuyền theo kiểu treo. Hình 3.116 mô tả dây chuyền tẩm sấy liên tục kiểu này (thùng tẩm – mặt cắt dọc; lò sấy – mặt cắt ngang). Việc tẩm sấy được thực hiện trong thùng chứa sơn emunxi 2. Lò sấy có hai khu vực. Khu vực I dùng để sấy sơ bộ sau khi tẩm ở nhiệt độ $90^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$, còn vùng II sấy khô sơn và thiêu kết màng sơn ở nhiệt độ $130^{\circ}\text{C} - 135^{\circ}\text{C}$. Để duy trì nhiệt độ trong vùng I người ta dùng các ống 4 chứa hơi nóng, cấp từ nguồn nhiệt 5 đặt trên nóc lò. Quạt gió 6 rút một phần không khí ra ngoài cùng với hơi nước. Vùng II dùng 3 nguồn nhiệt: nguồn 4 (hơi nóng), nguồn 5 (hơi nóng) và nguồn 7 (điện). Ở phía cuối có 2 cửa sổ 3 để đưa vào và lấy ra các sản phẩm sấy. Thùng tẩm làm bằng bê tông nằm ngay trên nền phân xưởng. Dung môi của sơn emunxi là nước nên không có vấn đề chống dung môi bay hơi hay độc hại và cũng không phải sấy khô dây quán trước. Dây chuyền tẩm sấy liên tục cho năng suất cao và chất lượng tẩm sấy ổn định. Tính kinh tế trong khâu tẩm sấy cũng được nâng cao vì tiết kiệm được năng lượng, giảm chi phí năng hạ và cải thiện môi trường làm việc của công nhân.



Hình 3.116. Hệ thống tẩm sấy liên tục

b) Tổ hợp cách điện

Các cuộn dây cực từ, khí cụ điện và các bố dây của dây quấn điện áp cao được tổ hợp cách điện trong một thiết bị đặc biệt có 2 vỏ (hình 3.117). Giữa 2 vỏ của thùng tổ hợp là nguồn nhiệt đảm bảo khi tổ hợp đạt nhiệt độ 170°C .

Các chi tiết cần tẩm được cho vào một quang dây thép rồi thả vào trong thùng tổ hợp 16. Thùng này có nắp kín. Nguồn nhiệt giữa 2 vách thùng có thể là hơi có áp suất cao (8kg/cm^2) và nhiệt độ cao được sản xuất từ một nguồn nhiệt khác hoặc có thể là dây điện trở.

Thùng 1 có 2 lần vỏ và giữa chúng cũng có nguồn nhiệt. Trong thùng 1 đựng bitum, khi bị đốt nóng bitum sẽ ở trong trạng thái lỏng. Để khuấy đều, trên nóc thùng 1 đặt máy khuấy 3 và được quay bằng một động cơ điện thông qua bộ giảm tốc 2.

Trên nóc thùng tổ hợp có các van 4 và 5 để xả và hút chân không. Cửa sổ kính 6 dùng để quan sát trong quá trình tổ hợp. Áp kế 7 dùng để đo áp lực hoặc độ chân không trong thùng. Thùng tổ hợp được hút chân không bằng bơm chân không 14 và thải không khí ra ống thoát 13. Để cho sơn không theo ống hút về máy hút chân không người ta đặt bộ lọc 8 và bộ lắng 15. Nếu bơm chân không không đủ mạnh để hút đến độ chân không quy định ta có thể đấu ngược máy nén, cho nó làm việc như máy hút chân không để hỗ trợ thêm. Khi máy nén nén khí vào thùng, không khí được lấy vào máy qua phin lọc 11 để chặn hơi nước và bụi. Máy nén có thể nối trực tiếp với thùng 2 hoặc qua bình tích áp 10 để từ đó gia tốc quá trình tạo áp suất trong thùng 2 khi tẩm. Bình tích áp 10 được bảo vệ bằng ống phòng nổ 9 đặt trên nóc. Toàn bộ hệ thống được nối với nhau bằng 3 hệ thống ống: Ống dẫn dung dịch tẩm 12, ống dẫn khí nén, ống dẫn chân không.

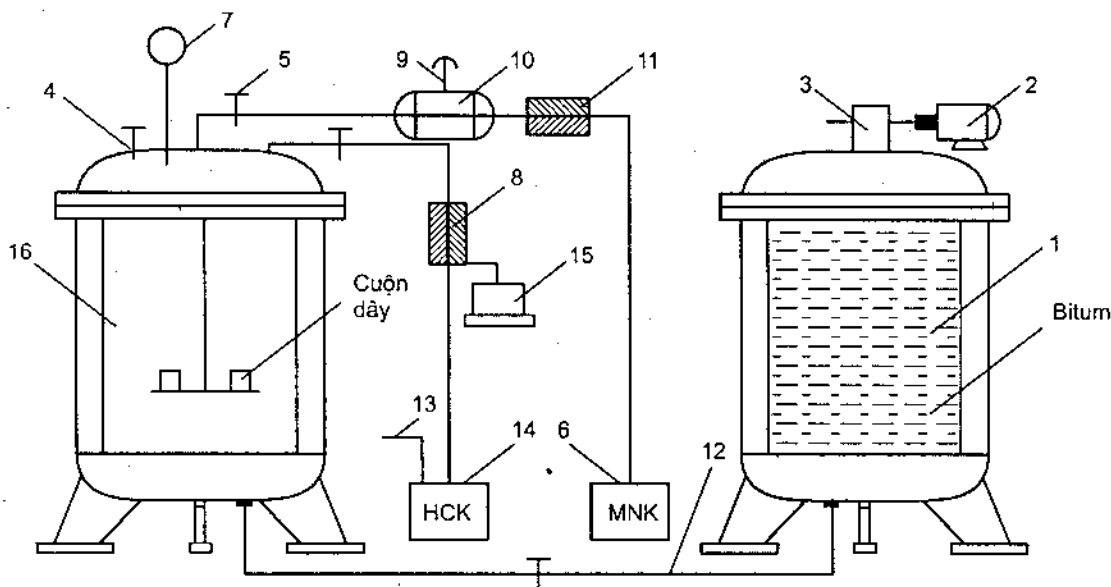
Quá trình tổ hợp phải khống chế chính xác nhiệt độ của bitum. Nếu bitum không đủ nhiệt độ, độ nhớt quá lớn sẽ ngấm vào cuộn dây không sâu. Nhưng nếu bitum loãng quá (nhiệt độ cao quá) bitum vào sâu nhưng sau đó lại rút ra hết.

Quy trình tổ hợp cách điện các cuộn dây như sau:

- Đặt các cuộn dây vào quang dây thép rồi thả vào thùng tổ hợp 2.
- Dây nắp nhưng không xiết bu lông, tiến hành sấy trong vòng 3 giờ.
- Xiết bu lông nắp thùng thật chặt rồi hút chân không.
- Sấy trong chân không 2 giờ.
- Mở van cho bitum từ thùng 1 sang rồi tăng áp suất trong thùng 2 lên 6 kg/cm^2 và duy trì nó trong 5 giờ.
- Xả bitum trở về thùng 1 và để ráo bitum trong khoảng nửa giờ.
- Lấy quang dây thép đưa cuộn dây ra ngoài.
- Dùng băng cách điện băng cuộn dây khi còn nóng.

Ở nhiệt độ 105°C bitum bắt đầu mềm ra và nếu tiếp tục tăng nhiệt độ bitum sẽ bị chảy. Vì vậy cuộn dây phải được tính toán ở nhiệt độ làm việc không quá 105°C và đặc biệt không áp dụng phương pháp này cho các cuộn dây quay. Hiện nay người ta đã tìm được loại bitum có thể dùng để tổ hợp với dây quấn đến 130°C .

Phương pháp và thiết bị nói trên cũng có thể áp dụng cho việc tẩm sấy bằng sơn cách điện các cuộn dây cao áp hoặc các máy điện quan trọng nhưng thêm vào hệ thống một tủ hoặc buồng sấy nữa. Nếu sản lượng không lớn có thể sấy ngay trong thùng tổ hợp. Tùy theo mức độ quan trọng của cuộn dây ta có thể tẩm sấy hai hoặc 3 lần.



Hình 3.117. Hệ thống tổ hợp cách điện và tẩm sấy chân không cuộn dây

4. Sấy ruột máy biến áp

Ruột máy biến áp sau khi lắp ráp phải được sấy khô cho hết hơi ẩm và tẩm sơn cách điện. Tùy theo quy mô sản xuất buồng sấy chân không có dung tích thích hợp. Nguồn nhiệt có thể là cảm ứng, dây điện trở, tia hồng ngoại. Sấy cảm ứng thường áp dụng trong sản xuất nhỏ, đơn chiếc, để sấy từng chiếc trong lò nhỏ hoặc chính vỏ của nó. Sấy bằng tia hồng ngoại là dùng các đèn hồng ngoại đặt cách dây quấn khoảng 30cm chiếu trực

tiếp vào dây quấn. Phương pháp này cũng áp dụng cho sản xuất nhỏ lẻ và có thể áp dụng cho máy tới 1000kVA.

Khi cho máy vào lò, ta nối dây quấn ra ngoài để đo điện trở cách điện trong thời gian sấy. Lò được trang bị máy hút chân không, có gioăng đệm đủ kín có thể hút chân không lò đến 720mmHg.

Quy trình sấy chân không như sau:

BẢNG 3.1

Công suất MBA (kVA)	100 – 560	750 – 2400	3200
Thời gian sấy (giờ)	3	5	6

Nếu trong lò có nhiều máy thì thời gian sấy lấy theo máy lớn nhất.

Sau khi sấy chuẩn bị xong, rút chân không xuống 400mmHg, giữ một giờ rồi rút xuống dưới 750mmHg. Nhiệt độ sấy vẫn giữ ở 95°C. Khi độ chân không xuống 400mmHg, cứ 1 giờ đo lượng nước ngưng đọng một lần; khi chân không xuống 720mmHg liên tục đo 3 lần không có nước ngưng đọng và điện trở cách điện ổn định là được.

Sau khi sấy xong điện trở cách điện giữa các cuộn dây với đất và giữa các cuộn dây với nhau đạt từ 5000 ÷ 10000 MΩ (Mêgômét 1000V).

Quy trình trên áp dụng cho các MBA điện áp đến 35kV, công suất đến 32000 kVA.

Đối với máy lớn hơn, điện áp cao hơn phải áp dụng quy trình sấy như bảng sau:

BẢNG 3.2

Công suất (kVA)	31500	31500	Bất kỳ	Bất kỳ
Điện áp (kV)	60	110	154	220
Thời gian sấy (giờ)	12	16	22	26

Đưa nhiệt độ lên 95 ÷ 110°C trong hai giờ, rút chân không đến 150mmHg, bỏ chân không, tiếp tục sấy chuẩn bị. Thời gian sấy như đã cho trong bảng. Sau khi sấy chuẩn bị xong, hút chân không đến 400mmHg trong một giờ, đưa chân không đến 600mmHg giữ một giờ rồi đưa chân không đến 720mmHg. Tiếp tục sấy đến khi 3 lần đo đều không có nước ngưng đọng và điện trở cách điện không đổi.

Sau khi sấy khô xong, giữ chân không ở 720mmHg và ngừng sấy, đợi nhiệt độ xuống còn 80 ÷ 85°C đổ dầu MBA đã thử nghiệm vào. Trong quá trình đổ dầu độ chân không vẫn giữ 700 ÷ 720mmHg. Sau khi đổ dầu, giữ chân không một thời gian nữa (3 giờ đối với điện áp/10 kV, 5 giờ đối với máy đến 220 kV).

Bỏ chân không, lấy mẫu dầu để thử, tiếp tục giữ MBA trong dầu một giờ rồi tháo dầu lấy máy ra.

Để rút ngắn thời gian sấy, tốt nhất là cấy vào dây quấn (trong quá trình sấy) dòng điện một chiều nhưng phải qua thiết bị đo lường, khống chế chặt chẽ để tránh quá nhiệt cho dây quấn.

KIỂM TRA VÀ THỬ NGHIỆM MÁY ĐIỆN

4.1. CÁC DẠNG KIỂM TRA VÀ THỬ NGHIỆM

Việc kiểm tra và thử nghiệm máy điện được thực hiện trong quá trình chế tạo, cũng như sau khi chế tạo xong (thử nghiệm xuất xưởng). Trong vận hành, nhiều khi cũng phải thử nghiệm trước khi đóng điện, vì máy có thể để lâu không dùng, do ẩm ướt vì thời tiết, sau khi sửa chữa, lắp ráp hoặc lắp đặt sang chỗ mới. Khi chế tạo theo thiết kế mới hoặc áp dụng một tiến bộ khoa học kỹ thuật mới cũng cần phải thử nghiệm để xác định tính đúng đắn và hiệu quả của nó.

Trong quá trình sản xuất phải tiến hành kiểm tra và thử nghiệm sau mỗi công đoạn nhằm giám sát chất lượng và độ tin cậy của cách điện. Đây là khâu quan trọng nhất, vì chất lượng cách điện quyết định thời gian phục vụ của máy điện. Tất cả những nguyên công có thể liên quan đến cách điện đều phải kiểm tra tỉ mỉ. Chẳng hạn kích thước các bố dây nếu ngắn quá sẽ khó đặt vào rãnh, người công nhân phải uốn nắn, đập gõ nhiều rất dễ làm giảm chất lượng vật liệu cách điện như rách gãy, nhàu nát, cách điện sẽ giảm khả năng chịu ẩm... Những chỗ rách, đập nát có thể vẫn chịu được qua những thử thách khi thí nghiệm, nhưng thời gian phục vụ của máy sẽ giảm (chẳng hạn, có thể dùng trong 20 năm nhưng chỉ còn 10 năm). Thiệt hại do giảm tuổi thọ thực không phải là nhỏ.

Trong quá trình sản xuất phải kiểm tra dứt dây, chập vòng dây, tiếp xúc xấu ở các mối hàn, kiểm tra đấu đúng, kiểm tra điện trở cách điện, điện trở dây quấn. Việc kiểm tra trong quá trình sản xuất chưa đủ để khẳng định máy có làm việc tốt và tuổi thọ của nó có cao hay không. Để máy lộ hết tất cả các điểm yếu trong quá trình sản xuất, ta phải kiểm tra bằng các thử nghiệm. Khi đó phải nâng điện áp, dòng điện, tốc độ... lên cao để thử thách.

Việc kiểm tra và thử nghiệm thường được tiến hành như sau:

- Sau khi chế tạo các bố dây: kiểm tra số vòng dây, kiểm tra và thử nghiệm cách điện vòng dây.
- Trong quá trình đặt dây vào rãnh: kiểm tra cách điện giữa các bố dây với vỏ, kiểm tra chập vòng do trong quá trình lồng dây.
- Sau khi đấu và đai dây quấn: kiểm tra cách điện giữa các pha, giữa các pha với vỏ, kiểm tra việc đấu dây xem đã đúng chưa.

Khi kiểm tra các bố dây phân tử cứng còn phải kiểm tra kích thước, hình dạng, đặc biệt ở phần rãnh, để khi đặt bố dây vào rãnh không bị chật quá, dầy quá. Thông thường người ta kiểm tra chúng bằng các calíp. Đặc biệt đối với các máy lớn lắp ráp tại hiện trường, khi sử dụng nó không có điều kiện lắp thử thì việc kiểm tra kích thước là hết sức quan trọng. Các cuộn dây cực từ của các máy phát điện lớn được kiểm tra bằng cách

ướm thử đối với một cực từ mẫu bằng gỗ. Những sai sót đến khi lắp ráp mới phát hiện là không thể tha thứ được, vì không có điều kiện để sửa hoặc chế tạo lại. Các chi tiết cơ khí hoặc hệ thống ống dẫn chịu áp lực trong các máy điện lớn cũng được thử nghiệm tỉ mỉ để không xảy ra tình trạng không lắp được hoặc bị sự cố do một chỗ yếu nào đó gây ra.

Đối với MBA phải tiến hành thử nghiệm dầu, thử nghiệm cao áp, thí nghiệm kiểm tra tổ nối dây, kiểm tra điện trở cách điện, thí nghiệm không tải, ngắn mạch...

Đối với khí cụ điện cần phải thử nghiệm cao áp đối với cách điện, kiểm tra đóng đồng thời ba pha, kiểm tra dòng điều khiển, độ ồn...

Công tác thí nghiệm bao gồm hai loại: thí nghiệm xuất xưởng và thí nghiệm nghiệm cứu. Thí nghiệm xuất xưởng được thực hiện bắt buộc đối với tất cả các sản phẩm nhưng chỉ lấy một vài thông số kỹ thuật quan trọng như dòng không tải, mômen mở máy đối với động cơ... Thí nghiệm nghiệm cứu được thực hiện đối với sản phẩm mới hoặc khi có sự thay đổi trong sản xuất như thay đổi vật liệu, công nghệ... Khi đã sản xuất ổn định không cần loại hình thí nghiệm này nữa. Thí nghiệm không nhất thiết phải thực hiện đối với tất cả sản phẩm mà chỉ lấy đối với một nhóm sản phẩm bất kỳ mang tính xác suất, từ đó suy ra quy luật thay đổi các thông số kỹ thuật của sản phẩm.

Đầu tư một phòng thí nghiệm mạnh, một trung tâm thí nghiệm mạnh và thường xuyên áp dụng một tiêu chuẩn quản lý chất lượng sản phẩm ở trình độ cao, hãng chế tạo sẽ có một uy tín lớn và một thương hiệu mạnh.

4.2. ĐO VÀ XỬ LÝ SỐ LIỆU TRONG THỬ NGHIỆM THIẾT BỊ ĐIỆN

4.2.1. Đo điện trở dây quấn

Điện trở của dây quấn phản ánh một phần tình trạng và chất lượng của thiết bị điện. Chẳng hạn điện trở 3 pha không đều nhau, hoặc điện trở của một máy nào đó không giống với các máy trong loạt sản phẩm chứng tỏ các máy đó có sự cố hoặc sai sót trong chế tạo. Một số trường hợp đo điện trở để kiểm tra sơ đồ nối dây hoặc để biết cách nối dây (pha chính, phụ, dây quấn phản ứng, dây quấn kích thích...). Việc này còn là bắt buộc vì các nhà sản xuất cần phải ghi trị số điện trở vào lý lịch của máy hoặc sổ tay kỹ thuật để quá trình vận hành còn cho các tính toán thiết bị đi kèm (thiết bị mở máy, thiết bị điều chỉnh tốc độ v.v...).

Việc đo điện trở thuần của dây quấn được tiến hành sau khi đặt dây và đấu xong, trước khi xuất xưởng, trước khi cho chạy máy (sau khi lắp đặt xong) và trong vận hành cũng như sau khi sửa chữa. Đối với máy điện lớn cần phải đo điện trở thuần của mỗi cuộn dây trước khi đặt dây vào rãnh.

Các phương pháp và thiết bị để đo điện trở là:

- Đồng hồ vạn năng để đo điện trở các máy điện nhỏ (công suất vài W đến vài chục W). Phương pháp này không chính xác nhưng để kết luận tình trạng dây quấn.

- Dùng cầu đo vạn năng để đo điện trở các máy điện công suất từ hàng trăm W đến hàng trăm kW (điện trở từ 10^4 đến $10^{-4}\Omega$). Phương pháp này khá chính xác nhưng trị số điện trở thường phụ thuộc người đo. Đối với những cuộn dây có điện cảm lớn thời gian đo lâu, có

thể tới 20 phút mới lấy được một trị số. Hiện nay một số hãng đã có những thiết bị đo nhanh điện trở các cuộn dây nhiều vòng (điện áp 110 – 220kV) mà không phải chờ đợi.

– Phương pháp đo điện trở V-A: Theo phương pháp này ta cấp vào dây quấn một dòng điện một chiều rồi đo dòng và áp sẽ tính được điện trở theo công thức $R = U/I$. Phương pháp này áp dụng cho các máy lớn hoặc máy một chiều có điện trở rất nhỏ. Khi đo bằng phương pháp này lưu ý đến việc tăng điện trở do dây dẫn bị nóng lên khi ta cấp dòng vào nó. Do vậy cần phải khống chế dòng một chiều cấp vào dây quấn khi đo sao cho độ tăng nhiệt của dây quấn không được quá 1°C . Đối với dây quấn băng đồng, độ tăng nhiệt đó là:

$$\Delta\theta = J^2 / 200, [^{\circ}\text{C/s}]$$

Trong đó: J – mật độ dòng điện, $[\text{A/mm}^2]$

Đối với nhôm thay 200 bằng 86. Nếu tiết diện của dây dẫn không biết thì trị số dòng điện đo không được hiện quá $15 \div 20\%$ dòng định mức của dây quấn và thời gian đo không được quá 1 phút.

Nếu điện trở của vôn kế nhỏ hơn 100 lần điện trở của dây quấn cần đo ($r_v \leq 100R_d$) thì điện trở của dây quấn là:

$$R_d = U/(I - U/r_v), [\Omega]$$

Trong đó: U, I là điện áp và dòng đo.

Điện trở của các pha có thể lệch nhau chút ít vì chiều dài sợi dây các pha có thể khác nhau nhưng chỉ đối với dây quấn phần tử mềm ($3 \div 5\%$). Đối với dây quấn phần tử cứng, dây để quấn bởi dây được cắt bằng máy nên điện trở các pha hầu như không lệch nhau.

Điện trở của máy điện phụ thuộc vào môi trường xung quanh. Thông thường điện trở ghi lý lịch máy là điện trở đã được quy về nhiệt độ 75°C .

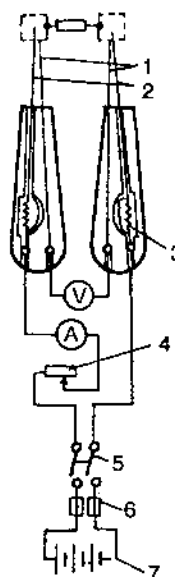
$$R_{75} = R[1 + \alpha (75 - t)], \Omega$$

Trong đó: α – hệ số nhiệt độ, đối với đồng $\alpha = 0,004$.

R là điện trở đo ở nhiệt độ t .

Để đo điện trở bằng phương pháp V-A người ta dùng một bộ que đo đặc biệt (hình 4.1).

Thân que đo làm bằng vật liệu cách điện, thường là bakêlít hoặc tectôlít, trong đó đặt 2 mũi đo bằng đồng. Hai mũi đo nhô ra ngoài không bằng nhau: một trong hai mũi đo chuyển động vào ra được nhờ lò xo 3. Các mũi đo cố định được nối với một milivôn kế. Các mũi đo chuyển động thông qua ampe kế và biến trở 4 được nối với 2 cực của cầu dao 5. Cầu chì 6 để bảo vệ ampe kế tránh đo phải dòng điện quá lớn. Nguồn một chiều 7 là nguồn 1 chiều được ổn định điện áp. Khi đo ấn hai que đo lên hai đầu dây quấn sao cho các mũi dài chạm trước. Nếu thấy ampe kế chỉ, chứng tỏ điện trở không bị đứt (dây quấn không bị đứt) mới ấn tiếp để 2 mũi ngắn tiếp xúc với điện trở, chờ ổn định mới đọc trị số của vôn kế và ampe kế. Nếu không thấy có dòng chạy qua ampe kế (chứng tỏ dây quấn bị đứt) thì không ấn tiếp nữa nếu không milivôn kế bị hỏng do đo phải điện áp cao của nguồn. Trước khi đo nên tính toán, dự báo trước trị số điện trở sẽ đo để chọn nguồn và đồng hồ đo cho thích hợp.



Hình 4.1. Bộ que đo dùng để đo điện trở bằng phương pháp V-A

Một đặc điểm của dây đồng mà ta cần chú ý là điện trở suất của nó sẽ thay đổi nếu ta đốt, nung hoặc cán kéo lại. Trong thực tế, dây đồng do các nước khác nhau sản xuất nên có điện trở suất không hoàn toàn bằng nhau. Vì vậy, khi sản xuất máy điện nên sử dụng dây do một hãng sản xuất để tránh lệch pha về điện trở.

4.2.2. Đo điện trở cách điện của máy điện

Trong máy điện ta cần phải kiểm tra các điện trở cách điện sau: Cách điện giữa các vòng dây, cách điện giữa các bó dây trong nhóm, cách điện giữa các pha và cách điện giữa các pha với lõi sắt. Trong quá trình lồng dây: sau khi lồng xong, sau khi đấu dây và đai phân đầu nối, sau khi tẩm sấy, khi xuất xưởng, trước khi đưa vào lắp đặt, trước khi đóng điện vận hành phải đo điện trở cách điện.

Điện trở cách điện được đo bằng megômet (mêgôm kế). Megômet có các loại 500V để đo các máy có điện áp định mức dưới 500V, loại 1000V để đo các máy điện áp định mức từ 500V đến 1000V và loại 2500V để đo điện trở các máy điện áp cao (> 3000V). Megômet có hai loại: loại chạy bằng máy phát một chiều và megômet điện tử.

Điện trở cách điện giữa các pha và giữa các pha với lõi sắt không được nhỏ hơn trị số:

$$Z = \frac{U}{100 + \frac{P}{100}}$$

Trong đó: U – Là điện áp định mức của dây quấn, [V];

P – Công suất định mức, [kVA].

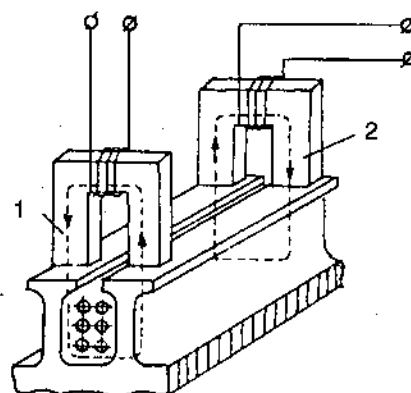
Điện trở cách điện phụ thuộc vào nhiệt độ và độ ẩm của dây quấn. Nếu điện trở cách điện nhỏ nhưng các pha đều nhau thì khả năng là do ẩm. Nếu điện trở cách điện giữa các pha với nhau và với đất không đều, có trường hợp quá nhỏ thì chứng tỏ trong máy có một chỗ nào đó cách điện bị sự cố, sắp hỏng. Những trường hợp như vậy phải xử lý triệt để nếu không sau một thời gian, dưới tác dụng của điện áp cách điện chỗ đó sẽ bị đánh thủng. Sai số đo cũng phụ thuộc vào độ ẩm của chính megômet nên để loại trừ nó megômet phải khô và sạch sẽ. Trong sửa chữa hoặc động cơ đang vận hành có thể cho phép điện trở cách điện tối thiểu là $0,5M\Omega$ nhưng máy mới sản xuất hàng loạt thì trị số đó là dấu hiệu của sự cố cách điện ở một nơi nào đó trong dây quấn. Trong vận hành cần phân biệt độ ẩm bề mặt với độ ẩm sâu trong dây quấn. Nếu ẩm bề mặt, quay megômet lâu điện trở cách điện sẽ tăng dần.

4.2.3. Kiểm tra tình trạng của dây quấn bằng các thiết bị vận năng

Trong một số trường hợp cần kiểm tra nhanh các thiết bị điện xem có còn tốt không (để lâu không dùng, kiểm tra trước khi cho vận hành, kiểm tra định kỳ...) người ta dùng thiết bị kiểm tra vận năng. Thiết bị kiểm tra loại này có nhiều dạng nhưng điểm chung là thông báo tình trạng của máy điện “tốt” hay “không tốt” mà không đưa ra các kết quả chính xác như không tốt ở chỗ nào...

4.2.4. Kiểm tra và thử nghiệm cách điện vòng dây

Cách điện giữa các vòng dây trong một bối chính là cách điện của sợi dây dùng để quấn bối dây đó. Nếu dây quấn phần tử mềm việc kiểm tra cách điện giữa các vòng dây được thực hiện sau khi đã đặt bối dây vào rãnh. Nếu bối dây phần tử cứng thì tiến hành kiểm tra khi chế tạo bối dây vì việc đặt bối dây vào rãnh rất ít khi gây chập vòng dây. Việc kiểm tra chập vòng dây do hỏng cách điện được thực hiện bằng dụng cụ gọi là rônha, cách kiểm tra được minh họa trên hình 4.2.



Hình 4.2. Kiểm tra và thử nghiệm cách điện vòng dây

Rônha là một mạch từ hở được quấn một số vòng dây sao cho có thể đặt lên đó điện áp lưới điện thông dụng. Tiết diện của mạch từ chọn khoảng $5 \div 10\text{cm}^2$. Mật độ từ thông trong lõi chọn khoảng 1,5 Tesla. Nếu kết hợp với kiểm tra vòng dây hoặc dùng kết hợp với thiết bị kiểm tra vạn năng ta dùng 2 rônha. Đặt các rônha lên rãnh cần kiểm tra. Đưa điện vào rônha 2 trong mạch từ của rônha và 2 răng của lõi sắt sẽ có từ thông Φ móc vòng với bối dây nằm trong rãnh. Nếu bối dây có vòng chập, trong vòng đó sẽ có dòng điện và sinh ra từ thông khép mạch qua rônha 1. Cuộn dây trên rônha 1 sẽ có điện áp. Nếu cuộn dây không có vòng chập, cuộn dây của rônha 1 sẽ không có điện áp. Đo điện áp cảm ứng trong cuộn dây được kiểm tra ta suy ra số vòng của nó đủ hay không. Nếu chỉ kiểm tra chập vòng, ta chỉ cần đặt một lá tôn ở vị trí của rônha 1, nếu lá tôn bị hút chứng tỏ trong bối dây có chập. Đối với máy điện điện áp cao hoặc quan trọng người ta phải thử nghiệm cách điện vòng dây bằng cách nâng điện áp lên so với định mức khoảng 30%.

Đối với động cơ điện đã lắp ráp, thử nghiệm này được thực hiện bằng cách nâng điện áp đặt lên cực động cơ.

Đối với máy phát có thể áp dụng phương pháp tăng tốc độ hoặc nâng kích từ để tăng điện áp.

Đối với các máy lớn, điện áp cao, dây quấn phần tử cứng người ta thử nghiệm cách điện vòng dây khi bối dây chưa được đặt vào rãnh và sau khi đặt vào rãnh. Trong thực tế có trường hợp trong bối dây xuất hiện những chỗ cách điện yếu do quá trình chế tạo những chỗ yếu đó chỉ bộc lộ rõ trong quá trình đặt bối dây vào rãnh. Trong quá trình vận hành có thể tạo ra trong dây quấn những chỗ cách điện yếu nên trong thực tế đôi khi cũng cần phải thử nghiệm cách điện vòng dây đối với động cơ đã hoạt động.

Thiết bị để thử nghiệm cách điện vòng dây gồm có: bàn điều khiển, máy biến áp, máy phát xung, nam châm điện hình chữ U, thiết bị đo lường (vôn kế, kilô vôn kế, milivôn kế) và tín hiệu, máy biến áp xung, que đo cao áp và nam châm điện mạch từ kín. Hình 4.3 trình bày sơ đồ thiết bị xung để thử nghiệm cách điện vòng dây.

Khi thử nghiệm cách điện vòng dây của bối dây đã đặt vào rãnh điện áp xung lấy trên 2

dầu 1 và 2 đặt vào dây quấn sơ cấp của máy biến áp xung tăng áp (hình 4.3a). Điện áp từ dây quấn thứ hai sẽ được đặt lên 2 đầu cuộn dây nhờ đôi que đo cao áp. Nam châm điện hình chữ U M_2 đặt trên rãnh thử nghiệm có dây quấn nối với đồng hồ vôn kế hoặc thiết bị tín hiệu để biết cách điện vòng dây có bị đánh thủng không. Bằng cách chia điện áp đo được trên hai cực bố trí dây cho số vòng dây của nó ta biết được điện áp đặt lên một vòng dây.

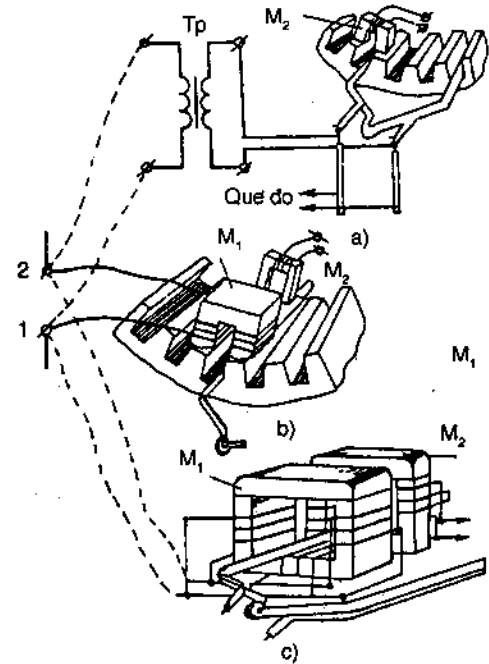
Để thử nghiệm cách điện vòng dây trong quá trình vận hành của máy điện ta đặt các nam châm điện M_1 , M_2 trên rãnh thử nghiệm (rãnh có bố trí dây được thử nghiệm). Dòng điện xung chảy trong nam châm điện M_1 tạo ra từ thông xung trong lõi sắt và cảm ứng trong bố trí dây thử nghiệm một điện áp xung. Điện áp này được điều chỉnh bằng một máy biến áp tự ngẫu đặt trước máy phát xung và được đo bằng một kilôvôn xung. Nam châm M_2 nối với đồng hồ milivôn kế hoặc hệ thống tín hiệu (đèn, còi), (hình 4.3b).

Khi thử nghiệm cách điện vòng dây của các bố trí dây sau khi chế tạo (chưa đặt vào rãnh), điện áp xung được cấp vào nam châm điện M_1 (hình 4.3c). Trong mạch từ kín của nó sẽ có từ thông xung và cảm ứng trong bố trí dây điện áp xung. Nếu trong bố trí dây không có chỗ nào bị đánh thủng đồng hồ milivôn kế nối với nam châm điện M_2 không chỉ.

Cách điện giữa dây quấn với lõi sắt cũng được thử nghiệm điện áp cao. Nếu dây quấn phần tử cứng đặt trong rãnh hở thì cách điện bố trí dây chính là cách điện giữa dây quấn với lõi sắt (không có cách điện rãnh). Trường hợp này để thử nghiệm cách điện bố trí dây ta phải tạo ra một lớp bọc xung quanh bố trí dây bằng kim loại (thường là giấy thép mỏng) rồi đặt một điện áp tăng cao lên hai cực: dây quấn và lớp bọc đó. Phương pháp này tốn giấy thiếc nên các nhà máy chuyên sản xuất máy điện thường làm một rãnh giả bằng thép có kích thước thay đổi được. Khi thử nghiệm người ta đặt bố trí dây vào rãnh giả rồi điều chỉnh để các má của rãnh áp sát bố trí dây. Nếu dây quấn phần tử mềm (có cách điện rãnh) điện áp thử nghiệm được đặt lên dây quấn và vỏ máy. Điện áp thử nghiệm được lấy từ một máy biến áp tăng áp và được điều chỉnh bằng một máy biến áp tự ngẫu mắc trước nó.

4.2.5. Kiểm tra và thử nghiệm độ bền điện của cách điện

Việc kiểm tra cách điện được tiến hành trong quá trình sản xuất, khi xuất xưởng, khi đưa vào vận hành hoặc trong quá trình vận hành, còn việc thử nghiệm độ bền điện của cách điện thì chỉ tiến hành khi nghiên cứu hoặc khi đưa vào sử dụng sau một thời gian cất giữ ở nơi không đảm bảo (ẩm ướt, hơi hoá chất...) và nói chung chỉ áp dụng đối



Hình 4.3. Sơ đồ thiết bị để thử nghiệm cách điện vòng dây bằng phương pháp xung điện

<https://tieulun.hopto.org>

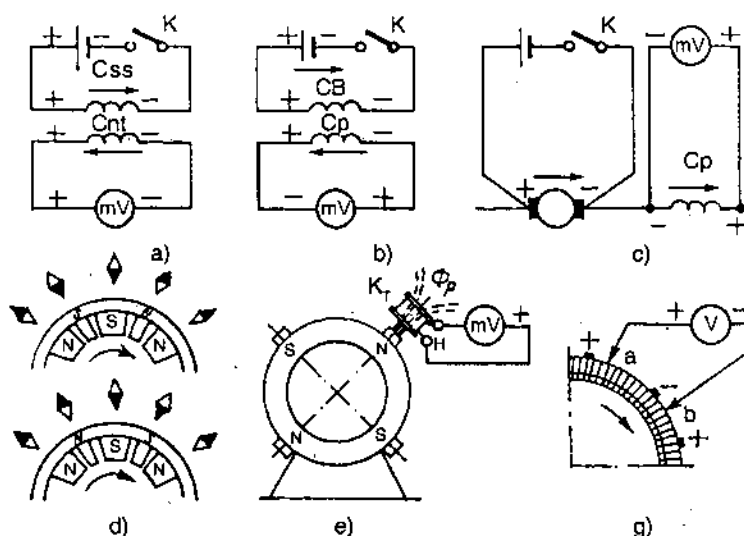
ổ bị lắp chưa đúng khi quay rôto sẽ có tiếng kêu không bình thường, dùng dụng cụ thăm ổ bị ta có thể phát hiện được. Đối với động cơ điện lớn chạy bạc (ổ trượt) hệ thống bôi trơn bạc cực kỳ quan trọng. Nếu không được bôi trơn hoặc bôi trơn không đầy đủ thì chỉ trong thời gian ngắn ổ bạc sẽ bị phá hủy và có thể dẫn đến làm hỏng hoàn toàn động cơ.

Nếu cần kiểm tra tốc độ động cơ mà không muốn tháo nắp động cơ để xem dây quấn thì có thể áp dụng phương pháp sau: Dùng một điện kế một chiều nối với một hoặc hai pha dây quấn statô. Dùng tay quay rôto ta sẽ thấy kim điện kế dao động quanh điểm 0 (dùng loại đồng hồ có điểm 0 ở giữa). Đếm số lần kim điện kế lệch sang một phía nào đó sau một vòng quay sẽ cho ta số cực cùng cực tính của rôto. Ví dụ, nếu đếm được 30 lần lệch của kim sau 10 vòng quay thì máy sẽ có số đôi cực là $30/10 = 3$, tốc độ đồng bộ của động cơ sẽ là $3000/3 = 1000\text{vg/ph}$.

Đối với động cơ lớn, để tăng độ tin cậy khi khởi động người ta phải kiểm tra xem các dây quấn đã được đấu đúng chưa.

Đối với máy điện một chiều cần phải kiểm tra cách đấu dây như sau:

– Kiểm tra sự tương ứng về cực tính của các dây quấn kích thích nối tiếp và song song. Có 2 cách kiểm tra: đấu thử dây quấn kích thích song song với dây quấn kích thích nối tiếp ở cả 2 chiều để theo dõi (khi thử) hoặc biện pháp cảm ứng. Theo phương pháp cảm ứng ta đấu mạch như hình 4.5a. Thang đo của milivôn chọn đến $1000 \div 3000\text{mV}$. Nguồn một chiều có thể là pin hoặc acquy. Nếu khi đóng công tắc K kim milivôn kế lệch sang phải (hoặc khi ngắt lệch sang trái) thì cực tính các cuộn dây kích thích song song và nối tiếp như hình vẽ.



Hình 4.5. Kiểm tra đấu đúng các dây quấn của máy điện một chiều

Phương pháp cảm ứng cũng được dùng để kiểm tra cực tính của dây quấn bù và dây quấn cực từ phụ (hình 4.5b). Sau khi xác định được cực tính của các đầu ra dây quấn ta nối tiếp các cực khử từ, nghĩa là cực (+) của một dây quấn với cực (–) của dây quấn kia. Sức từ động lúc đó sẽ tác dụng thích ứng.

Việc kiểm tra cực tính của dây quấn phản ứng và dây quấn cực từ phụ được thực hiện như ở hình 4.5c. Nếu dây quấn cực từ phụ thuộc được đầu xen kẽ với dây quấn bù thì milivôn kế được đấu trên các đầu ra chung của chúng. Chọn cực của milivôn kế sao cho khi đóng công tắc K kim của nó lệch sang phải, theo hướng dương. Nếu đầu cho đúng thì sức từ hoá của dây quấn bù và dây quấn cực từ phụ phải ngược với sức từ hoá của phần ứng, vì vậy ta đấu phần ứng và cực từ phụ sao cho cùng tên gọi. Ví dụ, dương của phần ứng nối với dương của cực từ phụ hoặc âm phần ứng nối với âm của cực từ phụ.

Kiểm tra thứ tự và cực tính của cực từ chính và cực từ phụ được thực hiện nhờ một địa bàn hoặc một chiếc kim treo trên sợi chỉ (hình 4.5d). Đặt địa bàn phía ngoài vỏ máy phía trên hàng bulông kéo cực, cấp dòng điện một chiều vào các cuộn dây kích từ, nếu các cuộn dây đấu đúng địa bàn sẽ chỉ cực tính của các cực xen kẽ nhau. Nếu chưa biết cực tính của kim (trường hợp không có địa bàn phải dùng một cái kim treo trên sợi chỉ) thì cực tính của các cực được chọn theo quy ước. Nếu kim địa bàn kém chạy thì có thể tăng dòng kích từ lên 5 đến 6%. Nếu đầu cực tính của cực từ phụ đúng phải như sau: theo chiều quay đã chọn ở chế độ động cơ sau cực từ chính N (hoặc S) phải có cực từ phụ cùng tên N (hoặc S); ở chế độ máy phát sau cực từ chính, cực từ phụ phải có cực tính ngược lại.

Cực tính của các cực từ phụ và chính có thể xác định nhờ một ống dây và một milivôn kế nối như hình 4.5e. Đầu H của cuộn dây được nối với cực dương của milivôn kế, đầu mà nhìn từ phía máy, cuộn dây được quấn theo chiều kim đồng hồ. Khi đưa nhanh cuộn dây lại gần máy, kim của milivôn kế lệch sang phải; khi đưa cuộn dây ra xa máy, kim đồng hồ lệch sang trái thì cực đang kiểm tra là cực bắc. Nếu cực là cực nam thì hiện tượng trên sẽ ngược lại.

Cực tính của chổi than, chiều quay và cực tính của cực từ chính phải phù hợp với nhau và được xác định như hình 4.5g. Dùng một vôn kế một chiều nối với hai điểm a và b. Khi đóng kích thích kim của vôn kế sẽ lệch (tức thời).

Nếu kim lệch sang phải (với tên cực của vôn kế đã quy ước) thì dấu “+” sẽ là điểm a còn dấu “-” sẽ tại điểm b. Các chổi gần nhất có cực tính như vậy sẽ được đặt ngược với chiều quay. Có thể dùng một cách khác: cấp vào dây quấn kích thích một dòng điện với cực tính cho trước. Dùng một vôn kế có thang đo 15 – 30V nối với các chổi than sau đó dùng tay quay phản ứng theo chiều quay cho trước. Hướng lệch của kim vôn kế chỉ ra cực tính của chổi.

Đối với máy điện xoay chiều khi lắp ráp xong cần kiểm tra lại tên của các đầu dây ra. Nếu nhầm lẫn ký hiệu đầu dây ra có thể sẽ xảy ra tình trạng ngược một pha. Có thể dùng một trong các phương pháp sau để kiểm tra.

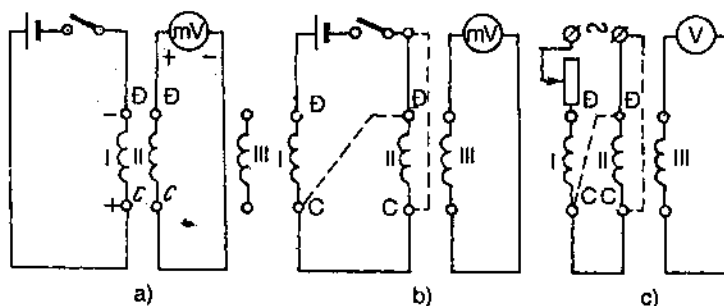
- Phương pháp dùng điện áp một chiều (hình 4.6). Dùng một nguồn điện một chiều (acquy chẳng hạn) cấp cho một trong các pha, ví dụ pha I còn các pha còn lại thì lần lượt nối với một milivôn kế. Đồng hồ được nối sao cho khi đóng công tắc kim của nó lệch sang phải. Khi đó đầu đầu và đầu cuối của hai pha I và pha II sẽ như hình 4.6a.

- Phương pháp đấu nối tiếp hai pha, dùng nguồn thử một chiều (hình 4.6b). Nếu khi đóng công tắc mà kim milivôn kế không phản ứng gì thì tức là ta đã nối 2 pha theo đường liền nét (cuối nối với cuối). Nếu khi đóng (hoặc ngắt) còn nếu đồng hồ lệch thì cuối pha này nối với đầu pha kia (đường nét đứt).

– Phương pháp dùng nguồn xoay chiều. Hai pha (cuộn dây) đầu nối tiếp với nhau rồi đặt vào một nguồn điện áp thấp xoay chiều (hình 4.6c). Pha thứ 3 đấu với một vôn kế hoặc một bóng đèn. Nếu khi đóng điện mà đồng hồ chỉ (hoặc đèn sáng) thì tức là ta đã nối 2 pha theo đường nét đứt (đầu với cuối) còn nếu đồng hồ không chỉ hoặc đèn không sáng tức là đã nối 2 pha theo đường nét đậm (cuối với cuối). Tương tự, kiểm tra được đầu đầu và đầu cuối của pha thứ 3.

Mặc dù trong quá trình chế tạo cách điện của máy điện được kiểm tra và thử nghiệm rất chặt chẽ, nhưng trước khi đóng điện chạy thử (sau khi lắp ráp ở nhà máy chế tạo hoặc tại hiện trường) vẫn phải kiểm tra lại cách điện lần cuối cùng. Trong điều kiện không sấy lại, máy điện xoay chiều phải thỏa mãn cấp điện áp thử nghiệm theo quy định. Máy điện lớn được chia thành hai nhóm: nhóm thứ nhất gồm tất cả các máy công suất đến 5000kW khi tốc độ quay không quá 1500vg/ph, nhóm thứ hai gồm các động cơ công suất lớn hơn 5000kW, tất cả các động cơ tốc độ quá 1500vg/ph, các máy điện tua bin hơi, tua bin nước và máy bù đồng bộ.

Đối với nhóm thứ nhất, điện áp thử nghiệm tối thiểu bằng một nửa điện áp định mức còn điện áp thử nghiệm cực đại bằng 2,5 lần định mức. Nếu cần thành lập đặc tính $I_r = f(U_{TN})$ trong đó I_r là dòng điện rò, U_{TN} là điện áp thử nghiệm thì chọn cấp điện áp thử như sau (bảng 4.1):



Hình 4.6. Cách kiểm tra đầu đầu, đầu cuối các pha dây quấn

BẢNG 4.1. ĐIỆN ÁP THỬ CỦA CÁC MÁY ĐIỆN LỚN

Điện áp định mức	Các nấc điện áp thử [kV]
3kV	1,5; 3; 4,5; 6; 7,5
6 kV	3; 6; 9; 12; 15
10 kV	5; 10; 15; 20; 25

Đối với nhóm thứ 2 điện áp thử nghiệm lấy theo bảng sau:

Công suất [kW]	Điện áp định mức [kV]	Điện áp thử nhỏ nhất [kV]	Điện áp thử cực đại [kV]
Đến 1000	Tất cả các điện áp đến 3,3	$0,5 U_{DM}$	$1,2 (2U_{DM} + 1)$
Trên 100	3,3 – 6,6	$0,5 U_{DM}$	$1,2 (2U_{DM} + 1)$
Trên 1000	Trên 6,6	$0,5 U_{DM}$	$1,2.2,5U_{DM}$
Trên 1000		$0,5 U_{DM}$	$1,15 (2U_{DM} + 3)$

Tương tự như đối với nhóm 1 ta có thể lấy được đặc tính mô tả quan hệ giữa dòng điện rò I_r (μA) với điện áp thử nghiệm.

Đối với máy kiểu hở và bảo vệ trước khi thử nghiệm cần phải làm sạch bụi bám trên bề mặt phần đầu nối dây quấn bằng khí nén với áp suất cao hơn $2kG/cm^2$.

4.3. THỬ NGHIỆM MÁY BIẾN ÁP

Thử nghiệm MBA chủ yếu có 2 loại: Thử nghiệm sau khi sản xuất và thử nghiệm nghiệm cứu khi sản xuất một loại máy mới, hay một gam mới.

Theo loại thứ nhất có các hạng mục thử nghiệm sau:

1. Kiểm tra tỷ số biến áp ở tất cả các vị trí của bộ chuyển mạch điều chỉnh điện áp.
2. Kiểm tra tổ nối dây của MBA.
3. Thử nghiệm độ bền điện của dầu MBA sau khi đã đổ vào máy. Đối với các máy có điện áp cao hơn 35 kV phải đo tg δ của dầu.
4. Đo điện trở của dây quấn.
5. Đo điện trở cách điện.
6. Thử nghiệm độ bền cách điện chính của MBA bằng dòng điện 50Hz.
7. Thử nghiệm độ bền cách điện giữa các vòng dây, bối dây, lớp dây và các pha bằng điện áp cảm ứng ở tần số cao (thử nghiệm cách điện dọc).
8. Thí nghiệm không tải, đo tổn hao không tải P_0 và dòng điện không tải $i_0\%$.
9. Thí nghiệm ngắn mạch, đo tổn hao ngắn mạch P_n và điện áp ngắn mạch $U_n\%$.
10. Xác định độ kín của vỏ thùng MBA.
11. Đối với các MBA có thiết bị điều chỉnh điện áp dưới tải, phải thử nghiệm thiết bị chuyển mạch, thử nghiệm bộ tự động điều khiển của hệ thống truyền động.

Thử nghiệm nghiệm cứu cũng phải làm đầy đủ các bước trên, ngoài ra còn làm thêm các thử nghiệm sau:

1. Thử nghiệm độ bền điện của cách điện bằng xung điện áp toàn sóng và từng phần. Thử nghiệm này áp dụng cho các MBA có cách điện bình thường.
 2. Thí nghiệm phát nóng MBA.
 3. Thử nghiệm độ bền về lực điện động.
 4. Thử nghiệm độ bền của vỏ thùng khi rỗng và khả năng chịu áp lực cao.
- Sau đây là một số phương pháp thử nghiệm chính.

4.3.1. Thử nghiệm dầu MBA

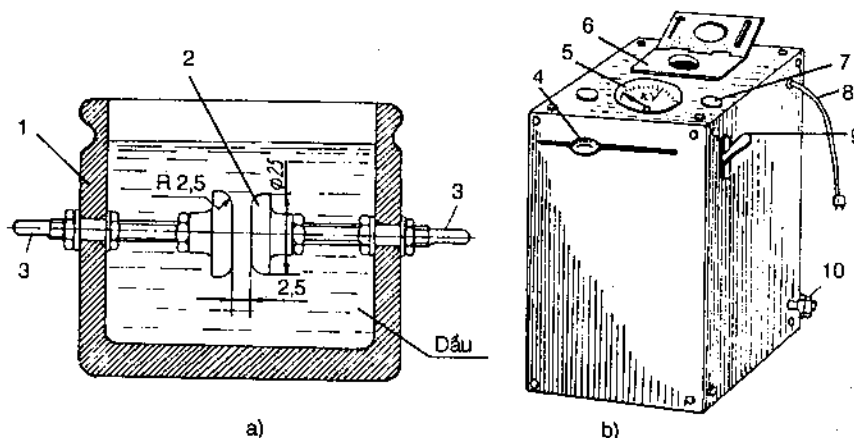
Thử nghiệm dầu MBA gồm thử nghiệm điện áp đánh thủng, thử nghiệm tổn hao điện môi và xác định tính chất lý, hoá của dầu.

1. Thử nghiệm điện áp đánh thủng

Thử nghiệm này được thực hiện bằng dụng cụ đánh thủng dầu. Trên hình 4.7 trình bày một dụng cụ dùng để đo điện áp đánh thủng của dầu MBA. Một bình sứ có dung

tích không nhỏ hơn 0,5 lít, trong đó đựng dầu biến thế được lấy từ van dầu phía dưới MBA. Việc lấy dầu thí nghiệm phải đảm bảo không để lẫn các tạp chất làm sai lệch kết quả. Các điện cực 2 đặt cách nhau 2,5mm. Điện áp cao lấy từ một MBA tăng áp đưa vào hai cực 3.

Hình 4.7b là bộ nguồn điện áp cao trong đó: 4 – Con trượt điều chỉnh điện áp (điều chỉnh tròn); 5 – Đồng hồ kV kế; 6 – Lỗ có cửa nhỏ để đưa bình thử (a) vào; 7 – Đèn tín hiệu; 8 – Cáp dẫn; 9 – Tay gạt đóng điện vào dây quấn sơ cấp; 10 – Bulông nối đất.



Hình 4.7. Đo điện áp đánh thủng dầu MBA

Cách đo điện áp đánh thủng như sau: Tăng dần điện áp với tốc độ $2 \div 5$ kV/s cho đến khi phóng điện thủng giữa hai điện cực, ghi lấy trị số điện áp đánh thủng. Tiến hành thử 6 lần, bỏ qua lần thứ nhất, điện áp đánh thủng của dầu là trị số trung bình của 5 lần sau. Sau mỗi lần đánh thủng, nên để nghỉ 10 phút và dịch điện cực đi chỗ khác. Thời gian này là để cho lắng cặn do sự đánh thủng dầu gây ra.

2. Thử nghiệm dầu MBA về tổn hao điện môi (đo $\text{tg } \delta$)

Đối với dầu đang vận hành $\text{tg } \delta$ không được lớn hơn 1% ở nhiệt độ 20°C ; ở 70°C không lớn hơn 7%.

Đối với dầu mới ở 20°C $\text{tg } \delta = 0,2 \div 0,4\%$ (tùy theo loại dầu); ở 70°C $\text{tg } \delta = 1,5 \div 2,5\%$. Để đo $\text{tg } \delta$ người ta dùng cầu đo kiểu MДП hoặc P – 525.

3. Xác định các tính chất lý hoá

Việc xác định thành phần hoá học của dầu do phòng thí nghiệm hoá học thực hiện. Ở đó dầu được phân tích để xác định tỷ lệ các tạp chất như nước, muối than, hàm lượng axit, nhiệt độ chớp cháy...

Theo quy định đối với dầu mới, hàm lượng axit không quá 0,05%, đối với dầu đã vận hành không được quá 0,25%. Nhiệt độ chớp cháy của dầu không được nhỏ hơn 135°C .

Khi thử nghiệm nghiên cứu, người ta còn phải xác định độ nhớt, độ ổn định, trọng lượng riêng...

4.3.2. Xác định tỷ số biến áp k

Tỷ số biến áp k là tỷ số giữa điện áp phía cao áp với điện áp phía hạ áp: $k = \frac{U_{CA}}{U_{HA}}$

Để xác định tỷ số biến áp k ta có thể dùng một trong các phương pháp sau:

1. Phương pháp hai vôn kế

Theo phương pháp này sơ đồ nối dây như hình 4.8. Điện áp được đặt vào dây quấn cao áp có trị số không nhỏ hơn 2% định mức.

Nhờ các vôn kế và các chuyển mạch, ta đo được điện áp ở cả 2 phía một cách đồng thời. Tiến hành đo ứng với tất cả các đầu phân áp. Tỷ số biến áp được tính như sau:

Trường hợp dây quấn cao áp nối Y, dây quấn hạ áp nối Δ thì $k = \frac{U_{CA}}{\sqrt{3}U_{HA}}$

Trường hợp dây quấn cao áp nối Δ , hạ áp nối Y thì: $k = \frac{\sqrt{3}U_{CA}}{U_{HA}}$

Trong đó U_{CA} , U_{HA} là điện áp dây cao áp và hạ áp.

Sai lệch cho phép giữa giá trị đo được và tính toán đối với MBA có $k < 3$ là $\pm 1\%$, còn lại $\pm 0,5\%$. Độ lệch pha không quá 1 – 2%.

2. Phương pháp cầu

Phương pháp này cũng được dùng khá phổ biến vì độ chính xác và an toàn cao, đặc biệt không yêu cầu lựa chọn những sơ đồ đặc biệt.

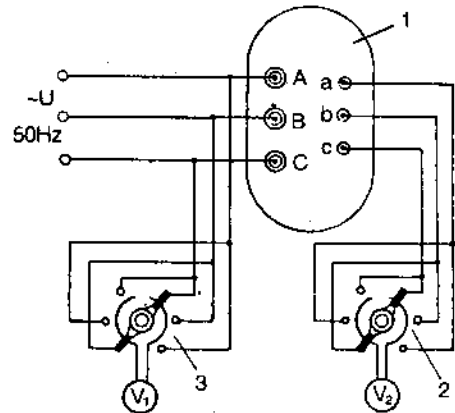
Sơ đồ nguyên lý của phương pháp này như hình 4.9.

Tỷ số biến áp:

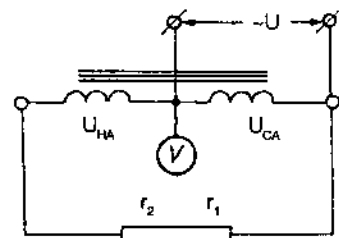
$$k = \frac{U_{CA}}{U_{HA}} = \frac{r_1}{r_2}$$

Trong sơ đồ, điện áp U là điện áp hạ áp. Điều chỉnh điện trở để kim của vôn kế chỉ số 0 căn cứ với giá trị của r_1 và r_2 ta xác định được k. Đo theo phương pháp này có thể đạt độ chính xác 0,1%.

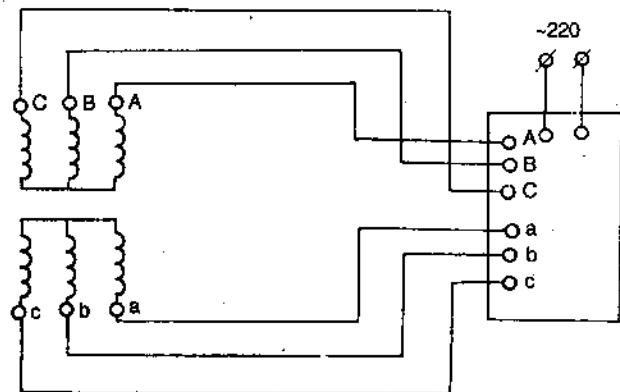
Hình 4.10 là sơ đồ mắc MBA với cầu đo WMUT – 100 để đo tỷ số biến áp bằng cầu WMUT – 100. Trị số của tỷ số k đọc trực tiếp theo vị trí tay gạt điều chỉnh của cầu.



Hình 4.8. Sơ đồ đo tỷ số biến áp



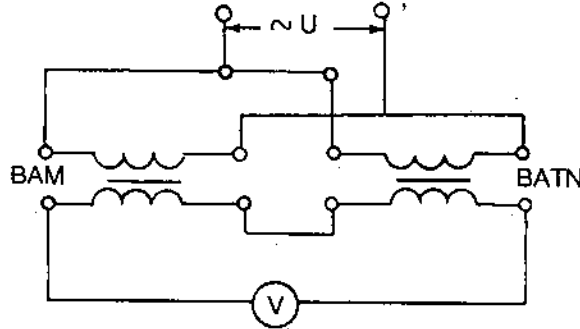
Hình 4.9. Xác định tỷ số biến áp bằng phương pháp cầu



Hình 4.10. Sơ đồ mắc MBA với cầu đo WMUT – 100 để xác định tỷ số biến áp

3. Phương pháp dùng MBA mẫu

Sơ đồ nguyên lý của phương pháp này như hình 4.11. Các cuộn dây sơ cấp của MBA mẫu (BAM) và MBA thí nghiệm (BATN) được nối với lưới điện xoay chiều. Các cuộn dây thứ cấp được nối ngược nhau và khép kín qua vôn kế.



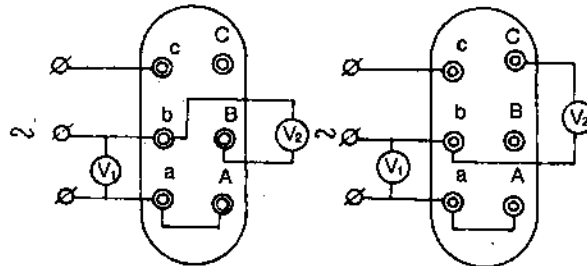
Hình 4.11. Xác định tỷ số biến áp bằng MBA mẫu

Nếu tỷ số biến áp của BAM và BATN bằng nhau thì kim của vôn kế chỉ 0. Tùy theo số chỉ của vôn kế ta biết được sự khác nhau giữa 2 tỷ số biến áp của hai máy. Phương pháp này được áp dụng phổ biến đối với MBA công suất nhỏ và sản xuất lớn.

4.3.3. Xác định tổ nối dây của máy biến áp

Thường tổ nối dây của MBA được xác định hai lần: khi lắp ráp ruột máy và khi thí nghiệm xuất xưởng.

Để xác định tổ nối dây của MBA ta dùng phương pháp hai vôn kế như hình 4.12.



Hình 4.12. Xác định tổ nối dây bằng phương pháp hai vôn kế

Điện áp cấp vào phía cao áp hoặc hạ áp có trị số khoảng 100V hoặc 200V và được đo bằng vôn kế V_1 . Dùng vôn kế V_2 đo điện áp giữa các cực U_{bB} ; U_{bC} ; U_{cC} ; U_{cB} . Căn cứ vào bảng công thức tính ra các điện áp trên. Nếu trị số tính được và đo được trùng nhau thì tổ nối dây của máy là đúng. Đối với MBA công suất không lớn thì có thể dùng pha kế để xác định tổ nối dây. Pha kế là một dụng cụ đo điện để xác định góc lệch pha giữa dòng điện và điện áp hoặc giữa các dòng điện trong hai mạch nhánh. Nó gồm có 2 cuộn dây, một cuộn mắc vào mạch dây quấn cao áp, cuộn kia mắc vào dây quấn hạ áp. Các cuộn dây của pha kế được nối qua một điện trở phụ có trị số lớn.

BẢNG 4.2. XÁC ĐỊNH TỔ NỐI DÂY

Tổ nối dây	Đồ thị véc tơ Sức điện động dây	Điện áp giữa các cực		
		$U_{BB}; U_{CC}$	U_{BC}	U_{CB}
12		$U(K-1)$	$U\sqrt{1-K+K^2}$	$U\sqrt{1-K+K^2}$
11		$U\sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$	$U\sqrt{1+K^2}$	$U\sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$
10		$U\sqrt{1-K+K^2}$	$U\sqrt{1+K+K^2}$	$U(K-1)$
9		$U\sqrt{1+K^2}$	$U\sqrt{1+\sqrt{3}K+K^2}$	$U\sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$
8		$U\sqrt{1+K+K^2}$	$U(1+K)$	$U\sqrt{1-K+K^2}$
7		$U\sqrt{1+\sqrt{3}K+K^2}$	$U\sqrt{1+\sqrt{3}K+K^2}$	$U\sqrt{1+K^2}$
6		$U(1+K)$	$U\sqrt{1+K+K^2}$	$U\sqrt{1+K+K^2}$
5		$U\sqrt{1+K+K^2}$	$U\sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$	$U\sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$
4		$U\sqrt{1+K+K^2}$	$U\sqrt{1-K+K^2}$	$U/(K-1)$
3		$U\sqrt{1+K^2}$	$U\sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$	$U\sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$
2		$U\sqrt{1-K+K^2}$	$U/(K-1)$	$U\sqrt{1-K+K^2}$
1		$U\sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$	$U\sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$	$U\sqrt{1+K^2}$

4.3.4. Đo điện trở của dây quấn

Việc đo điện trở của dây quấn cao áp và hạ áp của MBA được thực hiện bằng cầu đo hoặc đo bằng phương pháp Vôn – Ampe, cầu đo như đã nói ở phần trước đối với máy điện quay hoặc bằng cầu đo điện tử số.

4.3.5. Đo điện trở cách điện

Việc đo điện trở của dây quấn tương tự như đối với máy điện quay. Ở đây chỉ phân tích thêm một số yếu tố.

Chỉ số của megômét phụ thuộc vào thời gian đo. Thường người ta đo điện trở với thời gian khác nhau: sau 15s và 60s rồi lập tỷ số R_{60}/R_{15} . Tỷ số này gọi là hệ số hấp thụ. Hệ số hấp thụ càng lớn càng tốt, vì như vậy chứng tỏ cách điện thuần khiết. Khi lượng tạp chất như bụi bẩn, hơi nước lớn, hệ số hấp thụ nhỏ, kim megômét hầu như ổn định ngay.

Điện trở cách điện của dây quấn còn phụ thuộc vào nhiệt độ. Nếu đo điện trở cách điện ở các nhiệt độ khác nhau ta được các trị số khác nhau. Thường khi nhiệt độ giảm đi 10^0 (điện trở cách điện tăng lên 1,5 – 2 lần).

Để xác định mức độ ẩm ướt của dây quấn phải đo tổn hao điện môi của cách điện. Nếu tgδ vượt quá trị số quy định 1,5 lần thì cách điện được coi là kém.

Điện dung giữa các dây quấn với nhau và với đất cũng đánh giá được mức độ ẩm của cách điện. Nếu cách điện khô điện dung hầu như không phụ thuộc vào nhiệt độ. Khi cách điện bị ẩm, điện dung sẽ tăng lên rõ rệt khi nhiệt độ tăng. Cách điện được coi là khô nếu điện dung của nó ở nhiệt độ 75^0C không lớn quá 15% điện dung đo ở 25^0C , tức là:

$$C_{75}/C_{25} \leq 1,15.$$

Điện dung được đo bằng cầu đo, tần số 50Hz.

Khi cách điện được tẩm sấy tốt, điện dung của dây quấn hầu như không phụ thuộc vào tần số. Nếu cách điện bị nhiễm ẩm điện dung giảm khi tần số tăng. Căn cứ vào điều đó người ta có thể đánh giá độ ẩm cách điện bằng cách đo tỷ số điện dung ở tần số 2 và 50Hz: C_2/C_{50} . Ở nhiệt độ khác nhau tỷ số này cũng khác nhau, nếu tỷ số C_2/C_{50} nằm trong bảng 4.3.

BẢNG 4.3. TỶ SỐ C_2/C_{50}

Nhiệt độ	5	10	20	30	40	50	60	70
C_2/C_{50}	1,5	1,23	1,32	1,4	1,45	1,57	1,66	1,7

Để đo tỷ số C_2/C_{50} có thể dùng thiết bị ПКБ của Nga hoặc tương đương. Thông thường người ta áp dụng hỗn hợp tất cả các phương pháp kiểm tra chất lượng cách điện để khẳng định độ tin cậy của nó trước khi đưa vào vận hành.

4.3.6. Thí nghiệm không tải và ngắn mạch

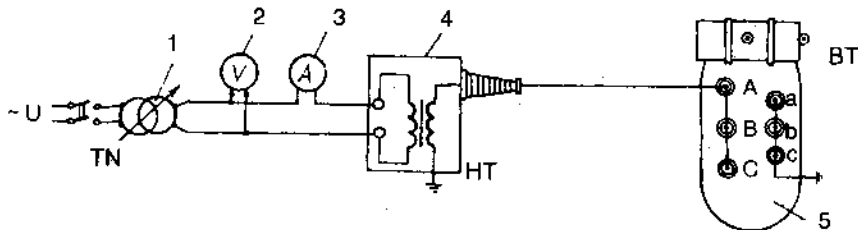
Thí nghiệm không tải nhằm mục đích kiểm tra xem trong quá trình công nghệ có sơ xuất để gây ra tổn hao trong mạch từ quá lớn không. Thí nghiệm này đo được dòng điện không tải và tổn hao công suất không tải. So sánh kết quả đo được với trị số tính toán và trị số tiêu chuẩn quy định ta khẳng định được công nghệ chế tạo mạch từ có hoàn chỉnh không. Thí nghiệm không tải được thực hiện bằng cách đưa điện áp có thể điều chỉnh trơn vào dây quấn hạ áp, để hở dây quấn thứ cấp, đo dòng không tải I_0 và công suất không tải P_0 . Thường trình tự các trị số lấy từ điện áp định mức hạ dần xuống.

Thí nghiệm ngắn mạch cho phép ta đo được điện áp ngắn mạch và tổn hao ngắn mạch khi $I_n = I_{dm}$. Căn cứ vào các số liệu này người ta có thể kết luận về chất lượng chế tạo dây quấn. Khi quấn dây tất cả các sai số như hoán vị các dây dẫn không đúng, đứt một trong các mạch nhánh song song, sử dụng dây có tiết diện nhỏ hơn, tiếp xúc xấu, điện trở dây quấn tăng, đều làm tăng tổn hao và điện áp ngắn mạch. Thí nghiệm ngắn mạch được thực hiện bằng cách đưa một điện áp thấp vào dây quấn cao áp, dây quấn hạ áp ngắn mạch sao cho dòng chạy trong các dây quấn bằng định mức. Đo dòng, áp và tổn hao công suất theo hướng giảm dần điện áp ngắn mạch. So sánh kết quả đo được với kết quả tính toán và trị số tiêu chuẩn.

4.3.7. Thử nghiệm độ bền của cách điện

1. Cách điện chính của MBA

Cách điện giữa các dây quấn với nhau, cách điện giữa dây quấn với mạch từ và với vỏ thùng, cách điện giữa dây dẫn ra và bộ điều chỉnh điện áp với mạch từ, vỏ thùng và với nhau. Thử nghiệm cách điện chính



Hình 4.13. Thử nghiệm cách điện chính của MBA

được thực hiện theo sơ đồ hình 4.13, trong đó BT là MBA cần thử nghiệm, HT là MBA tạo nguồn điện có điện áp cao có khả năng điều chỉnh được (trơn), nhờ máy biến áp tự ngẫu TN. Khi thử ta tăng dần điện áp thử đặt vào dây quấn cần thử cho đến khi đạt điện áp thử nghiệm quy định. Nếu không xảy ra hiện tượng phóng điện chọc thủng hoặc phóng điện từng phần thì có thể kết luận cách điện tốt.

Điện áp thử nghiệm cho ở điều kiện khí quyển bình thường (nhiệt độ $+20^{\circ}\text{C}$, áp suất 760mmHg, độ ẩm 11g/m^3) lấy theo bảng 4.4.

BẢNG 4.4. ĐIỆN ÁP THỬ NGHIỆM CỦA MBA

Điện áp làm việc (kV)	3	6	10	15	20	35
Điện áp thí nghiệm (kV)	18	25	35	45	55	85
Điện áp làm việc (kV)	110	150	220	330	500	750
Điện áp thí nghiệm (kV)	200	275	400	400	680	830

Đối với MBA khô điện áp đến 10 kV, điện áp thử nghiệm lấy bằng 2/3 trị số tương ứng trong bảng trên.

Trong cách thử nghiệm điện áp được tăng từ từ và được đo bằng vôn kế đặt trong mạch sơ cấp của MBA thí nghiệm.

2. Thử nghiệm cách điện dọc

Như đã nói ở trên, cách điện dọc bao gồm: cách điện giữa các bánh dây, lớp dây, vòng dây với nhau; cách điện giữa các bánh dây của các pha khác nhau; cách điện giữa dây dẫn và bộ điều chỉnh điện áp.

Các cách điện này được thử nghiệm bằng điện áp cảm ứng trong các dây quấn. Khi thử nghiệm người ta đặt vào dây quấn cao áp hoặc hạ áp điện áp gấp 2 lần điện áp định mức, dây quấn kia để hở. Để dòng điện không tải không tăng quá mức làm hỏng dây quấn ta phải đồng thời tăng tần số của điện áp thử nghiệm lên 2 lần (100Hz). Trong thời gian thử nghiệm là 1 phút.

Cách điện được coi là tốt nếu trong quá trình thử nghiệm không có hiện tượng dòng điện tăng, điện áp pha mất đối xứng, bốc hơi, bốc khói.

Đối với trường hợp không có nguồn 100Hz thì có thể dùng nguồn 50Hz nhưng điện áp thử chỉ tăng 130% đối với MBA có mạch từ không có bu lông xuyên và 115% đối với mạch từ có bu lông xuyên.

3. Thử nghiệm lại cách điện lá tôn

Sau khi lắp ráp xong ta cần phải kiểm tra lại cách điện giữa các lá tôn của lõi sắt.

4. Thử nghiệm cách điện giữa các bulông xuyên với lõi sắt.

5.1. ĐẠI CƯƠNG

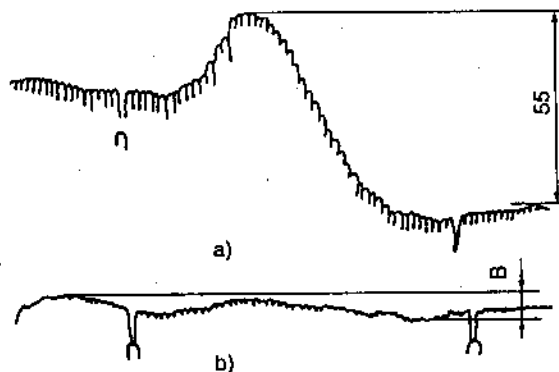
5.1.1. Các yêu cầu kỹ thuật với cổ góp của máy điện

Việc lấy điện ra hoặc đưa điện vào dây quấn rôto quay thông qua tiếp xúc trượt giữa chổi than và bề mặt cổ góp sao cho không phát tia lửa là một việc khá phức tạp, đòi hỏi yêu cầu kỹ thuật chế tạo rất cao. Trước hết vì hệ thống chổi than, cổ góp trượt trên nhau nên chổi than và cổ góp phải có khả năng chịu mài mòn. Độ mài mòn của cổ góp khi tia lửa điện không đáng kể phụ thuộc vào hàm lượng chất hợp kim pha vào đồng điện phân để chế tạo các phiến góp. Độ mài mòn của chổi than phụ thuộc vào độ bóng của cổ góp, lực ép của chổi, loại chổi và công nghệ chế tạo chúng.

Nếu công nghệ chế tạo không tốt có thể xảy ra các tình trạng làm việc không tốt sau:

- Bề mặt cổ góp có hình trụ tròn đều nhưng trục cổ góp lệch so với trục rôto nên khi quay tạo ra độ nhảy của bề mặt cổ góp.

- Bề mặt cổ góp không phải là hình trụ tròn mà bị méo do có sự chuyển dịch theo hướng kính các phiến góp xê dịch so với nhau. Sự biến dạng của cổ góp có thể là tĩnh (méo sẵn) hoặc biến dạng đàn hồi (chỉ méo khi làm việc). Độ ổn định, hình dạng bề mặt cổ góp được đánh giá theo kết quả đo độ nhảy của cổ góp khi quay chậm và quay nhanh, khi bị đốt nóng và khi để nguội. Bằng dụng cụ đo đặc biệt người ta đã đo được biến dạng đàn hồi bề mặt cổ góp của một động cơ kéo như hình 5.1. Ở tốc độ quay 2400 vòng/phút (a) và 600 vòng/phút (b).



Hình 5.1. Biến dạng đàn hồi đo được trên bề mặt cổ góp

Theo hình 5.1 biên độ dao động (độ nhảy lớn nhất) khi tốc độ quay 2400v/ph là 55 μm . Với động cơ kéo 110kW độ nhảy này không ảnh hưởng gì đến chế độ tiếp xúc và đổi chiều của máy điện.

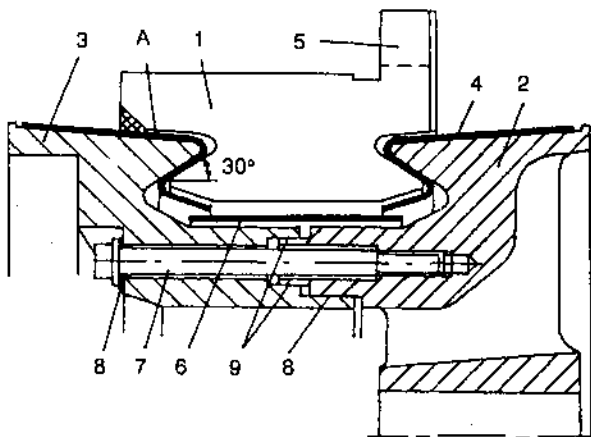
Sự biến dạng đàn hồi theo hướng kính bề mặt ngoài cổ góp gây ra do sự biến dạng đàn hồi của các phiến góp và sự xê dịch các tấm mica cách điện giữa chúng. Nhiều nghiên cứu cho thấy khi xảy ra biến dạng đàn hồi các phiến góp xê dịch đi so với nhau một khoảng 0,015mm.

Điều không thể được là sau biến dạng đàn hồi để lại những biến dạng dư, tạo ra độ nhảy tĩnh (độ nhảy ở tốc độ thấp) quá lớn. Biến dạng dư thường khác nhau ở trạng thái nóng và nguội. Tiêu chuẩn của Nga quy định độ nhảy dư sau khi thử nghiệm tăng tốc cổ góp ở trạng thái nóng không quá 0,02mm. Trước khi lắp cổ góp lên trục máy điện chúng được thử nghiệm trên máy thử và nếu thấy độ nhảy dư không quá 0,01mm thì công nghệ sản xuất được coi là ổn định. Tốc độ thử nghiệm bằng 125% tốc độ định mức của máy.

5.1.2. Phân tích một số kiểu cổ góp về phương diện công nghệ chế tạo

1. Cổ góp có vành nén hình côn

Một kiểu cổ góp thông dụng được trình bày trên hình 5.2.



Hình 5.2. Cổ góp có vành nén hình côn ép bằng bu lông

Cổ góp loại này bao gồm các phiến góp 1 có đầu hình đuôi nhạn để hàn với các đầu của phần tử dây quấn. Tiết diện ngang của các phiến góp có dạng hình thang. Giữa các phiến góp có các tấm cách điện bằng mica. Hai chỗ lõm vào của các phiến góp khi ghép với nhau sẽ tạo thành 2 máng hình côn. Ống lót 2 và vành nén hình côn 3 được xiết lại gần nhau nhờ bulông 7. Khi đó các phiến góp sẽ dịch chuyển vào tâm theo hướng kính và ép sát với nhau. Vành cách điện mica hình trụ 4 sẽ cách điện các phiến góp với ống lót và vành nén. Ống cách điện hình trụ 6 để cách điện ở phía trong các phiến góp.

Khả năng phân bố đồng đều các phiến góp và các lực tác dụng lên nó rất khó đạt được do hai nguyên nhân chính sau:

- Các phiến góp được cách điện với nhau bằng các tấm mica nút mà môđun đàn hồi của nó thay đổi theo nhiệt độ và áp suất. Các vành cách điện hình trụ 4 không hoàn toàn đồng nhất. Tất cả những nguyên nhân đó khi quay sẽ làm cho các phiến góp trượt so với nhau do lực ly tâm.

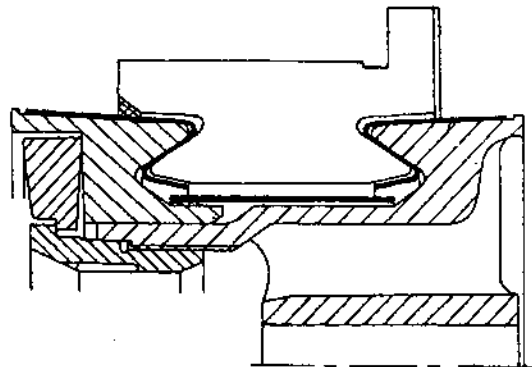
- Do sự khác nhau về hệ số dẫn nở nhiệt của các phiến góp, vành nén và ống lót nên khi nhiệt độ tăng sẽ xuất hiện các bulông ép.

Vấn đề ở đây là việc ép vành nén như thế nào đó để không xuất hiện biến dạng dư trong các chi tiết của cổ góp do dẫn nở nhiệt không đều. Vấn đề này được giải quyết theo hai hướng: dùng các bulông xiết tương đối dài hoặc dùng vành ép.

Đối với cổ góp dùng bulông ép, bulông càng dài và nhỏ thì càng tốt. Trong trường hợp đó tiết diện ngang bulông được tính toán với tổng các lực kéo và như vậy bulông thường phải dùng thép tốt, có độ cứng lớn hơn đáng kể so với bulông thông thường. Ưu điểm của loại cổ góp này là có thể kéo căng từng điểm trên chu vi của vành nén

bằng cách điều chỉnh lực căng của từng bulông một. Như vậy, ta có thể cân bằng cục bộ và loại trừ sự không giống nhau của biến dạng vành nén và tấm mica cách điện.

Đối với cổ góp dùng vành ép (hình 5.3) thì vành ép từ đều trên toàn chu vi của vành nén nên không thể điều chỉnh cục bộ được. Vì vậy, khi gia công phải giám sát chặt chẽ dung sai theo hướng dọc trục. Ưu điểm của loại này là vành ép biến dạng dễ dàng hơn nên có thể tính toán cho cổ góp có biến dạng nhiệt lớn.



Hình 5.3. Cổ góp có vành nén hình côn ép bằng vành ép

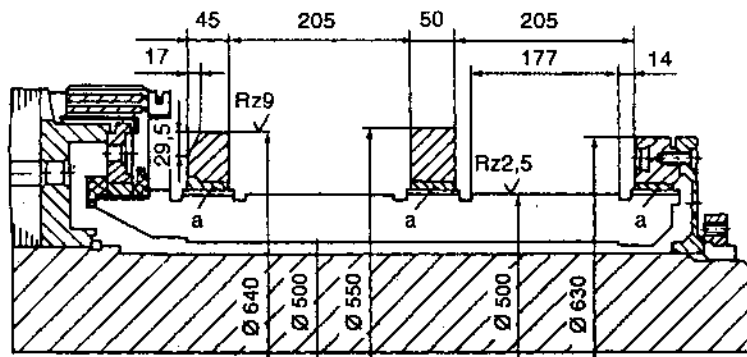
Về vật liệu cả hai kiểu cổ góp trên đều cần phải được chế tạo từ thép tốt, có độ bền mỏi cao vì vành nén, ống lót cũng như vành ép và bulông đều chịu một lực lớn và thường xuyên. Thông thường vành ép được chế tạo từ thép rèn, còn bulông thì từ thép cán.

So với kiểu ép bằng bulông, kiểu dùng vành ép có những ưu điểm sau:

- Lực do dẫn nở nhiệt nhỏ hơn, ống lót có thể làm dài, vành ép có khả năng biến dạng theo hướng dọc trục lớn nên không tạo ra biến dạng theo hướng kính khi có dẫn nở nhiệt.
- Không có lực xoắn tác dụng lên vành nén và vành cách điện do vành ép tiến vào đều trên toàn chu vi vành nén.
- Sự phân bố của lực ép đều trên toàn chu vi cổ góp.
- Giảm bớt được công đoạn ép tạo hình cổ góp trên trục giả (quá trình cân chỉnh các bulông, rà thử, đo biến dạng cổ góp).

2. Cổ góp có vành đai ngoài

Cổ góp có vành đai ngoài (hình 5.4) được sử dụng khi kiểu cổ góp trên không đảm bảo độ bền cơ cần thiết. Loại cổ góp này chúng ta thường gặp trong các máy điện một chiều hoặc động cơ xoay chiều cổ góp chạy nhanh, chẳng hạn trong các thiết bị thử nghiệm tăng tốc, máy phát kích thích cho các máy phát điện xoay chiều tua bin hơi. Ngày nay, các máy phát tua bin hơi được kích thích bằng hệ thống kích thích không tiếp xúc hoặc hệ thống kích thích tĩnh nên lĩnh vực sử dụng loại cổ góp có vành đai bị thu hẹp.



Hình 5.4. Cổ góp có vành đai ngoài

Đặc điểm loại cổ góp này là không thể điều chỉnh lực ép được nên phải tính toán lực ép chính xác ngay từ đầu. Các bước công nghệ ép cổ góp loại này như sau:

- Ép sơ bộ bằng một bộ vành đai tạm thời có thể tháo ra dễ dàng (vành a trên hình 5.4).
- Nung kết cổ góp để ổn định kết cấu của cách điện giữa các phiến góp. Đo đường kính cổ góp.
- Đo đường kính cổ góp và chế tạo bộ vành đai mới theo đường kính vừa đo được với lực kéo cần thiết.

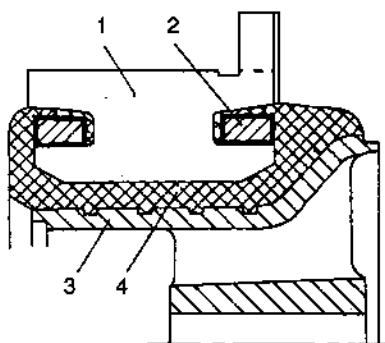
Toàn bộ cổ góp được bố trí trên giá đỡ kiểu nan hoa. Kết cấu kiểu cổ góp này hoàn toàn đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật trong vận hành các máy điện lớn. Vì loại cổ góp này chỉ dùng cho các máy lớn và đặc biệt nên không trình bày chi tiết công nghệ chế tạo chúng.

3. Cổ góp bằng chất dẻo

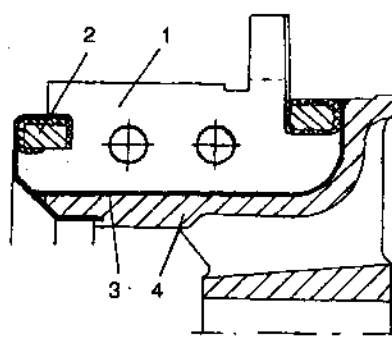
Cho đến nay cổ góp sử dụng cách điện là chất dẻo đã phổ biến và trở nên thông dụng. Có nhiều loại chất dẻo đáp ứng được cả 3 yêu cầu của cách điện cổ góp là độ bền cơ, độ cách điện và khả năng chịu nhiệt. Giá thành cổ góp chất dẻo thấp hơn khá nhiều so với cổ góp cách điện mica.

Có nhiều kiểu cổ góp chất dẻo nhưng phổ biến hơn cả là hai loại dưới đây:

– Loại thứ nhất là cổ góp có cách điện bằng chất dẻo phối hợp với 2 vành đai cốt thép (hình 5.5). Cách điện giữa các phiến góp vẫn là các tấm mica. Vành đai thép 2 nằm trong 2 rãnh ở 2 đầu các phiến góp. Phần chất dẻo là cách điện giữa các phiến góp với giá đỡ 3 vừa là chi tiết cơ khí chịu lực. Để chống sự trượt của nó so với giá đỡ theo cả hai hướng người ta tiện trên giá đỡ các rãnh xoắn. Vành đai thép 2 là chi tiết chịu lực ly tâm do các phiến góp gây ra. Ống lót 4 được làm theo kiểu cánh sao (nan hoa) để tạo điều kiện thông gió tốt. Ưu điểm của loại cổ góp này là chiều dài hướng trục nhỏ, nhược điểm là tiết diện ngang của vành đai cốt thép bị hạn chế do không phát triển được theo hướng chiều dài cổ góp.



Hình 5.5. Cổ góp chất dẻo có vành đai cốt thép



Hình 5.6. Cổ góp có cách điện đúc liền khối

– Loại thứ 2 là cổ góp chất dẻo có cách điện kiểu liền khối (hình 5.6). Kết cấu kiểu này được áp dụng để chế tạo các cổ góp của động cơ kéo tốc độ cao. Cách điện giữa các phiến góp với giá đỡ 4 và giữa các phiến góp đều bằng chất dẻo và liền khối với nhau.

Hai vành cốt bằng thép được đưa ra ngoài phạm vi làm việc của phiên góp. Ưu điểm của loại cổ góp này là có thể thu nhỏ đường kính cổ góp, điều này rất quan trọng đối với các động cơ kéo cao tốc. Các nghiên cứu thực nghiệm tiến hành đối với các cổ góp cùng kích thước nhưng khác kết cấu về phương diện độ ổn định bề mặt tiếp xúc và biến dạng hướng kính cho thấy cổ góp chất dẻo có vành cốt thép tốt hơn cả.

4. Cổ góp có kết cấu liên khối

Trong thời gian gần đây ngành chế tạo máy điện đã áp dụng khá phổ biến loại phân ứng máy một chiều có cách điện theo kiểu liên khối. Theo phương pháp này ta thu được một phân ứng đồng đặc, liên khối có độ bền cao nhưng không thể sửa chữa được khi bị hỏng. Kết cấu theo kiểu không sửa chữa là một nhược điểm lớn nhưng được bù lại độ bền khá cao. Người ta tính rằng một phân ứng như vậy phục vụ trong hai mươi năm và nếu là động cơ kéo thì thời gian đó có nghĩa là động cơ đã kéo xe điện chạy được 3,6 đến 4 triệu km. Vì vậy, việc không sửa chữa được những phân ứng cũng có thể chấp nhận được.

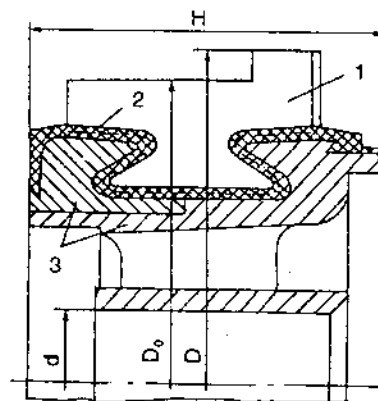
Vật liệu dùng trong loại cổ góp liên khối được trải qua các khâu công nghệ sao cho không có biến dạng dư dưới tác dụng của nhiệt và cơ học sinh ra trong quá trình vận hành. Loại amiăng cách điện sau khi gia công và tẩm épôxi đáp ứng được các yêu cầu trên. Sau khi tổ hợp với épôxi amiăng sẽ thay đổi các tính chất cơ lý và điện môi, toàn bộ cách điện sẽ được nhựa hoá và gắn tất cả các chi tiết của cổ góp và phân ứng thành một khối thống nhất.

Quy trình công nghệ chế tạo loại cổ góp này rất đơn giản, không phức tạp như các kiểu trên. Trong quá trình vận hành không xuất hiện những yếu tố phá huỷ cơ cấu của cổ góp như biến dạng dư do nhiệt và lực ly tâm.

5. Cổ góp có lớp đệm bằng chất dẻo

Các loại cổ góp có vành nén hình côn có nhược điểm là các phiên góp và các chi tiết khác phải chịu sức căng thường trực. Các loại cổ góp có cách điện bằng chất dẻo tuy có nhược điểm là tính chất cơ học cũng như điện môi không đẳng hướng: Cường độ chịu lực hướng dọc theo trục các chất dẻo khác xa so với hướng vuông góc với nó. Khi chế tạo các cổ góp có đai xảy ra vấn đề là tính chất của vật liệu giữa bề mặt của vòm cổ góp và bề mặt vành đai có thể khác nhau nhiều. Chất dẻo trong các cổ góp loại này chịu ứng suất kéo rất lớn có khi vượt quá cả giới hạn đàn hồi. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra trong các cổ góp cách điện bằng chất dẻo nhiệt toả ra theo các hướng dọc và hướng kính khác nhau, sự phân bố của trường nhiệt phụ thuộc vào thời gian. Trong trường hợp cấp nhiệt nhanh (hàn trong thùng thiếc nóng chảy, tải nặng đột ngột...) độ chênh nhiệt trong các điểm khác nhau của cổ góp có thể đạt tới $80 \div 120^{\circ}\text{C}$. Điều này gây ra những biến dạng đột ngột các chi tiết của cổ góp và thậm chí làm hỏng hoàn toàn cổ góp. Tất cả những nhược điểm trên của các loại cổ góp đã dẫn đến sự ra đời loại cổ góp có lớp đệm bằng chất dẻo (hình 5.7). Kết cấu của loại cổ góp này không khác nhiều so với cổ góp có vành nén bằng bu lông, chỉ khác là giữa các phiên góp với ống lót 3 có một lớp chất dẻo. Đặc điểm của loại này so với cổ góp chất dẻo là chất dẻo không chịu kéo mà chịu nén khi có dẫn nổ do nhiệt và khi có lực ly tâm. Với chiều dày đủ mỏng từ 1 đến 5mm và hoàn toàn

đồng nhất, lớp đệm này không gây ra những biến dạng đột ngột trong cổ góp và vì vậy nó đảm bảo độ bền của kết cấu cổ góp rất cao. Lực ép tác dụng lên lớp đệm khi cổ góp làm việc lên tới 10kG/mm^2 . Kết cấu này cũng đảm bảo tính đẳng hướng của vật liệu. Lớp chất dẻo không chịu kéo nên có thể dùng loại chất dẻo thủy tinh АГ – 4 hoặc các loại chất dẻo khác có khả năng chịu nén tốt. Kết cấu cổ góp kiểu này cho phép cải thiện được một số tính chất của nó như đơn giản trong chế tạo, độ bền cao, có khả năng sửa chữa khi bị đánh thủng cách điện. Bằng cách tháo các bulông ép, loại bỏ lớp chất dẻo hỏng ta có thể giữ được nguyên vẹn các chi tiết khác của nó. Loại cổ góp này đã được áp dụng cho các động cơ chạy nhanh tốc độ đường của cổ góp đạt tới 30m/s .



Hình 5.7. Cổ góp có lớp đệm bằng chất dẻo

5.1.3. Vật liệu để chế tạo cổ góp

Đồng để chế tạo cổ góp được sản xuất ở các nhà máy luyện kim hoặc xưởng điện hoá. Cơ sở của đồng cổ góp là đồng MOO được sản xuất bằng phương pháp kéo nguội có tiết diện hình thang. Để cải thiện các tính chất đồng cổ góp như độ bền, độ mài mòn, khả năng chịu nhiệt, người ta dùng đồng hợp kim như đồng – bạc, đồng – manhê, đồng cadimi, đồng – crôm, đồng – zizini.

Đồng M1 sử dụng có lợi đối với máy điện làm việc lâu dài ở nhiệt độ 155°C . Hợp kim gần giống với đồng M1 là hợp kim đồng bạc MCO,1. Hợp kim này khuyến khích dùng đối với tất cả các cấp cách điện có nhiệt độ làm việc đến 230°C . Hợp kim đồng – manhê БрМ, 0,2 có độ ổn định nhiệt trong bình có thể sử dụng đối với tất cả các cỡ công suất và cấp cách điện. Trong các động cơ chạy nhanh, cách điện cấp B và H nên sử dụng hợp kim có cadimi БрКд. Hợp kim cadimi – đồng có nhược điểm chóng mài mòn chổi than. Hợp kim đồng–crôm và đồng–zizini được sử dụng khi nhiệt độ trong quá trình chế tạo cao chẳng hạn khi tiếp xúc hoặc hàn trong thùng thiếc nóng chảy (bảng 5.2).

BẢNG 5.1. TÍNH CHẤT CƠ – LÝ – HOÁ CỦA MỘT SỐ VẬT LIỆU DÙNG LÀM PHIÊN GÓP

Hợp kim	Các tính chất cơ lý (ở 20°C)				Nhiệt độ cho phép				
	Điện dẫn xuất tương đối (so với đồng) %	Giới hạn bền (kG/mm^2)	Độ cứng (kG/mm^2)	Nhiệt độ kết tinh ($^{\circ}\text{C}$)	Khi làm việc		Khi chế tạo		
					> 100 giờ	12000 giờ	Sấy sau khi tấm	Hàn trong thùng tiếc	Hàn tiếp xúc
Đồng M1	98 - 100	250 - 300	75 - 105	160 - 2011	180	160	190	200	230
Đồng bạc MCO,1	96 - 98	250 - 350	85 - 105	250 - 300	240	230	240	250	280
Đồng manhê БрМ,0,2	74 - 82	270 - 400	90 - 120	250 - 300	250	230	250	250	280
Đồng cadimi БрCu1	74 - 82	270 - 400	95 - 120	250 - 300	250	235	250	260	280
Đồng crôm Бр>0,7	65 - 75	360 - 450	100 - 130	300 - 350	340	300	350	340	350
Đồng zizini Брур 0,2	75 - 95	320 - 420	100 - 130	350 - 400	340	350	350	350	380

BẢNG 5.2. SỰ PHỤ THUỘC CỦA ĐIỆN DẪN VÀO NHIỆT ĐỘ CỦA MỘT SỐ VẬT LIỆU

Vật liệu dùng	Nhiệt độ (°C)				
	20	100	200	300	400
	Điện dẫn (%) so với điện dẫn của đồng ở 20°C				
Đồng M1	98 – 100	75 – 80	55 – 65	45 – 55	35 – 45
Đồng bạc MCO,1	96 – 98	72 – 78	55 – 65	45 – 55	35 – 45
Đồng manhê БрМ,0,2	74 – 82	55 – 65	45 – 55	40 – 50	35 – 40
Đồng cadimi БрCu1	74 – 82	55 – 65	45 – 55	40 – 50	35 – 40
Đồng crôm Бр>0,7	65 – 75	50 – 60	45 – 55	40 – 50	35 – 40
Đồng zizini Брзр 0,2	75 – 85	65 – 75	55 – 65	42 – 47	40 – 45

Vật liệu cách điện dùng trong cổ góp có 2 loại chính là mica và chất dẻo.

Mica dùng để làm cách điện cổ góp là mica tấm được dán từ các vảy mica. Thông thường dùng các loại mica của Nga ký hiệu КФП, КФП-1, КФПІІ, КФГ trong đó К dùng làm cổ góp, П – chỉ loại keo gắn pôliephi, Ф – mica vàng (phlogopít), ІІІ – nhựa gốc cánh kiến, Г – sơn gliptan, số 1 chỉ độ co ngót thấp và dung sai chiều dày tấm mica nhỏ. Chiều dày các tấm mica được chuẩn hoá cùng với các sai lệch của nó. Yêu cầu đối với các tấm mica cổ góp còn về khả năng chịu nhiệt, kết dính tốt khi nhiệt độ cao. Chẳng hạn người ta quy định ở nhiệt độ đến 160°C và áp suất 8kG/mm² các vảy mica không được trượt so với nhau và bong ra, chất kết dính (keo dán cá vảy mica) không bị nóng chảy. Ngoài ra, người ta còn quy định về chiều dày lớp keo dán, độ co ngót ở nhiệt và áp suất cao. Ngoài loại mica tấm dán từ vảy mica người ta còn sử dụng các loại giấy, bìa hoặc màng mica gắn bằng các chất keo hữu cơ hoặc ép nóng mica với các chất sơn gliptan hoặc keo êpôxi.

Chất dẻo dùng làm cổ góp là loại vật liệu cách điện gốc polime tự nhiên hoặc tổng hợp. Chất dẻo gồm 2 loại mà ta thường gọi là nhựa cứng và nhựa mềm. Nhựa cứng là loại nhựa chỉ chịu gia công nhiệt 1 lần, không mềm lại khi gia công nhiệt lần 2. Nhựa mềm thuộc loại gốc pôli chẳng hạn pôlietilen, pôlinivinclorít... Nhựa mềm có ưu điểm chịu tải va đập, tính chất điện cao, dễ tạo hình. Nhựa cứng thuộc loại gốc phenôl chẳng hạn phenôlanilin, phenôlphoocmandehit... Nhựa cứng có độ ổn định nhiệt cao, giữ độ bền khi nhiệt độ cao. Khi sử dụng chất dẻo để làm cách điện cổ góp người ta còn cho thêm các chất độn, ví dụ sợi amiăng, sợi thủy tinh.

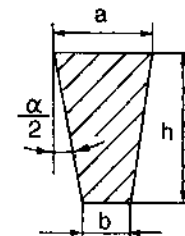
Một số hãng của Hunggari dùng một loại nhựa tổng hợp đúc vào cổ góp có vành ép. Các hãng của Mỹ dùng các loại keo R100 và R200 có cường độ cơ khí và cách điện cao để làm cổ góp. Các loại này có ứng suất kéo 9,8kG/mm², tgδ = 0,01 ở tần số 100Hz, độ bền điện 18,2MV/m khi chiều dày 1,6mm.

Êpôxi cũng được dùng làm cách điện trong cổ góp. Đối với cổ góp bé êpôxi được ép trực tiếp vào cổ góp. Ở các nhà máy lớn êpôxi được tổ hợp (đúc) với amiăng hoặc bột thạch anh để làm cách điện trong các cổ góp kiểu liền khối.

5.2. CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO CỔ GÓP

5.2.1. Chế tạo các phiến góp

Như đã biết, phiến góp có tiết diện hình thang (hình 5.8), nhìn ngang ta thấy hình dạng của phiến góp rất phức tạp. Đặc biệt phần lõm ở hai đầu các phiến góp sẽ tạo thành vòm hình côn, phải rất chính xác nếu không vành côn nén sẽ tì lên chúng không đều. Chính vì vậy, công nghệ chế tạo các phiến góp nhất thiết phải là dập. Đồng để chế tạo phiến góp là đồng được kéo định hình có tiết diện hình thang. Các phiến góp sau khi dập được sửa nguội và kiểm tra kích thước một cách tỉ mỉ. Phương pháp kiểm tra là dùng calíp để kiểm tra kích thước tiết diện ngang. Dung sai kích thước các phiến góp được cho trong bảng 5.3.



Hình 5.8. Tiết diện ngang phiến góp

BẢNG 5.3. DUNG SAI CHO PHÉP KHI CHẾ TẠO PHIẾN GÓP

Chiều dày phiến góp a (mm)	Sai lệch giới hạn của cạnh a (mm)			Chiều cao h (mm)	Sai lệch theo chiều cao (mm)
	Cấp chính xác chế tạo				
	Cao	Tương đối	Trung bình		
Đến 3	-0,020	-0,04	-0,06	Nhỏ hơn 18	-0,2
từ 3 đến 6	-0,025	-0,05	-0,08	từ 18 – 30	-0,3
từ 6 đến 10	-0,030	-0,06	-0,10	từ 30 – 50	-0,5
từ 10 đến 18	-0,035	-0,07	-0,12	từ 50 – 80	-0,6
				từ 80 – 125	-1

5.2.2. Chế tạo tấm mica hình côn trong cổ góp có vành nén

Công nghệ chế tạo tấm mica hình côn hầu như giống nhau ở tất cả các hãng sản xuất máy điện.

Nguyên tắc chung là ép tấm mica cách điện trong khuôn ép có gia nhiệt. Chiều dày chi tiết đạt được bằng cách chập nhiều tấm mỏng với nhau. Sau khi sấy nóng người ta uốn tấm mica theo hình nón rồi đưa vào khuôn ép. Thời gian ép và nhiệt độ lúc đó phụ thuộc vào chất kết dính dùng để dán vẩy mica. Nếu là vẩy mica người ta ép và gia nhiệt cho đến khi chất keo dính được polime hoá hoàn toàn. Nếu là mica mềm chỉ ép đến khi bán polime hoá (polime hoá chưa hoàn toàn). Khi lắp ghép quá trình ép và gia nhiệt tiếp sẽ làm polime hoá tiếp. Nếu kết quả ép tốt ta thu được một vành cách điện hình côn đồng nhất có chiều dày đều (không có chỗ dày chỗ mỏng). Tùy theo loại mica chế độ ép của chúng cũng khác nhau. Sai lệch cho phép về chiều dày của các loại mica khác nhau cho trong bảng 5.4.

BẢNG 5.4

Loại mica cổ góp	Chiều dày (mm)	Sai lệch cho phép về chiều dày (mm)	
		Trung bình	Ở các điểm khác nhau
KФШ; КФГС	0,4; 0,5; 0,55; 0,6; 0,7; 0,8; 0,85; 0,9; 1; 1,05	±0,03	±0,07
KФП-1; КФШ-1	1,1; 1,15; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 0,7; 0,8; 0,85; 0,9; 1; 1,05	±0,03	±0,06
KФГ; КФП	1,1; 1,15; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 0,7; 0,8; 0,85; 0,9; 0,95; 1	±0,04	±0,08
KФА	1,05; 1,1; 1,15; 1,2	±0,05	±0,10

5.2.3. Lắp ráp cổ góp

Quy trình lắp ráp cổ góp hầu như giống nhau ở tất cả các nhà máy chế tạo máy điện. Tuy nhiên, do chế độ công nghệ khác nhau vì sử dụng vật liệu khác nhau nên có khác nhau ít nhiều trong từng khâu lắp ráp tùy theo kinh nghiệm, sở trường của từng nơi.

Trong quá trình chế tạo cổ góp và phản ứng cần phải đo các kích thước sau:

1. Đo đường kính vòm hình côn của cổ góp và sự chuyển dịch của vành ép khi tạo hình tĩnh trong đồ gá hình côn.
2. Đo đường kính cổ góp và sự chuyển dịch của vành nén trong quá trình tạo hình tĩnh và động.
3. Đo đường kính cổ góp và chuyển dịch của vành nén ở tất cả các nguyên công chế tạo phần ứng: hàn các đầu dây vào đuôi cổ góp, sấy phần ứng trước và sau khi tẩm sơn.
4. Đo độ méo của bề mặt hình trụ cổ góp ở chế độ tĩnh khi nóng và nguội, ở chế độ quay khi nhiệt độ 125°C trong khoảng 30 phút với tốc độ bằng 1,25 tốc độ định mức.
5. Đo độ méo ở chế độ động ở nhiệt độ môi trường khi tốc độ đạt 600vg/ph và bằng 1,15 định mức.
6. Đo độ tăng đường kính cổ góp khi nối vành nén (để dự trữ biến dạng đàn hồi) sau các nguyên công nhiệt (hàn, sấy).

Các bước công nghệ để lắp cổ góp có vành nén như sau:

- a) Chuẩn bị lắp ráp: Làm vệ sinh sạch sẽ tất cả các chi tiết và chỗ làm việc. Tốt nhất là dùng cồn để lau.
- b) Ghép các phiến góp và các tấm cách điện để tạo thành vòm tròn hình côn.
- c) Đặt cách điện hình côn, vành nén, vành ép hoặc bulông ép.
- d) Ép vành nén. Nếu ép vành nén bằng bulông thì phải xiết các bulông đối xứng. Các bulông được xiết căng dần đến khi đạt lực ép $50\text{kN} \div 150\text{kN}$, mômen khi xiết bulông đạt 9 đến 10kg.m .
- e) Nhét đầy khe hở giữa tấm cách điện hình côn với vòm trong cổ góp bằng các chất độn với matít. Tiếp tục xiết bulông ép. Theo dõi sự cong vênh của đuôi các phiến góp.
- g) Gia nhiệt cổ góp trong lò khoảng 3 giờ ở nhiệt độ $160^{\circ}\text{C} \div 170^{\circ}\text{C}$.
- h) Tạo hình tĩnh cổ góp. Tạo hình tĩnh cổ góp là quá trình xiết các bulông hoặc vành ép phối hợp với gia nhiệt sao cho bề mặt làm việc của cổ góp tròn đều và ổn định. Quá trình tạo hình tĩnh được kết thúc khi độ méo đạt trị số quy định và tấm cách điện hình côn được coi là chết (không biến dạng được nữa).
- i) Tạo hình động cổ góp. Cổ góp sau khi tạo hình tĩnh đã đạt được độ méo (độ nhảy) đủ nhỏ nhưng trong quá trình làm việc do lực ly tâm hoặc do quá trình nở nhiệt, hoặc do lực ép lên các phiến góp không đều (do sai số khi chế tạo), có thể xuất hiện sự biến dạng mới làm tăng độ nhảy của cổ góp. Vì vậy, cổ góp phải qua một khâu quan trọng là tạo hình động, tức là tiếp tục hiệu chỉnh lực xiết bulông khi quay tăng tốc sao cho bề mặt làm việc của cổ góp có độ nhảy ổn định trong phạm vi cho phép.

Độ ổn định bề mặt cổ góp được xác định bằng hiệu số nhảy hướng kính ở trạng thái nguội và trạng thái nóng. Khi đó cổ góp được coi là đã tạo hình (ổn định hình dáng bề mặt làm việc) nếu hiệu số độ nhảy ở trạng thái nguội trước khi tăng tốc và ở trạng thái nóng

sau khi tăng tốc (bằng 1,1 định mức) không vượt quá 0,02mm. Trị số này là cơ sở để phân tích và đánh giá trình độ công nghệ chế tạo cổ góp chung cho tất cả các nước.

Máy tạo hình động là máy tăng tốc có thể nằm ngang hoặc trục đứng. Cổ góp được cấp lên mâm cặp như máy tiện nhưng không chống tâm. Nung cổ góp đến nhiệt độ $160^{\circ}\text{C} \div 170^{\circ}\text{C}$ rồi quay cổ góp với tốc độ cao hơn tốc độ định mức $5 \div 10\%$ trong vòng 20 phút. Dừng máy và cắt nguồn nhiệt. Xiết các bulông hoặc vành ép (không tháo ra khỏi mâm cặp của máy tăng tốc) và ghi lại lực xiết đó. Mục đích của việc xiết bulông là để cố định vị trí các phiến góp đã được sắp xếp lại sau khi tăng tốc (do lực ly tâm). Lập lại quá trình trên nếu thấy lực xiết không giảm tức là vị trí các chi tiết đã ổn định và cách điện (mica) được coi là “chết”. Cổ góp được làm nguội đến nhiệt độ môi trường. Giữ nguyên cổ góp trên mâm cặp, tiện láng bề mặt làm việc cổ góp với độ nhám cấp 5 và độ nhảy hướng kính không vượt quá 0,03mm. Độ nhảy này được đo trên khoảng cách đầu mút $10 \div 15\text{mm}$. Tiếp tục đốt nóng và gia tốc cổ góp như lần đầu. Dừng máy và đo lại độ nhảy ở khoảng cách trên. Nếu hiệu số độ nhảy của bề mặt làm việc ở trạng thái nóng và nguội vượt quá 0,02mm thì lập lại quá trình trên cho đến khi hiệu số đó bằng hoặc nhỏ hơn 0,02mm. Nếu sau 7 lần thực hiện quá trình tạo hình động mà hiệu số nói trên vẫn lớn hơn 0,02mm thì cổ góp đó được coi như là hỏng và cần phải tháo ra lắp lại. Mômen xiết bulông trong quá trình tạo hình động khoảng $300 \div 320\text{Nm}$.

5.2.4. Một số vấn đề công nghệ chế tạo cổ góp có cách điện là chất dẻo

Hiện nay chất dẻo được dùng phổ biến nhất để làm cách điện cổ góp là loại AF – 4C của Nga hoặc các loại khác tương đương. Đặc điểm chung của chất dẻo là tính chất cơ lý và tuổi thọ phụ thuộc vào thời gian chịu tải, nhiệt độ khi làm việc.

Các bước công nghệ khi chế tạo cổ góp chất dẻo như sau:

- a) Ghép các phiến góp vào đồ gá và ép để tạo áp suất giữa các phiến góp với lực ép p_0 .
- b) Đặt vành cốt.
- c) Tháo vành ép ngoài để kiểm tra cách điện giữa các phiến góp.
- d) Ép bằng vành ép ngoài đến áp suất cần thiết.
- e) Ép chất dẻo vào cổ góp.
- f) Tháo vành ép ngoài.

5.2.5. Đặc điểm công nghệ chế tạo cổ góp liền khối

Chất lượng tấm vật liệu cách điện giữa các phiến góp và giữa các phiến góp với các chi tiết khác đặc biệt quan trọng. Bởi vậy cần phải xác định được chế độ tẩm tối ưu. Việc tẩm (tổ hợp cách điện) cần được thực hiện trong thiết bị gia nhiệt chân không. Độ chân không đạt $0,3 \div 0,6\text{mm thủy ngân}$.

Quy trình công nghệ tương tự như đối với cổ góp có vành nén hình côn nhưng cách điện không phải là mica mà là amiăng. Sau khi đã tạo hình động đạt yêu cầu kỹ thuật thì đem đến xưởng tổ hợp (đúc) epôxi.

GIA CÔNG CƠ KHÍ TRONG SẢN XUẤT MÁY ĐIỆN

6.1. ĐẠI CƯƠNG

Như trên đã nói, vấn đề gia công cơ khí có ảnh hưởng rất lớn đến các tham số điện từ, từ đó ảnh hưởng đến độ tin cậy và tuổi thọ của thiết bị điện. Trong số các chi tiết cơ khí thì thân máy (vỏ), nắp máy (gối đỡ) và trục là ba chi tiết quan trọng nhất vì chúng tham gia vào việc xác định vị trí tương đối giữa stato và rôto. Khe hở không khí đều hay không, trị số khe hở chính xác hay không đều do chúng quyết định. Vì vậy trong chương này, đối với máy điện quay chỉ trình bày công nghệ chế tạo ba chi tiết trên mà không đề cập đến những vấn đề khác. Trong chế tạo máy biến áp vỏ máy có ý nghĩa quan trọng trong việc giữ cho các khoảng cách cách điện không thay đổi khi vận chuyển, đảm bảo lượng dầu đủ để làm mát máy và không quá nhiều ảnh hưởng đến giá thành, bảo vệ dầu máy biến áp, tránh những tác động bên ngoài làm cho cách điện của dầu xuống cấp. Các chi tiết cơ khí của khí cụ điện phần lớn là nhựa, không được đề cập ở đây.

Để đảm bảo tính tin cậy và sự đồng nhất về chất lượng của sản phẩm đòi hỏi phải tiêu chuẩn hoá việc quản lý chất lượng một cách thống nhất. Việc quản lý chất lượng được thực hiện thông qua việc tiêu chuẩn hoá các quá trình chuẩn bị sản xuất và các biện pháp giám sát trong quá trình sản xuất (tiêu chuẩn chất lượng ISO9001:2000). Để thực hiện việc tổ chức sản xuất theo tiêu chuẩn quản lý chất lượng trước hết cần làm tốt công tác chuẩn bị sản xuất bao gồm các giai đoạn cơ bản sau:

1. Chuẩn bị tài liệu thiết kế. Việc thiết kế phải đưa ra được tất cả các bản vẽ các chi tiết trong đó đã xác định được kích thước chi tiết cùng với dung sai cho phép, lựa chọn vật liệu, đảm bảo để sản phẩm đạt được các yêu cầu về các chỉ tiêu kinh tế và kỹ thuật.
2. Xác lập các tài liệu công nghệ, trong đó nêu rõ quy trình công nghệ, chế độ công nghệ sao cho thực hiện được yêu cầu của thiết kế, đồng thời cho giá thành thấp nhất.
3. Thiết kế dây chuyền sản xuất và lựa chọn thiết bị công nghệ (máy vạn năng, bán tự động hay tự động hoàn toàn), chế tạo các công cụ (khuôn, đồ gá...), dụng cụ công nghệ (dao cắt, phương tiện đo đặc kiểm tra...) đảm bảo được chế độ công nghệ nói trên ứng với một sản lượng chi tiết cho trước.
4. Chế tạo phôi sao cho đáp ứng được yêu cầu thiết kế và công nghệ mà dây chuyền sản xuất thực hiện được với đơn giá riêng của chi tiết thấp nhất.

Đơn giá riêng của chi tiết được định nghĩa là tỷ số:

$c_r = C/P$; trong đó $C = C_1 + C_2 + C_3$;

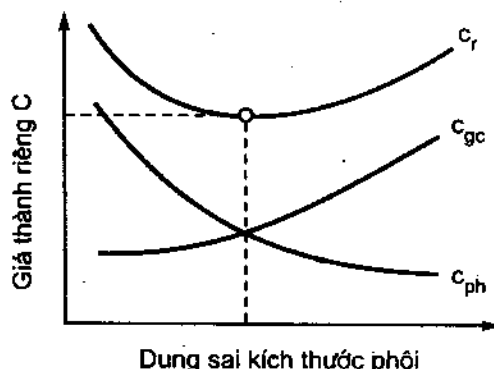
P – giá trị tham số cơ bản định mức, đối với máy điện lấy là kVA.

C_1 – chi phí vật liệu để chế tạo chi tiết trong đó bao gồm cả chi phí thiết bị công nghệ và sửa chữa

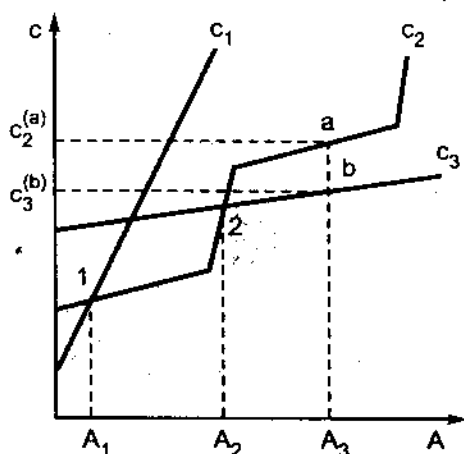
C_2 – chi phí lương công nhân.

C_3 – các chi phí khác như điện nước, chi phí vật liệu tiêu hao như dầu bôi trơn, làm mát...

Việc chế tạo phôi có ảnh hưởng lớn đến các chi phí trên. Hình 6.1 mô tả quan hệ giữa giá thành riêng của chi tiết với dung sai kích thước của phôi. Từ hình 6.1 ta thấy khi tăng dung sai kích thước phôi giá thành chế tạo phôi C_{ph} sẽ giảm nhưng chi phí gia công cơ chi tiết C tăng làm cho giá thành riêng chi tiết c_r tăng; nếu giảm dung sai kích thước phôi, chi phí gia công cơ chi có giảm như chi phí chế tạo phôi tăng nên giá thành chi tiết tăng. Vấn đề là cần tìm cực tiểu cho giá thành riêng của chi tiết.



Hình 6.1. Sự phụ thuộc của giá thành riêng của chi tiết vào dung sai kích thước phôi



Hình 6.2. Sự phụ thuộc của giá thành riêng của chi tiết vào sản lượng và cấu hình thiết bị

Giá thành riêng của chi tiết còn phụ thuộc vào sản lượng chi tiết và cấu hình thiết bị. Hình 6.2 trình bày sự phụ thuộc của giá thành riêng của chi tiết c vào sản lượng A và cấu hình thiết bị. Trên hình 6.2 các đường c_1 ứng với thiết bị vạn năng, c_2 ứng với thiết bị bán tự động, c_3 ứng với thiết bị tự động hoàn toàn. Rõ ràng là với sản lượng nhỏ hơn A_1 thiết bị vạn năng cho giá thành thấp nhất. Với sản lượng nằm trong vùng từ A_1 đến A_2 thiết bị bán tự động cho giá thành thấp nhất và từ A_2 đến A_3 thiết bị tự động cho giá thành thấp nhất. So sánh hiệu quả hai phương án bán tự động và tự động với sản lượng chi tiết bằng A_3 dùng thiết bị tự động giá thành chi tiết giảm được một lượng $\Delta_c = c_3^{(b)} - c_2^{(a)}$.

6.2. GIA CÔNG THÂN MÁY

6.2.1. Những vấn đề chung

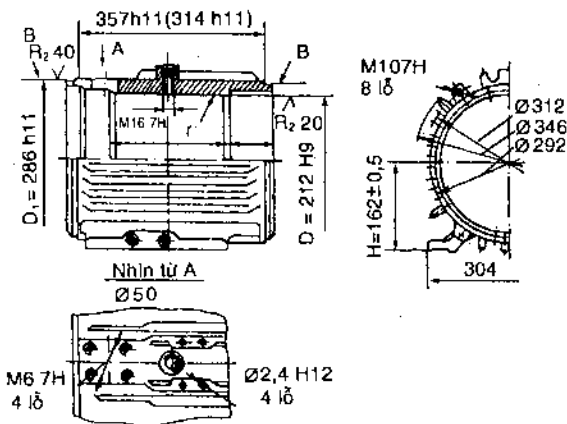
Thân (hay vỏ) là chi tiết cơ sở trên đó lắp ráp tất cả các chi tiết và cụm chi tiết của máy điện. Thân máy ở mức độ đáng kể quyết định độ chính xác lắp ráp máy. Yêu cầu

chung đối với thân là: đảm bảo độ cứng vững cao nhất có thể, chịu rung động, các mặt lắp ghép ít bị mài mòn, nhẹ và mỏng nhất có thể, có bề mặt làm mát lớn. Khối lượng vỏ trong trường hợp bằng gang thực tế thường chiếm khoảng 35% khối lượng động cơ.

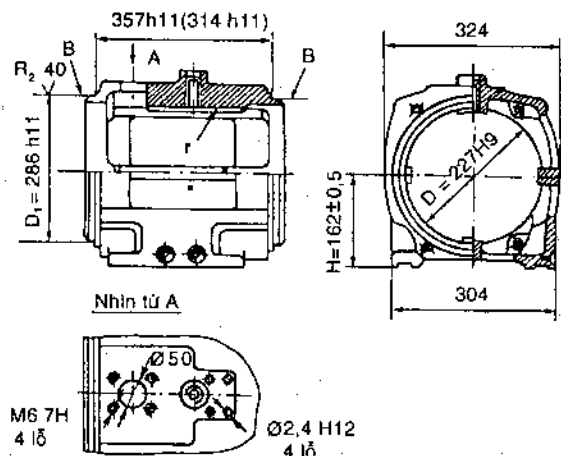
Về hình dạng thân máy phụ thuộc vào kiểu lắp đặt, phương pháp làm mát và công suất máy. Về phương diện lắp đặt thân máy có 2 kiểu: thân của máy trục đứng và thân máy trục ngang. Thân máy trục đứng thì một đầu có mặt bích và không có chân. Thân máy nằm ngang thường cấu tạo chân máy để bắt vào nền móng. Theo phương pháp làm mát có 2 loại thân: thân máy kiểu kín (hình 6.3) áp dụng cho các động cơ không đồng bộ công suất đến 100kW. Do làm mát bằng phương pháp thổi gió ngoài, thân máy loại này thường có cánh tản nhiệt bố trí dọc hoặc vuông góc với thân. Chỗ bích để cố định hộp cực có thể nằm bên cạnh hoặc trên nóc động cơ tùy theo yêu cầu lắp đặt nhưng đối diện với phía quạt gió. Mặt trong thân máy kiểu này nhẵn phẳng để việc truyền nhiệt từ lõi sắt stator ra vỏ được thuận lợi. Thân máy kiểu bảo vệ do làm mát theo kiểu thổi gió trong nên mặt ngoài không cần cánh tản nhiệt mà để nhẵn phẳng. Giữa stator và vỏ phải tạo ra những rãnh thông gió dọc trục. Kiểu vỏ này áp dụng đối với các động cơ không đồng bộ công suất nhỏ (chiều cao tâm trục đến 132mm), máy điện một chiều, các máy phát đồng bộ hoặc động cơ không đồng bộ công suất lớn, các máy điện xoay chiều có cổ góp (hình 6.4).

Các tham số chủ yếu ảnh hưởng đến chất lượng của máy là kích thước và hình dạng của lỗ trong D (mặt lắp ghép với lõi sắt stator), sai lệch giữa trục lỗ trong vỏ với trục các lỗ ở chân, sai lệch của chiều cao trục của lỗ trong vỏ với mặt phẳng chân (chiều cao tâm trục h), độ không đồng tâm của mặt trong vỏ với mặt lắp ghép với nắp (D_1).

Kích thước và hình dạng của lỗ D ảnh hưởng đến độ chặt của mối ghép giữa vỏ và lõi sắt stator, đến việc truyền nhiệt từ lõi sắt stator ra vỏ đến sự biến dạng của lõi sắt stator và do đó ảnh hưởng đến kích thước và hình dạng của khe hở không khí. Các tính toán đã chỉ ra nếu độ không tròn của mặt trong vỏ ρ_v thì khi ép lõi sắt stator vào vỏ mặt trong của lõi sắt cũng sẽ bị biến dạng theo một lượng là $\Delta\rho = 0,25\rho_v$ đối với máy 4 cực và $\Delta\rho = (0,3 - 0,33)\rho_v$ đối với máy 6 cực. Số cực càng nhiều phần lưng stator càng mỏng do đó sự truyền biến dạng từ vỏ sang lõi sắt càng rõ ($25 \div 33\%$).



Hình 6.3. Vỏ kiểu kín (IP44)



Hình 6.4. Vỏ kiểu bảo vệ (IP23)

Đối với các máy điện xoay chiều công suất lớn thân máy thường được cấu tạo dưới dạng khung tương tự như một cái lồng. Các thanh khung chạy dọc thân máy tạo thành mặt lắp ghép với lõi sắt stato và được cố định bởi những vành thép ở phía ngoài. Để che kín khung và lõi sắt đồng thời tạo đường gió làm mát người ta phủ tôn ở lớp ngoài cùng. Hai vành thép ở hai đầu thân được tạo gờ để lắp ghép với nắp máy.

Vật liệu và phương pháp tạo phôi vỏ tùy theo chủng loại máy, công suất máy và kiểu máy. Đối với động cơ không đồng bộ, vỏ của chúng được đúc bằng gang, hợp kim nhôm hoặc kiểu kết cấu hàn. Vỏ gang phổ biến nhất (khoảng 65%). Vỏ hợp kim nhôm thường áp dụng cho công suất đến 7kW vì hợp kim nhôm có độ cứng và độ bền kém. Vỏ bằng thép hàn hoặc đúc áp dụng cho máy điện xoay chiều chỉ đối với một số lĩnh vực đặc biệt cần độ bền cao (như động cơ chống nổ chẳng hạn), hoặc các động cơ một pha công suất nhỏ, cuốn từ các tấm tôn mỏng). Vỏ máy điện một chiều do có thêm nhiệm vụ dẫn từ nên phải làm bằng thép đúc hoặc thép tấm cuốn lại rồi hàn.

Gang để đúc vỏ máy điện thường là gang xám loại C_H 15–32 hoặc C_H 18–36. Việc đúc gang tạo phôi vỏ được thực hiện trong một phân xưởng đúc của nhà máy chế tạo điện hoặc ở một xí nghiệp chuyên đúc.

Trong sản xuất khối chất lượng phôi đúc là một yếu tố rất quan trọng ảnh hưởng đến năng suất của các thiết bị gia công cắt gọt, đặc biệt là các thiết bị tự động. Hiện nay việc đúc vỏ máy điện được thực bằng những phương pháp tiên tiến dùng khuôn tạo hình trong sản xuất lớn thay cho phương pháp đúc khuôn, cát tươi truyền thống. Những thành tựu mới trong ngành đúc cho phép thu được phôi vỏ máy điện có độ chính xác cao, độ nhám thấp và lượng dư gia công nhỏ.

Phôi vỏ bằng gang đúc có những vấn đề cần phải giải quyết: đó là độ cứng, độ co ngót và đặc biệt chúng không giống nhau trong các phôi khác nhau, thậm chí những chỗ khác nhau trong một phôi đúc.

Để đảm bảo năng suất của các máy cắt gọt người ta quy định độ cứng của phôi đúc không vượt quá 229HB và với 2 loại gang trên độ cứng nằm trong phạm vi từ 163HB đến 229HB. Phạm vi dao động về độ cứng càng rộng càng không tốt, vì vậy nhiều nhà máy xây dựng tiêu chuẩn nội bộ quy định phôi đúc có độ cứng nằm trong phạm vi 163 ± 20 HB, đặc biệt đối với máy cắt gọt tự động phạm vi này càng hẹp càng tốt. Phôi gang cần được ủ trước khi gia công để ổn định kết cấu phân tử của nó.

Thân máy bằng hợp kim nhôm thu được bằng hai phương pháp:

- Đúc nhôm lên lõi sắt stato.
- Đúc phôi rồi tiến hành gia công cắt gọt sau đó mới ép lõi sắt stato vào thân.

Phương pháp thứ nhất được áp dụng đối với các động cơ không đồng bộ dây AO và AO2. Ưu điểm nổi bật của nó là không phải gia công cơ mặt trong thân và bớt được khâu cố định lõi sắt sau khi ghép lá tôn và ép lõi sắt vào vỏ. Nhược điểm của phương pháp này là khi đông kết nó có thể làm biến dạng lớn và không đều bề mặt trong của lõi

sắt, kéo theo sự thay đổi kích thước và hình dạng của khe hở không khí. Việc gia công lại bề mặt trong stato là rất khó khăn. Mặt khác, dây quấn stato được chế tạo sau khi đã ép lõi sắt vào vỏ cũng sẽ khó khăn hơn, đặc biệt trong việc cơ khí hoá một số khâu như tạo hình phần đầu nối, băng đai...

Phương pháp thứ hai mất nhiều nguyên công hơn nhưng khắc phục được những nhược điểm của phương pháp thứ nhất và hiện nay đã được ứng dụng trong sản xuất gam động cơ mới (như dây 4A của Nga chẳng hạn).

Phương pháp đúc phôi vỏ được sử dụng rộng rãi nhất hiện nay là đúc áp lực. Phương pháp đúc này có nhiều ưu điểm như năng suất cao, dễ cơ khí hoá, độ chính xác cao nhưng có một nhược điểm hay bị rõ do các ổ không khí, điều này làm giảm những tính chất cơ học của sản phẩm.

Hiện nay người ta đã nghiên cứu và đưa vào sản xuất những loại hợp kim nhôm mới có độ bền cao mà giá thành không cao hơn loại silumin (Al, Si) thường dùng. Loại hợp kim mới này còn có những ưu điểm khác: dễ gia công, chịu mài mòn và dẫn nhiệt tốt hơn (so với động cơ vỏ gang, độ tăng nhiệt của động cơ có vỏ làm bằng hợp kim mới thấp hơn trung bình 10°C). Các tính toán hiệu quả kinh tế và kỹ thuật cho thấy mặc dù giá nhôm cao hơn gang nhưng giá thành thân máy bằng hợp kim nhôm trên cơ sở nhôm nguyên chất bằng giá thành thân gang, còn trên cơ sở nhôm thứ cấp giá thành thấp hơn 10%. Việc tạo phôi nhôm dễ hơn và khối lượng gia công cơ giảm hai lần so với vỏ gang. Vốn đầu tư tính cho một vỏ máy bằng nhôm chỉ bằng 1/3 so với vỏ gang. Đối với vỏ nhôm thường không làm lỗ ren để bắt bulông nắp máy (dùng bulông chạy suốt chiều dài thân) nên bớt được các nguyên công khoan và tạo ren, lượng dư gia công đối với vỏ nhôm rất nhỏ.

Trong một số máy điện công suất nhỏ ($h = 50 \div 63\text{mm}$) người ta chế tạo vỏ máy từ những ống hợp kim nhôm hình trụ, phương pháp này cho năng suất rất cao.

6.2.2. Gia công thân (vỏ) động cơ điện công suất vừa và nhỏ

1. Tính đặc thù trong gia công thân động cơ điện

Bằng cách phân tích chuẩn kích thước các bề mặt thân, người ta đưa ra hai phương án gia công như sau:

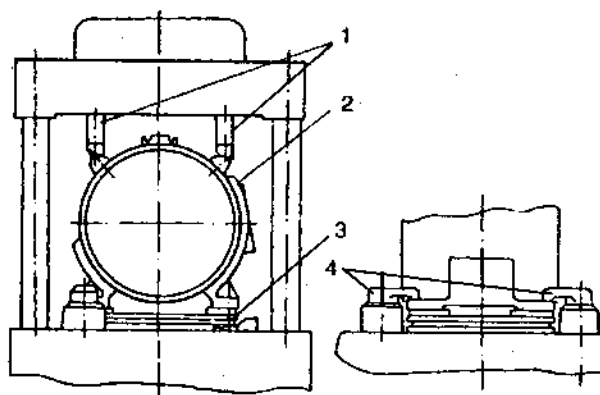
a) *Gia công mặt phẳng chân máy và các lỗ lắp đặt ở chân máy*; Dùng bề mặt đó làm chuẩn công nghệ, từ đó gia công những bề mặt còn lại (mặt lắp lõi sắt, mặt lắp ráp nắp và các lỗ khác).

b) *Gia công một trong hai gờ lắp nắp* hoặc tiện một vành công nghệ đồng trục với mặt lắp lõi sắt để làm chuẩn công nghệ; tất cả các mặt còn lại được gia công trên cơ sở đó.

Phương án thứ nhất được áp dụng rộng rãi khi gia công các chi tiết vỏ và cho kết quả tốt. Phương án này là cơ sở để tạo ra những dây chuyền tự động gia công thân máy đầu tiên khi sản xuất các động cơ A và A06, A và A07, A2 và A02-7 ở Nga (tương ứng với các dây chuyền kiểu 1J159, 1J170, 1J1110). Ưu điểm của phương án này là kết cấu đồ

gá gia công và vận chuyển đơn giản (gồm một tấm đỡ và 2 vấu giữ, khi vận chuyển hoặc nâng hạ không cần cố định). Nhược điểm của phương án này là do độ cứng theo hướng kính nhỏ nên khi cố định thân máy trong đồ gá chỉ cần độ không phẳng nhỏ của mặt phẳng chân cũng gây một sự biến dạng mặt trong vỏ đáng kể. Nhiều nghiên cứu đã xác lập được quan hệ giữa độ không phẳng của mặt phẳng chân máy với độ không tròn của mặt trong vỏ (độ oval). Đối với thân động cơ A2 và A02-7 quan hệ đó được biểu thị dưới dạng biểu thức $\rho_x = 2,35x + 0,043$, trong đó ρ_x là độ oval của bề mặt thân máy, x – độ không phẳng của mặt phẳng chân máy. Trên dây chuyền tự động kiểu GA335 độ không phẳng chiếm khoảng 0,16mm. Để khắc phục nhược điểm này có thể gia công tinh một lần cuối với việc gá lại chi tiết. Sơ đồ cố định thân trên dây chuyền tự động kiểu 1J110 trình bày trên hình 6.5. Do độ cứng của thân không cao, do đó việc cố định thân không đủ chặt nên khi tiện thường bị dao động mạnh làm giảm chất lượng gia công.

Trong các dây chuyền tự động kiểu 1J159; 1J170; 1J110 việc gá giữ thân được thực hiện bằng các chốt tì (1) từ trên xuống (hình 6.5) với lực tì nhỏ (khoảng 12 ÷ 15kG). Các chốt tì này được thiết kế có tính đàn hồi (không tì cứng) để có tác dụng như một bộ chống rung. Với bộ đồ gá này đem áp dụng cho động cơ A02-7 thấy độ biến dạng bên trong của thân (giá trị trung bình của độ oval lỗ trong thân) chiếm khoảng 0,22 ÷ 0,27mm, độ chính xác công nghệ của dây chuyền kiểu 1110 theo các tham số kích thước và hình dạng lỗ thân ($D = 343^{+0,05}_{-0,13}$) chiếm khoảng 50 ÷ 51% còn chỉ số phân tán $k_p = 4,5$.



Hình 6.5. Cố định thân máy khi gia công trên dây chuyền tự động

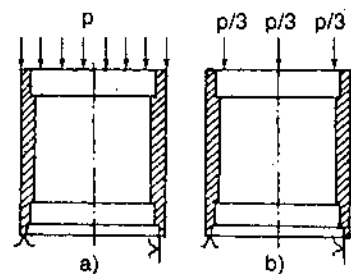
Phương án thứ 2 là cố định thân máy ở một phía (đối diện với phía mặt được chọn làm chuẩn công nghệ). Phương án này cũng được áp dụng khá rộng rãi. Theo phương án này có hai cách cố định thân khi gia công (hình 6.6).

– Phương án thứ nhất: cố định thân bằng một vành phẳng ở một phía (đối diện với phía được chọn làm chuẩn (hình 6.6a) hoặc bằng lực dọc trục ở 3 hoặc 4 vấu bắt nắp (hình 6.6b). Cách thứ 2 cho phép gia công đầu đối diện với đầu chuẩn, tuy nhiên nó chỉ có lợi khi gia công thô bởi vì nó dễ gây ra biến dạng thân. Ta có thể mô tả sự biến dạng đó trên đồ thị và biểu đồ như hình 6.7. Trên đó 6.7a là biểu đồ đối với mặt cắt ngang (phía trên) và 6.7b là mặt cắt dọc khi kẹp ở ba điểm 1, 5, 9 với mặt cắt ngang (1 – chiều dài đường sinh). Biến dạng bề mặt trong dưới tác dụng của lực kẹp đạt 0,057mm, bề mặt thực tế của lỗ sẽ là đường trung bình nằm giữa 2 hình trụ có đường kính ($2R-0,07$) và

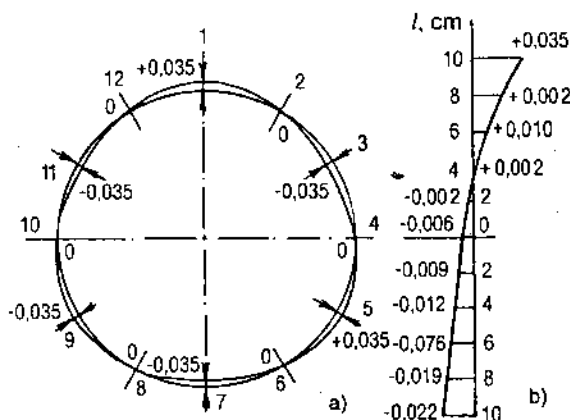
($2R+0,07$). Đối với tiện tinh sai số này không cho phép nên cần phải thay đổi cách kẹp giữ hoặc giảm lực kẹp. Việc giảm lực kẹp có thể chấp nhận được vì khi tiện tinh lực cắt giảm đi 5 lần so với tiện thô.

Sơ đồ gá theo hình 6.6a tốt hơn khi gia công tinh vì sự biến dạng của nó chỉ xảy ra nếu phía thân được chọn làm chuẩn có độ phẳng kém (độ không phẳng đạt $0,1 - 0,2\text{mm}$). Độ không phẳng này tạo ra do khi xén mặt mút cho ăn dao theo hướng dọc thân lớn, đặc biệt khi gờ thân không bằng phẳng. Xén mặt mút bằng cách ăn dao theo hướng kính sẽ cho độ chính xác cao hơn.

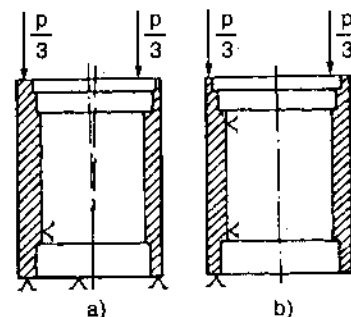
Cách định chuẩn và cố định khi gia công trên nguyên công thứ nhất ảnh hưởng nhiều đến độ chính xác gia công bề mặt chuẩn. Khi đó thân máy được định tâm theo 1 lỗ trong chưa gia công (hình 6.8). Thông thường vật đúc có sai số của nó do sự xô dịch hai nửa khuôn và sự không vuông góc của bề mặt lỗ trong so với hai mặt mút.



Hình 6.6. Các phương án cố định thân máy khi gia công lỗ trong



Hình 6.7. Sự biến dạng mặt trong thân dưới tác dụng của lực cặp 50kN



Hình 6.8. Định chuẩn thân máy ở nguyên công thứ nhất

Bởi vậy, nếu khi định chuẩn thân máy mà định tâm nó chỉ ở một đầu (ví dụ giá dưới) và ép vật đúc về phía đầu gá giữ (hình 6.8a) thì trục của lỗ trong không vuông với mặt chuẩn và gờ lắp nắp sẽ lệch. Nếu định tâm phối cả 2 đầu theo chiều dài thì không được ép nó về phía gá giữ bởi vì khi đó chi tiết sẽ có 7 bậc tự do. Phối định tâm theo kiểu này dễ bị biến dạng (bị uốn). Nhược điểm này có thể khắc phục bằng cách làm cơ cấu chống tâm tự lựa nhưng lại làm phức tạp đồ gá và thiếu tin cậy khi có những vụn gang hoặc phôi kê vào.

– Có một phương pháp định tâm và gá giữ khác đó là dùng trục bung: Trục bung đảm bảo cả 2 nhiệm vụ định tâm và gá giữ chịu lực cắt. Trường hợp này áp dụng cho sản xuất đơn chiếc hoặc loạt nhỏ. Mặt chuẩn là mặt trong thân đã được tiện ở nguyên công thứ nhất. Trục bung được dùng để tiện 2 gờ lắp ở hai đầu và xén mặt mút. Cả hai đầu

chống tâm, mô men dẫn qua cặp tốc. Cũng có thể dùng trục bung một phía chống tâm, phía còn lại kẹp giữ bình thường (3 hoặc 4 điểm) chấp nhận có biến dạng do kẹp giữ.

Khi gia công các thân nhôm có thuận lợi là lực cắt nhỏ nên không phải kẹp giữ với lực lớn nhưng do nhôm mềm nên độ biến dạng do kẹp giữ không giảm.

Khi nghiên cứu về sai số gia công thân máy nhiều công trình đã chỉ sai số do thiết bị công nghệ gây ra chiếm $65 \div 66\%$ sai số tổng. Phần còn lại do các nguyên nhân như độ cứng của hệ thống, sai số đo...

2. Công nghệ gia công thân trên các thiết bị tự động

Động cơ không đồng bộ, đặc biệt là động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc chiếm tỷ lệ khoảng 85% trong tổng số các loại động cơ điện. Do nhu cầu lớn về số lượng, việc tự động hoá các quá trình sản xuất chúng là vấn đề cần thiết và cấp bách. Vì vậy nhiều nước đã đầu tư nghiên cứu các dây chuyền tự động hoá với chất lượng ngày càng được nâng cao, đáp ứng kịp thời với những yêu cầu của gam công suất mới. Trong phần này trình bày một số dây chuyền tự động gia công thân động cơ điện đã được áp dụng ở một số nước.

Ở Nga đã đưa vào áp dụng năm sơ đồ công nghệ gia công thân gang trên các thiết bị tự động. Trong số các sơ đồ đó có những sơ đồ mới chỉ đề cập đến việc giảm khó khăn trong việc xây dựng thiết bị mà chưa nghiên cứu đầy đủ việc nâng cao độ chính xác trong công nghệ.

a) Gia công thân động cơ dây AO, A02 cỡ vỏ từ 3 ÷ 5 trên dây chuyền của các thiết bị liên hợp đa nguyên có bàn xoay

Theo phương pháp này mặt được chọn làm cơ sở (định chuẩn) là mặt trong thân (chuẩn cả 2 vùng) và mặt đầu. Phôi được cấp bằng 3 vấu cố định. Như đã nói ở trên phương pháp cho sai số định chuẩn đáng kể. Dùng trục bung định tâm thân máy, lực cặp được đặt lên các ụ ở đầu thân (chỗ khoan lỗ bắt nắp). Nguyên công thứ nhất tiện gờ lắp nắp ở một phía phay mặt phẳng chân, khoan lỗ chân. Gờ lắp nắp và mặt mút vừa gia công là cơ sở của nguyên công sau. Nguyên công thứ hai tiện mặt trong (chỗ lắp lõi sắt stato) thân (3lần), tiện gờ lắp nắp và xén mặt mút còn lại. Nguyên công thứ 3 khoan và làm ren lỗ bắt nắp.

Độ chính xác theo sơ đồ này không cao. Nguyên nhân là vì việc tiện mặt trong của thân chỗ lắp lõi sắt được thực hiện trong cùng một nguyên công trên 4 đơn nguyên của máy liên hợp khi lực cặp không đổi. Mômen xoắn do lực cắt khi tiện thô đối với động cơ A02-5 khoảng 713Nm trong khi đó lực cặp tới 48kN. Vì vậy thân bị biến dạng khá lớn. Lực cắt và lực cặp tương ứng khi tiện tinh thường nhỏ hơn so với khi tiện thô khoảng 5 ÷ 6 lần trong khi với sơ đồ này lực cặp không đổi trong suốt quá trình gia công. Trong trường hợp này sự biến dạng lỗ trong của thân thể hiện trên cả 2 hướng ngang và dọc trục. Sự giải phóng các nội ứng lực sẽ xảy ra sau khi tiện tinh và giải phóng lực cặp. Để giảm sai số do ứng suất nội gây ra, nhiều nghiên cứu đã cho thấy việc ủ tự nhiên, (khoảng 1 năm) phôi đúc không cho kết quả đáng kể. Do ứng suất nội được gián đoạn từ 8 đến 10 phút giữa tiện thô và tiện tinh đồng thời cho làm mát bằng nước. Phương pháp

này qua thực nghiệm cho kết quả khá tốt. Một nguyên nhân nữa gây sai số là do khi gia công nhiệt độ của thân tăng lên ($70 \div 75^{\circ}\text{C}$) mà không được làm mát, khi để nguội thân bị biến dạng nhiệt. Quá trình công nghệ này tương đối dễ thực hiện nhưng cho độ chính xác không cao, không nên dùng để gia công các máy thuộc gam mới.

b) Gia công thân động cơ A2, A02-7 trên dây chuyền tự động kiểu 1J110

Trước khi đưa thân lên dây chuyền tự động người ta phải gia công bề mặt cơ sở (ở đây là mặt phẳng chân và các lỗ của nó) trên máy liên hợp. Việc định tâm theo lỗ được thực hiện bằng trục bung trong cả hai tiết diện theo chiều dài thân. Mặt mút tựa trên một vấu cố định và 2 vấu điều chỉnh được. Thân máy được cố định bằng các lực dọc trục từ lên mặt mút.

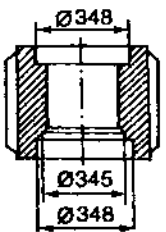
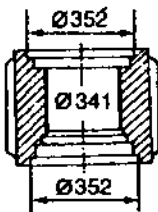
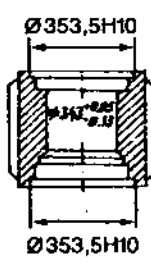
Ở nguyên công đầu tiên sau khi gia công bề mặt chân thì khoan lỗ chân trong đó có 2 lỗ được khoan và doa bằng dao tổ hợp để làm cơ sở cho nguyên công sau. Khi nâng hạ vận chuyển thân máy không được cố định lên đồ gá. Còn trong các nguyên công thân máy được cố định bằng các lò xo thủy lực như hình 6.5.

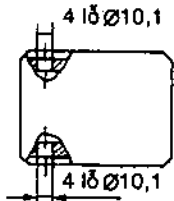
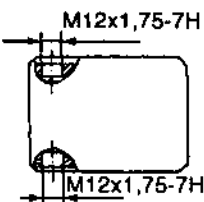
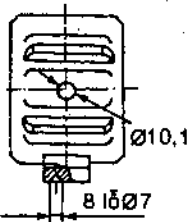
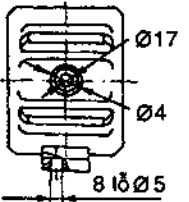
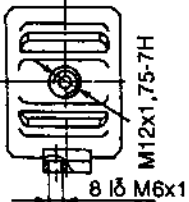
Gờ lắp ghép và mặt trong vỏ được gia công qua 2 lần chạy dao trên máy tiện trong 2 mặt. Trong quá trình gia công không thực hiện làm mát.

Các phương tiện kiểm tra tự động trong dây chuyền này không có. Việc kiểm tra kích thước chi tiết do công nhân thực hiện với các dụng cụ đo đã được giới hạn.

Trình tự các nguyên công và chế độ cắt gọt trình bày trong bảng 6.1.

BẢNG 6.1. QUY TRÌNH CÔNG NGHỆ GIA CÔNG THÂN TRÊN DÂY CHUYỀN TỰ ĐỘNG 1J110 CỦA NGA

Vị trí	Sơ đồ cắt	Tên nguyên công	Kiểu máy	Chế độ gia công
I		Tiện thô gờ lắp máy	1J110C1	$t = 1,5\text{mm}$ $s = 1,46\text{mm/vg}$ $v = 40\text{m/ph}$ $T_o = 1,6\text{ph}$
II		Tiện thô lỗ lắp stato. Tiện bán tinh gờ lắp nắp.	1J110C2	$t = 3,5\text{mm}$ $s_1 = 1,6\text{mm/vg}$ $s_2 = 0,5\text{mm/vg}$ $v = 44\text{m/ph}$ $T_o = 4,1\text{ph}$
III		Tiện tinh	1J110C3 (hai máy)	$t = 0,5\text{mm}$ $s_1 = 1,8\text{mm/vg}$ $s_2 = 0,4\text{mm/vg}$ $v = 55\text{m/ph}$ $T_o = 3,5\text{ph}$

IV		Khoan lỗ cố định nắp	1J1110C4	$s = 0,1\text{mm/vg}$ $v = 11\text{m/ph}$ $T_o = 1,14\text{ph}$
V		Cắt ren	1J1110C4	$v = 3\text{m/ph}$ $T_o = 0,65\text{ph}$
VI		Xoay chi tiết đi 90°	1J1110C5	$s_1 = 0,1\text{mm/vg}$ $s_2 = 0,12\text{mm/vg}$
VII		Khoan lỗ bắt hộp đầu dây, khoét lỗ bu lông vòng.	1J1110C5	$v_1 = 10,5\text{m/ph}$ $v_2 = 13,6\text{m/ph}$ $T_o = 1,05\text{ph}$
VIII		Cắt ren	1J1110C6	$v_1 = 1,0\text{m/ph}$ $v_2 = 4,3\text{m/ph}$ $T_o = 0,54\text{ph}$

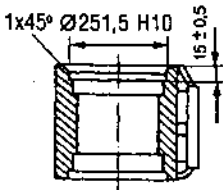
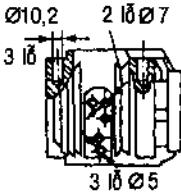
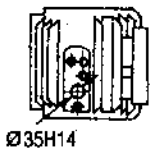
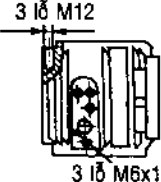
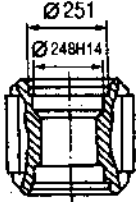
Theo sơ đồ gia công này độ chính xác công nghệ cao hơn so với gia công trên các máy liên hợp với chuẩn cơ sở là mặt lắp ghép với nắp. Nếu đồ gá được giữ gìn bảo quản tốt, đặc biệt là bề mặt chuẩn của nó giữ được độ chính xác lâu dài thì có thể đảm bảo được độ chính xác gia công theo yêu cầu bản vẽ. Sơ đồ công nghệ này cũng đã được áp dụng để gia công thân động cơ A₂, A02-8 trên các máy liên hợp đa nguyên ở nhà máy tự động hoá Minsk.

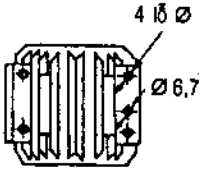
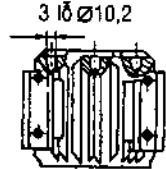
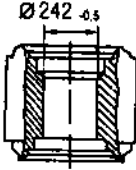
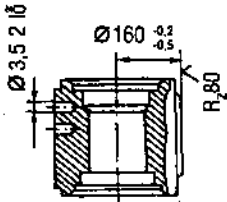
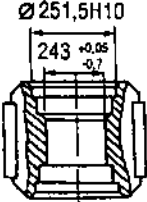
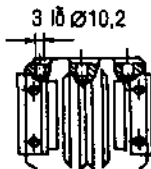
c) Gia công thân động cơ A02 cỡ vỏ 3 ÷ 5 trên dây chuyền tự động kiểu IIC – 2

Cơ sở cho nguyên công đầu tiên ở đây lấy lỗ giữa và mặt mút. Chi tiết được cố định trong đồ gá để thực hiện 4 nguyên công trong công đoạn đầu của dây chuyền, sau đó

được tháo ra khỏi đồ gá, xoay lại và đặt lên vệ tinh (không cố định) để bước sang công đoạn thứ 2. Lúc này trục của thân nằm theo phương thẳng đứng. Mặt cơ sở dùng để gia công trên công đoạn thứ nhất là gờ lắp nắp và mặt mút, trên mỗi nguyên công thân được cố định cùng với vệ tinh ở mặt đầu. Mặt trong stato và mặt phẳng chân đế được gia công 2 lần (thô và tinh). Việc gia công không có làm mát. Trình tự các nguyên công và chế độ công nghệ được trình bày trong bảng 6.2.

BẢNG 6.2. GIA CÔNG THÂN ĐỘNG CƠ TRÊN DÂY CHUYỂN TỰ ĐỘNG KIỂU IJC – 2

Vị trí	Sơ đồ cắt	Tên nguyên công	Chế độ gia công
I		Gá và cố định bằng khoá điện tử	
II		Gia công gờ lắp nắp và mặt mút	$t = 4,5\text{mm}$ $s = 0,92\text{mm/vg}$ $v = 56,6\text{m/ph}$ $T_o = 0,38\text{ph}$
III		Khoan lỗ bắt nắp, lỗ bắt hộp đầu dây	$s_1 = 0,11\text{mm/vg}$ $s_2 = 0,2\text{mm/vg}$ $v_1 = 12,5\text{m/ph}$ $v_2 = 19,2\text{m/ph}$ $T_o = 0,38\text{ph}$ $T_s = 0,28\text{ph}$
IV		Khoan lỗ đầu dây ra	$s = 0,35\text{mm/vg}$ $v = 37\text{m/ph}$ $T_o = 0,3\text{ph}$ $T_s = 0,28\text{ph}$
V		Cắt ren	$v_1 = 4,6\text{m/ph}$ $v_2 = 5,0\text{m/ph}$ $T_o = 0,16\text{ph}$ $T_s = 0,26\text{ph}$
VI		Tháo chi tiết xoay và gá lại trên đồ gá công đoạn 2	$t = 3,5\text{mm}$ $s = 1,4\text{mm/vg}$ $v = 58,6\text{m/ph}$ $T_o = 0,385\text{ph}$ $T_s = 0,29\text{ph}$
VII		Gia công gờ lắp nắp và mặt mút	$t = 3,5\text{mm}$ $s = 1,4\text{mm/vg}$ $v = 58,6\text{m/ph}$ $T_o = 0,385\text{ph}$ $T_s = 0,29\text{ph}$

VIII		Khoan lỗ trên chân đế	$s = 0,18\text{mm/vg}$ $v = 20\text{m/ph}$ $T_o = 0,37\text{ph}$ $T_B = 0,28\text{ph}$
IX		Khoan lỗ bắt nắp	$s = 0,2\text{mm/vg}$ $v = 19\text{m/ph}$ $T_o = 0,38\text{ph}$ $T_B = 0,28\text{ph}$
X – XI		Gia công thô mặt trong lắp stato, gia công lỗ bulông treo	$t = 3,5\text{mm}$ $s = 2,7\text{mm/vg}$ $v = 40\text{m/ph}$ $T_o = 1,5\text{ph}$ $T_B = 0,28\text{ph}$
XII-XIII		Phay mặt phẳng chân đế, khoan lỗ cố định nhãn máy	$t = 3\text{mm}$ $s = 3\text{mm/vg}$ $v = 100\text{m/ph}$ $T_o = 1,3\text{ph}$ $T_B = 0,33\text{ph}$
XIV-XV		Tiện tinh mặt lắp stato	$t = 0,5\text{mm}$ $s = 1\text{mm/vg}$ $v = 107\text{m/ph}$ $T_o = 1,5\text{ph}$ $T_B = 0,33\text{ph}$
XVI		Lắp lại công đoạn IX	
XVII		Cắt ren	$v_1 = 5\text{m/ph}$ $v_2 = 6\text{m/ph}$ $T_o = 0,15\text{ph}$ $T_B = 0,28\text{ph}$
XVIII		Chuyển chi tiết lên băng chuyển	

Ghi chú: T_B – Thời gian phụ

Trên dây chuyền này việc tiện trong thô được thực hiện bằng đầu dao tiện nhiều lưỡi (hình 6.9), còn tiện tinh dùng đầu dao hai lưỡi có thể điều chỉnh được. Việc kiểm tra kích thước các chi tiết trong dây chuyền này vẫn do công nhân đo bằng các dụng cụ chuyên dụng hoặc vạn năng. Qua theo dõi độ chính xác gia công của dây chuyền này ta thấy, tuy có cao hơn với quy trình công nghệ trên nhưng cũng vẫn chưa đáp ứng được yêu cầu theo bản vẽ. Độ lệch kích thước của mặt lõi sắt stato đạt 0,39mm, độ ô van 0,22mm, sai số tổng gia công 0,49mm, tỷ lệ các chi tiết đạt tiêu chuẩn theo tham số D-64%.

Theo các tham số C và h độ chính xác cũng không thỏa mãn. Những nguyên nhân cơ bản cho độ chính xác gia công của dây chuyền này thấp là:

- Theo tham số D (kích thước và hình dạng lỗ).

+ Tất cả các nguyên công cắt gọt không có nước làm mát và không có thời gian nghỉ giữa gia công thô và gia công tinh nên có sự biến dạng nhiệt và ứng suất dư.

+ Mặt trong vỏ chỗ lắp lõi sắt chính xác do lượng ăn dao quá lớn sẽ bị biến dạng bàn dao gây sai số.

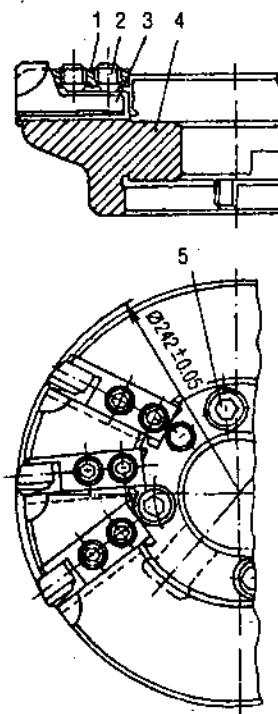
+ Việc gia công mặt mút bằng cách cho ăn dao theo dọc trục (dao ăn trên toàn bộ chiều rộng mặt mút) tạo ra độ không phẳng, đồng thời dẫn đến biến dạng thành vỏ khí cố định.

- Theo các tham số C và h. Vỏ được gia công trên dây chuyền tự động kiểu vệ tinh (không cố định chi tiết khi vận chuyển) và được định chuẩn bởi gờ lắp nắp vốn có độ chính xác thấp do sai số gá lắp cao.

d) Gia công thân động cơ dây 4A chiều cao tâm trục

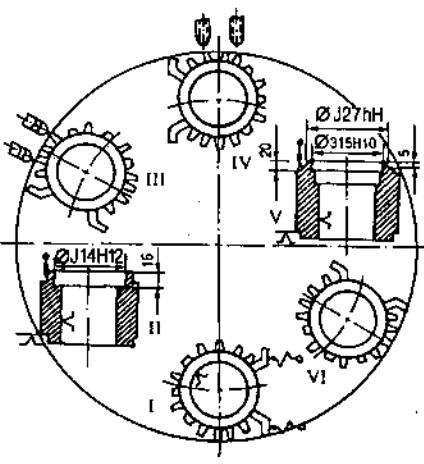
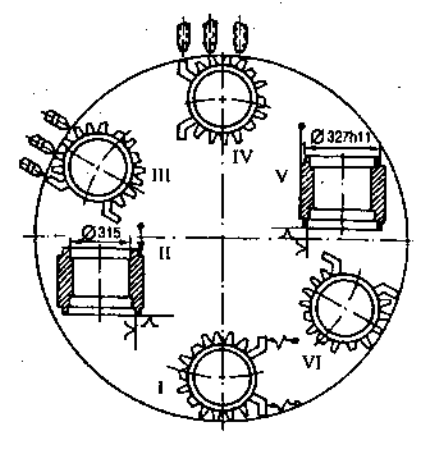
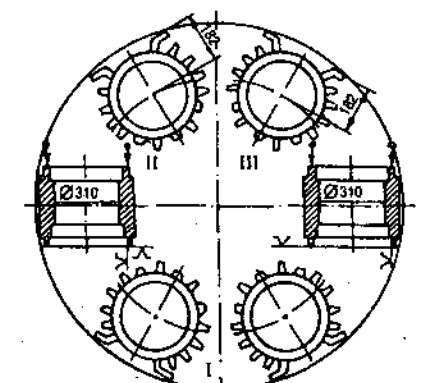
$h = 160 \div 250\text{mm}$ trên các máy liên hợp của dây chuyền tự động M3AII (Dây chuyền tự động của nhà máy Minsk): Các máy liên hợp có 6 vị trí, bàn động lực có trục nằm ngang và thẳng đứng. Trục chi tiết gia công thẳng đứng. Quy trình công nghệ theo bảng 6.3.

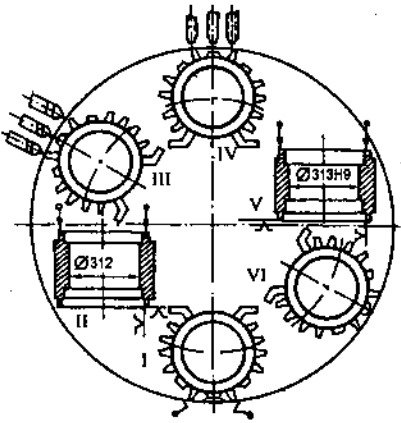
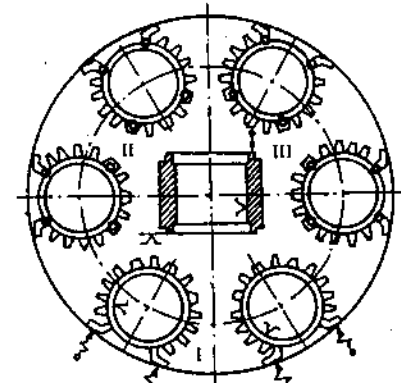
Chuẩn cho nguyên công đầu tiên dùng lỗ trong (có định tâm một phía) và mặt nút của các tai bắt nắp. Khi đó 3 tai giữ cố định, tai thứ 4 có thể ép bằng khoá chốt. Thân được tỳ bằng 4 lò xo thuỷ lực tự động tương ứng với 4 tai bắt nắp. Sau khi gia công (trên nguyên công thứ nhất) gờ lắp nắp và vùng công nghệ chuẩn (tiện trong) chi tiết được lật lại. Bốn nguyên công tiếp theo được thực hiện với định chuẩn theo mặt chuẩn công nghệ trên.



Hình 6.9. Đầu dao tiện nhiều lưỡi để tiện thô thân động cơ

BẢNG 6.3. QUY TRÌNH CÔNG NGHỆ GIA CÔNG THÂN MÁY TRÊN CÁC MÁY LIÊN HỢP

Kiểu máy	Sơ đồ cắt gọt	Vị trí	Tên nguyên công	Chế độ cắt
CM596		I II III IV V	I Gá lắp chi tiết II Tiện trong lỗ Ø315 Xén mặt mút III Khoan các lỗ Ø6, 7 IV Cắt ren M8 các lỗ trên V Tiện ngoài gờ lắp nắp Xén mặt mút	$s_1 = 2,7\text{mm/vg}$ $v_1 = 50\text{m/ph}$ $s_2 = 0,5\text{mm/vg}$ $v_2 = 53\text{m/ph}$ $T_c = 1,1\text{ph}$ $s = 0,08\text{mm/vg}$ $v_1 = 6,8\text{m/ph}$ $T_c = 1,18\text{ph}$ $s = 1,25\text{mm/vg}$ $v = 5\text{m/ph}$ $T_c = 0,34\text{ph}$ $s = 0,16\text{mm/vg}$ $v = 80,5\text{m/ph}$ $T_o = 0,96\text{ph}$ $T_B = 0,27\text{ph}$ $T_c = 1,45\text{ph}$
CM597		I II III IV V	I Gá chi tiết II Tiện lỗ Ø315 Xén mặt mút III Khoan các lỗ Ø6, 7 IV Cắt ren M8 các lỗ trên V Tiện ngoài gờ lắp nắp, xén mặt nút	$s_1 = 2,7\text{mm/vg}$ $v_1 = 50\text{m/ph}$ $s_2 = 0,5\text{mm/vg}$ $v_2 = 53\text{m/ph}$ $T_c = 1,05\text{ph}$ $s_1 = 0,08\text{mm/vg}$ $v_1 = 6,8\text{m/ph}$ $s_2 = 19,1\text{mm/vg}$ $v_2 = 53\text{m/ph}$ $T_c = 1,18\text{ph}$ $s = 1,25\text{mm/vg}$ $v = 5\text{m/ph}$ $T_c = 0,34\text{ph}$ $s = 0,16\text{mm/vg}$ $v = 80,5\text{m/ph}$ $T_o = 0,96\text{ph}$ $T_B = 0,27\text{ph}$ $T_c = 1,35\text{ph}$
CM598		I II III	I Gá lắp chi tiết II Tiện lỗ Ø315 III Xén mặt mút	$s = 2,4\text{mm/vg}$ $v = 55,5\text{m/ph}$ $T_o = 1,8\text{ph}$ $s = 4,2\text{mm/vg}$ $v = 59\text{m/ph}$ $T_o = 2,42\text{ph}$ $T_B = 0,36\text{ph}$ $T_c = 2,78\text{ph}$

CM599		I II III IV V	Gá chỉ tiết Tiện trong lỗ Ø315 Khoan lỗ bulông vòng và lỗ bắt một đầu dây ra Cắt ren Gia công tinh lỗ Ø3130	$s = 2,6\text{mm/vg}$ $v = 55\text{m/ph}$ $T_C = 1,65\text{ph}$ $s_1 = 0,21\text{mm/vg}$ $v_1 = 10,6\text{m/ph}$ $s_2 = 0,07\text{mm/vg}$ $v_2 = 28\text{m/ph}$ $s_3 = 0,07\text{mm/vg}$ $v_3 = 11,8\text{m/ph}$ $T_C = 1,24\text{ph}$ $s_1 = 2,0\text{mm/vg}$ $v_1 = 7\text{m/ph}$ $s_2 = 1,0\text{mm/vg}$ $v_2 = 5,1\text{m/ph}$ $T_C = 0,4\text{ph}$ $s = 0,77\text{mm/vg}$ $v = 80\text{m/ph}$ $T_O = 3,0\text{ph}$ $T_B = 0,27\text{ph}$ $T_C = 3,27\text{ph}$
CM600		I II III	Gá lắp 2 chỉ tiết Khoan 4 lỗ Ø10,2 để lắp nắp Cắt ren lỗ M12 các lỗ trên	$s = 0,145\text{mm/vg}$ $v = 5,3\text{m/ph}$ $T_O = 0,94\text{ph}$ $s = 1,75\text{mm/vg}$ $v = 5,3\text{m/ph}$ $T_O = 0,38\text{ph}$ $T_A = 0,36\text{ph}$ $T_O = 1,3\text{ph}$

Bề mặt lắp lõi sắt stato được tiện 3 lần, tiện bán tinh và tinh được thực hiện trên máy riêng. Năng suất nguyên công này thấp bởi vì phải có 2 máy làm việc song song. Việc tiện thô được thực hiện trên hai vị trí ứng với hai nửa chiều dài. Chi tiết chỉ được kẹp giữ khi cắt gọt, còn khi không cắt gọt thì chỉ được định vị theo chuẩn. Mặt phẳng chân đế được phay sơ bộ, khâu phay tinh và khoan lỗ cố định được thực hiện trước khi lắp stato.

Dụng cụ để kiểm tra tự động các kích thước gia công không có, nó thực hiện do các công nhân với các dụng cụ đo thông thường. Năng suất của một nhóm gồm 6 máy, trong một năm gia công được 140 ngàn thân động cơ 4A160; 110 ngàn 4A180. Dây chuyền công nghệ này được áp dụng ở Nga để sản xuất các động cơ có chiều cao tâm trục $h = 160 \div 225\text{mm}$.

e) Quy trình gia công thân động cơ dây 4A có $h = 71 \div 132\text{mm}$ trên dây chuyền tự động kiểu 059 (Cộng hoà dân chủ Đức cũ): Đây là dây chuyền phổ biến nhất để gia công các thân gang. Đặc điểm kỹ thuật cơ bản của nó như sau:

Dây chuyền kiểu không có vệ tinh, việc chuyển chi tiết được thực hiện bằng cơ cấu băng tải có gầu ngoạm.

Trong quá trình gia công, chi tiết được bôi trơn và làm mát bằng êmunxi, đảm bảo nhanh chóng giải toả ứng suất dư do nhiệt, do đó giảm được biến dạng của thân. Êmunxi rửa trôi phôi kim loại cải thiện được điều kiện làm việc của công nhân, mặt khác giảm được sự mài mòn của băng máy. Êmunxi được lọc sạch qua 5 lần phin lọc bằng từ.

Để nâng cao năng suất lao động trên mỗi vị trí làm việc người ta bố trí gia công đồng thời hai chi tiết.

Bề mặt lắp stato được tiện 3 lần có thời gian nghỉ cùng với việc gá lại chi tiết ở mỗi vị trí làm việc.

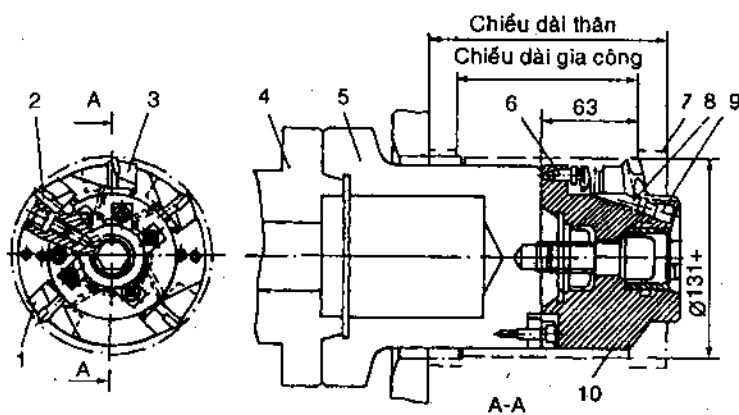
Trong dây chuyền có bố trí kiểm tra tự động dao cắt (thường bị mẻ), kiểm tra tự động đường kính phân lắp stato bằng dụng cụ đo kiểu khí nén (aerôpan).

Ở nguyên công thứ nhất chi tiết được định tâm và cố định bằng trục bung, gia công đồng thời 2 gờ lắp nắp. Việc định chuẩn chi tiết dọc theo trục được thực hiện bằng ụ động, còn định chuẩn ở các vị trí sau theo gờ lắp nắp đã được gia công, chi tiết được cố định bằng lực dọc trục do vành ép vào mặt mút, điều này đảm bảo độ biến dạng bé nhất.

Ở nguyên công cuối cùng gờ lắp nắp cả hai phía được gia công lại với định tâm là mặt ghép stato đã được gia công tinh (dùng trục bung ở cả 2 phía). Vì vậy, vỏ gia công theo quy trình này có độ đồng tâm giữa 2 mặt lắp ghép và mặt lắp stato rất cao.

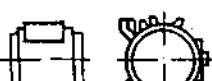
Trong quá trình gia công thân luôn luôn nằm ngang, do đó có thể gia công đồng thời ở cả 2 phía, giảm được số vị trí làm việc và như vậy thu gọn diện tích của dây chuyền công nghệ chế tạo.

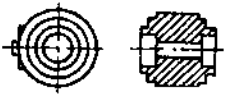
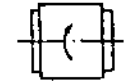
Dao cắt dùng trong dây chuyền này là dao đặc biệt trên cơ sở hợp kim cứng (BK8). Đầu dao điện trong khi tiện bán tinh như hình 6.10 trong đó: 1 – Dao tiện bán tinh; 2 – Nêm; 3 – Dao tiện tinh; 4 – Trục quay; 5 – Trục giá; 6 – Vấu đỡ; 7 – Thân được gia công; 8 – Nêm; 9 – Vít điều chỉnh; 10 – Giá dao.



Hình 6.10. Đầu dao tiện trong gia công thân động cơ

BẢNG 6.4. QUY TRÌNH CÔNG NGHỆ GIA CÔNG THÂN ĐỘNG CƠ TRÊN DÂY CHUYỂN 059-1

Vị trí	Sơ đồ cắt gọt	Tên nguyên công	Chế độ cắt
I		Chuyển 2 phôi vỏ lên băng tải.	
II		Xén mặt mút, tiện ngoài gờ lắp nắp.	$t = 2,0\text{mm}$ $s = 0,28\text{mm/vg}$ $v = 64\text{m/ph}$ $T_o = 1,0\text{ph}$
III		Tiện thô lỗ stato (nửa trái). Tiện khoảng chứa phần đầu mối.	$t = 1,75\text{mm}$ $s_z = 0,14\text{mm/răng}$ $s = 1,4\text{mm/vg}$ $v = 60\text{m/ph}$ $T_o = 1,0\text{ph}$
IV		Tiện thô lỗ lắp stato, phần chứa phần đầu nối (nửa phải). Khoan 4 lỗ trên chân.	$t = 1,75\text{mm}$ $s = 1,4\text{mm/vg}$ $v = 60\text{m/ph}$ $T_o = 1,0\text{ph}$
V		Phay mặt phẳng chân.	$t = 2\text{mm}$ $s_z = 0,18\text{mm/răng}$ $s = 5,6\text{mm/vg}$ $v = 56\text{m/ph}$ $T_o = 0,85\text{ph}$
VI		Xoay chỉ tiết 90°. Khoan 4 lỗ $\varnothing 2,4$ bắt nhãn và 2 bulông nổi đất.	$T_o = 0,85\text{ph}$
VII		Khoá mặt lỗ bu lông nổi đất và cắt ren. Xoay chỉ tiết 90°. Kiểm tra chất lượng cắt ren.	$T_o = 0,9\text{ph}$
VIII		Khoan 2 lỗ $\varnothing 18$ cho đầu dây ra; Khoan, khoét lỗ bu lông vòng, khoan lỗ bắt nắp ở 2 phía.	$T_o = 0,85\text{ph}$
IX		Khoan 2 lỗ bắt thân hợp cực, khoét mặt lỗ bu lông vòng, cắt ren các lỗ bắt nắp cả 2 phía, kiểm tra ren.	$T_o = 0,6\text{ph}$
X		Cắt ren các lỗ bắt hoopk đầu dây ra và lỗ bulông vòng, xoay chỉ tiết 180°	$v_1 = 4,2\text{m/ph}$ $v_2 = 4,5\text{m/ph}$ $s_1 = 1,0\text{mm/vg}$ $s_2 = 1,25\text{mm/vg}$ $T_o = 0,2\text{ph}$
XI		Tiện bán tinh lỗ lắp stato	$t = 1,0\text{mm}$ $s_z = 0,22\text{mm/răng}$ $s_1 = 2,2\text{mm/vg}$ $v = 58\text{m/ph}$ $T_o = 0,85\text{ph}$

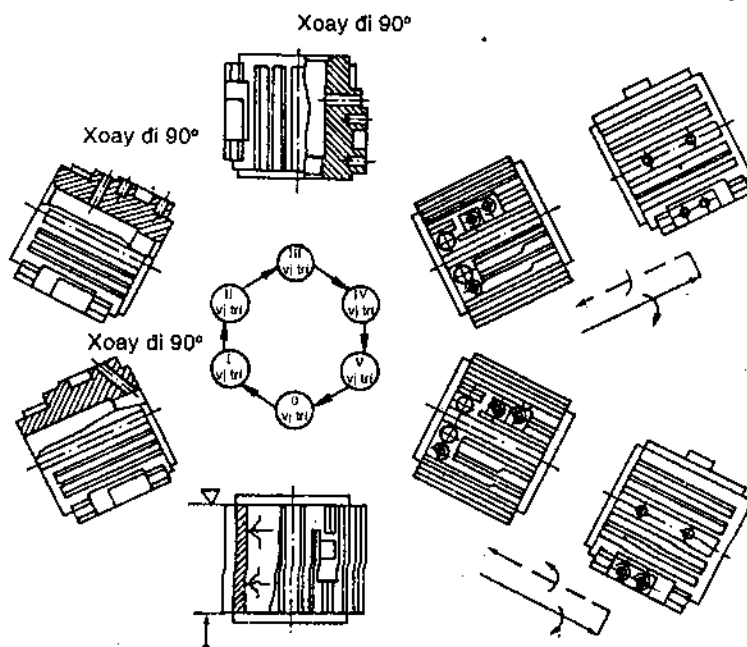
XII		Tiền rộng lỗ lắp stato, đo kích thước lỗ.	$t = 0,5\text{mm}$ $s_z = 0,14\text{mm/răng}$ $s_1 = 1,4\text{mm/vg}$ $v = 95\text{m/ph}$ $T_o = 0,85\text{ph}$
XIII		Xén mặt mút cả 2 phía, tiện lại gờ lắp nắp.	$t = 0,5\text{mm}$ $s_z = 0,28\text{mm/răng}$ $s = 0,18\text{mm/vg}$ $v = 66\text{m/ph}$ $T_o = 0,5\text{ph}$
XIV		Chuyển chi tiết vào kho chứa	

Qua khảo sát sản phẩm thì thấy dây chuyền này cho độ chính xác và ổn định cao hơn các dây chuyền trên. Sai số hình dạng lỗ lắp stato, kích thước hình dạng và vị trí các mặt của gờ lắp nắp (so với trục và mặt phẳng chân) đều thỏa mãn yêu cầu (tới $98 \div 100\%$). Nhược điểm ở đây là kích thước lỗ lắp stato có độ chính xác thấp.

Quy trình công nghệ gia công thân động cơ điện trên dây chuyền tự động 059-1 như trong bảng 6.4.

f) Gia công thân nhôm

Thân nhôm (chưa có lõi sắt) được gia công trên các máy liên hợp 6 vị trí. Trên mỗi vị trí gia công đồng thời 2 chi tiết. Trục chi tiết nằm ngang, chi tiết được định chuẩn theo lắp stato bằng trục bưng và theo 2 mặt mút. Việc cố định chi tiết được thực hiện bằng các lực dọc trục trùng lên các vấu bắt nắp. Khi khoan và cắt ren, các lỗ bắt nắp chi tiết được xoay đi 90° và nằm theo phương thẳng đứng (hình 6.11). Ở hai nguyên công cuối chi tiết được tháo ra khỏi đồ gá xoay đi 90° rồi khoan các lỗ bulông nối đất.



Hình 6.11. Quy trình công nghệ gia công thân nhôm của hãng BEM (Đức)

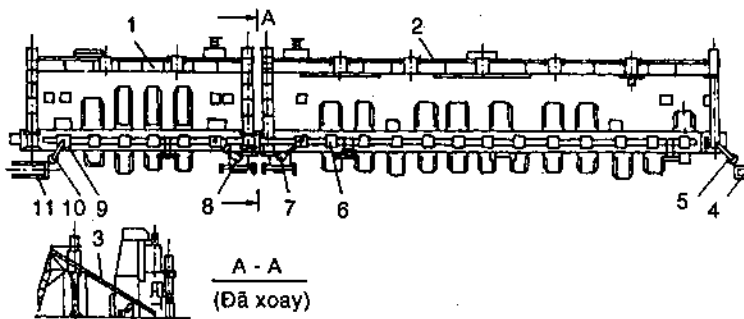
g) Máy cắt gọt và khả năng tự động hoá trong các dây chuyền tự động

Ở trên chúng ta đã khảo sát một số dây chuyền tự động gia công thân trong sản xuất khối của nước ngoài, trong đó ta thấy có 2 dạng cơ bản: Dây chuyền công nghệ gồm các máy liên hợp (hoặc đặc biệt) và dây chuyền gồm các máy tự động rời. Máy liên hợp là cùng một máy bố trí nhiều vị làm việc trên một bàn quay. Thực chất đây cũng là một dạng dây chuyền. Loại này được ứng dụng nhiều ở Nga. Dạng dây chuyền gồm nhiều máy tự động rời được ứng dụng ở các nước Đông Âu và Bắc Âu.

Mỗi máy liên hợp thực hiện được 5 ÷ 6 nguyên công rồi chuyển sang máy khác. Giữa các máy trong dây chuyền được nối với nhau bằng các băng tải hoặc cơ cấu gắp – cầu bằng thủy lực có điều khiển từ xa. Công việc đưa phôi lên dây chuyền và lấy sản phẩm được thực hiện bằng tay nếu khối lượng thân dưới 30kg, nếu nặng hơn dùng các máy cầu điện hoặc khí nén hoặc thủy lực tùy từng nhà máy. Sau đây ta khảo sát khả năng thiết bị và trình độ tự động hoá của một vài dây chuyền tự động.

Dây chuyền tự động kiểu ЛС – 2 (hình 6.12) và ЛС – 3 đều có đồ gá kiểu vệ tinh. Phôi được đặt lên bàn thu 11 và xoay theo đúng hướng do một công nhân. Tay máy 10 cặp phôi đưa vào đồ gá của giai đoạn đầu, ở đây phôi được tự động cố định bằng khoá cơ khí. Bốn vị trí tiếp theo của công đoạn 1 chuẩn công nghệ là các gờ lắp nắp, từ đó gia công mặt mút và khoan lỗ. Tiếp theo thân được tháo ra khỏi khoá cơ khí, cơ cấu đảo lật (tự động) 8 lấy thân ra khỏi cơ cấu vệ tinh, đảo đầu rồi nhờ tay máy 7 đặt vào đồ gá 6 của công đoạn 2. Công đoạn 2 gồm 7 nguyên công, trong đó có 3 nguyên công gia công kép (gia công đồng thời cả 2 thân). Cuối cùng đoạn 2 chi tiết được đưa ra khỏi đồ gá nhờ tay máy 5 rồi chuyển lên băng tải 4. Đồ gá kiểu vệ tinh được xoay nhờ cơ cấu chuyển đặc biệt 1 và 2 bố trí phía trên dây chuyền.

Trên dây chuyền ЛС – 2 và ЛС – 3 không bố trí hệ thống làm mát khi gia công. Phôi được đưa ra ngoài theo băng tải nhờ các cơ cấu cào. Bụi gang không được xử lý. Tất cả các cơ cấu tay máy đều được trang bị thủy lực, truyền động hệ thống bằng động cơ điện. Trên dây chuyền đặt 2 bảng tín hiệu (quang) cho biết tình trạng làm việc của từng vị trí làm việc.



Hình 6.12. Dây chuyền tự động kiểu ЛС – 2 (Hung ga ry)

Dây chuyền tự động kiểu 059 không có đồ gá kiểu vệ tinh (hình 6.13). Chi tiết được đặt lên bàn thu theo hai dãy và được tự động đưa lên dây chuyền nhờ một cơ cấu tay máy kiểu gầu ngoạm. Ở vị trí làm việc thứ nhất và cuối cùng thân được định tâm bằng trục bung; khi gia công, chi tiết quay dao chuyển động tịnh tiến. Ở các vị trí còn lại chi tiết chuyển động tịnh tiến, dao quay. Từ vị trí I đến V chi tiết được chuyển dịch theo mặt phẳng chân đế, trục chi tiết nằm ngang vuông góc với hướng chuyển động. Đến vị trí VI chi tiết được quay đi 90° xung quanh trục của nó để khoan lỗ bulông nối đất và bắt vít bắt nhãn máy.

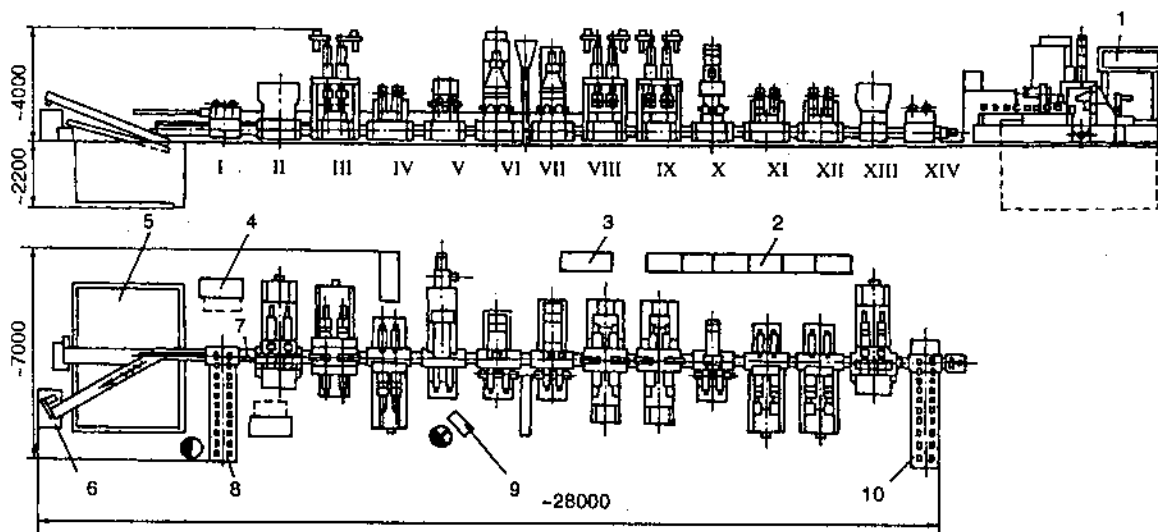
Bảng so sánh một số đặc tính của dây chuyền tự động gia công thân của một số hãng như sau:

BẢNG 6.5. ĐẶC TÍNH KỸ THUẬT CỦA THIẾT BỊ ĐỂ GIA CÔNG THÂN GANG

Thông số kỹ thuật	Dây chuyền kiểu IIC-3 (Hunggari)	Dây chuyền kiểu 1Л110H (Nga)	Hệ thống liên hợp M3AJ (Belarusia)	Dây chuyền kiểu VEBE (Đức)	Dây chuyền kiểu 059 (Đức)
Năng suất (ngàn chiếc/năm)	110	84,0	110,0	48,3	91,0
Hệ số sử dụng	0,64	0,8	0,8	0,7	0,7
Chu kỳ (ph')	1,3	2,15	1,7	3,24	1,75
Số vị trí làm việc trong dây chuyền	16	9	6	12	16
Kích thước dây chuyền (m)	32 x 6 x 4,5	30 x 5 x 3	45 x 6,5 x 4,5	13 x 6 x 4	31 x 7,5 x 4
Diện tích sản xuất (m ²)	192	150	290	78	233
Số công nhân và thợ hiệu chỉnh máy	3	4	7	2	3
Thời gian lao động gia công 1 chi tiết (ph)	9,9	10,8	14,8	9,3	8,75

3. Gia công cụm vỏ – stato

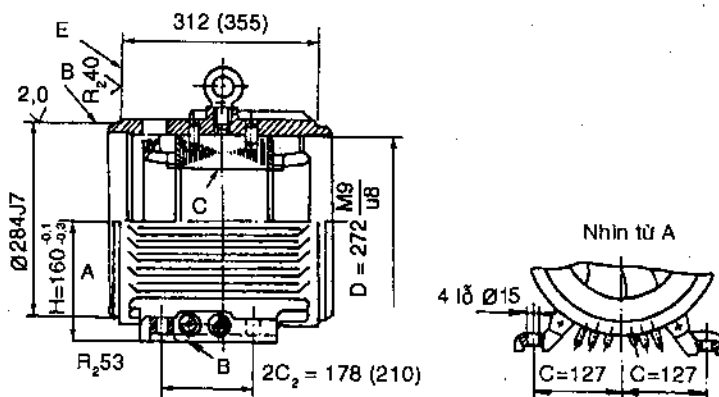
Khi tính toán chuỗi kích thước của động cơ người ta thấy rằng không thể đảm bảo được độ đồng đều của khe hở nếu không gia công tinh lại gờ lắp nắp với nắp sau khi ép lõi sắt stato vào vỏ. Độ lệch cho phép của mặt B và mặt E so với trục của mặt C không được lớn hơn 0,05mm. Nhiều nghiên cứu cũng chỉ ra rằng, không thể đảm bảo một cách ổn định sai lệch chiều cao trục quay trong giới hạn 0,2mm nếu không phay tinh lại mặt phẳng chân đế sau khi ép stato vào vỏ (hình 6.14).



Hình 6.13. Dây chuyền tự động kiểu 059 (Đức)

1. Bảng tín hiệu; 2. Tủ điều khiển; 3. Trạm thủy lực; 4. Tủ dụng cụ; 5. Hệ thống làm mát; 6. Thùng chứa phoi; 7. Băng tải phoi; 8. Kho chứa phoi; 9. Bàn điều khiển chính; 10. Kho chi tiết hoàn thiện.

Khi ép lõi sắt stato vào vỏ có thể gây biến dạng mặt phẳng chân, làm thay đổi vị trí trục quay do đường kính ngoài và đường kính trong của lõi sắt không đồng tâm hoặc do khi gia công vỏ có sai số trong nguyên công tiện gờ lắp nắp. Thêm vào đó có thể do mặt phẳng chân không đồng tâm hoặc do khi gia công vỏ có sai số trong nguyên công tiện gờ lắp nắp. Cũng có thể do mặt phẳng chân không đảm bảo độ phẳng và không song song với trục quay.



Hình 6.14. Cụm chi tiết stato của động cơ không đồng bộ

Vì những nguyên nhân trên khi chế tạo động cơ theo gam mới (4A) người ta đã đưa thêm các nguyên công tiện tinh lại gờ lắp nắp và phay tinh lại mặt phẳng chân.

Việc tiện lại gờ lắp nắp được thực hiện trên máy đặc biệt (kiểu ЛСН – 2; ЛСН – 3 của Hunggari). Chuẩn công nghệ lúc này là mặt trong stato được xác định bằng trục bung. Máy có 2 bàn dao (dọc và ngang) để gia công trên 2 hướng của thân. Việc gá lắp và tháo dỡ chi tiết được tự động hoá.

Nguyên công phay tinh lại mặt phẳng chân (và khoan lỗ cố định nếu nguyên công trước chưa làm) được thực hiện trên các máy liên hợp, ví dụ CM-580. Chuẩn công nghệ lúc này là các gờ lắp nắp đã gia công tinh và mặt mút của thân. Việc lắp gá thân lên máy được cơ khí hoá.

6.3. CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO GỐI ĐỠ TRỤC (NẮP MÁY)

6.3.1. Yêu cầu và các điều kiện kỹ thuật trong việc gia công nắp máy điện

Đối với các máy điện công suất vừa và nhỏ, gối đỡ trục đồng thời là nắp máy. Trong trường hợp này nắp máy và thân được nối cứng nhau thông qua gờ lắp ráp và các bulông. Đối với các máy điện lớn gối đỡ thường rời so với thân (máy kiểu hở). Nắp là một trong những chi tiết quan trọng của máy điện, nó xác định vị trí của rôto trong stato và do đó xác định hình dạng và kích thước của khe hở không khí (chuỗi kích thước B). Các kích thước của nắp cũng tham gia các chuỗi kích thước D (độ lệch trục quay rôto ra khỏi vị trí bình thường so với mặt phẳng chân máy) và chuỗi kích thước C (chuỗi kích thước dọc trục xác định việc lắp ráp ổ bi).

Trong số 14 thành phần của chuỗi kích thước B thì 6 thành phần là hàm của các kích thước và vị trí tương đối của các bề mặt nắp trước và nắp sau. Các thành phần đó là các kích thước của gờ lắp ghép với thân, buồng ổ bi và độ không đồng trục của hai mặt đó

với nhau. Qua tính toán thấy rằng sai số kích thước độ lệch các bề mặt nắp quyết định khoảng 35% độ không đồng đều của khe hở không khí. Đối với các máy điện thuộc gam công suất mới thường dùng ổ bi loại nặng (cỡ 6) nên yêu cầu về độ chính xác gia công cao hơn: độ lệch cho phép kích thước buồng ổ bi tương ứng với độ nhám nằm trong giới hạn $1,25 \div 0,63 \mu\text{m}$, sai số hình dạng không lớn hơn một nửa phạm vi dung sai về kích thước, hạn chế tối đa độ đảo của gờ lắp thân và mặt mút không lớn hơn $0,04 \div 0,05\text{mm}$.

Nắp cần phải có đủ độ cứng, nhưng điều này thường làm mâu thuẫn với yêu cầu giảm khối lượng máy và tốc độ truyền nhiệt. Có thể tăng độ cứng bằng cách tạo các gân chịu lực, tất nhiên phải chấp nhận sự phức tạp và khối lượng gia công tăng. Cũng có thể tăng độ cứng bằng cách giảm chiều sâu nắp (nắp gần như phẳng). Trong trường hợp đó gờ nắp (ghép với thân) khoẻ hơn nhưng phải kéo dài thân để phần đầu nối của dây quấn không chạm vào nắp. Việc tính toán độ cứng của nắp thường căn cứ vào chế độ gia công nắp (lực dập, lực cắt); khi đã ghép vào thân thì độ cứng của nắp không còn quan tâm nữa vì chính mối ghép với thân đã làm tăng độ cứng của nắp.

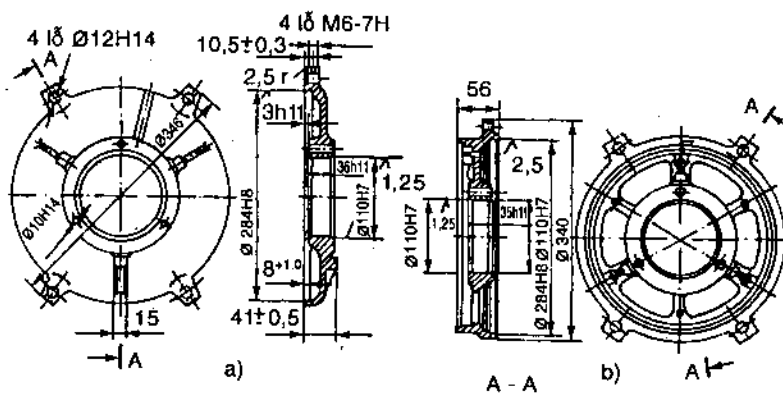
6.3.2. Vật liệu và phương pháp tạo phôi

Nắp máy điện thường được đúc từ gang, hợp kim nhôm hoặc hàn từ thép, tương tự như đối với thân.

Nắp hàn từ thép ít dùng vì khó gia công cơ và chỉ được dùng ở những máy đặc biệt cần độ bền cao, như động cơ chống nổ hoặc các máy lớn chẳng hạn. Độ khó trong gia công cơ đối với loại nắp thép tăng khoảng 20 lần so với nắp gang.

Phổ biến nhất đối với các máy điện công suất vừa và nhỏ là nắp đúc bằng gang xám. Đúc gang cho phép áp dụng các dây chuyền đúc tự động năng suất cao, đặc biệt là đối với nắp động cơ không đồng bộ kiểu kín. Nắp gang đối với máy điện công suất nhỏ có thể đúc rất mỏng (khoảng 4mm).

Nắp hợp kim nhôm được đúc dưới áp lực, đặc điểm là dễ gia công cơ nhưng độ cứng, độ chịu mài mòn và độ tin cậy trong vận hành không cao, giá thành nguyên liệu cao hơn. Trong thực tế cho thấy đối với nắp silumi nếu phải tháo lắp động cơ một số lần, mối ghép giữa nắp với thân, giữa ổ bi với nắp



Hình 6.15. Nắp đồng thời là gối đỡ động cơ không đồng bộ

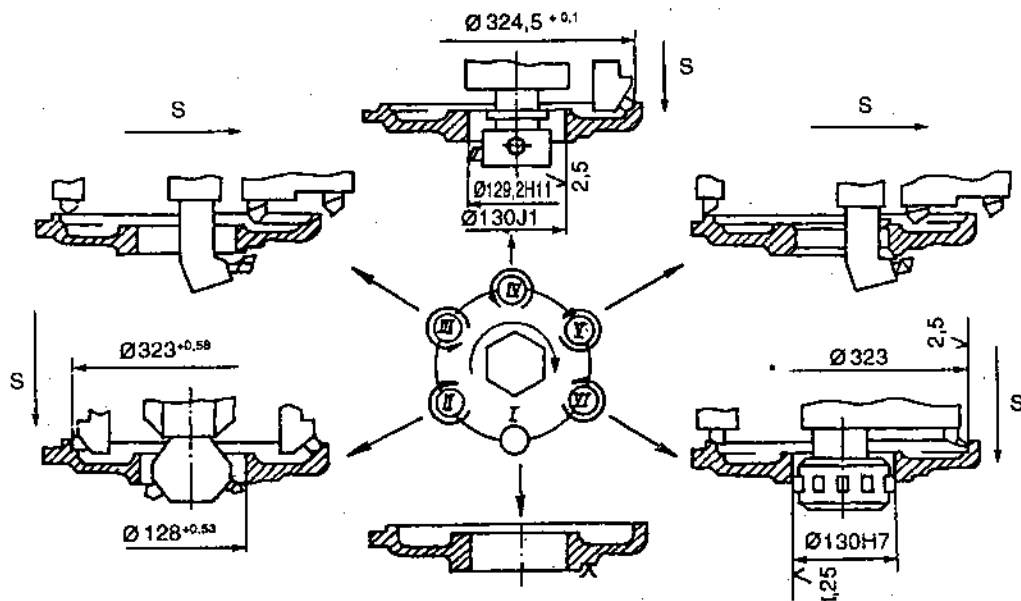
sẽ bị lỏng. Vì vậy mà nắp hợp kim nhôm chỉ được dùng trong các máy điện công suất nhỏ (chiều cao tâm trục nhỏ hơn 90mm) và thường có ống lót buồng ổ bi bằng gang,

thép hoặc kim loại gôm. Thực tế cho thấy, dùng nắp hợp kim nhôm thì giá thành của nó thường cao hơn nắp gang tới 40%. Nếu không có ống lót buồng ổ bi thì nắp hợp kim nhôm hiện nay cũng chỉ dùng cho các động cơ điện có chiều cao tâm trục không quá $50 \div 63\text{mm}$ ngay cả trong tương lai gần khi tìm được những hợp kim nhôm có độ bền cao hơn. Trên hình 6.15 là bản vẽ công nghệ nắp động cơ điện kiểu kín IP44 và kiểu bảo vệ IP23.

6.3.3. Công nghệ gia công nắp

Theo yêu cầu về độ đồng trục của hai mặt buồng ổ và gờ lắp thân, hai mặt này cần phải được gia công trên một lần gá. Để có thể gá phôi lên máy tiện, khi đúc phôi người ta đã chế tạo 3 vấu công nghệ ở phía ngoài nắp. Vấu công nghệ được bố trí sao cho lực cặp được truyền thẳng trong phần gân chịu lực của nắp, mặt khác phải xa tối đa gờ lắp thân để tránh biến dạng cho mặt này. Trong sản xuất nhỏ hoặc đơn chiếc nắp được tiện trên máy tiện trục ngang (đối với máy lớn). Tất cả các nguyên công tiện (buồng ổ bi, gờ lắp thân, mặt lắp nắp mở trong và ngoài, xén mặt mút) đều được thực hiện trên một lần gá. Sau khi tiện xong nguyên công tiếp theo là khoan và tạo ren các lỗ nếu có. Trong sản xuất khối trước đây nắp (gang) được gia công trên máy tiện Rovonve kiểu 1 П365 có trục đứng. Năng suất khi đó thấp, chất lượng gia công thường không đạt được yêu cầu thiết kế. Hiện nay người ta đã nghiên cứu và đưa vào sử dụng những dây chuyền công nghệ hiện đại hơn, sử dụng những máy tiện trục đứng nhiều trục bán tự động kiểu 1282 và 1284 có năng suất cao và chất lượng gia công được cải thiện, các chỉ tiêu kinh tế, kỹ thuật cũng cao hơn đáng kể.

Sơ đồ các nguyên công tiện nắp (lấy ví dụ đối với động cơ 4A180) trình bày trên hình 6.16.



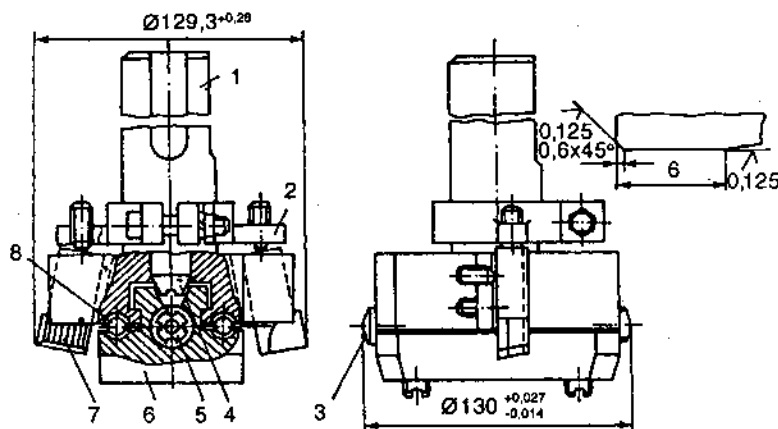
Hình 6.16. Sơ đồ gia công nắp động cơ không đồng bộ

Theo sơ đồ này độ chính xác gia công đạt cấp 8 đến cấp 9, sai số chủ yếu do vị trí của trục máy so với bàn xoay (chứa chi tiết gia công). Cấp chính xác như vậy là chưa đủ đối với những máy điện thuộc gam mới. Để nâng cao độ chính xác người ta đã đưa thêm nguyên công sửa tinh nhưng lại gặp khó khăn trong việc định chuẩn để sao cho đảm bảo độ đồng trục của gờ lắp thân và buồng ổ bi. Vì vậy đã có nhiều nghiên cứu hướng tới việc nâng cao độ chính xác của các quá trình công nghệ nói trên, trên cơ sở tìm những nguyên nhân gây sai số chủ yếu đối với 5 tham số của nắp (kích thước và hình dạng gờ lắp thân, kích thước và hình dạng buồng ổ bi và độ đồng trục giữa chúng).

1. Kích thước và hình dạng buồng ổ bi

Để nâng cao các chỉ tiêu đối với ổ bi người ta phải tiến hành gia công tinh. Việc này được thực hiện qua 2 bước:

– Bước 1: Doa lại lỗ buồng ổ bi bằng dao doa 2 lưỡi hợp kim cứng có thể điều chỉnh trơn (hình 6.17). Sau bước này độ nhám bề mặt đạt $2,5\mu\text{m}$, độ chính xác đạt cấp 8 (yêu cầu bản vẽ là cấp 7 và độ nhám $< 1,25\mu\text{m}$ đối với các máy thuộc gam mới).



Hình 6.17. Dao doa hai lưỡi kiểu tùy động

– Bước 2: Sau khi doa phải để lại dung sai dương $0,02 \div 0,03\text{mm}$ và tiến hành nghiền bề mặt trong bằng thiết bị nghiền đĩa cho đến khi đạt độ chính xác cấp 7, độ nhám $< 1,25\mu\text{m}$, độ lệch hình dạng lỗ nằm trong giới hạn bằng dung sai của cấp chính xác 7.

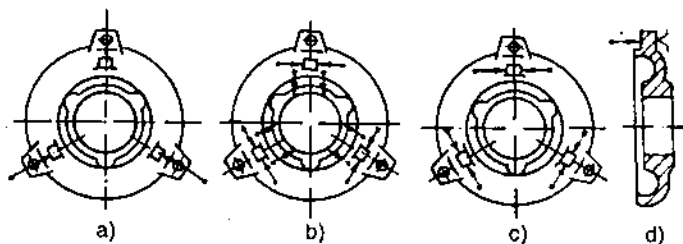
2. Kích thước và hình dạng gờ lắp thân

Nhiều nghiên cứu quá trình công nghệ gia công nắp trên máy tiện đứng nhiều trục bán tự động cho thấy, chỉ khoảng 50% sản phẩm đạt dung sai kích thước và hình dạng theo yêu cầu bản vẽ. Sai số phần lớn do 3 yếu tố sau quyết định:

- Độ cứng của chi tiết không đủ.
- Các vấu công nghệ nằm gần ra phía ngoài mép nắp.
- Phương pháp cố định phôi khi gia công chưa hợp lý.

Trên hình 6.18 trình bày sơ đồ cố định phôi. Ta hãy phân tích ưu nhược điểm của các sơ

đồ dó. Khi thiết kế quá trình công nghệ và các thiết bị người ta có xu hướng phối hợp các chi tiết định tâm nắp sao cho đơn giản được kết cấu của đồ gá.

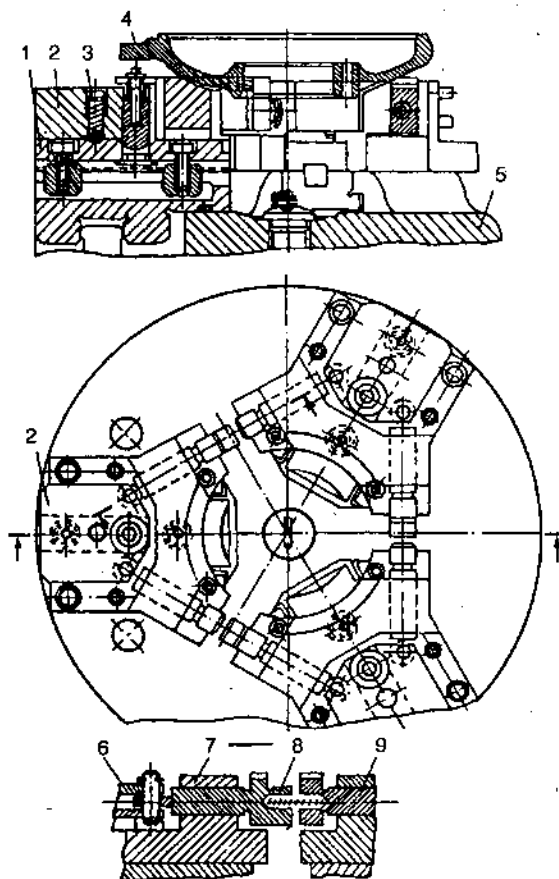


Hình 6.18. Các phương pháp cố định và định chuẩn khi gia công nắp động cơ

Trên hình 6.18a phôi được cặp với lực cặp tác dụng theo hướng kính (lực cặp hướng tâm). Phương pháp này ít dùng vì dùng vì dễ gây biến dạng phôi nên chỉ được áp dụng trong sản xuất nhỏ lẻ hoặc đơn chiếc. Theo hình 6.18b phôi được cặp theo cả 2 hướng: hướng kính và hướng vuông góc với nó. Phương pháp này phôi ít bị biến dạng hơn do lực cặp tác dụng chủ yếu lên mặt bên của vấu công nghệ nhưng do chấu cặp có khía rãnh nên có một thành phần lực truyền theo hướng kính và gây biến dạng phôi. Theo hình 6.18c phôi được cặp trên mâm cặp có chấu nhấn, lực cặp chỉ tác dụng theo phương vuông góc với trục phôi do đó không có lực hướng kính gây biến dạng. Về mặt kết cấu mâm cặp kiểu này khá đặc biệt, mới được trang bị cho các máy tiện kiểu 1284 (hình 6.19).

Ngoài việc cải tiến phương pháp gá giữ phôi để giảm biến dạng của nó khi gia công người ta còn thay đổi cả kết cấu của nắp máy. Nắp máy nên thiết kế nông, gần như phẳng để tăng độ cứng gờ lắp thân, vấu công nghệ có hình trụ và dày hơn một ít. Khối lượng nắp khi đó không tăng mà độ cứng vững tăng đáng kể. Giải pháp này cho độ chính xác thỏa mãn yêu cầu thiết kế và rất ổn định, sai số về hình dạng gờ lắp thân giảm nhiều, sản phẩm đạt tiêu chuẩn về mặt này hầu như 100%.

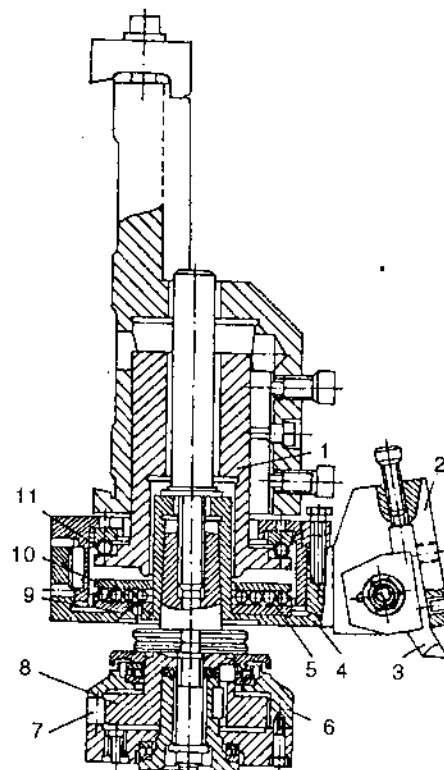
Một vấn đề khác không kém phức tạp cần được giải quyết đó là làm sao đạt được cặp chính xác 8, tức là cao hơn cả



Hình 6.19. Mâm cặp ba chấu tự định tâm, cặp mặt bên vấu gia công của nắp

độ chính xác của máy cái. Như trên đã phân tích, sai số chủ yếu do vị trí của trục máy tiện so với trục chi tiết gia công không hoàn toàn khớp. Sai số định vị bàn máy (đường kính 2400mm) kiểu 1282 khoảng $\pm 0,02\text{mm}$, sai số lắp trục máy $\pm 0,008\text{mm}$ là rất nhỏ và không thể giảm hơn được nữa. Để nâng cao hơn nữa độ chính xác của gờ lắp thân dao dùng trong tiện tinh không được cố định cứng với bàn dao mà chỉ được định tâm theo trục của buồng ổ bi (đã được gia công hoàn thiện bằng đầu dao hình 6.17).

Để thực hiện giải pháp kỹ thuật trên cần phải có đầu dao tùy động (tự lựa) để tiện tinh gờ lắp thân và nghiền lại mặt trong buồng ổ bi (hình 6.20). Đầu dao này có cốc 1 được cố định với giá dao trên bàn dao của máy. Giữa mâm quay 4 và cốc 1 có một khe hở nhỏ. Trong hố mâm quay 4 lắp một đầu nghiền kiểu đũa (gồm vòng cách 6, đũa nghiền 7 và trục bung 8). Mâm quay cùng với đầu nghiền chuyển dịch tự do trên bi 5 theo hai hướng vuông góc trong mặt phẳng vuông góc với trục đầu cán. Trên mâm quay gắn giá dao 2 cùng với dao 3 để tiện gờ lắp thân. Đầu nghiền thực hiện việc làm tinh lỗ buồng ổ bi. Đầu dao có thể chuyển dịch so với bàn dao và được định hướng (nhờ đầu nghiền) theo buồng ổ bi đã gia công. Nhờ đầu dao kiểu này tránh được sai số do vị trí của trục máy và nâng độ chính xác của gờ lắp thân lên 2,5 lần, đáp ứng được yêu cầu của thiết kế.



Hình 6.20. Đầu nghiền kiểu tùy động để nghiền buồng ổ bi và gia công tinh gờ lắp thân

3. Đảm bảo độ đồng trục giữa gờ lắp thân và ổ bi

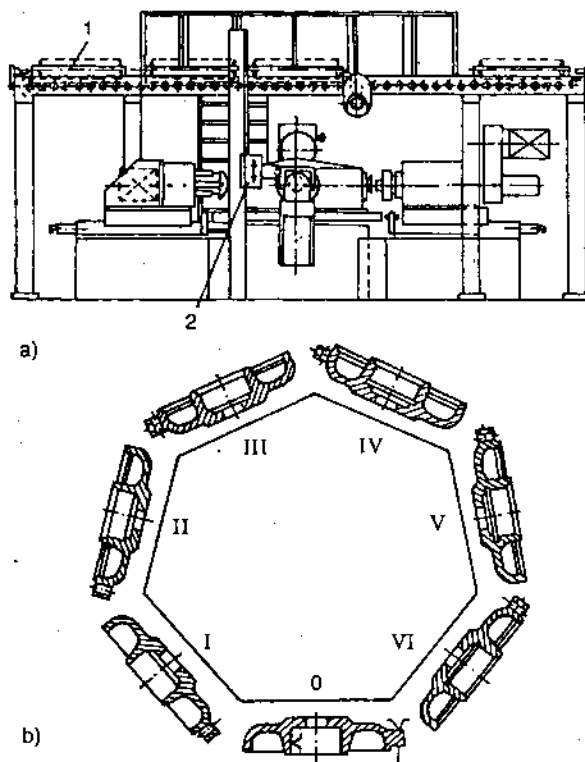
Việc ứng dụng đầu dao có đầu nghiền nói trên cũng đồng thời giải quyết được vấn đề đồng trục của gờ lắp thân và buồng ổ bi.

Ngày nay, công nghệ chế tạo nắp máy đã được hoàn thiện và đưa vào sử dụng những dây chuyền bán tự động kiểu trục đứng nhiều vị trí (nhiều trục) có năng suất và độ chính xác cao. Kết cấu của nắp cũng được cải tiến để tăng độ cứng cho gờ lắp nắp đảm bảo ổn định độ chính xác gia công.

Sau nguyên công tiện là các nguyên công khoan các lỗ cố định nắp, lỗ bắt nắp mỡ. Các nguyên công này được thực hiện trên máy kiểu 2C150 hoặc 2C170 (Nga) có cơ cấu hiệu chỉnh đặc biệt để có thể gia công nhiều kiểu nắp. Các máy này có đầu khoan nhiều trục, đồ gá kiểu tác dụng nhanh bằng khí nén. Nắp của động cơ kiểu kín còn có 3 (hoặc 4) lỗ bắt nắp hướng gió (một trong 2 nắp). Nguyên công này được gia công trên máy

liên hợp kiểu XA-3354; XA-4589; XA-9402 (Nga). Khi gia công các lỗ bắt nắp hướng gió trên các máy này nắp được để ngửa (trục thẳng đứng), các đầu khoan có trục nằm ngang. Sau khi khoan xong bàn máy mang chi tiết xoay đi một góc và các trục cắt ren bắt đầu làm việc.

Độ khó gia công trong quy trình công nghệ nói trên khá thấp. Nhược điểm của quy trình công nghệ trên là mức tự động hoá thấp, các nguyên công tiện và khoan được làm trên 2 máy khác nhau, gá lắp bằng tay và phải có các thiết bị nâng hạ vận chuyển riêng. Nhược điểm thứ 2 là việc gia công bằng đầu dao tự lựa (tuỳ động) có đầu nghiền đĩa sẽ gặp khó khăn khi nắp máy là loại không có nắp mỡ. Ở những nắp này lỗ buồng ổ bi được coi là lỗ tịt, nó chỉ có một lỗ nhỏ đủ để ngỗng trục ra ngoài. Ổ bi lúc đó là loại có một hoặc 2 nắp mỡ có sẵn. Các động cơ dây 4A có $h \leq 132\text{mm}$ thường được thiết kế theo kiểu này. Hãng VEM của Đức đã chế tạo loại máy liên hợp đặc biệt để gia công các nắp máy như thế. Trên máy này nắp được tiện, khoan, cắt ren hoàn thiện qua 6 vị trí làm việc của mâm quay. Máy kiểu BXRT-1250 để gia công nắp các động cơ có $h = 71 \div 100\text{mm}$, loại BXRT-1600 để gia công nắp các động cơ có $h = 112 \div 132\text{mm}$.



Hình 6.21. Máy tiện – khoan liên hợp kiểu BXRT-1250 và sơ đồ gia công nắp máy điện

Trên hình 6.21 trình bày nguyên lý của máy kiểu BXRT-1250 và sơ đồ gia công nắp.

Tay máy 2 lấy đi chi tiết từ hộp băng tải 1 đặt lên vị trí “0”. Lúc này nắp được định tâm bằng lỗ buồng ổ bi bằng trục gá hình côn (được đặt vào khi nắp còn trên băng tải cấp liệu) và sau đó thực hiện cấp chi tiết. Chuẩn để gá và cố định chi tiết là các vấu công nghệ phía ngoài nắp (cấp mặt bên vấu – 6.18). Ở vị trí I gia công thô lỗ buồng ổ bi, xén mặt lỗ buồng ổ bi, khoan các lỗ trên tai (tai bắt với thân máy). Ở vị trí II gia công lần 2 buồng ổ bi (tiện), gia công sơ bộ bề mặt gờ lắp thân và mặt mút của nó, khoả mặt gờ nắp và lỗ buồng ổ bi. Ở vị trí thứ III nắp được nối ra và cố định lại với lực bé hơn, khoan 3 lỗ bắt nắp hướng gió (đối với nắp phía quạt gió) đồng thời cắt ren chúng. Ở vị trí IV tiện rãnh ở cuối buồng ổ bi, xén lại lỗ buồng ổ bi, xén tinh mặt mút gờ lắp thân. Ở vị trí V, tiện tinh gờ lắp thân, lỗ buồng ổ bi và lỗ đầu trục. Ở vị trí VI kiểm tra tự động gờ lắp thân và buồng ổ bi bằng dụng cụ đo khí nén kiểu hộp xếp “Aeropal”.

Theo khảo sát các sản phẩm của quy trình công nghệ này thấy, các chỉ tiêu kỹ thuật đạt khá cao, từ $95 \div 100\%$ so với yêu cầu đặc biệt 2 kích thước gờ lắp thân và buồng ổ bi đạt 100%. Năng suất của dây chuyền này đạt từ $23 \div 48$ chiếc nắp máy một giờ tùy theo đường kính của nó.

Khi gia công các nắp nhôm như trên đã nói sẽ gặp khó khăn do độ cứng của nhôm quá thấp. Vì vậy, cần phải áp dụng phương pháp gá cặp thích hợp. Buồng ổ bi có thể tăng độ cứng được nhờ các ống lót bằng thép. Thiết bị gia công nói chung không khác nhau nhiều. Năng suất của các máy liên hợp nhiều vị trí khi gia công nắp nhôm đạt rất cao, ví dụ trên máy liên hợp 76-H của Mỹ đạt tới 343 chiếc nắp trong một giờ. Chế độ cắt khi gia công nhôm cũng khác, tốc độ cắt có thể đạt tới 800m/ph, tốc độ quay của các trục gia công 1588 v/ph, độ ăn dao 0,23mm/vg. Trên các máy liên hợp của Nga cũng đạt năng suất 540 ngàn chiếc nắp động cơ nhôm trong một năm.

6.4. CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO TRỤC

6.4.1. Vật liệu trục và phương pháp tạo phôi

Trục của máy điện là một chi tiết quay, mang trên nó toàn bộ trọng lượng của rôto. Đối với máy lớn giữa trục và lõi sắt rôto còn có một chi tiết trung gian đó là ống lồng kiểu nan hoa, mục đích là giảm trọng lượng rôto và tiết kiệm vật liệu tác dụng. Đối với các máy điện công suất đến 100kW trục được chế tạo từ thép cacbon mác 40 hoặc 45, đôi khi dùng cả thép CT5. Ngoại trừ một số trường hợp đặc biệt như trục máy palăng điện, máy điện kèm hộp số... trục máy điện không cần qua nhiệt luyện.

Để tạo phôi trục máy điện công suất nhỏ (chiều cao tâm trục $h < 100\text{mm}$) thông thường dùng các loại thép cán tròn, thép cán định hình bậc và thép cán xoắn phân đoạn.

Thép cán tròn do các nhà máy luyện kim sản xuất dưới dạng cuộn hoặc cây. Để giảm bớt khối lượng gia công tiện và tiết kiệm vật liệu nhiều nhà máy chế tạo máy điện đã cán tinh lại cho đường kính sát với đường kính cần thiết.

Việc cắt phôi từ thép cán tròn có thể thực hiện bằng các loại máy cưa (cưa đĩa, cưa cán, cưa vòng), các máy đập cắt, máy mài cắt và các máy phay cắt. Việc lựa chọn phương pháp cắt phôi được căn cứ vào độ chính xác theo chiều dài, độ nhám mặt cắt (2 mặt đầu), năng suất và chi phí công nghệ cắt phôi.

Cắt bằng máy phay cắt thường không đảm bảo độ chính xác theo chiều dài và độ nhám bề mặt cắt. Cưa đĩa tròn hoặc xecmăng cho bề mặt mút không đều và phải có thêm gia công phụ. Cắt phôi bằng đá mài cắt cho năng suất cao, độ chính xác theo chiều dài đủ, độ song song của 2 mặt cắt và độ vuông góc của chúng với trục phôi đạt tốt, độ nhám bề mặt cắt nhỏ, phần vật liệu mất đi (phoi) ít. Với những ưu điểm đó phương pháp này được áp dụng rộng rãi ở các nước phát triển cao như Mỹ, Nhật, Pháp... Ví dụ ở Mỹ máy cắt đá chiếm 15% tổng số các chi tiết cắt và đứng hàng thứ 3 trong số đó. Nhược điểm của máy cắt đá là chi phí cao. Một đĩa cắt đá $\phi 300\text{mm}$ cắt chỉ được 200 nhát cắt loại phôi $\phi 18 \div 20\text{mm}$. Chi phí này phụ thuộc nhiều vào chế độ cắt.

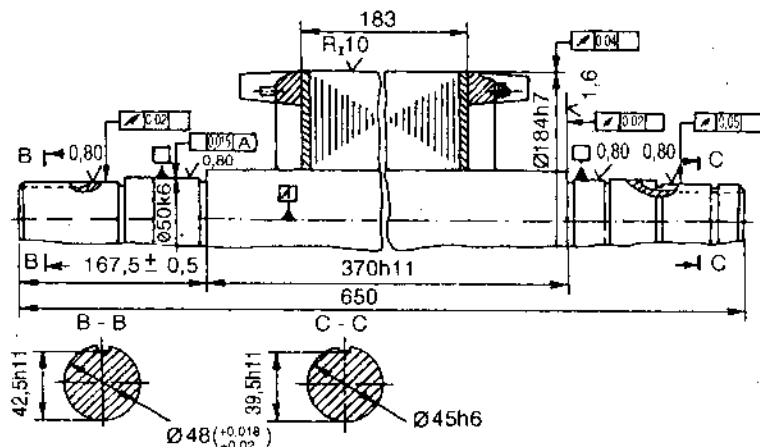
Cắt bằng máy dập cắt là một trong các phương pháp cho năng suất cao, thường dùng để cắt phôi trục từ thép cây (cắt từng nhất một). Nhược điểm của phương pháp này là không cắt được đường kính lớn, phôi thường bị cong và biến dạng (bị bẹp) mặt cắt đầu nên phải thêm nguyên công phụ. Để khắc phục nhược điểm trên người ta đã cải tiến thành máy dập cắt mà dao là hai nửa vòng ôm khít chu vi phần cắt, hoặc dao cắt là 2 ống lồng có đường kính xấp xỉ đường kính cực đại của phôi. Theo phương pháp này có thể tự động hoá việc cắt phôi dễ hơn nhưng độ chính xác không cao.

Thép để làm phôi trục máy điện loại xoắn phân đoạn mỗi cây thường có 3 đến 6 đoạn. Độ chính xác về kích thước hướng kính và hướng trục đều thấp, lượng dư gia công lớn (theo hướng kính), và phần thừa theo chiều dài do sai số gọt cũng khá lớn, gây lãng phí vật liệu, giá thành cán chu kỳ (phân đoạn) cao hơn 35% so với thép cán tròn thông thường nên phương pháp này ít được sử dụng.

Phương pháp tạo phôi tiên tiến nhất hiện nay là cán định hình bậc. Theo phương pháp này phôi có hình dạng và kích thước gần với trục hoàn chỉnh do đó giảm được nhiều khối lượng gia công tiện và tiết kiệm vật liệu. Chi phí vật liệu cho mỗi trục giảm $12 \div 15\%$, cải thiện được cấu trúc vĩ mô của phôi.

Phôi trục của các động cơ lớn ($h = 160$ trở lên) được rèn để tạo bậc.

Trong nhiều trường hợp người ta gia công phần trục lắp rôto trước và sau đó gia công toàn bộ trục cùng với rôto đã lắp với trục (hình 6.22).



Hình 6.22. Rôto trên trục của động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc

Mối ghép giữa trục và rôto là mối ghép cố định, có thể được thực hiện bằng các phương pháp sau:

- Đối với động cơ công suất nhỏ (khoảng 7,5kW trở lại) ghép căng bằng phương pháp đốt nóng rôto.
- Lăn nhám phần trục lắp rôto để tạo ma sát.

– Lắp bằng then (đối với các máy điện vừa và lớn).

Dù ghép theo phương pháp nào cũng phải đảm bảo được sự phối hợp H7/U8 – H8/U8. Khi ghép then có vai trục và vành chặn có thể phối hợp lỏng hơn. Cần chú ý nếu rôto không phải là nguyên khối ghép từ các lá tôn mỏng thì mối ghép này sẽ không chặt.

6.4.2. Công nghệ gia công trục

Khi gia công trục máy có thể thực hiện theo hai phương pháp: có tâm và vô tâm. Gia công trục trên máy mài vô tâm dễ hơn nhiều với gia công trên các máy định tâm. Tuy nhiên có nhiều nguyên nhân làm cho việc gia công trên máy vô tâm khi sửa chữa. Thứ 2 là việc hiệu chỉnh các máy yêu cầu trục phải có lỗ tâm khó hơn máy có định tâm. Trong nhiều trường hợp có yêu cầu cao về độ chính xác kích thước hướng kính của ngỗng trục dùng phương pháp vô tâm gặp nhiều khó khăn trong việc hiệu chỉnh thiết bị.

Trong sản xuất lớn có tự động hoá quá trình gia công trục cần phải tính đến các điều kiện sau:

1. Các nguyên công cần được thực hiện với số lần định chuẩn và gá lắp lại tối thiểu.
2. Khi thiết kế công nghệ người ta không tính đến việc phải hiệu chỉnh dụng cụ cắt bằng các bloc dụng cụ đã lắp sẵn.
3. Khi thành lập trình tự các nguyên công cần phải tính sao cho đồng bộ và có lợi nhất.

Quá trình công nghệ gia công đối với mỗi trục được tiến hành theo các bước sau: Xén mặt mút (phay) – khoan lỗ tâm – tiện ngoài các bậc theo bản vẽ – lăn hoa hoặc phay rãnh then – mài các đoạn trục chỗ lắp ổ bi.

Thực tế chế tạo máy điện cho thấy nhiều hãng sản xuất ít khi lăn hoa mà chủ yếu dùng phương pháp ép nóng có độ dôi để ghép rôto với trục.

Dưới đây ta hãy khảo sát các bước công nghệ chính trong dây chuyền sản xuất tự động hoá trục máy điện.

Gia công mặt mút, khoan lỗ tâm: Việc gia công mặt mút là cần thiết khi cắt phối trên máy dập cắt. Thiết bị cho độ chính xác và năng suất cao trong nguyên công này là máy phay – khoan tâm hai mặt bán tự động. Dụng cụ cắt khi đó dùng dao phay mặt mút và khoan tâm liên hợp. Đây là một phương pháp tiên tiến nhưng mũi khoan tâm liên hợp rất nhạy cảm với sự quá tải nên phải hết sức chú ý.

Máy phay – khoan tâm 2 mặt có hai kiểu: Kiểu tang trống hai vị trí và nhiều vị trí. Trên máy hai vị trí phối được cặp trên êtô hình lăng trụ tự định tâm, trong quá trình gia công được giữ không chuyển động. Khi làm việc bàn dao được chuyển động ngang đến hai mặt mút, sau khi phối hợp trục phối với trục máy thì bắt đầu gia công. Trên máy nhiều vị trí phối được cố định trên êtô tự định tâm (tự lựa) lắp trên tang trống. Khi xoay tang trống các phối sẽ được lần lượt đưa vào với trục phối không quá 0,1mm, chiều sâu lỗ tâm (không thay dụng cụ) dao động không quá 0,2mm.

Trên các máy phay – khoan tâm thuộc gam mới còn có thể thực hiện thêm một số nguyên

công phụ khác như tiện trong, tiện rãnh lùi dao ở đầu trục v.v... nhờ bố trí nhiều dụng cụ trên một bàn dao. Các máy này cho phép giảm được khá nhiều thời gian gia công trục.

Phương pháp tiên tiến nhất hiện nay là gia công đồng thời với năng suất cao việc xén mặt mút và khoan tâm trên máy khoan tâm— xén mặt dùng dụng cụ liên hợp. Máy này có thể gia công các trục có đường kính tới 60mm và xén đi mỗi phía từ $3 \div 5$ mm.

Trên hình 6.23 trình bày một đầu mang dụng cụ cắt để xén mặt mút, khoan tâm và kết hợp với tiện ngoài đầu trục 6. Đầu dụng cụ cắt có vỏ 1, dao xén mặt mút 8. Có thể điều chỉnh được nhờ tấm hợp kim cứng 7, ống lót 3 để thay đổi mũi khoan tâm tiêu chuẩn và giá dao 5 có thể lắp vào một trong các lỗ 9. Tấm hợp kim 7 phải được lắp sao cho nó che đi một phần của lỗ tâm.

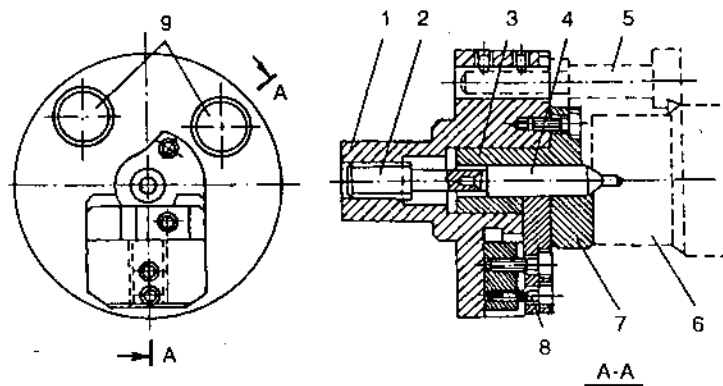
Vị trí đúng của các dao cắt trên đầu dao được hiệu chỉnh bằng các đồ gá đặc biệt. Độ không vuông góc của mặt mút không quá $0,02 \div 0,06$ mm, độ ổn định chiều sâu lỗ tâm 0,06mm.

Trong sản xuất đơn chiếc hoặc loạt nhỏ, trục được tiện trên các máy tiện thông dụng bằng cách cặp một đầu, còn một đầu chống tâm, sau đó đảo đầu để tiện đầu còn lại. Khi tiện

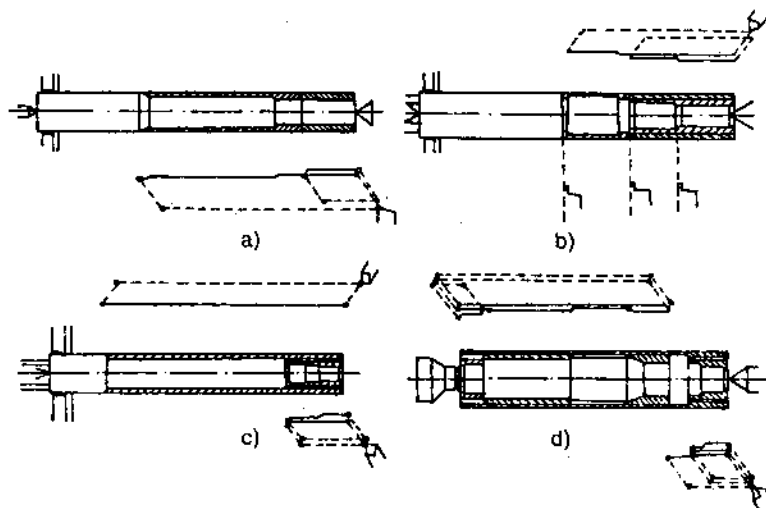
trình, để tăng độ chính xác (độ đồng trục) của hai bề mặt lắp ổ bi có thể chống tâm cả hai đầu, mômen được truyền bằng cặp tốc.

Trong sản xuất loạt lớn, trên dây chuyền tự động trục được tiện trên các máy tiện bán tự động hoặc tự động nhiều dao kiểu chép hình. Các máy bán tự động nhiều dao được sử dụng khi gia công các trục bậc cứng có tỷ số $L/D < 10$. Hiện nay phổ biến nhất là các máy bán tự động kiểu chép hình thủy lực có khả năng công nghệ rộng, việc gá lại chi tiết đơn giản, độ chính xác cao và nhiều đặc tính để có thể làm việc trong dây chuyền tự động. Trên các máy đó người ta trang bị 2 bàn dao chép hình và một hoặc hai bàn dao xén mặt mút. Trên các bàn dao chép hình lắp một hoặc một số dao cắt hoặc giá dao kiểu Rovonve (kiểu xoay). Trên mỗi bàn dao xén mặt cũng được lắp một số dao. Bàn dao xén mặt có thể làm việc theo một chu trình hình chữ nhật. Nó hoàn thành một chu trình làm việc sau khi xén mặt lần lượt từng đầu trục đồng thời hoặc độc lập với các bàn dao khác.

Trên hình 6.24 trình bày một số sơ đồ gia công trục điển hình theo công nghệ gia công nhiều lần, trong đó hình 6.24a, b, c là gia công từng đầu một, (trong đó a – Gia công bằng một đầu dao chép hình, b– Gia công bằng các đầu dao chép hình và xén mặt, c – Gia công bằng 2 đầu dao chép hình, d – Gia công bằng hai đầu dao chép hình ở cả hai đầu trục).



Hình 6.23. Đầu dao để đồng thời khoan tâm, xén mặt mút và tiện ngoài ngông trục



Hình 6.24. Sơ đồ gia công tiện trục theo công nghệ chạy dao nhiều lần

Trên hình 6.24d trục được tiện từ cả hai phía bằng hai đầu dao chép hình qua 2 lần chạy dao thô và tinh, mỗi lần chạy dao ứng với một cỡ nhất định. Dao và cỡ được thay đổi tự động. Sơ đồ công nghệ này áp dụng trên máy tiện kiểu KDM9/80 của Hunggari, đối với trục dài 540mm đường kính 60mm hết khoảng một phút. Loại máy này tốc độ được điều chỉnh tròn một cách tự động nên tốc độ cắt không đổi với mọi đường kính trục gia công. Chế độ cắt gọt như bước ăn dao cũng được tự động điều chỉnh.

Rãnh then trên các trục máy điện được tiêu chuẩn hoá. Độ nhám của thành rãnh then đạt cấp 5 theo quy định. Để phay rãnh then người ta có thể dùng dao phay đĩa hoặc dao phay có chuôi có kích thước bằng kích thước rãnh then. Việc gia công bằng các dao phay có kích thước bằng chiều rộng rãnh then có nhược điểm là độ chính xác phụ thuộc vào kích thước dao mà kích thước này lại bị thay đổi trong quá trình làm việc của nó. Nhược điểm nữa là quá trình cắt không tự do, nó kèm theo sự ma sát của cạnh dao với thành rãnh nên khó thực hiện được độ nhám theo yêu cầu.

Để đảm bảo độ chính xác và độ nhám bề mặt rãnh then theo yêu cầu có thể áp dụng các biện pháp sau: mài lại bề mặt rãnh, phay rãnh bằng nhiều loại nguyên công đo để kiểm tra kích thước và vị trí của rãnh. Hiện nay người ta đã nghiên cứu việc phay rãnh then bằng các dụng cụ đặc biệt gọi là phay giàn hoặc dao động.

Khi phay giàn các rãnh then đầu trục dao phay chuyển động theo hai hướng: hướng truyền (đọc theo trục và hướng vuông góc với trục. Phương pháp này đã được áp dụng trên máy phay rãnh then kiểu FNW 32 x 500 của Đức.

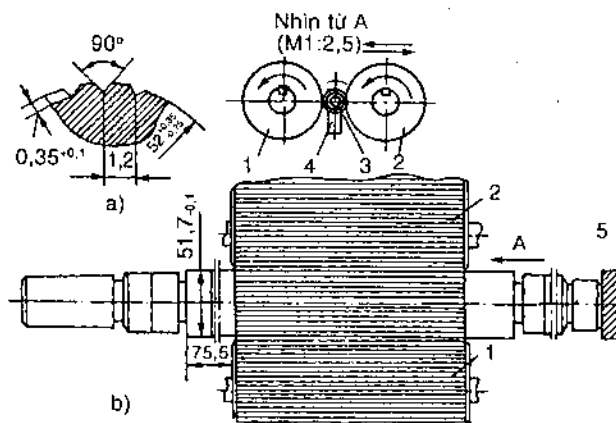
Khi phay dao động rãnh then được gia công sau một hành trình của dao cắt, chiều rộng của rãnh thu được nhờ chuyển động phụ của dao phay chuyển động dao động tuần hoàn hoặc qua lại theo hướng vuông góc với trục. Vì phay chỉ có một lần nên độ nhám yêu cầu thường không đạt khi phay tuần hoàn nên phương pháp này chỉ áp dụng cho các máy có dao chuyển động qua lại.

Trục sau khi tiện và phay rãnh then được đem đến máy mài để mài bóng các ngỗng trục có lắp các chi tiết khác. Thường mài được chia ra làm hai giai đoạn: trước khi lắp rôto mài

ngõng trục chỗ lắp rôto, sau khi lắp rôto mài ngõng trục để lắp ổ bi hoặc bạc. Sở dĩ như vậy vì người ta thấy rằng, sau khi ép rôto (ép nóng) lên trục, trục bị biến dạng đáng kể.

Trong sản xuất đơn chiếc hoặc loạt nhỏ, trục được mài trên các máy mài thông thường (kiểu máy tiện). Trong sản xuất loạt lớn, trục được mài trên các máy mài vô tâm kiểu mài cát. Số lượng trục được mài đồng thời trên các máy này có thể đến 10. Theo phương pháp này, độ chính xác gia công đạt cấp 6, độ nhám bề mặt đạt cấp 8 đến 10. Mài vô tâm các dây chuyền tự động thường qua 3 bước: mài phá ($1,5 \div 3\text{mm/ph}$), mài tinh ($0,1 \div 0,6\text{mm/ph}$). Chiều sâu ăn đá khi mài tinh là $0,035 \div 0,05\text{mm}$ mỗi phía. Máy mài kiểu này có cơ cấu tự động bù mài mòn đá trong quá trình mài. Khi mài ngõng trục chỗ lắp ổ bi (sau khi lắp rôto) phải mài trên máy thường (có tâm) độ chính xác mài phải đạt cấp 8.

Đối với các máy điện nhỏ (dưới 7 kW) trục của chúng không có then ở chỗ lắp rôto mà được lăn nhám, tức tạo khía để tăng độ bám với rôto, đảm bảo truyền được mômen mà không bị trượt (hình 6.25). Dạng tiết diện rãnh nhám là hình tam giác (hình 6.25a). Để tạo nhám trên trục ta phải có 2 trục lăn 1,2 có răng bằng thép hợp kim cứng, được quay và chuyển dịch tịnh tiến nhờ một bộ truyền thủy lực. Trục 3 được đặt vào giữa 2 trục cán đó và được đỡ trên dao đỡ 4 (hình 6.25b). Chiều dài phần lăn nhám đo chiều dài trục lăn quyết định. Yêu cầu các đường cán phải song song với trục và không được để gián đoạn các đường nhám.



Hình 6.25. Prôphin rãnh nhám và cách lăn nhám trục động cơ

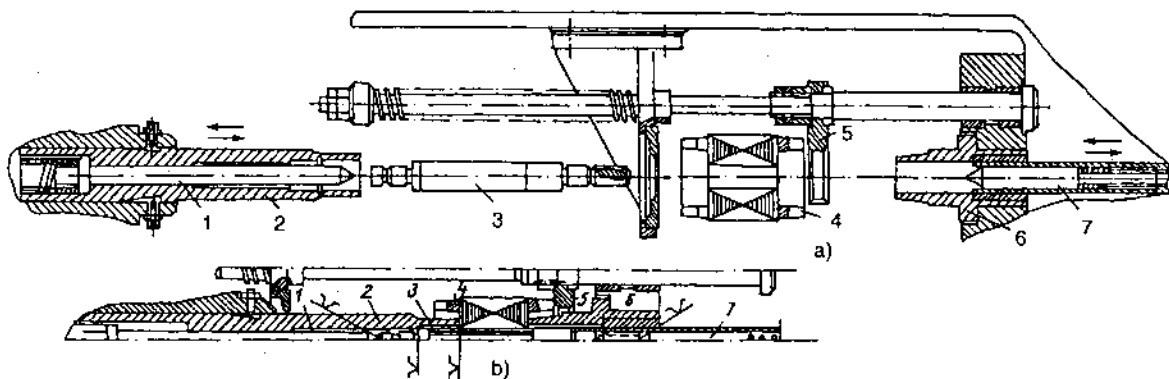
Tóm lại, trình tự các bước để gia công trục máy điện là: Cắt phôi – Khoan tâm – Xén mặt mút – Tiện – Phay rãnh then – Mài – Lăn nhám (nếu có).

6.4.3. Công nghệ gia công rôto trên trục

Công nghệ gia công rôto trên trục gồm các bước: ép lõi sắt rôto lên trục – tiện rôto để đạt kích thước thiết kế – mài ngõng trục chỗ lắp ổ bi – cân bằng động.

Đối với máy điện lớn, trục được gia công hoàn thiện trước khi ép vào lõi sắt rôto mà không mài lại ngõng trục nữa. Mỗi ghép này đối với máy có công suất lớn hơn 7kW là mối ghép then, độ chặt cấp trung gian. Người ta dùng phương pháp ép nguội để đưa trục vào rôto. Đối với máy nhỏ trục được lăn nhám để tạo độ chặt giữa hai chi tiết. Các phương pháp lắp trục với rôto của động cơ không đồng bộ như sau:

1. Trục được gia công sơ bộ có lăn nhám ép ở trạng thái nguội vào rôto. Trên hình 6.26 trình bày sơ đồ ép trục vào rôto trên máy ép đặc biệt trong sản xuất lớn các động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc.

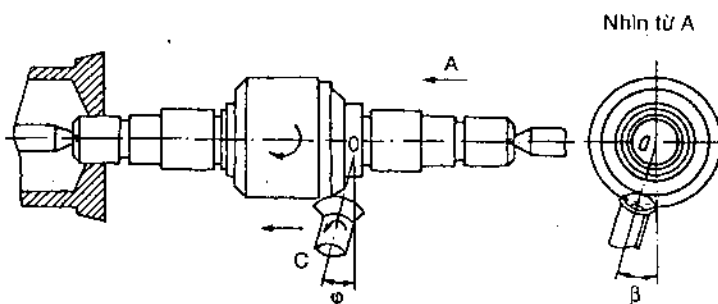


Hình 6.26. Sơ đồ ép trực vào rôto

Trục 3 và rôto 4 được đặt trong ống lót ở mỗi luồng riêng của mình. Sau đó rôto được ép chặt giữa ống lót 6 và 2 và dịch chuyển đến cơ cấu tháo 5. Mũi tâm 7 định hướng và đẩy rôto đến phía mũi tâm 1 (định hướng trục). Cơ cấu thủy lực đẩy trục đến rôto và ép nó vào rôto. Hình 8.5b cho thấy vị trí của máy sau khi ép.

2. Lỗ lõi sắt rôto được gia công bằng dao chuốt ép, nung nóng lõi sắt đến 350°C , trục nhấn không lăn nhám được ép vào rôto. Để nguội tự nhiên.

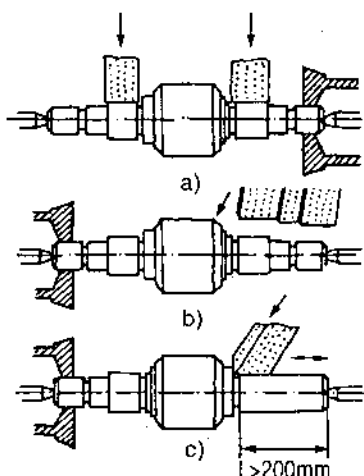
3. Lỗ lõi sắt rôto không gia công, rôto được nung nóng đến $500 - 550^{\circ}\text{C}$. Trục nhấn, không lăn nhám.



Hình 6.27. Sơ đồ tiện quay rôto trên máy tiện tự động

Nhiều nghiên cứu cho thấy, việc ép trực vào lỗ rôto không gia công độ nhảy của ngỗng trục không vượt quá trị số cho phép. Ép nóng trục với rôto được coi là một phương pháp tốt có thể áp dụng rộng rãi vì nó làm tăng độ cứng của rôto.

Sau khi ép rôto lên trục, các rôto của động cơ rôto lồng sóc được gia công lại để được khe hở theo thiết kế. Thông thường nguyên công này được thực hiện bằng máy tiện thông thường (đối với sản xuất nhỏ lẻ). Tuy nhiên, việc tiện ngoài rôto có nhiều yếu tố không tốt: làm xô các lá tôn (trong động cơ rôto dây quấn), gây chập mạch các lá tôn với nhau và với thanh dẫn gây tổn hao phụ trong rôto khi làm việc. Trong sản xuất lớn phương pháp tiện quay cho hiệu quả rất cao (hình 6.27). Theo phương pháp này phần cắt của dụng cụ được quay quanh trục của nó (trục OC). Trục của nó được xoay đi một góc φ



Hình 6.28. Mài ngỗng trục đoạn lắp ổ bi

và β . Đặc điểm của cắt quay là dụng cụ cắt cho phép giảm tốc độ trượt tương đối trong vùng cắt và làm tăng chiều dài tham gia cắt của dao. Dao cắt ở đây cũng có profilen đặc biệt. So với cắt thông thường cắt kiểu này cho phép giảm được biến dạng nhiệt làm cho độ bền dụng cụ tăng.

Nguyên công mài lại 2 ngỗng trục lắp ổ bi được thực hiện theo trong các sơ đồ hình 6.28.

6.5. CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO VỎ MÁY BIẾN ÁP

6.5.1 Đại cương

1. Yêu cầu chung đối với vỏ máy biến áp

Vỏ máy biến áp là thùng hoặc tủ đựng MBA có nhiệm vụ bảo vệ ruột máy đối với môi trường ngoài đồng thời mang trên nó các chi tiết hoặc thiết bị dẫn dòng, tản nhiệt...

Vỏ MBA có các yêu cầu sau:

- Có diện tích tản nhiệt lớn nhất có thể (đối với MBA dầu) hoặc có khả năng thông gió cao nhất (đối với MBA khô).
- Có khả năng bảo vệ dầu máy biến áp chống xuống cấp do sự tác động của nhiều yếu tố khác nhau.
- Có độ bền cơ khí cao để đảm bảo khi nâng hạ, vận chuyển vỏ MBA không bị biến dạng kéo theo biến dạng chi tiết ruột máy. Đối với MBA dầu vỏ thùng phải kín dầu.
- Cho phép lắp các thiết bị chuyển đổi điện áp, các thiết bị chuyển tiếp nguồn điện trong ra ngoài vào (sứ cao, hạ áp) các thiết bị đo (nhiệt độ), bảo vệ.

Đối với MBA khô vỏ máy có tính che dầy, đồng thời tạo hướng gió làm mát không gian trong vỏ. Để tản nhiệt tốt xung quanh vỏ máy người ta bố trí nhiều cửa có lỗ chớp để thông thoáng (có trang bị bộ lọc bụi), tản nhiệt tốt. Khi máy vận hành trong nhà có thể mở (hoặc chống) các cửa đó để tăng cường tản nhiệt. Kết cấu của vỏ là khung được hàn từ thép chữ V hoặc chữ U.

2. Các bộ phận của vỏ máy biến áp

Vỏ máy biến áp bao gồm các bộ phận: thùng dầu, nắp, các bộ tản nhiệt, bình dầu phụ (cũng gọi là bình dẫn dầu), bộ lọc dầu đối lưu.

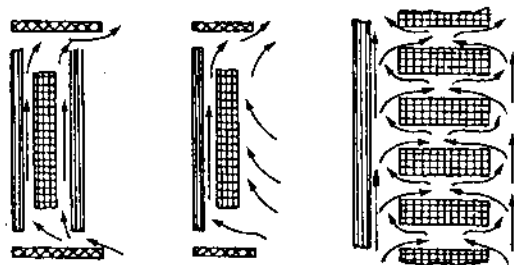
a) Thùng dầu MBA

Thùng dầu bao gồm thân vỏ máy và đáy. Phần thân của vỏ MBA liền với đáy đối với các MBA công suất đến 40000kVA. Đối với các máy công suất từ 63000kVA trở lên thân vỏ và đáy thường rời nhau và được liên kết với nhau bằng bulông. Việc làm kín dầu được thực hiện bằng gioăng cao su chịu dầu. Đáy của thùng dầu là chi tiết chịu lực, nó chịu toàn bộ trọng lượng của ruột máy và lượng dầu trong thùng. Vách thùng là nơi gắn các bộ tản nhiệt (có trường hợp cả sứ hoặc bộ điều chỉnh điện áp), nắp máy và chịu áp lực của toàn bộ lượng dầu trong thùng. Vách thùng dầu có thể làm mỏng hơn so với đáy. Trên đáy thùng có hàn các thanh cữ (thép chữ V hoặc U) chặn để khống chế và cố định

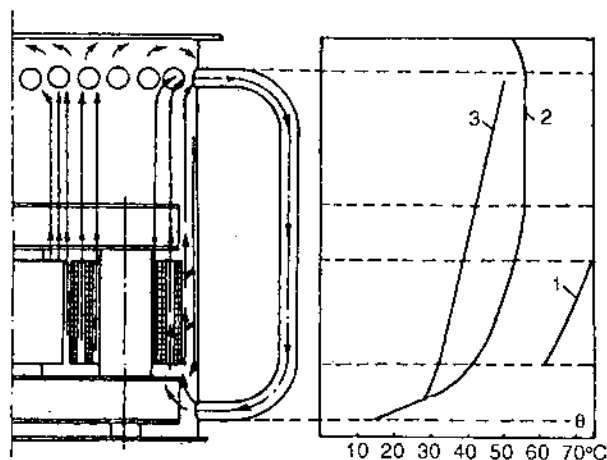
ruột máy. Đáy và vách thùng có hình ovan để tiết kiệm dầu. Trên vách thùng có các ống, trên đó lắp các van khoá dầu và có mặt bích để nối với các bộ tản nhiệt. Sát với đáy thùng có bố trí một nút tháo dầu để tháo cặn dầu khi cần thiết. Cách đáy thùng chừng 150mm có một van khoá dầu để nạp dầu vào máy hoặc tháo lấy mẫu dầu thí nghiệm.

b) Các bộ tản nhiệt

Đối với MBA dầu công suất nhỏ ($<75\text{kVA}$) có thể không cần cánh tản nhiệt vì diện tích thùng phẳng cũng đủ. Đối với MBA lớn, ngoài sự tản nhiệt qua vách thùng vỏ cần phải có thêm các bộ tản nhiệt để tăng thêm diện tích tản nhiệt và tạo sự đối lưu của dầu ở trong thùng nhằm mục đích tải nhiệt ra ngoài (hình 6.29 và 6.30). Nhiệt do tổn hao trong ruột máy được truyền ra ngoài qua các giai đoạn: từ lõi sắt và dây quấn ra dầu, từ lớp dầu trong ra thành thùng hoặc cánh tản nhiệt, từ cánh tản nhiệt và thành thùng ra không khí xung quanh. Quá trình đối lưu tự nhiên tải nhiệt trong máy ra ngoài diễn ra như sau: dầu nóng đi vào phần trên của bộ tản nhiệt được làm nguội nên tỷ trọng tăng và chìm xuống phần dưới bộ tản nhiệt rồi đi vào phần dưới ruột máy. Do sự chìm xuống của dầu trong bộ tản nhiệt nên áp suất dầu vào phía trên bộ tản nhiệt giảm làm cho dầu nóng được hút vào từ đó. Phần dầu nguội phía dưới đáy thùng được làm nóng do tổn hao trong ruột máy sẽ nở ra, tỷ trọng giảm nên nổi lên trên và sẽ bị hút vào phía trên bộ tản nhiệt.



Hình 6.29. Đối lưu dầu tự nhiên trong vỏ MBA

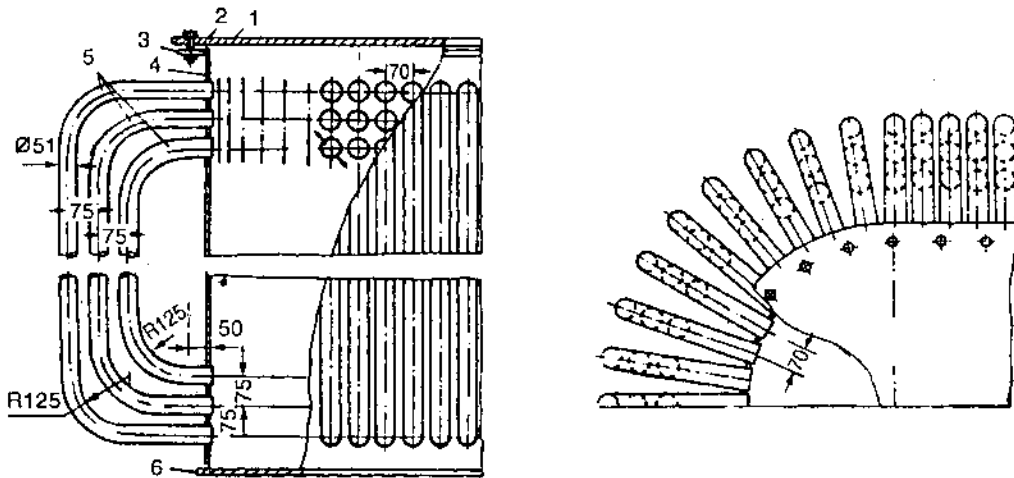


Hình 6.30. Sự phân bố độ tăng nhiệt theo chiều cao MBA

Các bộ tản nhiệt của MBA dầu có các loại sau:

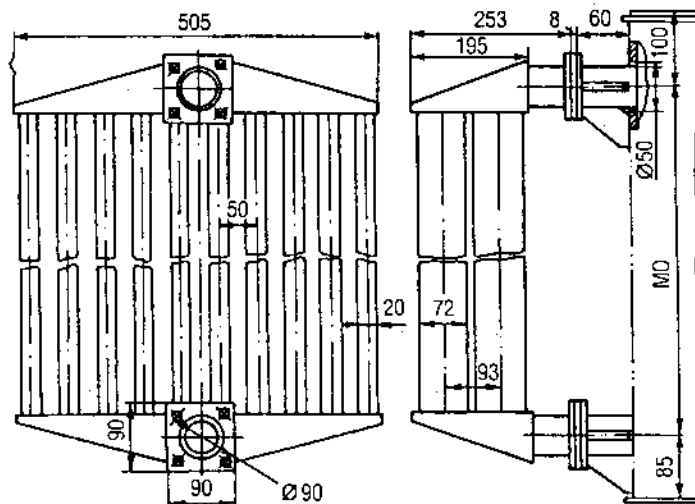
– Bộ tản nhiệt kiểu ống tròn hàn thẳng vào vách thùng. Kiểu này phổ biến vào trước những năm 70 của thế kỷ 20. Ưu điểm của bộ tản nhiệt kiểu này là đơn giản. Khi muốn tăng diện tích tản nhiệt người ta tăng số lượng ống bằng cách tăng số dãy ống trên vách thùng. Nhược điểm của nó là số lượng ống không thể tăng mãi được vì diện tích vách thùng có hạn. Mặt khác, việc hàn trực tiếp các ống vào vách thùng rất khó kiểm tra độ kín mối hàn. Nếu trong quá trình làm việc mà mối hàn bị rò rỉ thì việc xử lý hết sức phức tạp (phải rút ruột

máy tháo dầu...). Vì vậy loại tản nhiệt này chỉ dùng cho máy nhỏ hơn 1000kVA. Để tăng số lượng ống tản nhiệt và hiệu quả tản nhiệt của mỗi ống, vào những năm 70 người ta cải tiến kiểu tản nhiệt này bằng cách thay ống tròn bằng các ống dẹt (tiết diện hình ovan).



Hình 6.31. Bộ tản nhiệt kiểu ống tròn hàn trực tiếp vào vách thùng

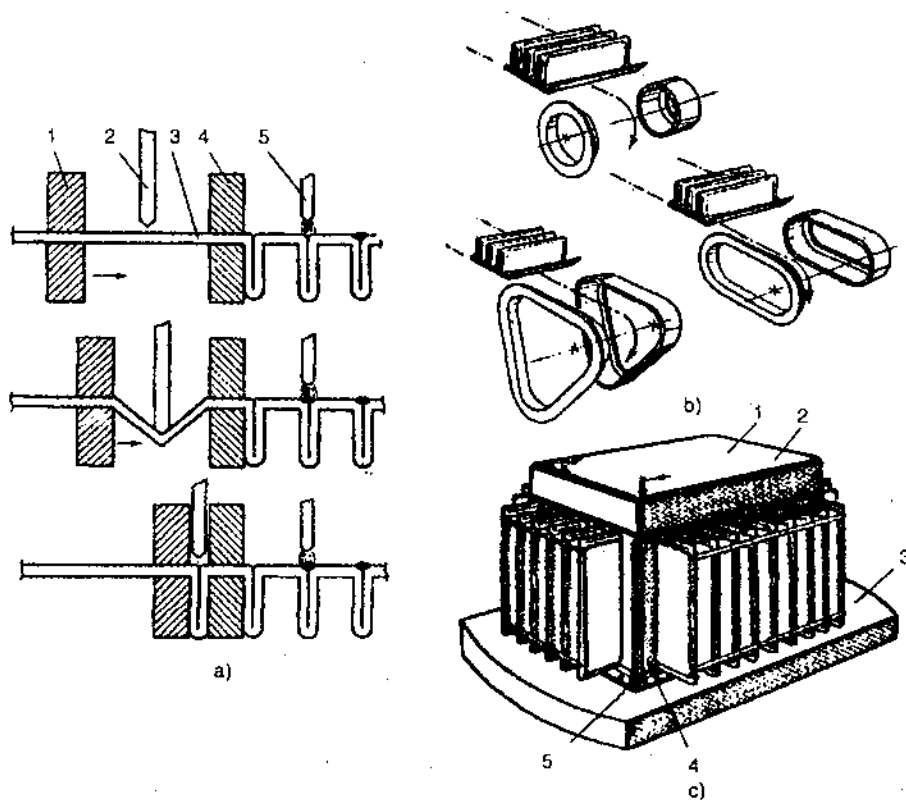
– Để hạn chế các nhược điểm trên và tăng năng lực tản nhiệt vào những năm 80 các ống tản nhiệt dẹt được liên kết với nhau thành bộ thông qua các hộp góp trên và dưới. Dầu MBA sẽ đi vào hộp góp trên và đi ra hộp góp dưới qua hai ống được nối bằng mặt bích với vỏ thùng. Số lượng ống tản nhiệt tăng do có thể tăng số dây ống trong một bộ, đồng thời có thể tăng số bộ tản nhiệt trên vách thùng. Mặt khác, đối với máy lớn người ta có thể đặt thêm quạt gió để cường bức làm mát. Các bộ tản nhiệt kiểu này có thể tháo rời ra khỏi vỏ máy nhờ trang bị thêm các van khoá dầu tại các ống nối với vỏ. Điều này rất thuận tiện khi kiểm tra kín dầu các bộ tản nhiệt và khi vận chuyển đối với các máy lớn (tháo bộ tản nhiệt chở riêng).



Hình 6.32. Bộ tản nhiệt rời ghép từ các ống có tiết diện ovan

– Cũng trong những năm 90 một số hãng quay trở lại khai thác ưu điểm của loại vỏ tản nhiệt kiểu lượn sóng (cũng gọi là kiểu múi khế) đã có từ những năm 50 - 60 (hình 6.34). Kiểu này có ưu điểm là máy biến áp không cần bình dầu phụ. Dầu được nạp đầy áp vỏ máy nên không tiếp xúc với không khí bên ngoài, khi làm việc cánh sóng sẽ phồng lên chứa hết lượng dầu nở ra do nhiệt độ tăng. Ngoài ra kiểu này còn thuận tiện cho công nghệ chế tạo vỏ. Các tấm vách của vỏ được tạo sóng trên các máy ép cho độ dài bất kỳ. Khi gia công vỏ chỉ cần cắt các tấm đã tạo sóng với chiều dài cần thiết và hàn với nhau để tạo ra các vỏ máy có công suất bất kỳ. Phạm vi ứng dụng loại vỏ này tới 4000-6000kVA.

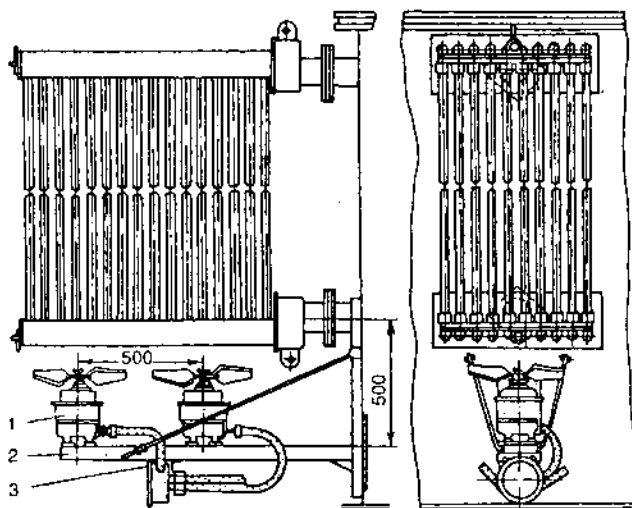
Đối với các MBA có công suất trên 10000 kVA các bộ tản nhiệt được trang bị thêm các quạt gió để tăng cường tản nhiệt (hình 6.35). Quạt gió có thể để trong lòng hoặc dưới đáy bộ tản nhiệt.



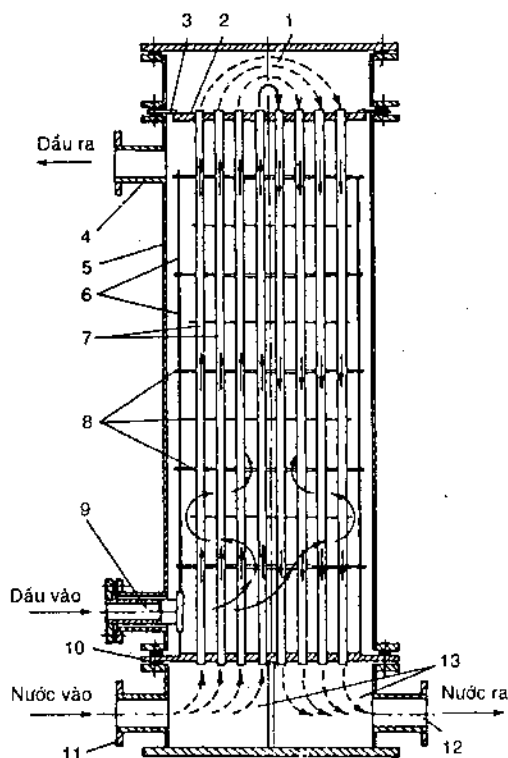
Hình 6.34. Vỏ máy kiểu lượn sóng

a) Các bước công nghệ để tạo sóng;

b) Uốn bằng tôn đã tạo sóng để thành vách theo hình ovan và hình tam giác; c) Vỏ MBA sau khi hàn.



Hình 6.35. Bộ tản nhiệt cường bức dùng quạt gió



Hình 6.36. Bộ tản nhiệt cường bức dầu – nước

Đối với các máy lớn hơn nữa ($\geq 125000\text{kVA}$) muốn tản nhiệt nhanh cần phải làm lạnh các bộ tản nhiệt bằng nước hoặc tăng cường đối lưu dầu bằng cách bơm dầu đối lưu cưỡng bức. Sơ đồ bộ tản nhiệt dầu - nước hỗn hợp như hình 6.36.

Theo cấu tạo của bộ tản nhiệt dầu - nước thì dầu nóng được đối lưu hoặc bơm cưỡng bức qua một thùng có đặt hệ thống ống có nước làm mát chảy qua. Sơ đồ nguyên lý hệ thống làm mát hỗn hợp dầu - nước cưỡng bức như hình 6.36.

Trong phạm vi công suất tương đối rộng người ta áp dụng các bộ tản nhiệt dập từ các tấm tôn phẳng.

c) Bình dầu phụ và ống phòng nổ

Bình dầu phụ (bình dẫn dầu) là một thùng nhỏ hình trụ lắp phía trên nắp máy. Bình dầu phụ là nơi chứa lượng dầu nở ra do nóng khi MBA làm việc. Bên cạnh bình dầu phụ có lắp thước đo mức dầu. Dung tích bình dầu phụ được tính toán sao cho về mùa lạnh, máy không làm việc mức dầu trong bình xuống thấp nhất nhưng vẫn đọc được trên thước đo dầu, về mùa nóng khi máy quá tải 10% mức dầu lên cao nhất nhưng không tràn ra ngoài.

Ống phòng nổ gắn bên cạnh bình dầu phụ, phía dưới thông với thùng dầu chính, phía trên có một tấm kính mỏng, dễ dàng vỡ để dầu thoát ra ngoài khi áp suất dầu trong thùng lớn. Ống phòng nổ thường được trang bị cho các máy trên 1000kVA có lắp role khí và máy cắt.

6.5.2. Công nghệ và thiết bị công nghệ chế tạo vỏ thùng máy biến áp

Vật liệu dùng trong chế tạo vỏ thùng và bộ tản nhiệt là thép ít cacbon, có khả năng hàn (tính hàn) với chất lượng cao, ít bị nứt, biến dạng, cong vênh... Các loại thép được dùng rộng rãi nhất là CT2, CT3, 09...

1. Chuẩn bị vật liệu

Uốn thẳng, nắn phẳng làm sạch bề mặt, lấy dầu các tấm tôn. Trong quá trình vận chuyển bảo quản có thể làm cho tấm tôn bị gỉ, cong vênh nên bước công nghệ này rất cần thiết. Các tấm tôn sau khi uốn nắn và làm sạch được sơn lót một lớp và sấy khô. Công nghệ làm sạch là phun cát bề mặt tấm tôn. Đối với sản xuất nhỏ lẻ thì lấy dầu kích thước chi tiết lên tấm tôn là không tránh khỏi. Đối với sản xuất lớn người ta có bộ khuôn lấy dầu sẵn hoặc không lấy dầu mà kích thước và vị trí các lỗ, chi tiết được khống chế bằng đồ gá.

2. Cắt kim loại

Vỏ thùng MBA dù là khô hay dầu đều được làm chủ yếu từ thép tấm, vì vậy nguyên công cắt kim loại rất quan trọng. Việc cắt yêu cầu phải chính xác và cho năng suất cao. Thiết bị cắt tôn có nhiều loại nhưng chủ yếu có các loại sau đây:

a) Máy cắt tấm có lưỡi dao kiểu tròn. Máy này có khả năng cắt tôn thành dải và từng chi tiết, sử dụng chủ yếu trong sản xuất nhỏ. Mép cắt của tôn bị biến dạng, sau khi cắt phải nắn lại.

b) Máy cắt kiểu con lăn. Có một vài cặp dao kiểu con lăn thẳng. Loại này chủ yếu cắt tôn mỏng (đến 2mm). Thành nhiều dải. Độ chính xác cắt và năng suất cắt lớn dùng khi sản xuất lớn.

c) Máy cắt kiểu con lăn lưỡi nghiêng cho phép lượn một cung nhỏ. Loại này dùng để cắt các chi tiết có đường cong, dùng trong sản xuất nhỏ, thay cho dập nguội.

d) Máy cắt rung, dao rung 1500 - 2000 lần/phút dùng để cắt các chi tiết có dạng cong, dùng trong sản xuất nhỏ thay cho đập nguội.

e) Máy ép lệch tâm có đập cắt (dao cắt song song) dùng để cắt các chi tiết từ dải thép, năng suất cao.

g) Máy cắt hơi (tự động hoặc bán tự động) dùng để cắt các chi tiết có dạng cong từ vật liệu dày. Loại này có thể cắt các chi tiết có hình dạng bất kỳ, vát mép các mối hàn... Giá thành cắt loại này cao vì tốn axetylen.

3. Gia công mép ngoài

Các tấm tôn trước khi hàn cần vát mép để nối hàn được ngấu sâu và không lỗi lên. Có thể dùng các máy bào mép, máy phay, máy ép lệch tâm.

4. Uốn, máy ép tạo sóng để chế tạo vách thùng kiểu lượn sóng

Thùng MBA có hai dạng chính: hình có tiết diện chữ nhật và có tiết diện hình ôvan. Để tạo hình các góc người ta phải uốn nguội trên máy uốn cong (lóc tôn) hoặc máy ép. Các máy này có chiều dài bằng máy đến 6m. Sau mỗi lần ép có thể uốn đồng thời cả 2 cạnh của tấm thép. Máy lóc tôn có thể uốn tấm tôn thành một vòng (chỉ hàn 1 mối) hoặc hai nửa vòng (hàn 2 mối). Đường kính vòng uốn có thể thay đổi được nhờ thay đổi khoảng cách giữa các trục.

Để uốn nguội các ống tản nhiệt có thể dùng máy uốn nửa tự động có thể uốn cùng lúc cả 2 đầu (của 1 ống). Để ống không bẹp và gãy gập trong ống có một trục lõi, lõi này được chuyển dịch tương ứng với vùng uốn của ống.

5. Công nghệ đập cắt, uốn, gấp mép đột lỗ được thực hiện trên các máy đập nguội

Đột dập liên hợp được sử dụng trong sản xuất lớn có thể đột cùng một lúc nhiều lỗ hoặc vừa đột vừa gấp mép...

6. Hàn các chi tiết

Khâu hàn trải qua hai giai đoạn: hàn đính và hàn cố định.

Hàn đính là hàn tạm từng mối để cố định. Kiểm tra kích thước và vị trí các chi tiết, nếu thấy đúng rồi thì chuyển đến cố định.

Hàn cố định trong sản xuất đơn chiếc hoặc nhỏ thường dùng máy phát hàn một chiều hoặc MBA bình thường. Trong sản xuất lớn thường hàn trên các máy hàn tự động hoặc nửa tự động dưới lớp thuốc hàn hoặc khí hàn. Trong sản xuất thùng MBA các mối hàn đều được hàn cả hai phía (trong và ngoài) để đảm bảo kín dấu.

Nắp máy là chi tiết có nhiều lỗ hoặc vít cấy nên công nghệ khá phức tạp. Thông thường ở các nhà máy chế tạo MBA nguyên công này được cơ khí hoá và bán tự động hoá.

Đối với công nghệ hàn có điều cần chú ý là khi hàn các chi tiết thường bị co dãn và dễ làm sai lệch các kích thước và vị trí các chi tiết phối hợp (ví dụ lỗ nắp và lỗ trên mặt bình của thân), nên các nguyên công hàn được làm trước sau đó mới đột lỗ...

7. Tẩy, sửa các mối hàn và kiểm tra độ kín

Thông thường khâu này được thực hiện bằng tay hoặc dụng cụ cầm tay. Nếu cần phải hàn lại thì dùng mỏ hàn hồ quang để sửa. Để làm sạch các mối hàn dùng máy mài cầm tay và không khí nén.

8. Sơn và sấy khô

Sơn dùng để sơn vỏ thùng MBA thường là loại XB –125 hoặc các loại sơn khác có màu sáng (ghì sáng, nhũ) vì MBA để ngoài trời, cần phải tránh màu sẫm để hấp thụ nhiệt. Các bộ tản nhiệt được sơn trong các phòng sơn chuyên dụng.

Bình dẫn dầu là một hình trụ tròn, đặt nằm ngang phía trên nắp MBA. Bình được nối thông với thùng MBA bằng ống dẫn. Thân bình được hàn từ thép tấm cuốn tròn lại. Bình dẫn dầu có nắp, dưới đáy bình có hàn bầu lắng cặn có nắp để tháo rời được. Một đầu bình gắn cái báo dầu và nhiệt độ dầu trong máy. Chi tiết này được gắn vào bình dẫn dầu bằng vít có đệm cao su chịu dầu để chống rò rỉ. Phía trên bình dẫn dầu ở chỗ nắp người ta bố trí chỗ lắp và tháo hộp hút ẩm đựng chất hút ẩm Silicagien. Trong các máy hiện đại điện áp cao để tránh sự tiếp xúc của dầu với không khí người ta bố trí phía trong bình dẫn dầu một túi nilông kín. Khi nóng túi này phình ra, khi nguội túi này xẹp xuống, bình dẫn dầu trong trường hợp này rất đơn giản, là chỗ tựa cho túi dẫn dầu đó.

Việc sản xuất các bộ tản nhiệt mất rất nhiều thời gian, chi phí công cao và là khâu dễ bỏ sót các khuyết tật trong chi tiết. Khối lượng hàn rất nhiều nên khâu này được cơ khí hoá, tự động hoá cao và được tổ chức thành một dây chuyền riêng. Tất cả các chi tiết như ống đã uốn, ống góp đã đột lỗ được đưa đến đầu dây chuyền. Ở đây các ống được ghép vào các lỗ trên ống góp (tự động) và hàn. Việc hàn được tiến hành từng nửa bộ tản nhiệt một ở phía trong ống góp. Sau khi kiểm tra độ kín mối hàn người ta mới hàn hai nửa bộ tản nhiệt với nhau (hai nửa ống góp). Chất lượng các mối hàn được kiểm tra bằng cách đổ dầu hỏa vào phía trong nửa ống góp, để 30 phút sau nếu không thấy dầu thấm ra ngoài các mối hàn là được. Sau khi hàn xong thử lại độ kín lần nữa bằng cách nén không khí vào trong và thả chìm toàn bộ tản nhiệt xuống nước.



7.1. ĐẠI CƯƠNG VỀ LẮP RÁP THIẾT BỊ ĐIỆN

Máy điện được chế tạo rời từng chi tiết sau đó lắp ráp lại với nhau để hoàn thành một máy hoặc tổ máy. Lắp ráp, hiệu chỉnh, kiểm tra là một khâu công nghệ quan trọng vì chất lượng của nó quyết định chất lượng và thời gian phục vụ của máy điện. Nếu lắp ráp không tốt máy điện có thể bị hỏng rất nhanh do một chi tiết hoặc cụm chi tiết nào đó bị phá hủy. Chẳng hạn trong các máy lớn chạy bạc (ổ trượt) nếu khi lắp ráp hiệu chỉnh không tốt ổ bạc có thể bị hỏng sau một số giờ làm việc và nếu phát hiện không kịp thời có thể gây sai cốt giữa stato và rôto dẫn đến làm hỏng dây quấn. Lắp ráp không tốt dẫn đến hiện tượng máy rung và ồn, đánh lửa nhiều dưới chổi than v.v...

Đặc điểm của máy điện là có kích thước, chủng loại rất khác nhau. Về công suất có thể chia máy điện ra làm các loại: Máy cực nhỏ (dưới 0,6kW), máy nhỏ ($0,6 \div 100\text{kW}$), máy trung bình ($100 \div 1000\text{kW}$) và máy lớn ($> 1000\text{kW}$). Tuy nhiên kích thước của máy điện còn phụ thuộc vào tốc độ quay (tốc độ càng lớn kích thước càng nhỏ). Các máy có kích thước lớn do hạn chế về phương tiện nâng hạ vận chuyển có thể xuất xưởng dưới dạng thiết bị rời chi tiết hoặc cụm chi tiết.

Máy điện xuất xưởng có thể có bộ hoặc không có bộ sẵn.

Máy điện có thể xuất rời từng chiếc hoặc dưới dạng tổ máy nối trực sẵn với nhau, chẳng hạn tổ máy phát động cơ, tổ máy biến tần số, tổ máy nén khí, máy hàn...

Về kết cấu máy có nhiều loại: có chân, mặt bích, trục ngang, trục đứng...

Về phương pháp bảo vệ, phân máy điện thành các loại kín, hở, bảo vệ. Kiểu kín đảm bảo cách ly hoàn toàn phần trong và ngoài máy. Kiểu hở không có bất kỳ phương pháp che dầy nào, kiểu này áp dụng cho máy lớn đặt trong nhà có hàng rào cách ly. Kiểu bảo vệ cho phép không khí, bụi bặm đi qua dây quấn nhưng có lưới che để tránh những vật rắn rơi vào trong máy.

Về phương pháp làm mát có thể làm mát tự nhiên, tự làm mát và làm mát cưỡng bức. Làm mát cưỡng bức có thể bằng quạt gió, nước hydro tinh khiết.

Đầu trục mang tải của máy điện có thể là hình trụ, côn, mặt bích, bích - côn, trụ - bích, trụ côn.

Với kết cấu phong phú, đa dạng như vậy người lắp ráp phải hiểu biết không chỉ về cơ khí thuần túy mà còn về điện, từ và mối quan hệ khăng khít giữa chúng. Chẳng hạn khe hở không khí không đồng đều đối với máy bé có thể không chạy được, đối với máy lớn có thể vẫn làm việc nhưng rung, ồn, hiệu suất kém ...

Máy điện phải được nghiệm thu và đưa vào bảo quản không quá 5 ngày sau khi chế tạo

xong (lắp ráp xong). Trước khi bảo quản, máy điện được nghiệm thu lần cuối tức kiểm tra sự đầy đủ và hoàn thiện các chi tiết của nó. Công tác bảo quản gồm làm vệ sinh sạch sẽ, kẹp chặt các chi tiết quay, cấp chì những chỗ không được tháo hoặc hiệu chỉnh, bôi mỡ bảo quản đầu trục và bọc kỹ bằng giấy nến. Nếu thiết bị kiểu tháo rời phải bôi mỡ, bọc kỹ và có biện pháp cách ly chống va chạm những chi tiết hoặc vị trí quan trọng (chẳng hạn chỗ lắp bi hoặc bạc của trục máy điện lớn). Khâu cuối của công tác bảo quản là đóng hộp và đưa vào kho cất giữ.

Nền móng và vị trí lắp đặt của máy điện cũng tham gia góp phần quyết định sự làm việc tốt của nó. Yêu cầu của vị trí lắp đặt là phải đủ ánh sáng, đủ rộng để khi lắp đặt các phương tiện nâng hạ không vướng. Nơi đặt máy phải sạch, không có bụi bặm. Móng của máy điện thường là bê tông hoặc bê tông cốt thép đặc có khối lượng đủ lớn để chống rung. Móng của tổ máy có thể liền hoặc rời. Đối với máy lớn yêu cầu móng máy điện phải rời để tránh nguồn rung động từ móng máy khác.

Công tác và thiết bị nâng hạ di chuyển trong quá trình lắp ráp phải đảm bảo độ tin cậy cao để không làm xô lệch hoặc biến dạng các chi tiết của máy. Các phương tiện nâng hạ di chuyển phải đảm bảo linh hoạt nhưng cũng có khả năng vị chỉnh tốt.

7.2. NHỮNG DỤNG CỤ VÀ VẬT LIỆU DÙNG KHI LẮP RÁP MÁY ĐIỆN

Khi lắp ráp các máy bé kiểu kín hoặc bảo vệ dụng cụ dùng để làm việc rất đơn giản, ngoài các dụng cụ đo, kiểm tra phần điện người ta chỉ cần một số dụng cụ cơ khí là đủ. Nhưng khi lắp ráp các máy lớn đặc biệt là các máy kiểu hở, gối đỡ rời thì cần phải có dụng cụ đo và kiểm tra phần cơ khá phức tạp. Điển hình là các dụng cụ đo sau:

1. Thước cặp và thước panme cỡ lớn.

Thước cặp dùng để đo đường kính trong hoặc đường kính ngoài, độ chính xác đo từ $\pm 0,05$ đến $0,1\text{mm}$. Thước panme (micrômét) đo được đến 600mm để đo đường kính trục và chiều dài chi tiết, độ chính xác đạt đến $0,01\text{mm}$.

2. Quai đo có chỉ trị số và thước đo trong kiểu panme. Quai đo dùng để đo đường kính ngoài và chiều dài chi tiết đến 1000mm . Độ chính xác của quai đo đạt đến $0,002 \div 0,01\text{ mm}$; độ chính xác của dụng cụ đo trong đạt $0,01\text{ mm}$.

3. Dụng cụ đo khe hở

4. Búa khí nén dùng để đục bê tông và máy nghiền bê tông chạy điện, dùng để nghiền sửa bề mặt bê tông nền, bề mặt máy.

5. Máy đục, tẩy kiểu khí nén dùng để sửa tình bề mặt gối đỡ trục khi cần chỉnh rôto. Loại dụng cụ này có thể chạy điện hoặc khí nén.

6. Nivô (ống thủy thăng bằng) dùng để kiểm tra mặt bằng móng và độ lệch của đầu trục (khi ghép 2 máy bằng puli). Kiểm tra nền móng ta có thể dùng nivô kiểu bọt nước trong ống thủy tinh, còn kiểm tra độ lệch của trục phải dùng nivô đặc biệt.

7. Tốc độ kế dùng để đo tốc độ quay. Tốc độ kế có thể đo được tốc độ trong phạm vi 300 đến 4000vòng/ph . Ngoài ra còn dùng một dụng cụ đo số vòng quay của trục trong một thời gian nào đó.

8. Dụng cụ đo độ nhảy của chi tiết quay (cổ góp, vành trượt, ngõng trục...).

Dụng cụ đo độ nhảy được cấu tạo trên nguyên tắc đồng hồ thời gian (bộ truyền bánh răng). Độ chính xác của nó rất cao ($0,01 \div 0,005$). Trị số độ nhảy được chỉ thị bằng kim quay trên bảng chia có giá trị vạch chia 0,01 mm.

9. Dụng cụ đo độ rung dùng để đo biên độ rung của máy điện.

10. Dụng cụ đo độ ồn.

Ngoài các dụng cụ đo và nửa cơ khí ra còn phải có đủ các dụng cụ đo thử nghiệm về điện đã trình bày ở chương kiểm tra và thử nghiệm máy điện như megômét, vôn kế, ampe kế... Tất cả các dụng cụ đo cũng như các dụng cụ cơ khí nói chung phải đạt cấp chính xác tương đương cấp chính xác của máy điện hoặc theo tiêu chuẩn của nhà đầu tư công trình có dùng thiết bị điện nói trên.

Vật tư, vật liệu dùng trong quá trình lắp ráp:

1. Mỡ bảo quản. Loại mỡ này không dùng để bôi trơn mà dùng để bôi vào những chỗ cần phải chống gỉ như ngông trục, các bu lông bằng sắt, lỗ puli nối trục...

2. Mỡ bôi trơn (hoặc dầu bôi trơn) dùng để bơm vào các ổ bi, ổ trượt.

3. Sơn chống gỉ để sơn các tấm nền, bu lông móng; loại sơn này có thể pha loãng theo tỷ lệ sau: bitum 39%, benzen sạch 47%, dầu thông 10%, spirit trắng 4%, đó là một chất dễ cháy nên cần cẩn thận.

4. Spirit trắng hoà với dung môi của nó là xăng để tẩy rửa những chất phủ trên ngông trục để lắp ráp.

5. Xilen (đimetin benzen $C_6H_4(CH_3)_2$) để rửa dầu trục và những chỗ khác khi lắp ráp.

6. Giấy ráp, giấy nén, giấy thiếc, vật liệu cách điện.

7.3. QUY TRÌNH LẮP RÁP MÁY ĐIỆN

Trước khi lắp ráp phải kiểm tra tình trạng các chi tiết thật cẩn thận để khi lắp không phải tháo ra sửa hoặc hiệu chỉnh. Công tác kiểm tra trước khi lắp ráp được làm tốt thì quá trình lắp ráp nhanh, suôn sẻ và độ tin cậy của máy sẽ cao.

Việc lắp ráp các máy điện nhỏ có gối đỡ trục đồng thời là nắp khá đơn giản, chỉ cần tuân thủ một số quy định và trật tự các bước là được. Các quy định khi lắp ráp các máy điện nhỏ như sau:

– Việc đóng, gõ bằng búa phải có vật đệm để tránh tạo vết trên chi tiết. Gõ đều theo vòng tròn.

– Gờ nắp và thân phải đều, không được lệch để tránh biến dạng và mòn bề mặt lắp ráp.

– Kiểm tra tình trạng làm việc của vòng bi hoặc bạc (độ căng hoặc lệch).

– Đầu trục mang tải nằm đúng phía quy định (đứng nhìn vào hộp cực thì đầu trục ở phía bên tay trái).

– Tất cả các bu lông, vít được vặn với lực quy định.

– Tất cả các đầu dây ra trên bảng cực phải đúng theo quy định và đúng với chữ hoặc chỉ số đã đánh dấu.

Trình tự lắp ráp các máy nhỏ như sau (đối với động cơ rôto lồng sóc):

– Ép stato đã quấn dây vào vỏ.

– Lắp hộp đầu dây, bulông tiếp địa và nhãn máy.

- Ép rôto lên trục, lắp nắp mỡ trong, ép ổ bi lên trục.
- Lắp hai nắp, lắp hai nắp mỡ, bắt bulông nắp.
- Lắp nắp hộp dầu dây, lắp quạt gió và nắp hướng gió.
- Lắp vít nâng, bôi mỡ bảo quản đầu trục và bọc đầu trục bằng giấy nấn hoặc hộp nhựa.

Đối với máy điện lớn lắp tại nơi sử dụng được tiến hành theo trình tự sau:

- Lắp đặt và kiểm tra tấm nền (bệ) và các gối đỡ trụ.
- Lắp rôto của máy, định tâm sơ bộ trục đối với trục của máy đã lắp (tuabin, máy bơm)...
- Bỏ rôto và một gối đỡ ra ngoài, lắp stato sau đó lắp lại rôto và gối đỡ.
- Định tâm chính xác rôto đối với stato cũng như trục máy công tác.
- Lắp các chi tiết còn lại.

Gối đỡ các máy lớn phải được cách điện với móng để chống dòng điện ổ bi. Bu lông bắt xuống móng cũng phải được cách điện với chân đế của gối đỡ.

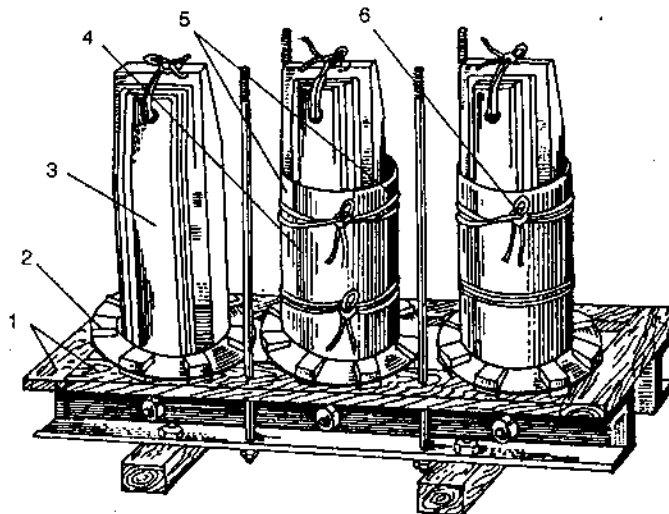
7.4. LẮP RÁP CUỘN DÂY MÁY BIẾN ÁP

7.4.1. Lắp ráp dây quấn (đối với MBA mạch từ phẳng ghép từ các lá tôn)

Khi lắp ráp lõi sắt ta ghép và gong hoàn chỉnh cả gong trên lẫn gong dưới. Khi lắp cuộn dây vào các trụ thì dỡ gong trên ra, đặt cách điện chính, lồng cuộn dây vào rồi ghép và ép lại gong trên. Trước khi lắp ráp phải kiểm tra, làm sạch lõi sắt, cuộn dây và tất cả các vật tư, dụng cụ khác. Mặt bằng để lắp ráp phải rộng rãi, đủ ánh sáng, sạch sẽ, không bụi.

1. Tháo gong trên

Tháo các xà ép gong trên, tháo các lá tôn gong rồi dùng băng cách điện bó gọn đầu trên của trụ vào. Đặt cách điện giữa dây quấn hạ áp với trụ (hình 7.1) và cách điện (gỗ kê) giữa dây quấn với gong dưới.

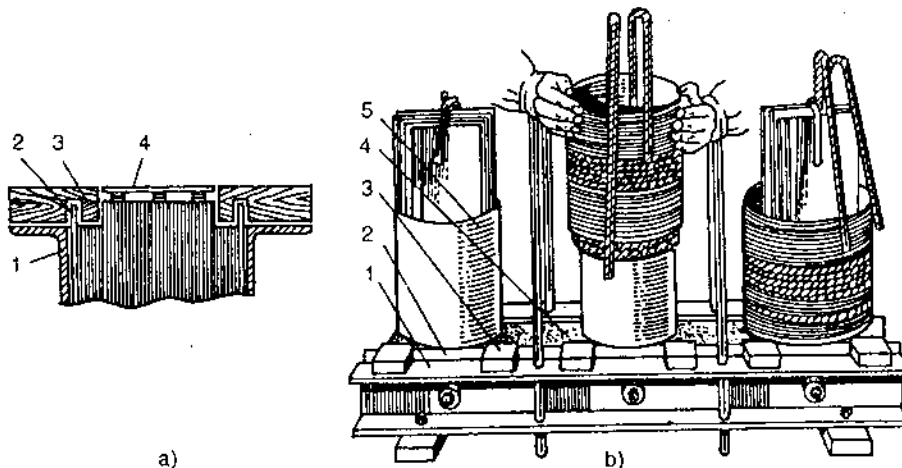


Hình 7.1. Chuẩn bị lõi sắt và cách điện trước khi lắp cuộn dây

2. Lắp cuộn dây

Dùng khí nén thổi sạch bụi bám trên cuộn dây rồi lắp cuộn dây vào các trụ. Cuộn dây

thông thường có thể tự trôi xuống nhờ trọng lượng của nó. Cuộn giữa được lắp trước, hai cuộn bên lắp sau. Nếu cuộn dây lắp khó khăn do chật quá có thể dùng thêm sức người hoặc dùng vật nặng ép xuống. Nếu quá chật hoặc quá rộng thì phải kiểm tra lại kích thước của lõi sắt và của cuộn dây. Khi lắp phải chú ý kiểm tra vị trí các đầu dây ra so với lõi sắt với nhau. Tiếp theo, đặt cách điện giữa 2 dây quấn và cuộn dây cao áp bằng các thanh nêm để tạo rãnh thông dầu giữa hai dây quấn phải đều và chặt để dây quấn cao áp không xô dịch được.

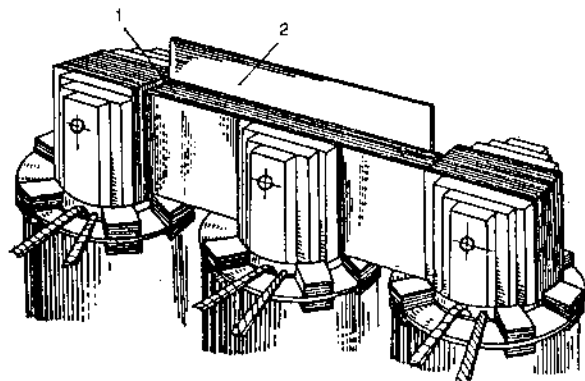


Hình 7.2. Lắp cuộn dây vào trụ

3. Ghép lại gông trên và lắp xà ép gông

Sau khi lắp xong các cuộn dây, ta đặt cách điện giữa dây quấn và gông trên rồi ghép lại các lá tôn gông. Sau khi ép lại gông trên, uốn các đầu dây vào đúng vị trí rồi bọc cách điện (hoặc lồng ống cách điện). Bọc cách điện đầu dây ra thường dùng băng cách điện lacotcan bọc chồng 1/2. Đối với lưới đến 10kV bọc để đạt chiều dày cách điện mỗi phía là 1,5mm. Đặc biệt lưu ý những chỗ uốn của đầu ra và chỗ nó đi ra khỏi cuộn dây.

Chú ý: Khi ghép lại gông trên phải ghép từ giữa ra (hình 7.3).



Hình 7.3. Ghép lại gông trên lõi thép

4. Đai, hàn, cố định các đầu dây ra

Theo sơ đồ thiết kế người ta nối các đầu dây với thiết bị chuyển mạch điều chỉnh điện áp. Đối với các MBA phân phối thường đấu Y/Y₀ - 12 hoặc Δ/Y₀ - 11, còn đối với các MBA trung gian đấu Y/Δ - 11.

Để nối các dây dẫn bằng đồng trong MBA chủ yếu dùng phương pháp hàn. Nếu dây đồng nhỏ (dây tròn, đường kính đến 2,5mm) có thể áp dụng phương pháp hàn hồ quang cực than. Đối với dây đồng lớn (dây dẹt, tiết diện hàng chục đến hàng trăm mm²) áp dụng phương pháp hàn tiếp xúc điện, hàn bằng đèn khò, đồ thiếc.

Yêu cầu của việc hàn nối là khi có dòng định mức chảy qua mỗi hàn không bị nóng lên, mỗi hàn phải đủ độ bền cơ, chịu được uốn. Vật liệu hàn khi hàn tiếp xúc điện hoặc đèn khô là que hàn bạc - đồng hoặc đồng - phốt pho.

Tất cả các đầu dây ra phía cao áp đều được lồng trong ống cách điện tròn. Các đầu dây ra phía cao cũng như hạ áp được cố định lên các giá gỗ, không để chúng dịch chuyển hoặc bung đưa tự do.

7.4.2. Tổng lắp ráp ruột máy

Ruột máy được lắp ráp cùng với nắp máy. Cần phải xác định tổng chiều cao ruột máy tính từ tấm gỗ kê ở đáy cho đến phía nắp thật chính xác, đảm bảo sao cho khi thả vào vỏ ruột máy không bị treo hoặc ép. Nắp máy được nối với ruột máy thông qua các tì treo nối xà ép gông với phía dưới nắp. Khi cần rút ruột máy, chỉ cần rút nắp lên là ruột máy cũng theo lên luôn. Đối với máy biến áp không gian thì không như thế, ruột máy được lắp trước vào vỏ, nắp máy lắp sau cùng và chỉ liên lạc với ruột máy qua các dây nối mềm với tì sứ. Đối với loại máy này khi rút ruột máy phải tháo nắp trước. Đối với các máy lớn, nắp máy chụp từ trên xuống việc tổng lắp ráp ruột máy được thực hiện trên tấm đáy của vỏ.

Nối các đầu dây ra với thiết bị chuyển mạch thường bằng đầu cốt, bắt bulông. Kiểm tra lại thứ tự các đầu dây của các pha. Kiểm tra lại độ chặt của các bulông ép gông, bulông giằng giữa xà ép gông trên và dưới, đảm bảo cuộn dây của các pha thật chặt chẽ. Kiểm tra lại các vấu (hoặc thanh) chặn, xác định vị trí ruột máy trong vỏ đảm bảo khi nằm trong vỏ với điều kiện vận chuyển nâng hạ không bị xô dịch, đảo lắc làm biến dạng ruột máy.

7.4.3. Sấy ruột máy biến áp (trình bày trong phần tấm sấy)

7.4.4. Tổng lắp ráp máy biến áp

Tổng lắp ráp MBA có các bước sau:

- Kiểm tra, hiệu chỉnh lần cuối cùng ruột MBA.
- Kiểm tra thùng MBA và các phụ kiện đi kèm.
- Lắp ráp sứ cách điện, cơ cấu truyền động, bộ chuyển mạch điều chỉnh điện áp, các thiết bị bảo vệ.
- Thả ruột máy vào thùng - đổ dầu.
- Tất cả những việc phụ phải chuẩn bị trước nhằm hạn chế tối đa thời gian để ruột máy ngoài không khí sau khi sấy quá 4 giờ, nhất là khi môi trường ẩm.

CHỐNG RUNG VÀ TIẾNG ỒN CHO THIẾT BỊ ĐIỆN

8.1. ĐẠI CƯƠNG

Vấn đề tiếng ồn và dao động (rung) của máy là một vấn đề lớn mà các hãng chế tạo máy điện đặc biệt quan tâm. Hiện nay các hãng của Mỹ và Nhật đã giải quyết tốt vấn đề này. Tiếng ồn và rung của máy điện nói riêng và các loại máy khác nói chung hiện nay được coi là một dạng ô nhiễm môi trường, nó làm giảm năng suất lao động và gây ra một số bệnh nghề nghiệp. Nguồn rung và ồn có thể do điện từ, cơ khí và do lắp ráp, lắp đặt. Trong nguyên nhân về cơ khí có nguyên nhân do ổ bi là chi tiết do lĩnh vực khác nghiên cứu ta không đề cập đến ở đây. Những nguyên nhân thuộc về điện từ do thiết kế cũng không được nghiên cứu trong cuốn sách này. Ở đây chúng ta chỉ đề cập đến ồn và rung do công nghệ chế tạo không hoàn thiện gây ra mà thôi.

Sự rung của máy điện được đặc trưng bởi nhiều tham số. Các tham số tuyến tính gồm: chuyển dịch, tốc độ, gia tốc, lực và công suất. Các tham số góc gồm: góc xoay, tốc độ góc, gia tốc góc, mômen. Các tham số thuộc cả 2 dạng dao động: pha, tần số, hệ số điều hoà. Các dụng cụ đo hiện nay có thể đo được các giá trị tức thời, biên độ, hiệu dụng và giá trị trung bình. Thường người ta đánh giá mức độ rung bằng trị số biên độ hoặc trị số hiệu dụng của nó.

8.2. NGUYÊN NHÂN GÂY RUNG MÁY ĐIỆN

Máy điện rung do các nguyên nhân sau: Cơ, điện từ và khí động lực (liên quan đến quạt gió). Nguyên nhân cơ khí thường là phần quay không cân bằng, nền móng không tốt, độ cứng rôto không đều, ổ bi không tốt v.v... Rôto cong do đốt nóng hoặc làm mát không đối xứng do bị ngắn mạch vòng dây, trở lực thủy lực động hoặc khí động không đối xứng. Nguyên nhân điện từ gồm khe hở không đều, ngắn mạch vòng dây trong dây quấn rôto. Nguyên nhân khí động về thực chất cũng thuộc loại cơ khí bởi vì sự rung có liên quan đến dao động đàn hồi trong môi trường khí do những vùng xoáy sau cánh quạt. Một điều cần chú ý là sự rung của một máy điện có thể do một máy khác ở gần đó hoặc được nối với nó trong một hệ thống được truyền tới nhờ các sóng dao động lan truyền trong chất rắn và không khí. Sau đây ta phân tích kỹ một số nguyên nhân đặc trưng nhất.

1. Rôto không cân bằng

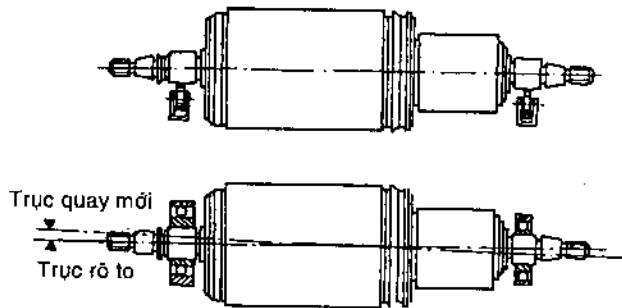
Đây là nguyên nhân phổ biến nhất khi máy rung. Có ba loại không cân bằng có thể xảy ra.

– Không cân bằng tĩnh: do rôto bị cong, bị lệch (không đối xứng qua trục), do một phần tử kết cấu nào đó (cuộn dây, cực từ...) có trọng lượng khác làm cho rôto mất đối xứng.

– Không cân bằng mômen: xuất hiện khi đặt lên trục một chi tiết như cổ góp, vành đai hoặc như trong máy đồng bộ có 1 cực bị xô dịch dọc trục một khoảng nhỏ.

– Không cân bằng động: là do sự lệch trục đối xứng qua điểm giữa rôto (hình 8.1).

Tần số rung do những nguyên nhân mất cân bằng rôto bằng tần số quay của nó.



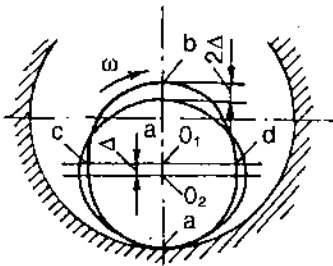
Hình 8.1. Sự mất cân bằng động khi quay

2. Có chỗ khuyết trong chi tiết do gia công cơ

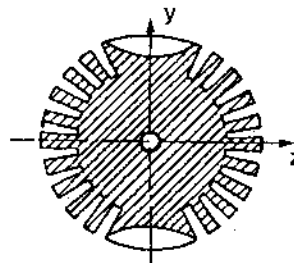
Do khâu tiện hoặc mài không đúng nên ngồng trục bị ôvan (không hình trụ). Tâm của ngồng trục trong trường hợp này sẽ dao động chu kỳ với tần số gấp đôi tần số quay của trục.

Độ nhảy của tâm ngồng trục Δ theo hình 8.2 : $\Delta = \frac{ab - ad}{2}$; $f_{\text{rung}} = 2f_{\text{rôto}}$

Ngồng trục dao động gây ra sự dao động của rôto làm xuất hiện các lực quán tính tác dụng lên gối đỡ và gây rung.



Hình 8.2. Sự chuyển động của tâm ngồng trục khi quay



Hình 8.3. Tiết diện rôto máy phát tua bin có xô rãnh trên cực

Khuyết tật trong các chi tiết của rôto có thể theo hướng khử nhau hoặc tăng cường. Trong trường hợp thứ hai rung động có thể đạt đến mức gây sự cố.

3. Sự khác nhau về độ cứng của rôto trong mặt cắt ngang chính giữa cũng gây dao động khi làm việc. Điều này thường xảy ra đối với rôto của máy phát tua bin hơi. Sự khác nhau về độ cứng trong mặt cắt ngang rôto làm cho độ uốn của nó khác nhau. Tần số rung trong trường hợp này bằng 2 lần tần số quay của rôto. Cách giảm nhỏ dao động do nguyên nhân này là cân bằng mômen quán tính theo 2 trục x và y (hình 8.3). Muốn vậy trên mặt cực (răng lớn) xô các rãnh dọc hoặc ngang.

4. Nối trục với máy khác không đúng

Máy điện thường làm việc chung với máy khác trong một hệ thống được nối trục với nhau. Máy phát điện được nối trục với động cơ sơ cấp, động cơ điện được nối trục với máy công tác. Việc nối trục được coi là đúng khi cả hai trục nằm trên cùng một đường thẳng trong suốt quá trình làm việc (nói cách khác trục của máy này là sự kéo dài của trục máy kia). Nối trục không đúng gây ra mômen uốn trong các trục và lực tác dụng không đều lên bề mặt ổ đỡ. Mômen uốn và lực này tác dụng chu kỳ và gây ra sự rung của rôto.

Muốn loại trừ hiện tượng này cần phải nghiên cứu các loại nối trục và phương pháp nối trục để đạt được sự đồng trục của hệ thống. Mặt khác, đối với máy điện có gối đỡ rời phải có biện pháp chống sự di chuyển của gối đỡ, làm mất sự đồng trục của hệ thống.

5. Tiếng ồn và dao động

Xảy ra do ổ bi hoặc ổ trượt. Ổ bi hoặc ổ trượt gây ra tiếng ồn và dao động có thể do 2 nguyên nhân chính: nguyên nhân bên ngoài và nguyên nhân bên trong (nội tại). Nguyên nhân ngoài có thể là do khuyết tật trong chế tạo các chi tiết của rôto, do lắp ráp không đúng gây ra độ lệch hoặc độ căng trong ổ bi hoặc tạo ra sự va đập giữa ngông trục và thành ổ bi. Nguyên nhân nội tại ổ bi hoặc ổ trượt là do chất lượng chế tạo ổ, do hiện tượng tự kích của dao động ngông trục trên lớp dầu trong ổ trượt.

Dao động của ổ còn có thể do nhược điểm trong thiết kế hoặc khuyết tật khi chế tạo gối đỡ trục. Chẳng hạn do độ cứng của gối đỡ không đủ theo hướng dọc hoặc ngang trục; tần số dao động riêng của gối đỡ trùng với tần số quay của rôto khi làm việc hoặc khởi động; gối đỡ lắp đặt không đúng tạo ra một lực phụ hoặc mômen phụ gây dao động.

6. Cố định máy với nền không tốt

Khuyết tật khi cố định máy điện với nền móng là khối lượng móng không đủ lớn, bu lông cấy vào móng không chặt, bu lông móng quá nhỏ hoặc siết không chặt. Tất cả những điều đó làm tăng cường dao động của máy.

7. Khe hở không khí không đều

Khoảng cách giữa các cực của rôto với stato hoặc giữa các cực của stato với rôto có thể không đều do lỗi chế tạo hoặc lắp ráp các chi tiết. Hình 8.4 là sơ đồ mặt cắt ngang của một máy điện đồng bộ 4 cực trong đó : O - trục quay của rôto, O₁ - trục stato ; O₂ - trục đối xứng của các cực.

Trên hình 8.4a là trường hợp cả 3 trục trùng nhau, khe hở đều ở bất kỳ vị trí nào của rôto.

Trên hình 8.4b là trường hợp trục quay O trùng với trục O₂ nhưng xê dịch so với trục O₁. Điều này xảy ra khi lắp ráp stato hoặc gối đỡ không tốt. Trong trường hợp này khe hở giữa các cực và stato không giống nhau và khi rôto quay tần số lặp lại khoảng cách không đổi của khe hở sẽ là $f_1 = 2pn/60 = 2f$, trong đó n - tốc độ quay của rôto; p - số đôi cực ; f - tần số lưới.

Trên hình 8.4c trục quay O xê dịch so với trục O₂ một khoảng cách e nhưng trùng với trục O₁. Điều này xảy ra khi chế tạo hệ thống cực không chính xác hoặc lắp trục trên hệ thống cực không đồng tâm. Trong trường hợp này khe hở nói chung cũng không đều nhưng tần số lặp lại khoảng cách không đổi dưới mỗi cực bằng tốc độ quay của rôto $f_p = pn/60$.

Trên hình 8.4c ta thấy khoảng lệch tâm e trùng với một trong các trục của hệ thống cực, hai vị trí của rôto lệch nhau 180°, khi đó:

$$a_{III-1} - a_{I-1} = 2e$$

Từ thông đi qua khe hở không khí luôn luôn trùng với lực điện từ hướng kính giữ stato và rôto.

Nếu gọi Δs là diện tích khe hở mà từ thông đi qua, có thể biểu thị lực tác dụng trong phạm vi diện tích đó bằng biểu thức:

$$\Delta F = k\Delta s B^2$$

Trong đó B - từ cảm tương ứng, k - hệ số tỷ lệ.

Lực tổng tác dụng trên toàn cực bằng tổng hình chiếu lên trục đó của các lực nguyên tố trong phạm vi từ thông của cực đi qua.

Nếu ở một vị trí bất kỳ của rôto các khe hở không khí và sức từ động như nhau thì lực tổng tác dụng theo các trục cực như nhau và máy sẽ không bị rung. Nếu khe hở không đều theo sơ đồ hình 18.4b lực điện từ tác dụng lên rôto (hoặc stato) sẽ có một thành phần không đổi hướng theo trục OO_1 về phía có khe hở không khí nhỏ và tạo ra lực hút về một phía. Mặt khác, do sự biến thiên của từ dẫn khi rôto quay nên sẽ xuất hiện một thành phần lực điện từ biến thiên chu kỳ với tần số $2f$ và gây rung máy.

Nếu khe hở không đều theo sơ đồ hình 8.4c (trục quay O không trùng với trục O_2) lực điện từ được quay cùng với rôto và gây ra dao động của máy với tần số bằng tần số quay của rôto.

Qua phân tích trên ta thấy, máy bị rung khi khe hở không đều với điều kiện có từ thông (máy được kích thích). Độ rung của máy sẽ không đáng kể nếu khe hở không khí được khống chế mức độ sai lệch của nó. Độ lệch cho phép của khe hở không khí cho trong bảng 8.1.

BẢNG 8.1

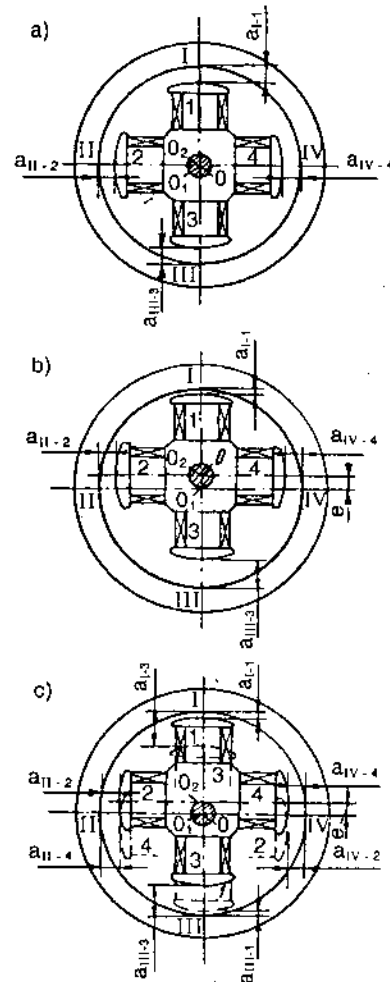
Trị số khe hở (mm)	đến 0,5	0,6 ÷ 10	10 ÷ 20	Cao hơn 20
Sai lệch cho phép	+ 10%	± 10%	± 1mm	± 5%

Trị số khe hở trong bảng trên là trị số trung bình đo được ở một số vị trí khác nhau của rôto. Trong trường hợp cần thiết phải xác định được dạng không đồng đều của khe hở không khí (hình 8.4b hoặc 8.4c).

8. Không đối xứng về từ khi khe hở không khí đều

a) Ngắn mạch vòng dây trong rôto

Ngắn mạch hoặc bị nối sun một phần dây quấn kích thích của máy đồng bộ hoặc nối dây quấn kích thích không đúng đều tạo ra sự mất cân bằng về từ của các cực. Khi đó đường cong phân bố của từ cảm sẽ mất đối xứng (đọc theo khe hở không khí) và sẽ làm xuất hiện lực kéo không cân bằng tác dụng lên rôto và stato, thay đổi chu kỳ với tần số bằng tần số quay của rôto. Hiện tượng này tương tự như trường hợp lệch trục rôto so với trục quay. Mức độ dao động gây ra do ngắn mạch vòng dây phụ thuộc vào số vòng dây bị ngắn mạch, vào

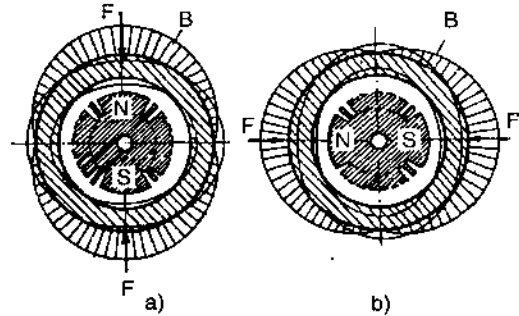


Hình 8.4. Ảnh hưởng của sự phân bố các trục đến sự lệch của khe hở không khí

hệ số ép chặt của các cực và có thể đạt đến trị số gây nguy hiểm cho máy. Trong các máy phát tua bin hơi hai cực, sự ngắn mạch cuộn dây gắn lõi cực gây ảnh hưởng rất mạnh đến độ rung của máy. Sự ngắn mạch một phần dây quấn rôto của động cơ rôto dây quấn sẽ dẫn đến rung máy với tần số trượt ($f_2 = sf_1$).

b) Máy rung do biến dạng của stato hoặc mạch từ

– Trong các máy 2 cực với khe hở không khí đều, lực điện từ tác dụng lên stato cân bằng nhưng được quay cùng với rôto và kéo lõi sắt stato theo hướng cực gây biến dạng nó theo hình ellíp. Việc đo và nghiên cứu sự rung của máy điện đã cho thấy, không thể bỏ qua sự ép đàn hồi stato do hiện tượng trên. Theo hình 8.5, sau một vòng quay của rôto khe hở giữa stato và rôto biến thiên chu kỳ được hai lần, nghĩa là: $f_r = 2f$ (f_r - tần số rung).



Hình 8.5. Sự biến dạng lõi sắt stato ở máy hai cực

– Trong các máy đồng bộ nhiều cực, kiểu dây quấn stato ảnh hưởng đến mức độ rung của máy. Thường dây quấn stato trong các máy nhiều cực đều có q phân số. Đường cong sức từ động của dây quấn đó chứa các thành phần sóng hài bậc thấp, điều này làm cho sự phân bố của từ cảm không đồng đều đến các cực khác nhau, gây ra tiếng ồn và dao động cho máy. Sự phân bố của từ cảm tổng được lặp lại với chu kỳ không gian bằng cực ($q = b + \frac{c}{d}$), sự biến dạng của stato cũng tăng cùng với sự tăng của chu kỳ đó. Sự dao động đặc biệt mạnh khi $q < 3$. Tần số dao động q lẻ bằng 2 lần tần số lưới. Người ta đã thí nghiệm và thấy rằng, đối với máy phát thủy điện có $2p = 96$ và $q = 27/16$ sau khi sử dụng sơ đồ dây quấn tối ưu độ rung của stato đã giảm từ $100 \div 200 \mu m$.

– Khi rôto quay từ dẫn theo trục cực sẽ thay đổi chu kỳ do số rãnh (để đặt dây quấn) dưới cực thay đổi. Tần số thay đổi từ thông lúc đó bằng:

$$f_z = \frac{nz}{60} = z f_{\text{rôto}} = \frac{2pn}{60} \cdot \frac{z}{2p} = fq$$

Trong đó :

z - số rãnh, $f_{\text{rôto}}$ - tốc độ quay của rôto, f - tần số lưới, $q = z/2p =$ số rãnh trên một cực.

Trong các máy đồng bộ có q là phân số bằng $a + \frac{c_1}{d}$ tần số của lực tác dụng lên stato (tần số rung) bằng:

$$f_z = 2f \cdot a \text{ hoặc } f_z = 2f(a+1).$$

Ví dụ: Khi $q = 5\frac{1}{16}$

$$f_z = 2 \cdot 50 \cdot 5 = 500\text{Hz}.$$

Trong máy điện một chiều tần số dao động cơ bản của mạch từ do răng rãnh được xác định theo:

$$f_z = \frac{2pn}{60} \cdot \frac{z}{2p} = \frac{nz}{60}$$

Trong động cơ không đồng bộ, ngoài thành phần cơ bản của dao động với tần số $2f$ còn có thành phần dao động do răng rôto với tần số xấp xỉ $z \cdot f_{\text{rôto}}$ và $2z f_{\text{rôto}}$.

Các lực điện từ cao tần về trị số không đáng kể nhưng khi xảy ra cộng hưởng ngoài tiếng ồn nó có thể gây ra rung mạnh, thậm chí gây sự cố cho máy.

9. Dao động cộng hưởng các chi tiết và cụm chi tiết

Trong một máy điện riêng biệt hoặc hệ thống ta thấy nguồn tạo ra dao động của máy rất đa dạng và phức tạp. Các dao động do các nguồn đó tạo ra có thành phần tần số cơ bản nhưng cũng có các thành phần tần số cao. Khi có sự trùng hợp các sóng dao động cùng tần số thì có thể tạo ra những đỉnh cộng hưởng rất nguy hiểm.

Trên đây ta đã điếm qua và phân tích 9 nguyên nhân gây ồn và rung của máy điện. Để có thể loại trừ rung cho chúng người ta phải tìm cách xác định chính xác xem nguyên nhân nào. Phương pháp ở đây là đo và so sánh trạng thái dao động ở từng chế độ làm việc, phân tích phổ tần số dao động để từ đó dễ làm rõ nguyên nhân. Khi nghiên cứu người ta tiến hành thí nghiệm tạo dao động như làm mất cân bằng rôto, tạo khuyết tật... và đo tần số, biên độ, pha và hướng dao động.

Trong phạm vi công nghệ, các nhà sản xuất đưa ra các biện pháp chống rung sau:

- Làm cân bằng rôto.
- Chống khuyết tật khi chế tạo.
- Làm cho khe hở không khí đều.
- Hạn chế sự lệch từ trường và nhiệt độ trong máy.

Khuyết tật khi chế tạo rôto có thể do khâu đúc nhôm (rỗ), các cực lõi liên khối trong máy đồng bộ công suất nhỏ cũng có thể bị rỗ, khuyết kích thước, số vòng dây trong rôto dây quấn khác nhau, kích thước và vị trí các chi tiết khác trên rôto không bằng nhau hoặc không đối xứng (quạt gió, vành góp, vành trượt...). Phương hướng khắc phục các khuyết tật là đầu tư nâng cao trình độ thiết bị công nghệ.

Khe hở không đều do các nguyên nhân sau: khuôn dập không hoàn toàn tròn, mặt trong vỏ không tròn nắp hoặc gối đỡ trục gia công không chính xác (mặt gờ lắp thân và buồng ổ bi không đồng tâm), kích thước các cực lõi trên rôto không giống nhau. Để khắc phục các nhược điểm này cần hoàn thiện thiết bị và chọn đúng chế độ công nghệ cắt gọt.

Để hạn chế sự lệch của từ trường (khi khe hở không khí đều) phải đảm bảo chính xác số vòng dây kích từ (máy một chiều và máy đồng bộ) hệ số ép chặt cực từ, chất lượng cách điện cao.

Vấn đề quan trọng nhất trong việc chống rung mà nhà chế tạo máy điện phải làm tốt đó là làm cân bằng rôto.

8.3. CÂN BẰNG RÔTO TRONG CHẾ TẠO MÁY ĐIỆN

Khi một rôto không cân bằng quay với tốc độ định mức lực ly tâm (do không cân bằng) được truyền lên ổ dưới dạng xung có tần số bằng tần số quay của rôto. Các thành phần của lực này theo hai hướng trong mặt phẳng vuông góc với trục máy sẽ làm cho máy rung nếu gối đỡ không có độ cứng tuyệt đối (trong thực tế không có gối đỡ có độ cứng tuyệt đối).

Rôto được coi là hoàn toàn cân bằng nếu nó không truyền lên gối đỡ lực ly tâm hoặc lực ly tâm đó nhỏ hơn trị số cho phép. Muốn đạt được yêu cầu đó tất cả các rôto sau khi chế tạo xong phải qua một quá trình công nghệ đặc biệt để cân bằng rôto. Việc cân bằng rôto được thực hiện bằng cách xác định khối lượng và vị trí điểm mất cân bằng rồi di chuyển, lấy đi hoặc bù để trọng tâm của rôto trên tất cả các mặt phẳng ngang trục (với mọi vị trí của rôto) nằm ở tâm. Sự mất cân bằng dư cho phép (sau khi thực hiện cân bằng) được xác định theo các yêu cầu sau:

- Đảm bảo làm việc lâu dài máy không bị hỏng do mỏi.
- Mức dao động của máy điện thích hợp với mức dao động cho phép quy định đối với hệ thống máy công tác mà nó tham gia.
- Mức dao động và tiếng ồn do máy tạo ra không vượt quá mức có thể ảnh hưởng đến sức khỏe và sinh lý con người.

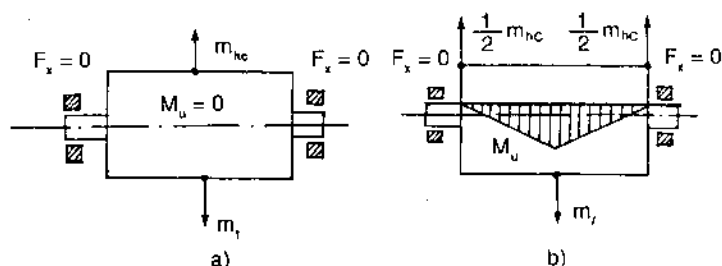
Trong thực tế người ta quy định cấp chính xác cân bằng đối với các vật thể quay. Độ chính xác cân bằng được đặc trưng bằng tích số độ mất cân bằng riêng với tốc độ quay góc cực đại khi vận hành $E_d \cdot \omega_{\max} [mm.rad/s]$.

Độ chính xác cân bằng được chia làm 11 cấp, cao nhất là cấp chính xác 1. Rôto của máy điện thuộc các cấp từ 1 đến 4. Cấp chính xác 1 áp dụng đối với các động cơ điện của các máy mài siêu chính xác, cấp chính xác 2 đối với máy có yêu cầu đặc biệt, cấp 3 đối với các máy không có yêu cầu đặc biệt, còn cấp 4 đối với các máy điện thông dụng.

Khi tiến hành cân bằng người ta có thể bố trí khối lượng hiệu chỉnh không đối xứng hoàn toàn mà đối xứng theo kiểu chia đôi (hình 8.6).

Trong trường hợp hình 8.6a ta thấy không xuất hiện mômen uốn, còn trường hợp hình 8.6b tạo mômen uốn trong rôto. Ngoài ra người ta có thể chia đôi khối lượng hiệu chỉnh bố trí ở 2 vị trí đối xứng trong mặt phẳng hiệu chỉnh.

Trong thực tế có hai loại cân bằng: cân bằng tĩnh và cân bằng động, ta lần lượt xét các loại cân bằng đó.



Hình 8.6. Hai cách đặt khối lượng phần tử hiệu chỉnh

- Đặt đối xứng hoàn toàn trong mặt phẳng hiệu chỉnh;
- Đặt đối xứng theo cách chia đôi khối lượng hiệu chỉnh trong hai mặt phẳng khác nhau

1. Cân bằng tĩnh

Để cân bằng tĩnh rôto được đặt lên hai thanh đỡ đặt nằm ngang song song nhau. Các thanh đỡ này có dạng trụ tròn hoặc dạng lục lăng, nếu bé có thể làm kiểu sừng trâu hay kiểu lưỡi dao. Chiều rộng bề mặt tiếp xúc giữa trục và thanh đỡ được xác định theo công thức:

$$a = M/d$$

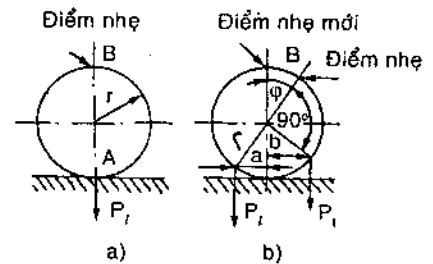
Trong đó a - chiều rộng thanh đỡ, (mm); M - khối lượng rôto đặt lên một thanh đỡ, (kg), d - đường kính trục, (mm).

Hai thanh đỡ phải nằm ngang, độ dốc không vượt quá 0,1mm trên chiều dài 1m.

Đặt rôto bắc ngang trên 2 thanh đỡ (vuông góc) rồi đẩy cho nó lăn trên đó, rôto sẽ dừng lại ở vị trí mà phía dưới của nó nặng hơn (thử một số lần). Điểm phía trên gọi là điểm nhẹ (hình 8.7a).

Khối lượng hiệu chỉnh cần thiết được xác định theo phương pháp sau. Dùng một vật có khối lượng đã biết m_i (khối lượng thử) gắn vào một điểm trên hướng vuông góc với điểm có khối lượng lệch. Rôto sẽ xác lập ở một vị trí mới (hình 8.7b). Khối lượng hiệu chỉnh yêu cầu sẽ là:

$$m_n = \frac{m_i}{\tan \varphi}$$



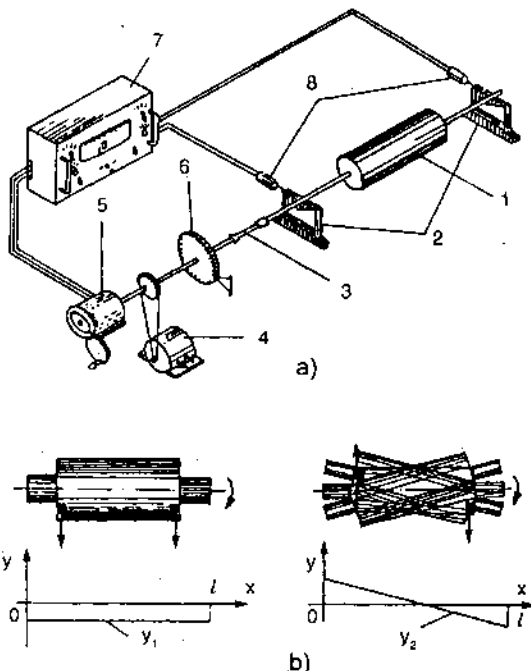
Hình 8.7. Xác định khối lượng cân bằng hiệu chỉnh

Trong đó φ là góc tâm giữa 2 điểm nhẹ cũ và mới. Theo phương pháp này có thể đạt được độ lệch tâm (không cân bằng) I_d không lớn hơn $5 \div 10 \mu m$. Nếu rôto đối xứng ta chia đôi khối lượng hiệu chỉnh rồi đặt ở hai đầu của nó. Nếu rôto không đối xứng ta phải đặt sao cho không tạo ra mômen uốn trên rôto.

2. Cân bằng động

Sự mất cân bằng mà chỉ thể hiện khi rôto quay thì được gọi là sự mất cân bằng động. Để loại trừ sự mất cân bằng động ta phải tiến hành cân bằng động rôto. Việc cân bằng động được thực hiện trên máy. Hình 8.8 dẫn ra sơ đồ cấu tạo một máy cân bằng động hiện đại.

Về phương diện cơ khí rôto trên gối đỡ của máy cân bằng là một hệ thống dao động có hai bậc tự do. Hệ thống này có hai trạng thái cộng hưởng:



Hình 8.8. Sơ đồ cấu tạo máy cân bằng (a) và 2 dạng dao động riêng của rôto trên gối đỡ mềm (b)

– Khi dao động trục của rôto luôn song song.

– Khi dao động trục rôto dao động xoay xung quanh điểm giữa trục (hình 8.8b, trong đó $y_{1,2}$ – độ lệch của các điểm trên rôto, l – khoảng cách giữa 2 gối đỡ).

Với những tiến bộ của ngành đo lường trong lĩnh vực đo chuyển dịch của các dao động nhỏ đã cho phép tạo ra những máy cân bằng gối đỡ “mềm” và có thể làm “cứng” hoặc độ “cứng” có thể thay đổi. Trên những máy này, tiến hành cân bằng các rôto ở tốc độ làm việc với độ chính xác cao, đặc biệt đối với các rôto làm từ nhiều loại vật liệu hoặc các chi tiết trên rôto có thể chuyển động tương đối so với nhau. Độ chính xác của các máy cân bằng động ngày nay đạt được $I_d = 0,5 \div 1 \mu m$ nhờ các thiết bị đo và cảm biến đặc biệt và đặc biệt là loại trừ đồng thời cả 2 thành phần mất cân bằng động và tĩnh với thời gian ngắn nhất.

Trên hình 8.8 ta thấy một máy cân bằng gồm các bộ phận chính sau: 1 – Rôto cần cân bằng; 2 – Gối đỡ mềm (có thể dao động); 3 – Nối trục kiểu bản lề; 4 – Động cơ dẫn; 5 – Máy phát pha có stato xoay; 6 – Đĩa chia độ; 7 – Trung tâm đo lường; 8 – Bộ biến đổi dao động.

a) Cân bằng động rôto trên các gối đỡ của chính nó

Trong trường hợp không thể dùng máy cân bằng thì có thể tiến hành cân bằng động trên chính gối đỡ của máy điện. Muốn vậy ta cần phải có một số thiết bị đặc biệt cho phép đo được biên độ và pha của dao động gối đỡ, đồng thời phải xây dựng một phương pháp đo hợp lý.

Bất cứ một phương pháp cân bằng động nào cũng phải dựa trên cơ sở phân tích gia số của dao động giữa hai lần đo; khi đó giả thiết rằng tốc độ góc khi đó không đổi và:

– Lực ly tâm do mất cân bằng và chuyển dịch dao động do nó quan hệ tuyến tính với nhau.

– Sự lệch pha giữa lực ly tâm và chuyển dịch dao động không đổi.

Việc cân bằng động được thực hiện khi không tải với tốc độ định mức. Trong trường hợp rôto bị mất cân bằng lớn thì có thể quay tốc độ chậm hơn sao cho dao động của gối đỡ không vượt quá 3 đến 4 lần.

Mặt phẳng mà trong đó đặt khối lượng hiệu chỉnh (vật có khối lượng mà với nó rôto cân bằng) gọi là mặt phẳng hiệu chỉnh. Đối với máy điện mặt hiệu chỉnh thường là mặt mút cổ góp hoặc một đĩa thép được gắn thêm trên trục. Ở một số máy mặt hiệu chỉnh có thể chọn ngay trên rôto (một mặt cắt bất kỳ hoặc vành ngăn mạch trên rôto lồng sóc).

Trước khi cân bằng cần phải qua một số khâu chuẩn bị lại sau:

– Trong mặt phẳng hiệu chỉnh phải lấy dấu một vùng theo chiều quay không quá 30° ; dấu không được lấy từ cả 2 phía trong một mặt phẳng hướng kính. Việc lấy dấu này là xác định một hệ toạ độ cực đối với khối lượng hiệu chỉnh. Để dễ nhìn ta dùng sơn màu để đánh dấu bán kính gốc.

– Đặt thiết bị đo pha dao động, việc lấy dấu trên đĩa chia độ ngược với chiều quay một khoảng không lớn hơn 10° , điểm không được chọn trên đỉnh đĩa chia độ.

b) Cân bằng động một đĩa mỏng

Việc cân bằng động rôto trên chính gối đỡ của nó được nghiên cứu từ việc cân bằng động một đĩa mỏng.

Xét một rôto gồm có một bánh đà mỏng gắn trên trục cứng (giả thiết là không có độ võng) đặt trên hai gối đỡ giống nhau và đối xứng.

Bởi vì rôto là một bánh đà dạng đĩa mỏng nên chỉ có thể mất cân bằng tĩnh và gây ra trên 2 gối đỡ các chuyển dịch dao động bằng nhau và cùng hướng (cùng pha). Ta gọi dao động đó là A_1 .

Khi dao động của hệ thống rôto - gối đỡ là tuyến tính thì chuyển dịch dao động đo được bằng dao động kế trên gối đỡ theo hướng kính sẽ phụ thuộc vào khối lượng mất cân bằng của rôto theo công thức:

$$A = k_F \cdot F = k_l \cdot D = k \cdot m_l$$

Trong đó: F , D , m_l là các vectơ quay cùng với rôto tương ứng với lực ly tâm ($m_l \cdot r \cdot \omega^2$), độ mất cân bằng ($r \cdot m_l$) và khối lượng mất cân bằng (gọi là khối lượng lệch). Hướng của các vectơ này được xác định theo hướng của tâm khối lượng lệch.

Bởi vì việc cân bằng được thực hiện khi tốc độ quay không đổi và thường bán kính tâm khối lượng hiệu chỉnh cũng không đổi cho nên tốt nhất dùng quan hệ.

$$A_1 = k \cdot m_l$$

Ở đây $k = k \angle \alpha$ - là một số phức tạp gọi là phức số độ nhạy khi cân bằng; k - giá trị (mô đun) của phức số, α - góc (argumăng) của phức số, m_l - vectơ có trị số bằng khối lượng mất cân bằng, còn hướng trùng với hướng lực ly tâm do nó gây ra.

Phức số độ nhạy biểu diễn dưới dạng:

$$k = k_1 \cdot k_2$$

Trong đó $k_1 = k_1 \angle \alpha_1$ - hệ số phức phụ thuộc vào các tham số của hệ thống rôto gối đỡ (tốc độ góc, độ nhún của ổ, bán kính tâm khối lượng hiệu chỉnh...), α_1 là góc lệch pha giữa thành phần lực ly tâm theo hướng dao động gối đỡ và dao động của gối đỡ.

$k_2 = k_2 \angle \alpha_2$ là hệ số phức liên quan đến hệ thống cân bằng được sử dụng, α_2 - góc hiệu chỉnh pha của hệ thống cân bằng động.

Thường $k_2 = 1$ nên:

$$k = k_1 \cdot k_2 = k_1 \angle \alpha_1 \cdot k_2 \angle \alpha_2 = k \angle \alpha_1 + \alpha_2$$

hoặc: $k = k \angle \alpha = k \angle \alpha_1 + \alpha_2$.

Trong phương trình $A_1 = k \cdot m_l$ có 2 ẩn số là k và m_l , vectơ A_1 có được nhờ đo biên độ và góc pha ban đầu của dao động gối đỡ khi không có khối lượng hiệu chỉnh. Để xác định m_l cần có một phương trình thứ 2 có được khi đo vectơ A_2 với khối lượng hiệu chỉnh m_h :

$$A_2 = k(m_l + m_h)$$

Từ hai phương trình trên rút ra:

$$m_h = m_{hl} \cdot \frac{A_1}{A_2 - A_1}$$

Bởi vì $m_h = -m_l$ có thể xác định được một cách dễ dàng bằng cách phân tích đồ thị. Trên hình 8.9 ta xây dựng các vectơ A_1 và A_2 theo cùng một tỷ lệ, nối các mút vectơ A_1 , A_2 ta sẽ được hiệu của chúng $A_2 - A_1$. Biết được trị số và hướng của nó ta trở lại tính toán biểu thức trên.

Từ đồ thị hình 8.9 ta thấy, nếu vectơ $A_2 - A_1$ của gia số dao động gây ra bởi khối lượng thử bằng vectơ dao động A_1 (khi chưa có khối lượng thử) và ngược chiều với nó thì rôto sẽ được cân bằng và lúc đó vectơ dao động A_2 phải bằng không. Muốn vậy, cần phải thay vectơ gia số dao động bằng tỷ số $A_1/(A_2 - A_1)$ và xoay nó đi một góc φ (tạo bởi các vectơ đó). Nguyên công này cũng đồng thời thực hiện phép nhân vectơ m_{ht} (khối lượng hiệu chỉnh thử), với số phức $-A_1/A_2 - A_1$.

$$\text{Giải hệ phương trình} \quad \begin{aligned} A_1 &= km_c; \\ A_2 &= k(m_c + m_{ht}) \end{aligned}$$

đối với k ta được:

$$k = \frac{A_2 - A_1}{m_{ht}}$$

Từ biểu thức trên ta có thể định nghĩa phức số độ nhảy k như sau: phức số độ nhảy khi cân bằng động là tỷ số giữa vectơ gia số dao động với vectơ khối lượng hiệu chỉnh gây ra gia số đó. Đơn vị của k - $\mu\text{m/kg} \angle \dots^\circ$ phức số độ nhảy của một kiểu rôto nào đó, đối với cùng một hệ thống (thiết bị) cân bằng động cho trước là một trị số không đổi.

Khối lượng hiệu chỉnh có thể viết:

$$m_h = \frac{-A_1}{(A_2 - A_1)/m_{ht}}$$

Kết hợp với công thức trên ta được:

$$m = -A_1/k$$

Khối lượng hiệu chỉnh cần thiết được tính theo công thức trên. Đối với k không đổi ta thấy, chỉ cần sau bước đầu cân bằng động đã có A_1 và như vậy xác định được ngay m_h .

Ví dụ: Sau khi thực hiện bước một ta đo được dao động của mỗi ổ là $A_1 = 60 \mu\text{m} \angle 20^\circ$. Sau bước thứ hai với khối lượng thử $1,2\text{kg} \angle 70^\circ$ ta đo được dao động gối đỡ $A_2 = 75 \mu\text{m} \angle 80^\circ$.

Ta xây dựng đồ thị vectơ (hình 8:9) và tìm được $A_2 - A_1 = 69 \angle 130^\circ$

Khối lượng hiệu chỉnh cần thiết:

$$h_h = m_{ht} \frac{-A_1}{A_2 - A_1} = 1,270 \times \frac{60 \angle +180^\circ}{69 \angle 130^\circ} = 1,2 \angle 70^\circ \cdot 0,87 \angle 70^\circ = 1,04 \angle 140^\circ$$

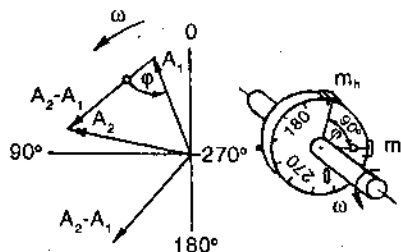
Nghĩa là khối lượng hiệu chỉnh thử cần phải tăng lên 0,87 lần và xoay đi một góc $\varphi = 70^\circ$ theo chiều quay.

Phức số độ nhảy:

$$k = \frac{A_2 - A_1}{m_{ht}} = \frac{69 \angle 130^\circ}{1,2 \angle 70^\circ} = 57 \mu\text{m} / \text{kg} \angle 60^\circ$$

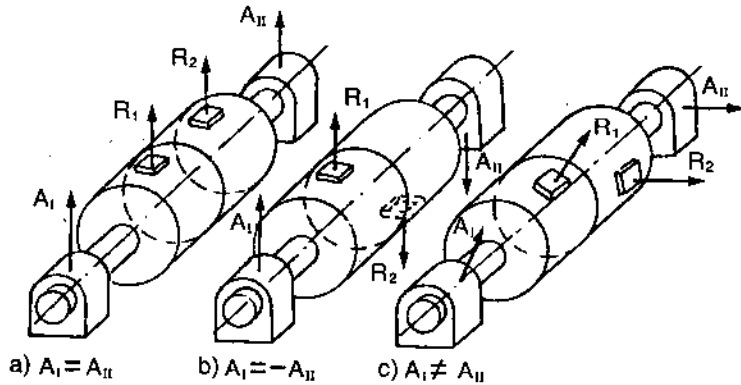
c) Cân bằng động một rôto cứng, đối xứng

Trong thực tế có 3 loại mất cân bằng đối với rôto (hình 8.10).

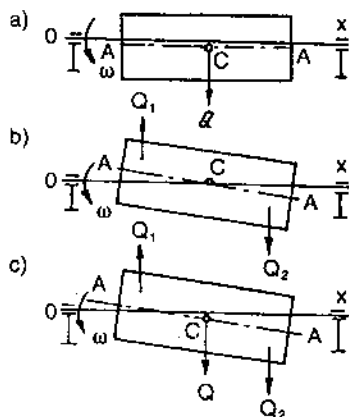


Hình 8.9. Đồ thị véc tơ khi cân bằng động đĩa mỏng

Hình 8.10a mô tả một trạng thái mất cân bằng tĩnh trên đó trọng tâm của mỗi nửa rôto lệch ra khỏi tâm rôto nhưng về cùng một phía, nằm trong cùng một mặt phẳng hướng trục và cách trục một khoảng cách như nhau. Trường hợp này trục quán tính song song với trục quay và nằm trong một mặt phẳng. Trọng tâm C của rôto lệch ra khỏi trục quay (hình 8.11a).



Hình 8.10. Các dạng mất cân bằng của rôto
a) Mất cân bằng tĩnh; b) Mất cân bằng mômen; c) Mất cân bằng động



Hình 8.11. Sự phân bố tương đối giữa trục quay và trục quán tính khi rôto bị mất cân bằng tĩnh (a), mômen (b) và động (c)

Sự mất cân bằng tĩnh được xác định bởi vector chính D hoặc độ lệch tâm e của trọng tâm ra khỏi trục.

Trị số $e = \Delta / M [\mu\text{m}]$ gọi là suất mất cân bằng trong đó: M - khối lượng của rôto [kg]; $\Delta = m r$ môđun của vector mất cân bằng của rôto [g.mm].

Khi rôto quay cả hai lực ly tâm R_I, R_{II} gây ra dao động ở gối đỡ $A_I = A_{II}$.

Sự mất cân bằng mômen được hình thành do 2 khối lệch tâm nằm trong hai mặt phẳng hướng trục khác nhau (hình 8.10b). Trọng tâm của rôto nằm trên giao điểm của trục quay với trục quán tính (hình 8.11b). Sự mất cân bằng loại này chỉ bộc lộ khi rôto quay do có 2 lực ly tâm R_I và R_{II} gây ra các dao động không song song của gối đỡ $A_I = -A_{II}$.

Sự mất cân bằng động (hình 8.10c) xảy ra khi trọng tâm của mỗi nửa rôto nằm trong các mặt phẳng hướng trục khác nhau, khoảng cách giữa chúng đến trục cũng khác nhau. Khi đó trọng tâm của rôto sẽ ra ngoài trục quay và trục quán tính (hình 8.11c). Hai trục trên cắt nhau nhưng không qua tâm đối xứng. Về thực chất đây là sự kết hợp của hai dạng mất cân bằng tĩnh và mômen. Dao động của các gối đỡ khi mất cân bằng động sẽ khác nhau: $A_I \neq A_{II}$ hay ta có thể viết $A_I = A' + A''$; $A_{II} = A' - A''$. Lúc này bài toán được quy định về như sau: tìm các thành phần của dao động gối đỡ A_I và A_{II} do được trên các gối đỡ tức là tìm A' và A'' mà gọi là các thành phần đối xứng và phản đối xứng của dao động gối đỡ.

Cộng và trừ hệ hai phương trình trên ta được:

$$A' = (A_I + A_{II})/2$$

$$A'' = (A_I - A_{II})/2$$

Điều này có nghĩa là các thành phần đối xứng bằng một nửa tổng và một nửa hiệu (vector) của dao động gối đỡ (hình 8.12).

Phối hợp các đồ thị hình 8.12a và b ta thu được đồ thị vector hình 8.12c và từ đó ta thấy rằng A' và A'' là các vector nối từ tâm đến trung điểm các đoạn $A_I A_{II}$ và $A_I (-A_{II})$.

Dao động của hai gối đỡ đo được ở bước cân bằng thứ nhất là A_{I1} và A_{III1} , một nửa hiệu của chúng là A''_1 .

Dao động của hai gối đỡ đo được khi gắn lên rôto hai khối lượng hiệu chỉnh m là A_{21} và A_{2II1} , gia số dao động lúc đó là $\Delta A'$. Nửa hiệu các vector dao động theo đồ thị vector giữ không đổi.

Hoàn toàn tương tự nếu đặt lên rôto các khối lượng hiệu chỉnh mà nửa hiệu các dao động gối tựa thay đổi, nghĩa là đối với rôto đối xứng các thành phần mất cân bằng tĩnh và mômen chỉ có thành phần đối xứng A' thay đổi, còn thành phần không đối xứng A'' không đổi hoặc ngược lại.

Dựa trên tính chất đó ta có hai phương pháp cân bằng:

- Các dao động của gối đỡ được chia thành các thành phần đối xứng và phản đối xứng.
- Các thành phần mất cân bằng tĩnh và mômen được loại trừ riêng biệt: thứ nhất theo thành phần đối xứng, thứ hai theo thành phần phản đối xứng của dao động gối tựa.

Việc tính toán các khối lượng hiệu chỉnh cần thiết được tiến hành theo các công thức như đối với dạng đĩa mỏng nhưng cần phải chú ý:

- Khi loại trừ sự mất cân bằng tĩnh thì thay m_{hi} bằng vector khối lượng hiệu chỉnh thứ đưa vào hệ thống tĩnh; thay A_1 và A_2 tương ứng bằng $(A_{I1} + A_{III1})/2$ và $(A_{21} + A_{2II1})/2$; thay k bằng k' là độ nhạy của thành phần đối xứng của dao động.
- Khi loại trừ thành phần mômen thì thay cho m_{hi} bằng vector khối lượng hiệu chỉnh thứ đưa vào hệ thống mômen; thay cho A_1 và A_2 tương ứng là $(A_{I1} - A_{III1})/2$ và $(A_{21} - A_{2II1})$; thay k bằng phức số độ nhạy của thành phần không đối xứng k'' .

Trong đó A_{I1} - Vector dao động đo được trên ổ I khi chưa có khối lượng hiệu chỉnh.

A_{III1} - Vector dao động đo được trên ổ II khi chưa có khối lượng hiệu chỉnh.

A_{21} - Vector dao động đo được trên ổ I khi đã gắn khối lượng hiệu chỉnh thử.

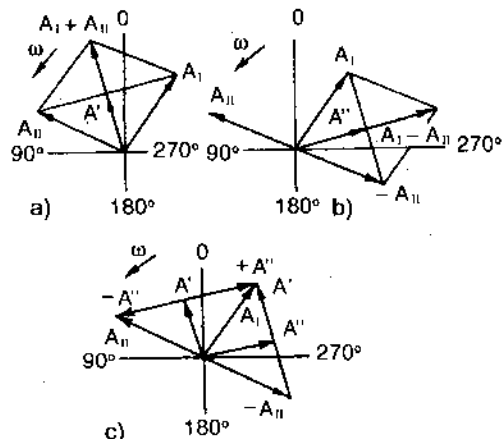
A_{2II1} - Vector dao động đo được trên ổ II khi đã gắn khối lượng hiệu chỉnh thử.

Ví dụ: Yêu cầu cân bằng động rôto của máy phát đồng bộ công suất $P = 800\text{kW}$, $n = 1500\text{vg/ph}$. Khi chưa gắn khối lượng hiệu chỉnh thử (bước 1) dao động các ổ đo được theo các hướng như ghi trong bảng 8.2.

BẢNG 8.2

Lần đo	Tốc độ quay (v/ph)	Dao động $\mu\text{m} \angle \dots^\circ$						Khối lượng hiệu chỉnh	
		Gối đỡ I			Gối đỡ II				
		Thẳng đứng	Nằm ngang	Dọc trục	Thẳng đứng	Nằm ngang	Dọc trục	Mặt I	Mặt II
1	1500	$80 \angle 110$	$65 \angle 90$	$107 \angle 130$	$20 \angle 170$	$50 \angle 250$	$40 \angle 140$	-	-

Việc cân bằng động sẽ được tiến hành theo các dao động phương thẳng đứng. Trên đồ thị hình 8-13 xây dựng các vector $A_{I1} = 80 \angle 110$; $A_{III1} = 20 \angle 170$ ta tìm được nửa tổng của chúng $A'_1 = 46 \angle 122$ và nửa hiệu $A_1 = 36 \angle 96$.



Hình 8.12. Xác định các thành phần A' và A'' từ dao động gối đỡ A_1 và A_2

Vì chưa biết phức số độ nhảy nên trước hết phải loại trừ sự mất cân bằng tĩnh (cũng vì sự mất cân bằng do nó lớn hơn sự mất cân bằng mômen).

Đặt lên các mặt phẳng hiệu chỉnh các khối lượng hiệu chỉnh giống nhau dưới cùng một góc so với bán kính gốc. Như vậy ta đã tạo được một hệ thống cân bằng tĩnh. Các khối lượng hiệu chỉnh và góc đặt của chúng được chọn bất kỳ, chẳng hạn 1kg góc 200° :

$$m_{ht} = 1,0 \angle 200$$

Cho máy chạy và đo dao động gối đỡ ta được (theo phương thẳng đứng):

$$A_{2I} = 76 \angle 70 ; A_{2II} = 34 \angle 0.$$

Tìm được thành phần đối xứng của dao động A'_2 và xác định được theo đồ thị vector $\Delta A'_1 = A'_2 - A'_1 = 53 \angle 357$. Nó bằng vector hướng từ nút A'_1 đến nút A'_2 .

Khối lượng hiệu chỉnh yêu cầu:

$$m_h = m_{ht} \cdot \frac{-A'_1}{A'_2 - A'_1} = 1,0 \angle 200 \cdot \frac{46 \angle 122 + 180}{53 \angle 357} = 0,87 \angle 145$$

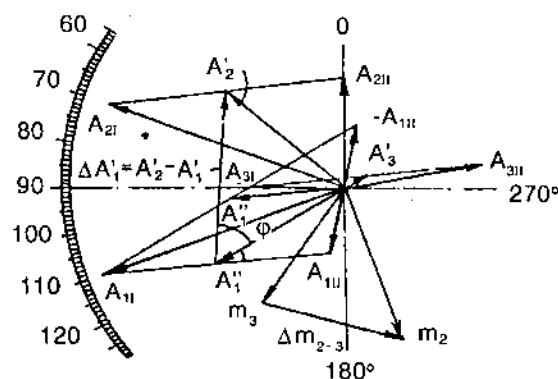
Khối lượng hiệu chỉnh yêu cầu nhỏ hơn khối lượng thử (bởi vì gia số $\Delta A'_1$ lớn hơn dao động đo được lần thứ nhất A'_1) và xoay đi một góc $\varphi = -55^\circ$, (nghĩa là ngược chiều quay).

Góc φ tương ứng với việc xoay vector $\Delta A'_1$.

Đặt lại khối lượng thử theo tính toán trên rồi cho máy chạy (lần 3) để đo dao động các ổ, kết quả đo như sau: $A_{3I} = 30 \angle 90 ; A_{3II} = 44 \angle 280$.

Theo đồ thị hình 8.13 nửa tổng của chúng $A_3' = 7 \angle 303$. Sự mất cân bằng tĩnh dư như vậy là đủ nhỏ ta chuyển sang cân bằng thành phần mômen.

Theo kết quả 3 lần chạy máy và đo ta tính được phức số độ nhảy đối với hệ thống tĩnh (của các khối lượng hiệu chỉnh). Kết quả tính được ghi trong bảng 8.3.



Hình 8.13. Đồ thị véc tơ để loại trừ sự mất cân bằng tĩnh

BẢNG 8.3

Lần đo	$\Delta A = A_{sau} - A_{trước} (\mu m \angle \dots^\circ)$	$\Delta m, (kg \angle \dots^\circ)$	$k' (\mu m \angle \dots^\circ)$
1-2	$53 \angle 357$	$1,0 \angle 200$	$53 \angle 157$
1-3	$52 \angle 302$	$0,87 \angle 145$	$60 \angle 157$
2-3	$8 \angle 239$	$0,88 \angle 74$	$55 \angle 165$

Chú ý: $A_{sau}, A_{trước}$ là dao động đo được ứng với các lần đo sau và trước.

Giá trị trung bình của phức số độ nhảy tĩnh $k_{th} = 56 \angle 160$.

Dao động của gối đỡ đo được trong lần 3 là cơ sở xuất phát để cân bằng thành phần mất cân bằng mômen, vì vậy ta ký hiệu chúng $A_{1I} = 30 \angle 90 ; A_{1II} = 44 \angle 280$.

Dựng đồ thị vectơ hình 8.14 ta xác định được nửa hiệu các vectơ của chúng $A''_1 = 37 \angle 96$.

Gắn lên rôto các khối lượng thử để cân bằng mômen (hai khối lượng như nhau đặt trong 2 mặt phẳng hiệu chỉnh ngược nhau). Các khối lượng đó là:

$$m_{hII} = 2,5 \angle 350 ; m_{hIII} = 2,5 \angle 170^0.$$

Cho chạy máy (lần 4) và đo được dao động ở 2 gối tựa như sau: $A_{2I} = 66 \angle 155$; $A_{2II} = 75 \angle 349$. Nửa hiệu của chúng A''_2 được xác định theo đồ thị vectơ. Gia số giữa 2 lần đo $A''_2 - A''_1 = 65 \angle 193$.

Khối lượng hiệu chỉnh yêu cầu sẽ là: Đối với mặt phẳng I :

$$m_{hI} = 2,5 \angle 350. \frac{37 \angle 96 + 180}{65 \angle 193} = 1,42 \angle 73$$

Đối với mặt phẳng II:

$$m_{hII} = 1,42 \angle 253.$$

Trong thực tế sản xuất với sản lượng lớn, việc cân bằng động cũng được tự động hoá hoặc bán tự động.

Các máy cân bằng trong trường hợp này có hai vị trí: ở vị trí I tiến hành đo và ở vị trí II loại trừ mất cân bằng. Thường máy cân bằng cũng được bố trí vào dây chuyền tự động.

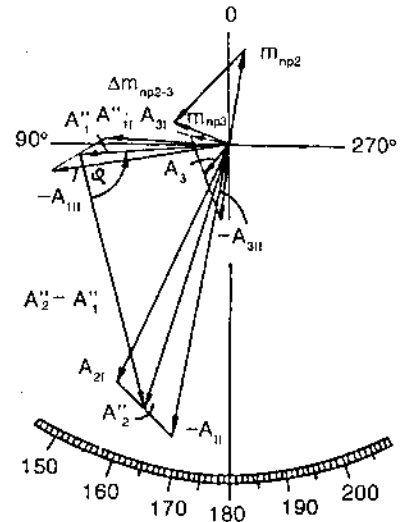
Chống rung và ồn cho máy biến áp

Nguyên nhân gây rung và ồn trong MBA chủ yếu là do từ thông tản mọc vòng ra xung quanh. Từ thông tản mọc vòng trong máy lớn có thể do các nguyên nhân sau:

- Mạch từ của máy bị bão hoà do thiết kế.
- Mạch từ của máy bị bão hoà do công nghệ chế tạo không tốt làm giảm khả năng dẫn từ do tôn silic bị biến tính.
- Các mối ghép giữa trụ và gông không kín, tạo khe hở lớn làm tăng từ thông tản tại đó.
- Do lỗi khi ghép tôn nên các lá tôn chuyển tiếp giữa trụ và gông không trùng nhau (thường do ghép mỗi lớp quá nhiều lá) gây ra những vùng từ thông bị uốn làm lá tôn bị rung.
- Khoảng cách giữa các cuộn dây, khoảng cách giữa cuộn hạ áp với trụ tăng làm tăng điện kháng tản của máy, hệ số hình dáng β không hợp lý ...
- Có từ thông bậc 3 (khi tổ nối dây Y/Y, đặc biệt đối với mạch từ ba pha độc lập, ba pha năm trụ hoặc ba pha ba trụ trong mặt phẳng nhưng công suất lớn).
- Có từ thông thứ tự không trong mạch từ (khi lệch pha quá nặng).

Để giảm tiếng ồn của MBA ngoài các yếu tố thiết kế, về phần chế tạo cần áp dụng các biện pháp sau:

1. Tăng cường đầu tư nâng cao chất lượng chế tạo lá tôn: độ bavaria nhỏ, sai số kích thước và góc cắt phải giảm tối đa, tránh các tác động làm giảm độ thấm từ của vật liệu hoặc phải ủ để phục hồi tính dẫn từ do tôn bị biến tính trong quá trình chế tạo.



Hình 8.14. Đồ thị vectơ khi loại trừ thành phần mất cân bằng mômen

2. Tăng cường chất lượng khâu ghép mạch từ sao cho giảm tối đa khe hở giữa các lá tôn. Các lá tôn trong một lớp phải khít kín, không để thừa thiếu hoặc lệch lớp. Để tránh sự lệch giữa hai lá tôn tại vị trí chuyển tiếp tạo ra sự uốn của đường từ thông, nên ghép lá đơn trong mỗi lớp lá tôn của mạch từ. Không để mạch từ bị biến dạng (các sai số khi ghép đã nêu ở trên) làm tăng khe hở mối ghép hoặc biến dạng đường từ thông đi trong mạch từ.

3. Phải ép chặt mạch từ hoặc dùng sơn cách điện, keo cách điện để giữa các lá tôn không bị rung. Giữa các bậc lá tôn của trụ và gông nên có một lớp bìa cách điện để giảm rung và ồn.

4. Các chi tiết kết cấu (bulông ép, xà ép gông...) nên dùng loại thép không dẫn từ hoặc dẫn từ kém.

5. Tăng cường độ dày của vỏ, cách ly ruột MBA với đáy thùng.

6. Nên dùng MBA ngâm dầu vì dầu biến áp có tác dụng cản dịu sự rung động và dập tắt hoặc giảm tiếng ồn (tiêu âm, cách âm).

Tiếng ồn trong khí cụ điện

Tiếng ồn trong khí cụ điện mà chủ yếu trong công tắc tơ, cuộn kháng, nam châm điện các loại do các nguyên nhân sau:

- Do nắp mạch từ và mạch từ của cuộn hút không trùng khít hoàn toàn hoặc không kín.
- Do mạch từ bão hoà (số vòng ít quá)
- Do mạch từ chế tạo không tốt làm giảm độ thẩm từ của vật liệu.
- Do vòng chống rung (đối với mạch từ xoay chiều) bị đứt hoặc thiết kế không hợp lý.
- Khe hở làm việc lớn quá (trong cuộn kháng).

Đối với người chế tạo để giảm tiếng ồn và rung cần làm những việc sau:

1. Nâng cao độ tin cậy khi chế tạo mạch từ: hạn chế sự biến tính của tôn hoặc có cách khắc phục sự biến tính của tôn, có cách định lượng lá tôn chính xác để đảm bảo mật độ từ thông như thiết kế.

2. Mài bề mặt tiếp xúc giữa phần nắp và mạch từ thật phẳng để khi đóng khe hở nhỏ nhất.

3. Chế tạo phần cơ khí phải chính xác để chuyển động của nắp và vị trí của nó không thay đổi sau mỗi lần đóng. Nếu nắp hút thẳng, bộ phận dẫn hướng phải chính xác để mạch từ nắp và phần chính trùng khít nhau.

4. Chất lượng lò xo nén và nhả phải ổn định.

5. Nâng cao cấp chính xác cho toàn bộ dây chuyền sản xuất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. MB. АНТОНОВ, *Технология производства Электрических Машин*, NXB Энергоатомиздат, Мátxcova - 1993.
2. NGUYỄN ĐỨC SỸ, *Công nghệ chế tạo máy điện và máy biến áp*, NXB Giáo dục, Hà Nội - 1995.
3. VŨ GIA HANH, TRẦN KHÁNH HÀ, NGUYỄN VĂN SÁU, PHAN TỬ THỤ, *Máy điện*, NXB Khoa học & Kỹ thuật, Hà Nội - 2006.
4. TRẦN KHÁNH HÀ, NGUYỄN HỒNG THANH, *Thiết kế máy điện*, NXB Khoa học & Kỹ thuật, Hà Nội - 2006.
5. PHAN TỬ THỤ, *Thiết kế máy biến áp*, NXB Khoa học & Kỹ thuật, Hà Nội - 2006.

MỤC LỤC

Lời nói đầu	3
Chương 1. Đại cương về công nghệ chế tạo thiết bị điện	5
1.1. Quá trình sản xuất và quá trình công nghệ	5
1.2. Đặc điểm các dạng sản xuất và phương pháp làm việc	6
1.3. Những đặc thù của công nghệ chế tạo máy điện	8
1.4. Trình tự công nghệ cơ bản trong chế tạo máy điện	9
1.5. Những loại hình công nghệ sử dụng trong sản xuất máy điện và máy biến áp	16
1.5.1. Các loại hình công nghệ đúc	16
1.5.2. Các loại công nghệ rèn và gia công áp lực	17
1.5.3. Các loại hình công nghệ cắt và uốn nguyên liệu để tạo phôi	18
1.5.4. Các loại công nghệ hàn trong sản xuất máy điện	19
1.5.5. Các loại hình công nghệ chế tạo cơ khí	20
1.5.6. Các loại hình công nghệ sơn phủ, bảo vệ	22
1.5.7. Vận chuyển và nâng hạ trong công nghệ sản xuất máy điện và MBA	22
1.5.8. Công nghệ kiểm tra và giám sát chất lượng sản phẩm	23
1.6. Phương hướng hoàn thiện công nghệ chế tạo máy điện	23
1.6.1. Giảm khối lượng gia công chi tiết	23
1.6.2. Tăng cường sử dụng máy công nghệ chuyên dùng thay cho các máy vạn năng	24
1.6.3. Tự động hoá quá trình sản xuất	24
1.6.4. Mềm hoá các quy trình sản xuất	25
1.6.5. Phân loại thiết bị điện về phương diện công nghệ	25
Chương 2. Chế tạo mạch từ	27
2.1. Vật liệu chế tạo mạch từ	27
2.1.1. Tôn kỹ thuật điện dùng trong công nghệ chế tạo máy	27
2.1.2. Thép kết cấu và vật liệu cách điện	28
2.1.3. Ảnh hưởng của công nghệ chế tạo đến chất lượng mạch từ và thiết bị điện	30
2.2. Công nghệ chế tạo lõi sắt phân ứng của máy điện quay	33
2.2.1. Khái niệm công nghệ dập trong chế tạo máy	33
2.2.2. Các phương pháp dập lá tôn phân ứng máy điện quay	35
2.2.3. Tẩy bavia các lá tôn	46
2.2.4. Ủ các lá tôn để phục hồi tính dẫn từ	47
2.2.5. Sơn cách điện các lá tôn	47
2.2.6. Ghép các lá tôn thành lõi thép theo kích thước thiết kế	49
2.2.7. Xu hướng mới trong sản xuất lõi thép máy điện quay	58
2.3. Công nghệ chế tạo mạch từ phần cảm	59
2.3.1. Đại cương	59
2.3.2. Chế tạo mạch từ phần cảm của máy điện một chiều	60
2.3.3. Chế tạo mạch từ phần cảm của máy đồng bộ cực lõi	61
2.3.4. Chế tạo mạch từ phần cảm của máy phát điện cực ẩn	66
2.4. Công nghệ chế tạo mạch từ máy biến áp	67
2.4.1. Đại cương về công nghệ chế tạo máy biến áp và mạch từ của máy biến áp	67
2.4.2. Kết cấu mạch từ máy biến áp	68
2.4.3. Các kiểu cố định mạch từ MBA	71
2.4.4. Vật liệu chế tạo mạch từ	72
2.4.5. Công nghệ chế tạo lá tôn	73
2.4.6. Lắp ráp lõi sắt máy biến áp	80

2.5. Công nghệ chế tạo mạch từ khí cụ điện và MBA công suất nhỏ.....	88
2.5.1. Phân loại	88
2.5.2. Vật liệu từ	91
2.5.3. Công nghệ chế tạo mạch từ khí cụ điện	91
Chương 3. Công nghệ chế tạo dây quấn.....	94
3.1. Đại cương về chế tạo dây thiết bị điện	94
3.2. Công nghệ chế tạo dây quấn máy điện quay.....	95
3.2.1. Phân loại dây quấn về phương diện công nghệ.....	95
3.2.2. Cách điện của dây quấn và dây dẫn dùng làm dây quấn.....	96
3.2.3. Công nghệ chế tạo các cuộn dây của dây quấn.....	101
3.2.4. Công nghệ đặt các bố trí dây vào rãnh, đầu và đai giữ phần đầu nối dây quấn	115
3.3. Công nghệ chế tạo dây quấn máy biến áp.....	140
3.3.1. Những vấn đề chung	140
3.3.2. Phân loại dây quấn về phương diện công nghệ.....	141
3.3.3. Thiết bị dùng để chế tạo dây quấn	144
3.3.4. Phương pháp quấn các loại dây quấn MBA	150
3.3.5. Chế tạo các chi tiết cách điện của MBA	161
3.4. Chế tạo cuộn dây khí cụ điện	166
3.4.1. Phân loại cuộn dây khí cụ điện.....	166
3.4.2. Công nghệ chế tạo	166
3.5. Công nghệ hàn và cố định dây quấn trong chế tạo dây quấn thiết bị điện	166
3.5.1. Hàn các đầu dây vào cổ góp	167
3.5.2. Hàn các thanh dẫn với vành ngắn mạch trong chế tạo rôto lồng sóc đồng.....	169
3.5.3. Hàn dây dẫn tròn và hàn thanh dẫn hoặc các dây dẫn chữ nhật lớn	170
3.5.4. Cố định dây quấn ở rôto.....	172
3.5.5. Cố định dây quấn stato	174
3.5.6. Cố định dây quấn máy biến áp.....	175
3.5.7. Cố định dây quấn khí cụ điện	176
3.6. Tẩm, sấy dây quấn	176
3.6.1. Mục đích ý nghĩa của việc tẩm, sấy dây quấn	176
3.6.2. Quá trình sấy, tẩm và sơn	177
3.6.3. Các thiết bị để tẩm, sấy	178
Chương 4. Kiểm tra và thử nghiệm máy điện	189
4.1. Các dạng kiểm tra và thử nghiệm	189
4.2. Đo và xử lý số liệu trong thử nghiệm thiết bị điện.....	190
4.2.1. Đo điện trở dây quấn	190
4.2.2. Đo điện trở cách điện của máy điện.....	192
4.2.3. Kiểm tra tình trạng của dây quấn bằng các thiết bị vạn năng	192
4.2.4. Kiểm tra và thử nghiệm cách điện vòng dây.....	193
4.2.5. Kiểm tra và thử nghiệm độ bền điện của cách điện	194
4.2.6. Kiểm tra các động cơ lớn trước khi đóng điện chạy thử	195
4.3. Thử nghiệm máy biến áp.....	199
4.3.1. Thử nghiệm dầu MBA	199
4.3.2. Xác định tỷ số biến áp k	201
4.3.3. Xác định tổ nối dây của máy biến áp.....	202
4.3.4. Đo điện trở của dây quấn.....	203
4.3.5. Đo điện trở cách điện.....	204
4.3.6. Thử nghiệm không tải và ngắn mạch.....	204
4.3.7. Thử nghiệm độ bền của cách điện	205

Chương 5. Công nghệ chế tạo cổ góp	206
5.1. Đại cương.....	206
5.1.1. Các yêu cầu kỹ thuật với cổ góp của máy điện.....	206
5.1.2. Phân tích một số kiểu cổ góp về phương diện công nghệ chế tạo.....	207
5.1.3. Vật liệu để chế tạo cổ góp.....	211
5.2. Công nghệ chế tạo cổ góp.....	213
5.2.1. Chế tạo các phiên góp.....	213
5.2.2. Chế tạo tấm mica hình côn trong cổ góp có vành nén.....	213
5.2.3. Lắp ráp cổ góp.....	214
5.2.4. Một số vấn đề công nghệ chế tạo cổ góp có cách điện là chất dẻo.....	215
5.2.5. Đặc điểm công nghệ chế tạo cổ góp liền khối.....	215
Chương 6. Gia công cơ khí trong sản xuất máy điện	216
6.1. Đại cương.....	216
6.2. Gia công thân máy.....	217
6.2.1. Những vấn đề chung.....	217
6.2.2. Gia công thân (vỏ) động cơ điện công suất vừa và nhỏ.....	220
6.3. Công nghệ chế tạo gối đỡ trục (nắp máy).....	236
6.3.1. Yêu cầu và các điều kiện kỹ thuật trong việc gia công nắp máy điện.....	236
6.3.2. Vật liệu và phương pháp tạo phôi.....	237
6.3.3. Công nghệ gia công nắp.....	238
6.4. Công nghệ chế tạo trục.....	243
6.4.1. Vật liệu trục và phương pháp tạo phôi.....	243
6.4.2. Công nghệ gia công trục.....	245
6.4.3. Công nghệ gia công rôto trên trục.....	248
6.5. Công nghệ chế tạo vỏ máy biến áp.....	250
6.5.1. Đại cương.....	250
6.5.2. Công nghệ và thiết bị công nghệ chế tạo vỏ thùng máy biến áp.....	255
Chương 7. Lắp ráp thiết bị điện	258
7.1. Đại cương về lắp ráp thiết bị điện.....	258
7.2. Những dụng cụ và vật liệu dùng khi lắp ráp máy điện.....	259
7.3. Quy trình lắp ráp máy điện.....	260
7.4. Lắp ráp cuộn dây máy biến áp.....	261
7.4.1. Lắp ráp dây quấn (đối với MBA mạch từ phẳng ghép từ các lá tôn).....	261
7.4.2. Tổng lắp ráp ruột máy.....	263
7.4.3. Sấy ruột máy biến áp (trình bày trong phần sấy).....	263
7.4.4. Tổng lắp ráp máy biến áp.....	263
Chương 8. Chống rung và tiếng ồn cho thiết bị điện	264
8.1. Đại cương.....	264
8.2. Nguyên nhân gây rung máy điện.....	264
8.3. Cân bằng rôto trong chế tạo máy điện.....	270
Tài liệu tham khảo.....	280

Chịu trách nhiệm xuất bản:

Chủ tịch HĐQT kiêm Tổng Giám đốc NGÔ TRẦN ÁI
Phó Tổng Giám đốc kiêm Tổng biên tập NGUYỄN QUÝ THAO

Tổ chức bản thảo và chịu trách nhiệm nội dung:

Chủ tịch HĐQT kiêm Giám đốc CTCP Sách ĐH-DN
TRẦN NHẬT TÂN

Biên tập và sửa bản in:

TRẦN NGỌC KHÁNH

Trình bày bìa:

LƯU CHÍ ĐỒNG

Chế bản:

ĐINH XUÂN DŨNG

CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO THIẾT BỊ ĐIỆN

Mã số: 7B668M7 - DAI

In 1.000 cuốn (QĐ 83), khổ 19 x 27 cm, tại Xí nghiệp in Hà Tây.

Địa chỉ: 15 Quang Trung, TP. Hà Đông

Số ĐKKH xuất bản: 17 - 2007/CXB/79 - 2217/GD.

In xong và nộp lưu chiểu tháng 10 năm 2007.



CÔNG TY CỔ PHẦN SÁCH ĐẠI HỌC - DẠY NGHỀ
HEVOBCO

25 HÀN THUYỀN – HÀ NỘI

Website : www.hevobco.com.vn



VƯƠNG MIỆN KIM CƯƠNG
CHẤT LƯỢNG QUỐC TẾ

TÌM ĐỌC SÁCH THAM KHẢO KỸ THUẬT CỦA NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

- | | |
|---|-----------------|
| 1. Sửa chữa Điện xí nghiệp - Điện tử công nghiệp | Trần Nhật Tân |
| 2. Giáo trình Kỹ thuật lắp đặt và vận hành trạm biến áp | Phan Đăng Khải |
| 3. Giáo trình Kỹ thuật điện | Nguyễn Văn Chất |
| 4. Bài tập Kỹ thuật điện | Đặng Văn Đào |
| 5. Sửa chữa và quấn lại động cơ điện | Bùi Văn Yên |
| 6. Hỏi đáp về Điện - Điện tử dân dụng | Bùi Văn Yên |
| 7. Công nghệ chế tạo thiết bị điện | Nguyễn Đức Sỹ |
| 8. Cơ sở lý thuyết tính toán và thiết kế hệ thống cung cấp điện | Phan Đăng Khải |
| 9. Máy điện 1 | Bùi Đức Hùng |
| 10. Máy điện 2 | Bùi Đức Hùng |
| 11. Giáo trình Vận hành và sửa chữa thiết bị điện | Nguyễn Đức Sỹ |

Bạn đọc có thể mua tại các Công ty Sách - Thiết bị trường học ở các địa phương hoặc các Cửa hàng sách của Nhà xuất bản Giáo dục :

Tại Hà Nội : 25 Hàn Thuyên ; 187B Giảng Võ ; 232 Tây Sơn ; 23 Tràng Tiền ;

Tại Đà Nẵng : Số 15 Nguyễn Chí Thanh ; Số 62 Nguyễn Chí Thanh ;

Tại Thành phố Hồ Chí Minh : Cửa hàng 451B - 453, Hai Bà Trưng, Quận 3 ;
240 Trần Bình Trọng – Quận 5.

Tại Thành phố Cần Thơ : Số 5/5, đường 30/4 ;

Website : www.nxbgd.com.vn



8 934980 763261



Giá: 40.500 đ

<https://tieulun.hopto.org>