บทที่ 5

การประกอบสร้างหม้อแปลง

5.1 การประกอบแกนเหล็ก

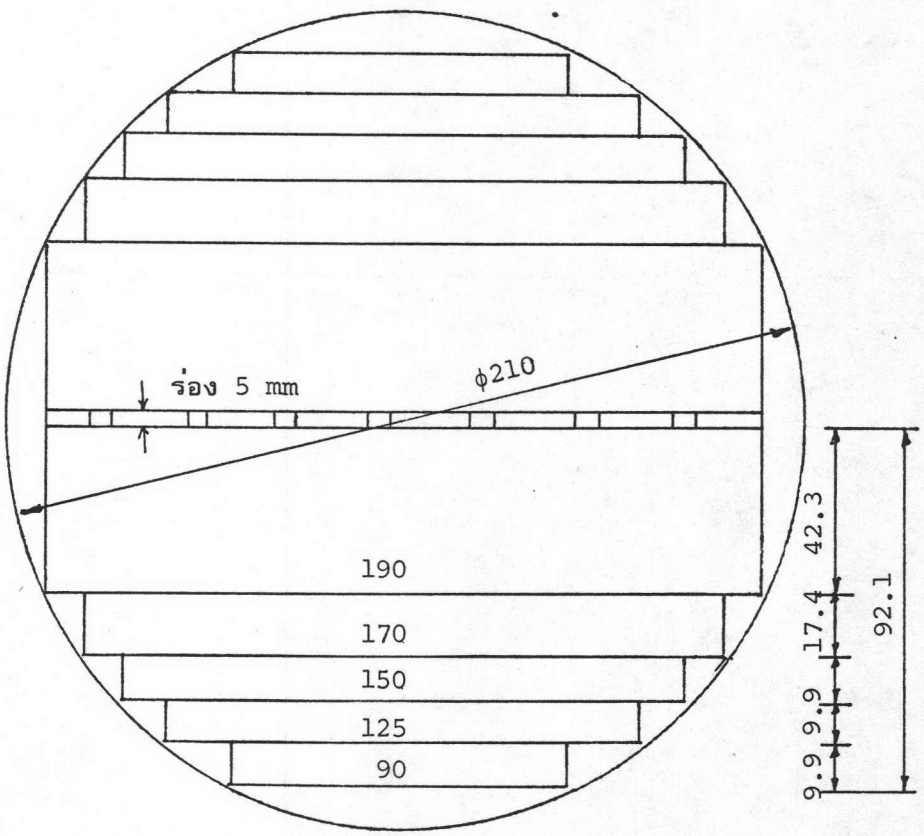
แกนเหล็กของหม้อแปลงนี้เป็นแบบคอร์ พื้นที่ภาคตัดขวางของแกนเหล็กเป็นแบบรูปเหลี่ยมอัดในวงกลม 5 ขั้น ดังแสดงในรูป 5.1 เหล็กซิลิคอนที่ใช้มีความหนาแผ่นละ 0.30 mm. จากความกว้างของเหล็กซิลิคอนที่เลือกในหัวข้อ 4.1 สามารถคำนวณจำนวนแผ่นของขนาดความกว้างแต่ละแผ่นได้ดังนี้

เหล็กซิลิคอน กว้าง	190	mm.	จำนวนแผ่น	=	2x141 แผ่น
"	170	mm.	"	=	2x58 แผ่น
"	150	mm.	"	=	2x42 แผ่น
"	125	mm.	"	=	2x33 แผ่น
"	90	mm.	"	=	2x33 แผ่น

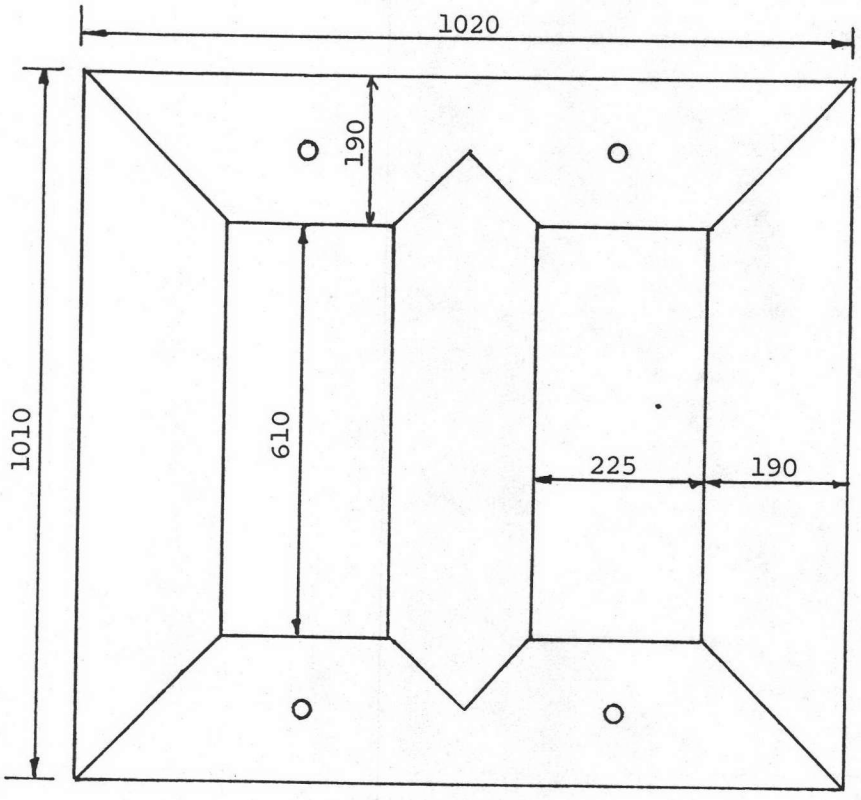
รายละเอียดดังแสดงในรูป 5.1 ส่วนขนาดของด้านต่าง ๆ ของแกนเหล็กแสดงในรูป 5.2 โดยที่พื้นที่ภาคตัดขวางของทั้ง 3 ขาของแกนเหล็กและโย้กจะเป็นดังในรูป 5.1

แผ่นเหล็กซิลิคอนที่ใช้จะมี 3 แบบ คือ แบบ ก, ข และ ค ดังแสดงในรูป 5.3 ขนาดและจำนวนที่ใช้ของแต่ละแบบแสดงในตาราง 5.1ก, 5.1ข และ 5.1ค ตามลำดับ ส่วนรูป 5.4ก, 5.4ข และ 5.4ค แสดงรายละเอียดของแต่ละแผ่น การประกอบแกนเหล็กจะเรียงทีละชั้น แต่ละชั้นใช้แบบ ก. 2 แผ่น แบบ ข. 1 แผ่น และแบบ ค. 2 แผ่น แนวรอยต่อของชั้นที่วางซ้อนกันจะเหลื่อมกันประมาณ 4 mm ดังแสดงในรูป 5.5ก เนื่องจากความกว้างของแกนเหล็กนี้ มีขนาดถึง 1020 mm ฉะนั้นเพื่อให้แกนเหล็กซึ่งประกอบจากแผ่นเหล็กบาง ๆ วางซ้อนกันยึดกันแน่นและมั่นคงเวลายึดกับเหล็กแคลมป์จึงใช้สกรูยึดเพิ่มตรงกลางอีก 2 ตัว ตรงโย้กส่วนบนและส่วนล่าง ดังในรูป 5.2 โดยเจาะรูใส่สกรูนอตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 mm เมื่อเรียงแกนเหล็กเสร็จแล้วก่อนจะประกอบยึดติดกับเหล็กแคลมป์จะใช้ฉนวนโพลีเอสเตอร์ฟิล์มกั้นระหว่างเหล็กซิลิคอน

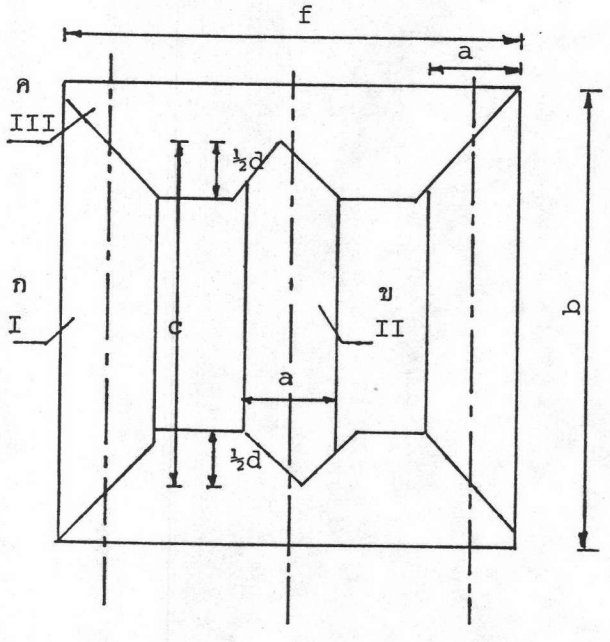
กับเหล็กแคลมป์เสียก่อน เพื่อป้องกันการเหนี่ยวนำในเหล็กแคลมป์ทำให้เกิดความร้อนสูง รายละเอียดการประกอบสร้างแกนเหล็กแสดงดังในรูป 5.5ก ถึง 5.5 ฉ



รูป 5.1 รายละเอียดด้านต่าง ๆ ของภาคตัดขวางแกนเหล็ก



รูป 5.2 ขนาดส่วนต่าง ๆ ของแกนเหล็ก



รูป 5.3 แบบแผ่นเหล็กซิลิคอนประกอบด้วยส่วนที่ I,II และ III

ตาราง 5.1ก. แบบ I

Number of Sheets	b	c	a
564	1000	810	190
232	960	790	170
168	920	770	150
132	870	745	125
132	820	730	90

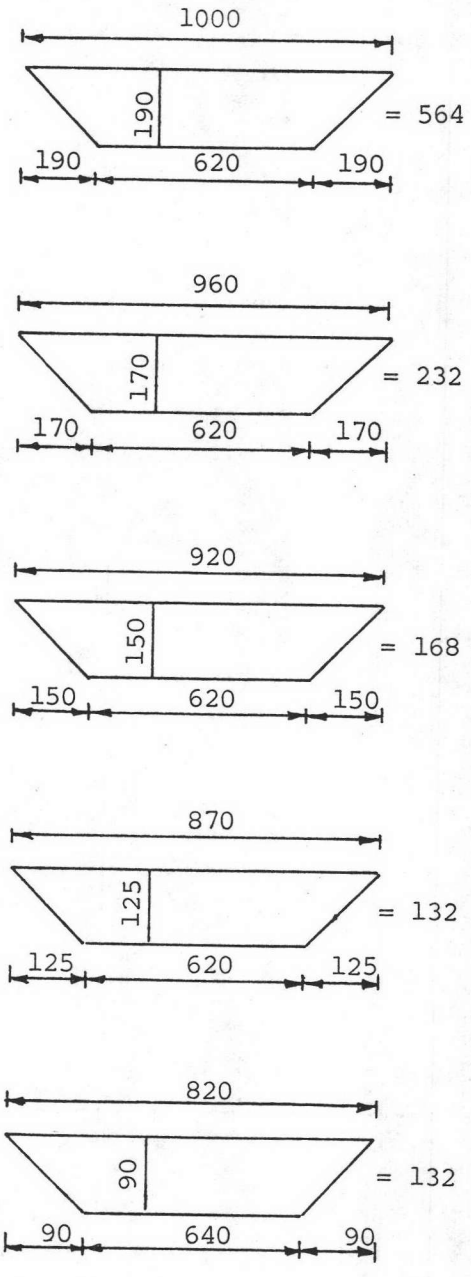
ตาราง 5.1ข. แบบ II

Number of Sheets	a
282	190
116	170
84	150
66	125
66	90

ตาราง 5.1ค. แบบ III

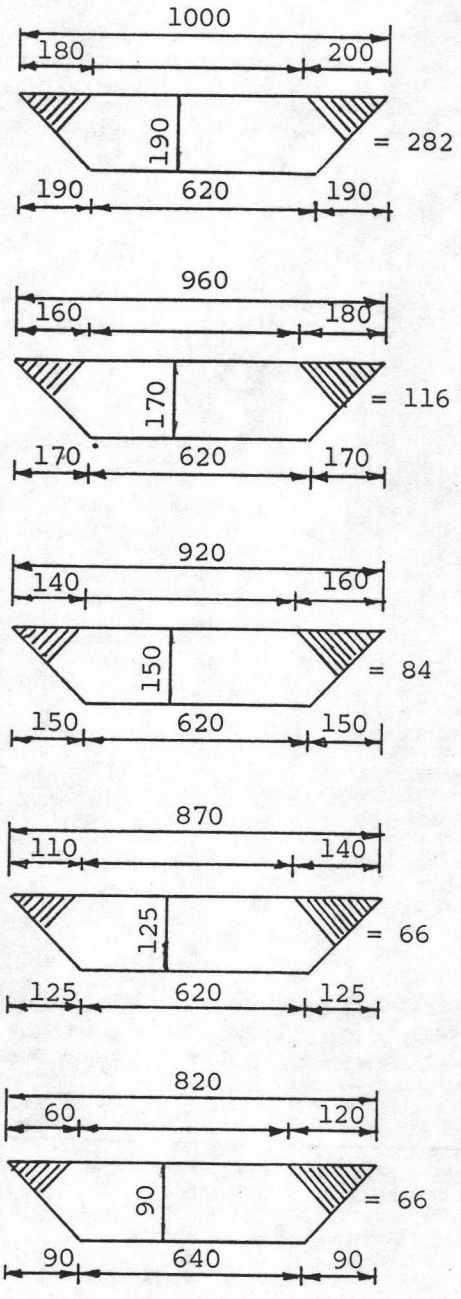
Number Sheets	f	d
564	1020	190
232	1000	170
168	980	150
132	960	125
132	930	90

ตาราง 5.1 แสดงขนาดและจำนวนแผ่นที่ใช้ของแผ่นเหล็กซิลิคอน



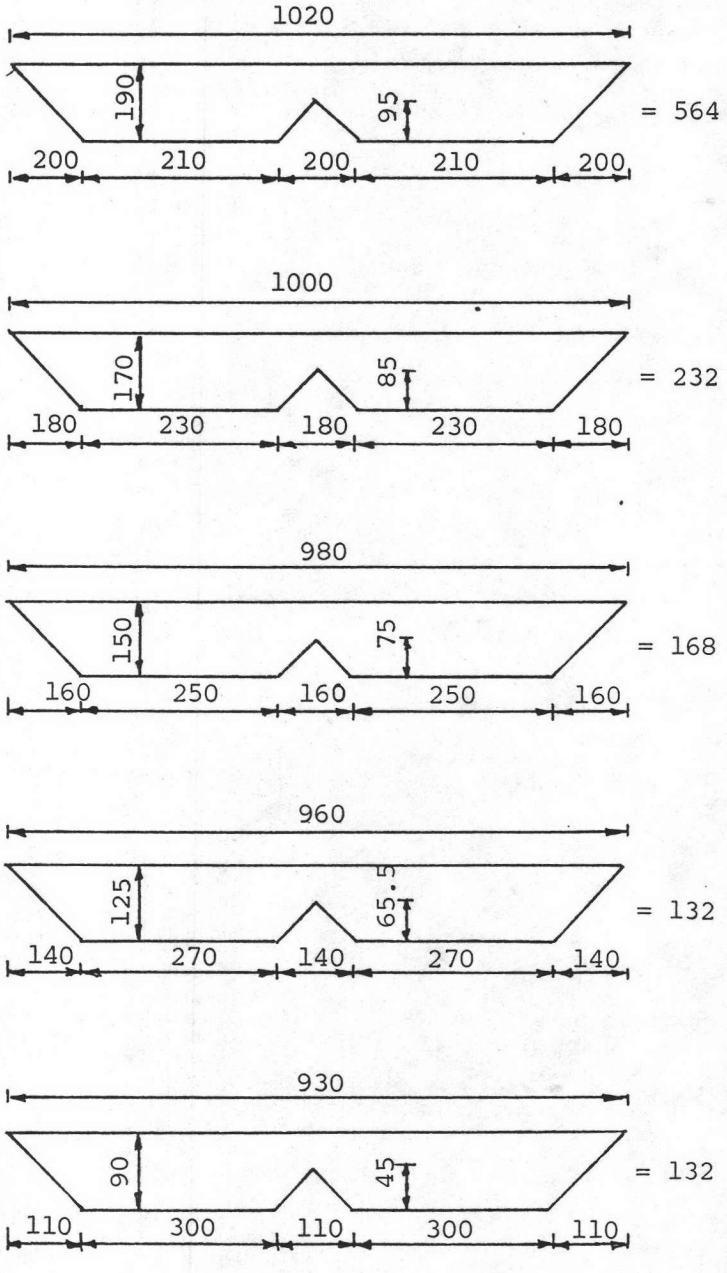
รูป 5.4 ก

ขนาดของแผ่นเหล็กซิลิคอน แบบ I

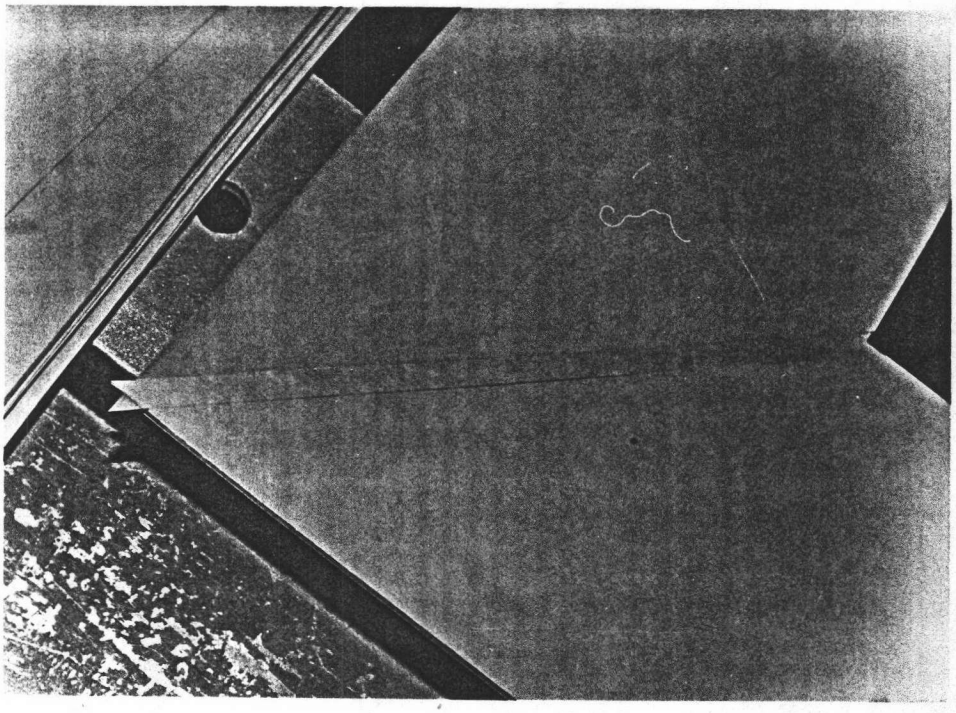


รูป 5.4 ข

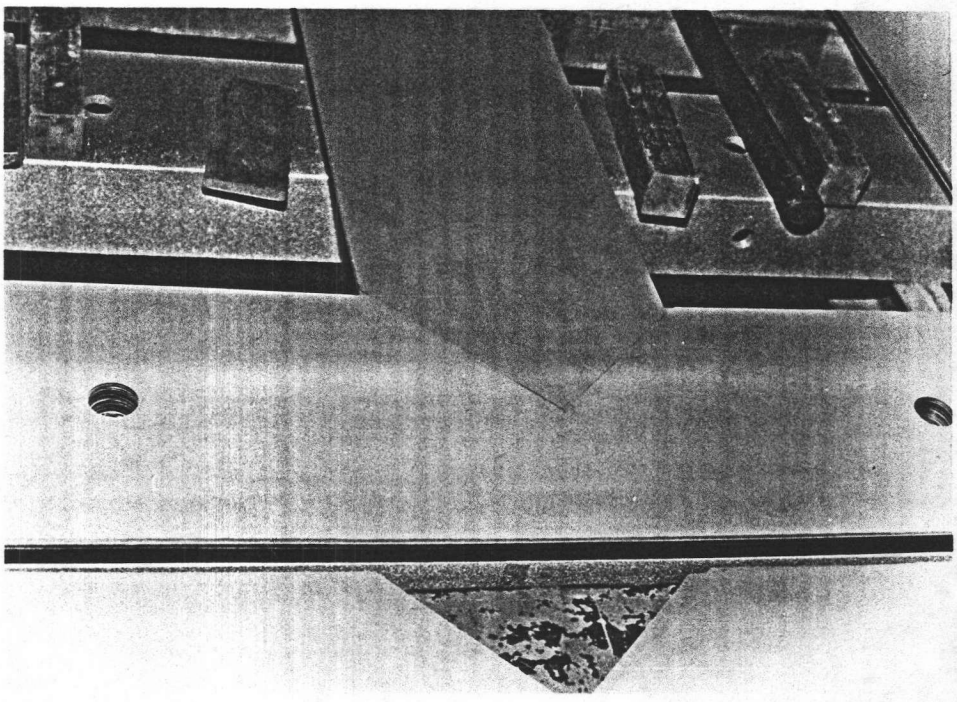
ขนาดของแผ่นเหล็กซิลิคอน แบบ II



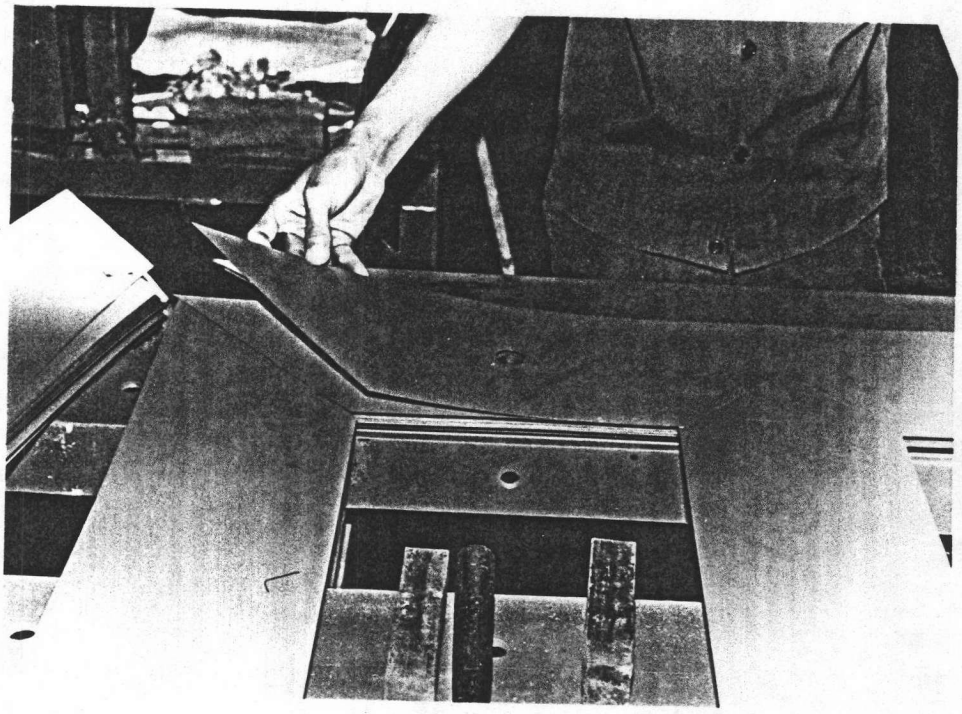
รูป 5.4ค ขนาดของแผ่นเหล็กซิลิคอน แบบ III



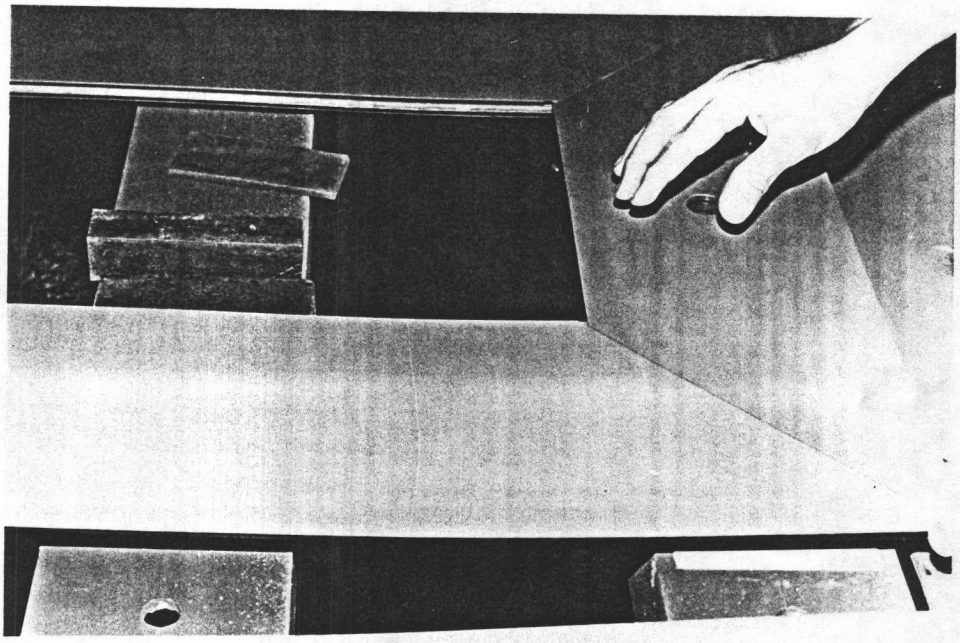
รูป 5.5 ก. การเรียงแผ่นเหล็กซิลิคอนรอยต่อระหว่างชั้นจะเหลื่อมกัน ประมาณ 4 mm



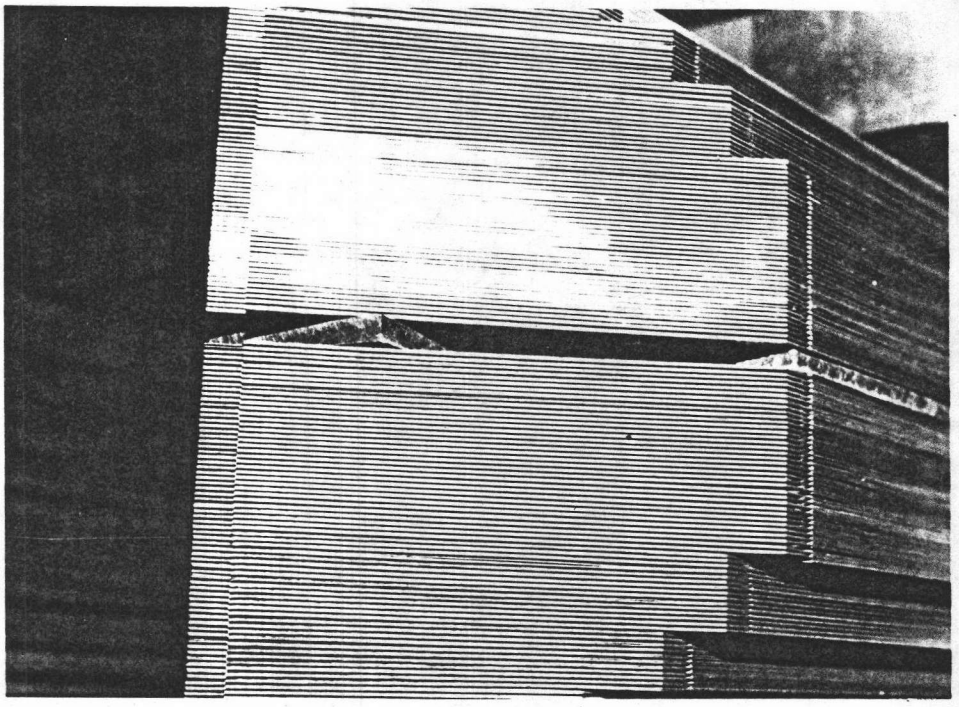
รูป 5.5 ข. รอยต่อของแผ่นเหล็กซิลิคอนในชั้นเดียวกันจะต้องชนกันสนิท



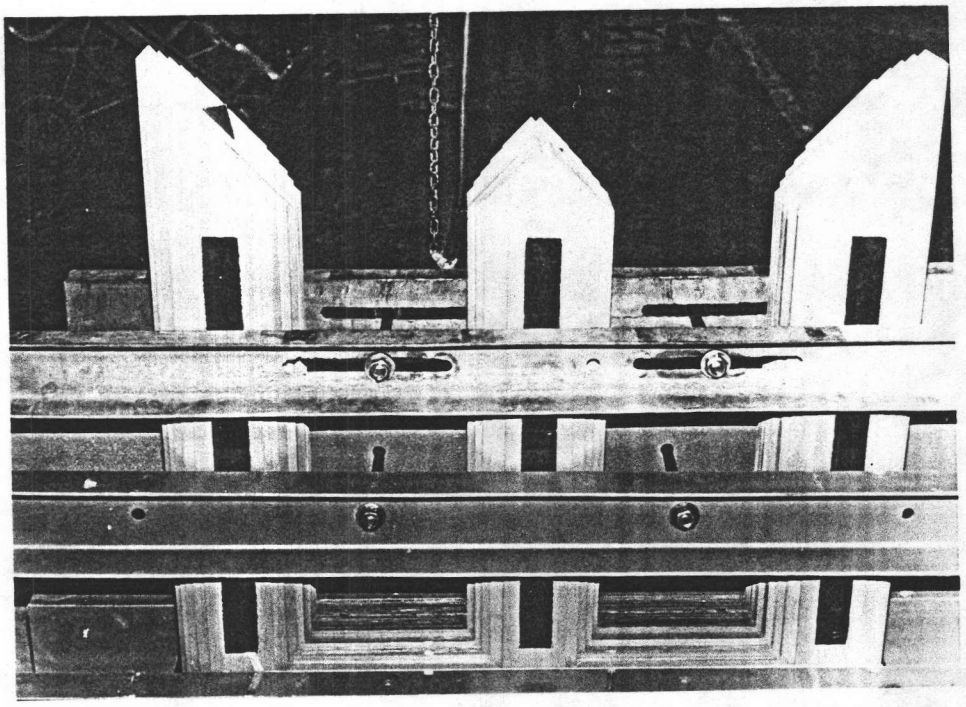
รูป 5.5 ค. แสดงให้เห็นรูที่เจาะตรงกึ่งกลางหน้าต่างไว้สำหรับร้อยนอต



รูป 5.5 ง. การเรียงแผ่นเหล็กซิลิคอนตรงรอยต่อของมุม



รูป 5.5 จ. แสดงให้เห็นร่องระบายความร้อนโดยใช้เบกไลต์วางกึ่งกลาง



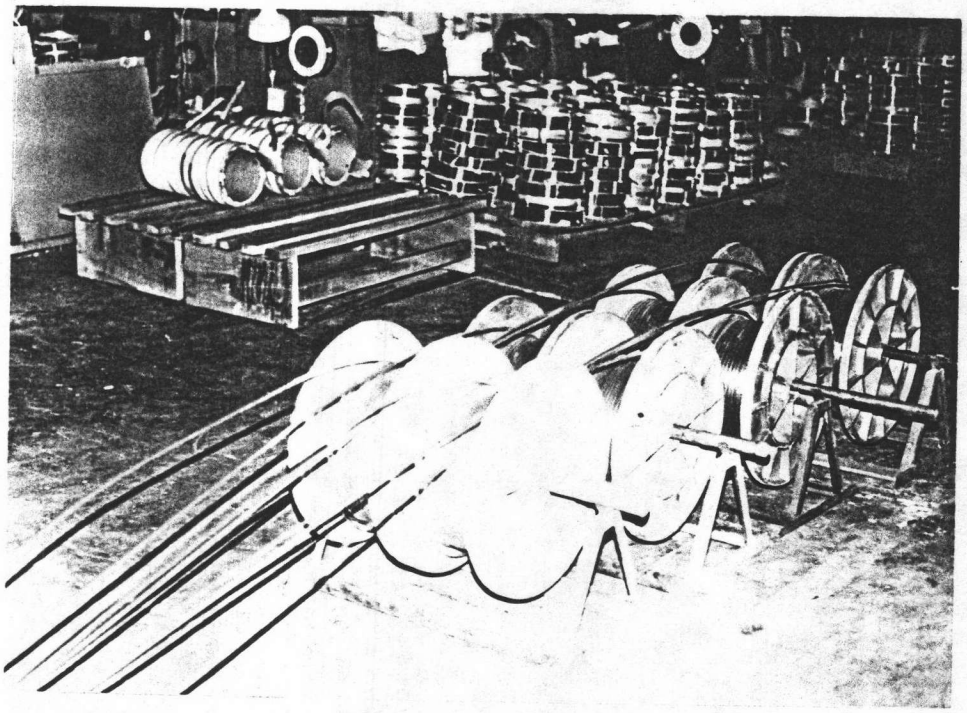
รูป 5.5 ฉ. การยึดติดแผ่นเหล็กซิลิคอนที่เรียงเสร็จแล้วโดยแผ่นเหล็ก
2 ท่อนกลางยึดไว้ชั่วคราว

5.2 การประกอบขดลวด

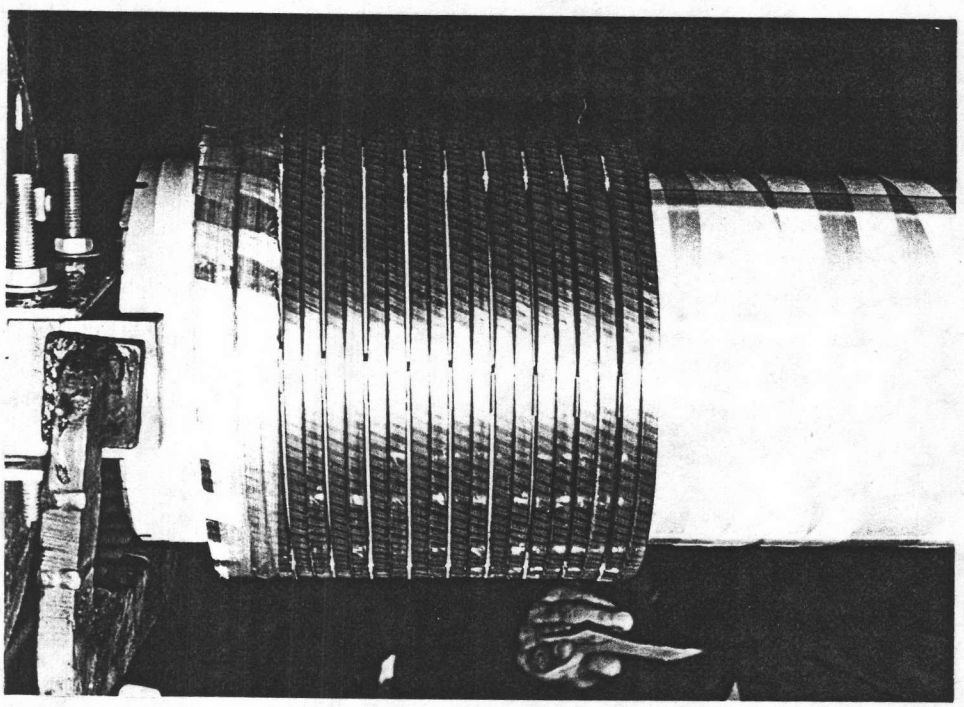
5.2.1 ขดลวดแรงต่ำ

ขดลวดแรงต่ำจะพันบนแบบไม้ทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงนอกเท่ากับ 245 mm ซึ่งเท่ากับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางวงในของขดลวดแรงต่ำที่ออกแบบไว้ในหัวข้อ 4.2 การพันจะใช้เครื่องพันที่มีมอเตอร์ช่วยหมุน โดยพันจากซ้ายไปขวา หนึ่งรอบของขดลวดแรงต่ำจะประกอบด้วยลวดทองแดงพื้นที่ภาคตัดขวาง 5.4x10.4 mm ทั้งหมด 8 เส้น ลักษณะการวางลวดทองแดงพันเป็น 2x4 เส้น ดังแสดงในรูป 5.6ก ขดลวดแรงต่ำมีทั้งหมด 22 รอบ ต่อ 1 เฟส เมื่อพันไป 11 รอบ จะมีการสลับตำแหน่งของขดลวดแล้วจึงพันต่อจนครบ ระหว่างรอบของขดลวดแรงต่ำจัดให้มีร่องระบายความร้อน ร่องละ 2 mm ดังแสดงในรูป 5.6ข เมื่อพันขดลวดแรงต่ำเสร็จแล้วจึงพันฉนวนโพลีเอสเตอร์ฟิล์ม ขนาดความหนา 350 μm จำนวน 8 ชั้น ทำหน้าที่ใช้เป็นฉนวนกั้นระหว่างขดลวดแรงสูงกับขดลวดแรงต่ำ ด้านนอกและด้านในของโพลีเอสเตอร์ฟิล์มทั้ง 2 ด้าน มีร่องระบายความร้อน โดยใช้เบกไลต์ วางคั่นเป็นช่วง ๆ ดังแสดงในรูป 5.6ซ ด้านที่ติดกับขดลวดแรงต่ำจะใช้ เบกไลต์ หนา 7 mm ส่วนด้านนอกซึ่งติดกับขดลวดแรงสูงจะใช้เบกไลต์ หนา 5 mm การพันฉนวนโพลีเอสเตอร์ฟิล์มกับการวางแท่ง เบกไลต์ ใช้โพลีเอสเตอร์ฟิล์มบางขนาด 50 μm ตัดเป็นเส้นยาว ๆ ช่วยในการยึดให้ติดอยู่กับขดลวดแรงต่ำ

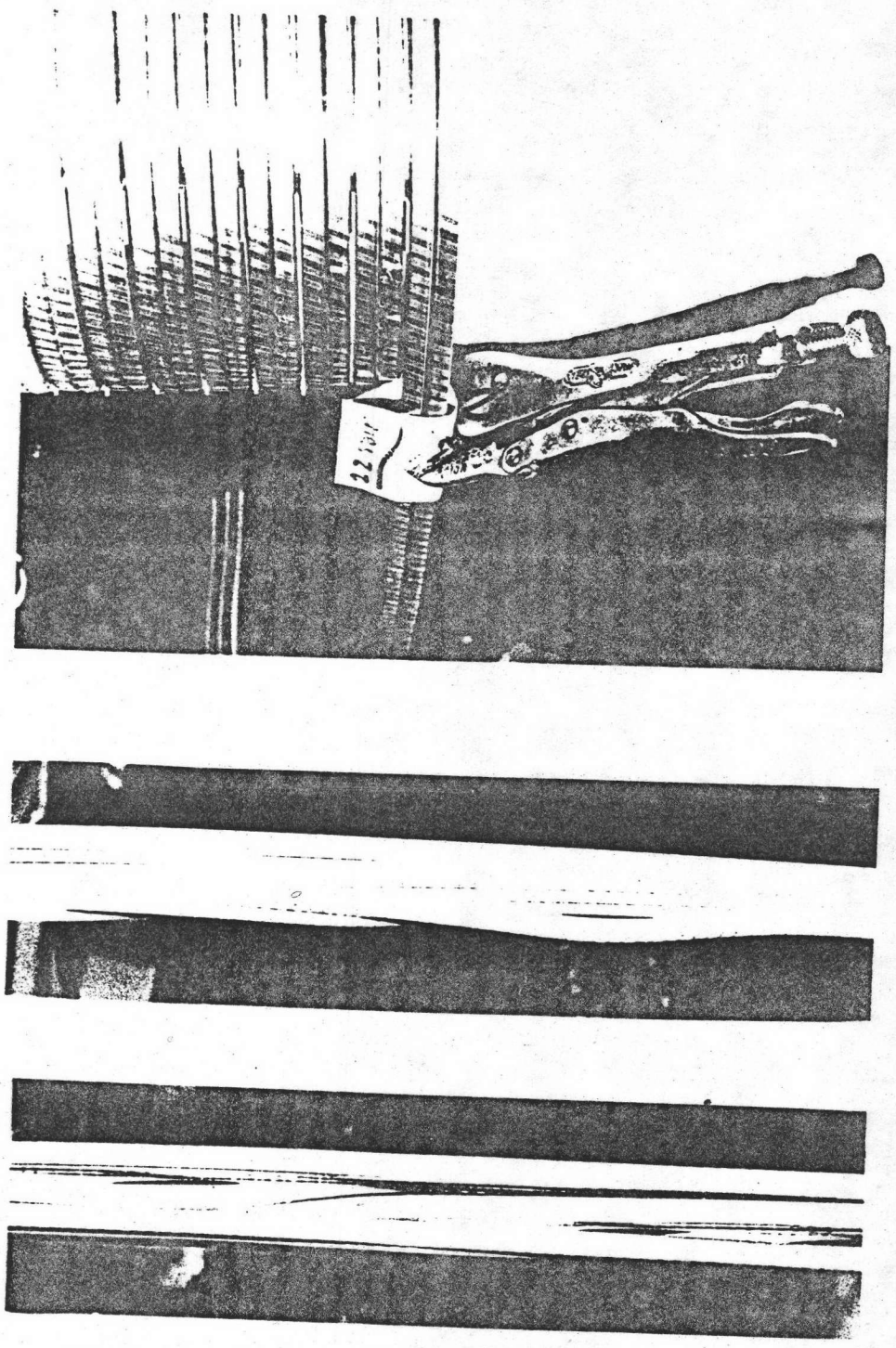
รูปแสดงการพันขดลวดแรงต่ำและฉนวนระหว่างขดลวดแรงต่ำกับแรงสูงมีดังนี้



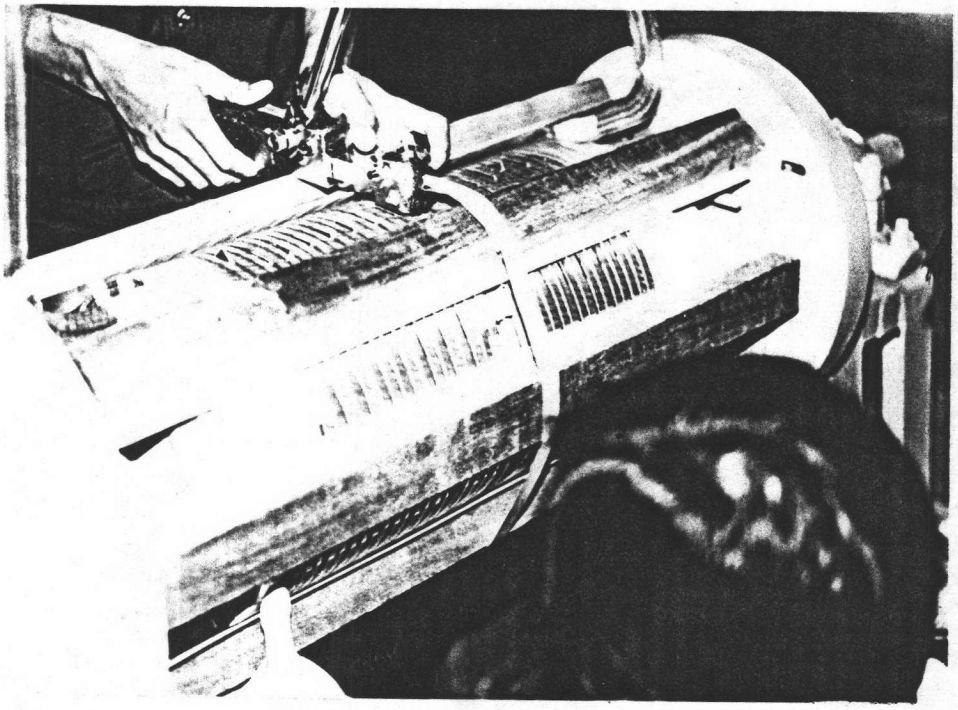
รูป 5.6 ก. การวางม้วนของลวดตัวนำที่จะใช้ในการพันขดลวดแรงต่ำ



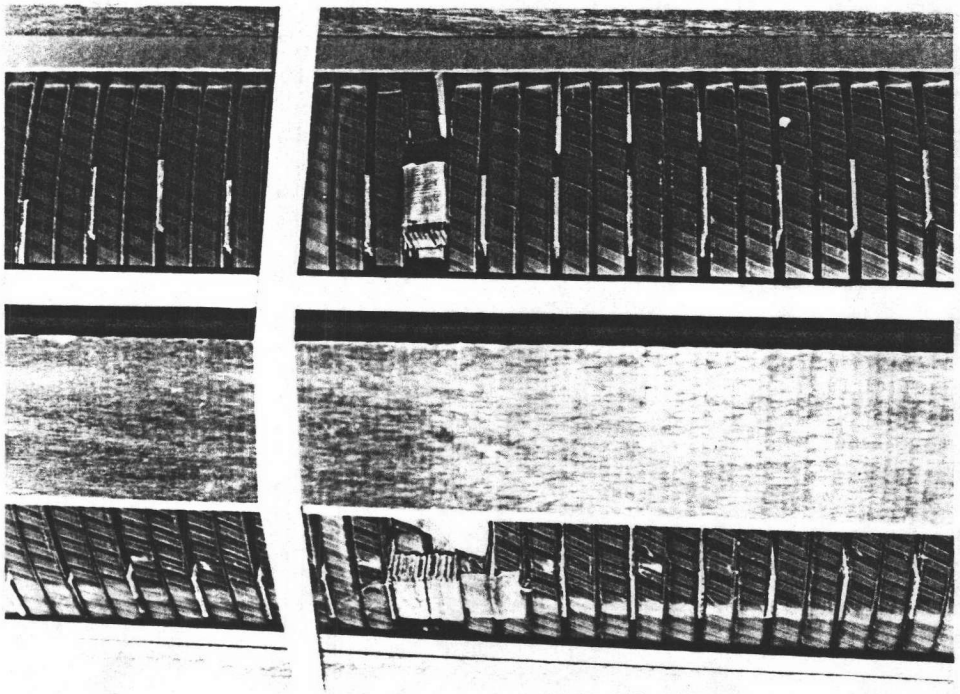
รูป 5.6 ข. การพันขดลวดแรงต่ำจะพันจากซ้ายไปขวาใส่ร่องระหว่างรอบ 2 mm



รูป 5.6 ค. เมื่อพันขดลวดได้ครบ 11 รอบ จะสลับตำแหน่งของขดลวด

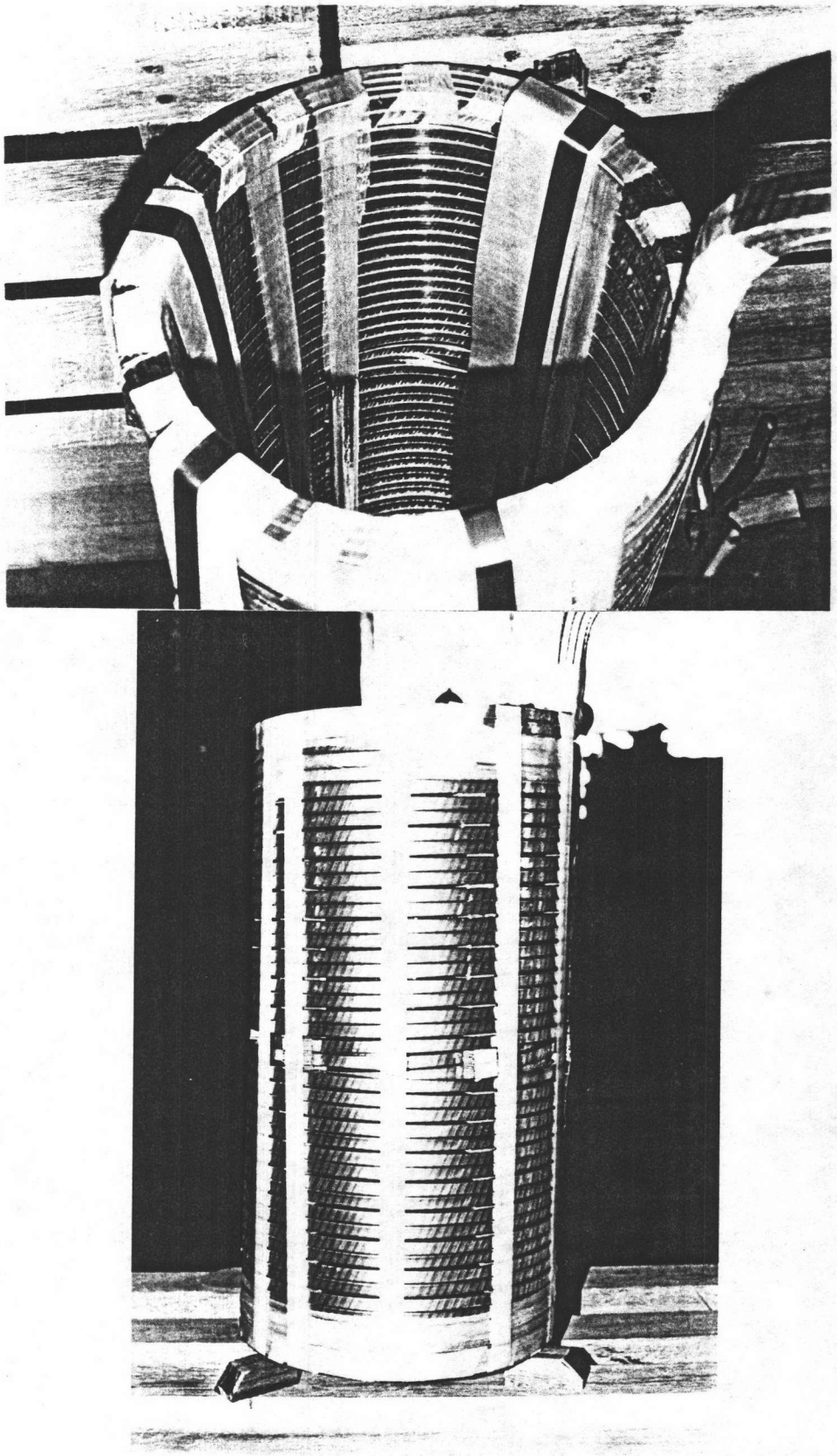


รูป 5.6 ง. การนำขดลวดออกจากเครื่องพันจะต้องใช้ไม้ประกบ
เพื่อกันไม่ให้ขดลวดคลายตัว

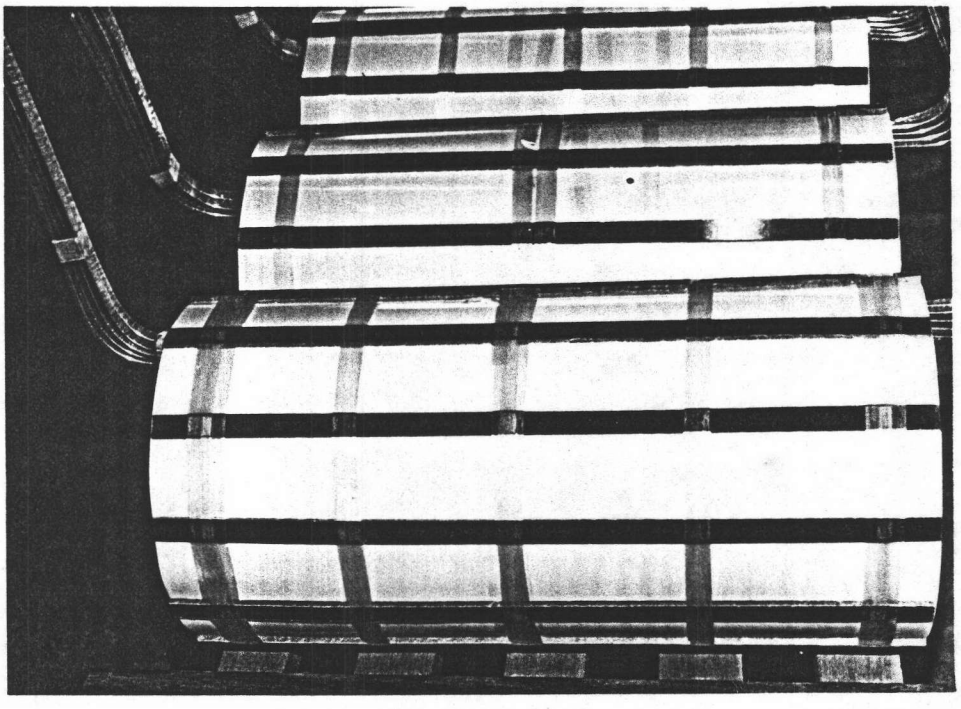


รูป 5.6 จ. รายละเอียดการวางเบกไลต์ระหว่างชั้นที่ 11 กับ 12

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.6 ฉ. ภายในและภายนอกของขดลวดเมื่อถอดไม้ที่ประกบออกแล้ว



รูป 5.6 ช. การพันโพลีเอสเตอร์ฟิล์มทับขดลวดแรงต่ำและวางแท่งเบกไลต์ทั้ง 2 ด้านของโพลีเอสเตอร์ฟิล์มด้วย เพื่อให้เกิดร่องระบายความร้อน

5.2.2 <u>ขดลวดแรงสูง</u>

ขดลวดแรงสูงประกอบด้วยจำนวน 1100 รอบ ต่อ 1 เฟส ในแต่ละเฟสประกอบด้วยขดลวดทั้งหมด 10 ตอน ดังรายละเอียดในขั้นตอนออกแบบข้อ 4.2 ขดลวดทั้ง 10 ตอนนี้ทำการพันโดยแบ่งเป็น 3 กลุ่มด้วยกัน คือ

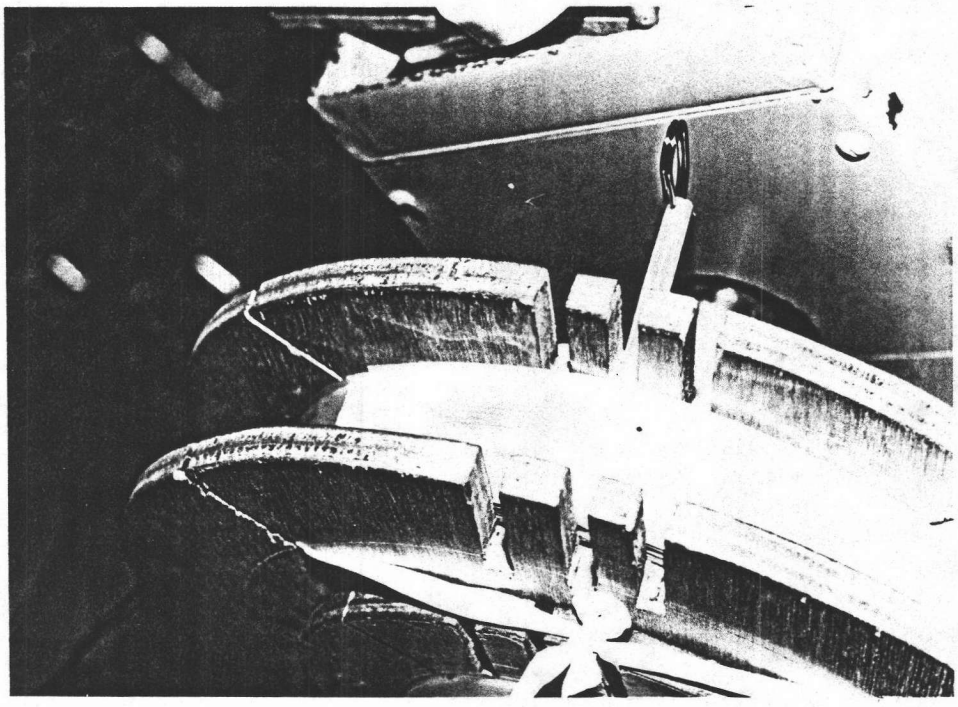
กลุ่มที่ 1 เป็นขดลวดแรงสูง ตอนที่ 1 กับตอนที่ 10 ซึ่งมีความกว้างของแบบไม้ที่ใช้พันเท่ากับ 22 mm รวมทั้งหมด 6 ตอน

กลุ่มที่ 2 เป็นขดลวดแรงสูง ตอนที่ 2, 3, 4, 7, 8 และ 9 มีความกว้างของแบบไม้ที่ใช้พันเท่ากับ 50 mm รวมทั้งหมด 18 ตอน

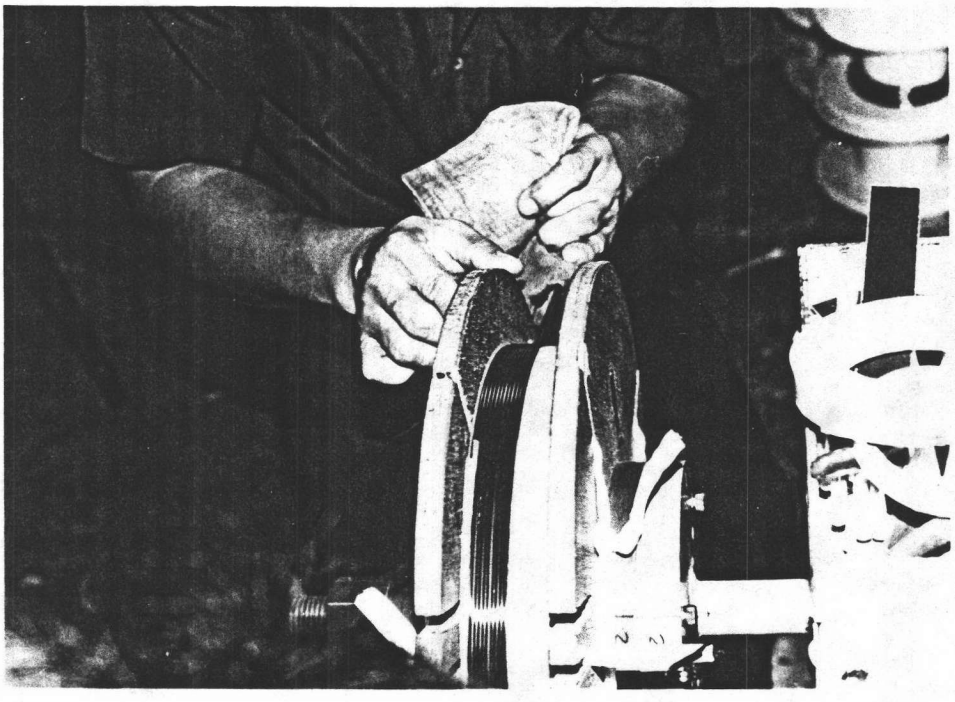
กลุ่มที่ 3 เป็นขดลวดแรงสูง ตอนที่ 5 และ 6 มีความกว้างของแบบไม้ที่ใช้พันเท่ากับ 50 mm เป็นตอนที่ใช้ในการต่อจุดแยกของหม้อแปลงโดยที่มีจุดแยกละ 2.5 % ของจำนวนขดลวด (เท่ากับ 27 รอบครึ่ง) แต่ละตอนมี 2 จุดแยก ฉะนั้นลวดตัวนำที่ออกมาแต่ละตอนจะมีทั้งหมด 4 จุด คือ หัวท้าย 2 จุด และจุดแยกอีก 2 จุด

รายละเอียดของจำนวนรอบและจำนวนชั้นของแต่ละตอนแสดงไว้ในรูป 4.4 ในการพันแต่ละชั้นของขดลวดจะฉนวนด้วยโพลีเอสเตอร์ฟิล์มรวมทั้งมีร่องระบายความร้อนทุก ๆ 4 ชั้น ดังแสดงในรูป 4.5

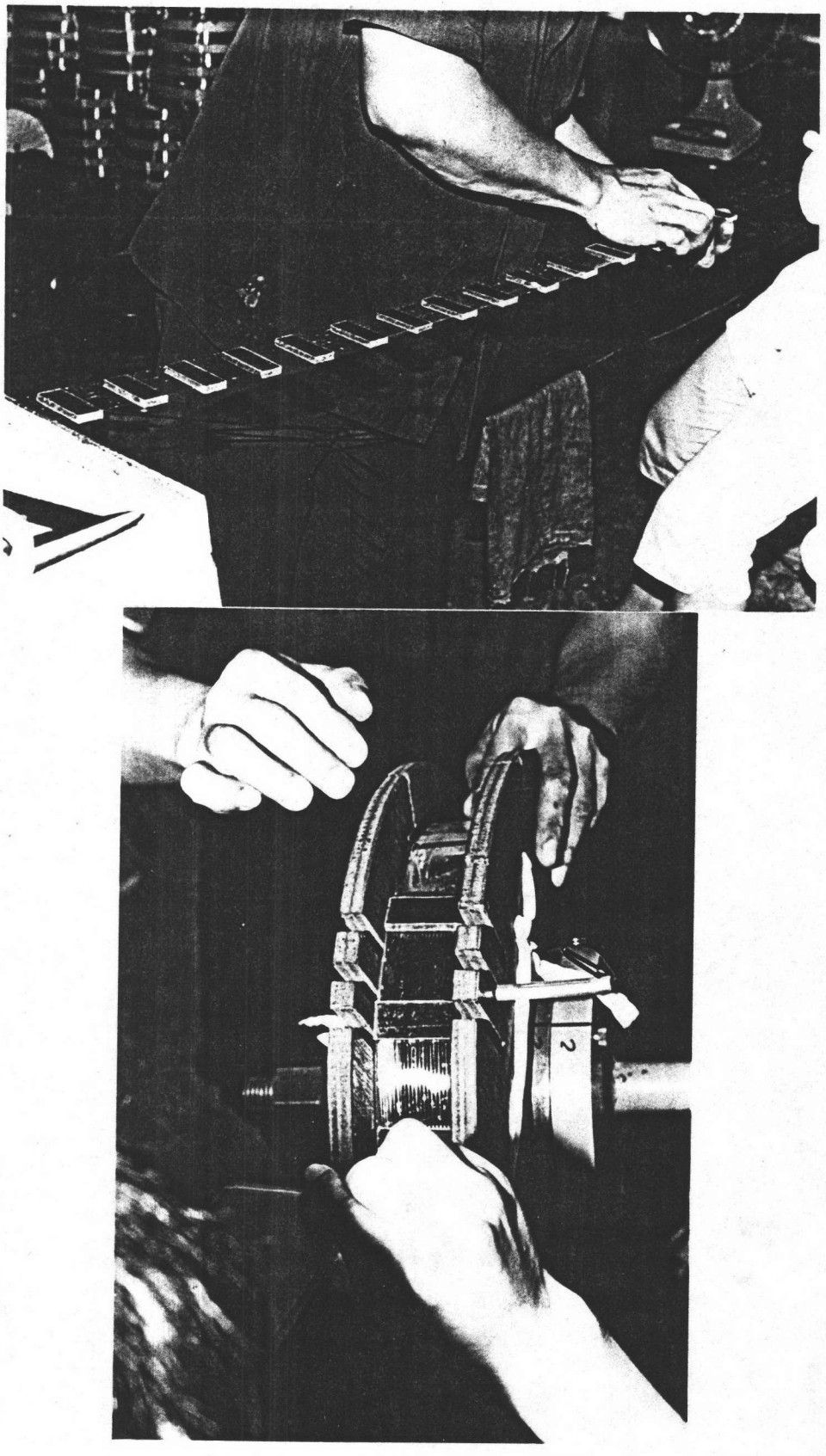
รูปแสดงขั้นตอนการพันขดลวดแรงสูงมีดังนี้



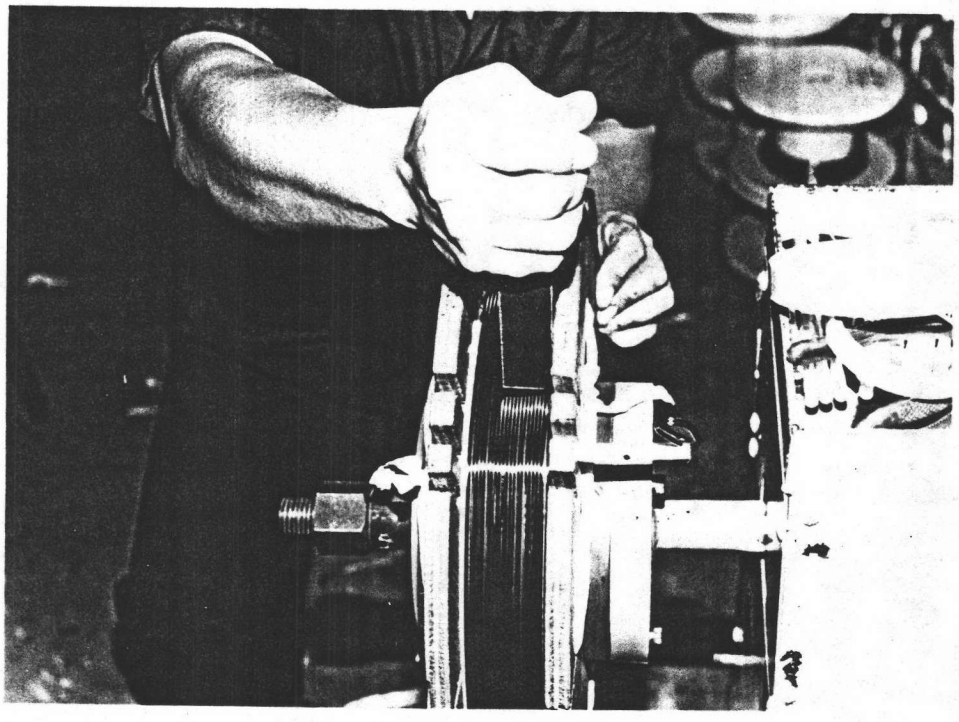
รูป 5.7 ก. การพันขดลวดแรงสูงแต่ละชั้นจะใช้โพลีเอสเตอร์ฟิล์มวางคั่น ขนาด 75 μm 2 แผ่น วางคั่นเป็นฉนวน



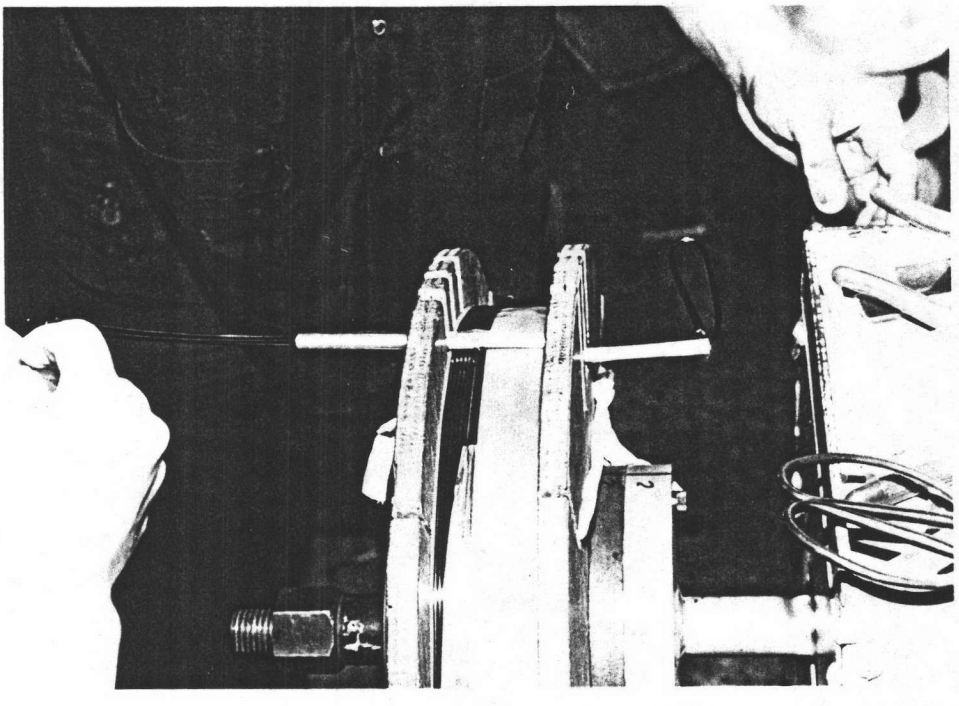
รูป 5.7 ข. การพันขดลวดแรงสูงในแต่ละรอบ



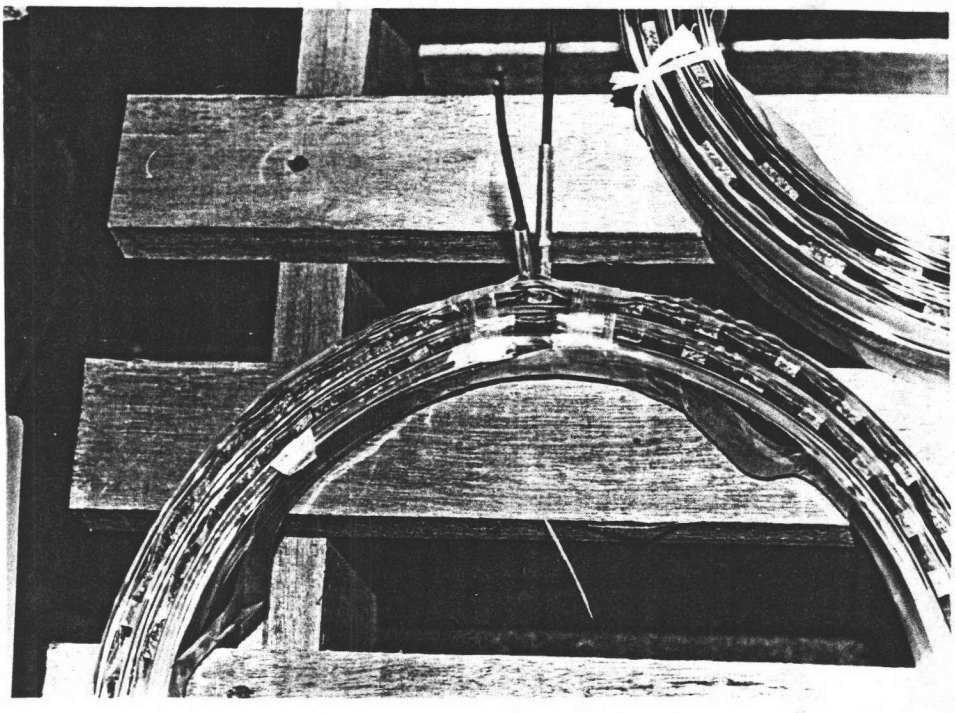
รูป 5.7 ค. เมื่อพันขดลวดแรงสูงครบ 4 ชั้นจะใส่ร่องระบายความร้อน



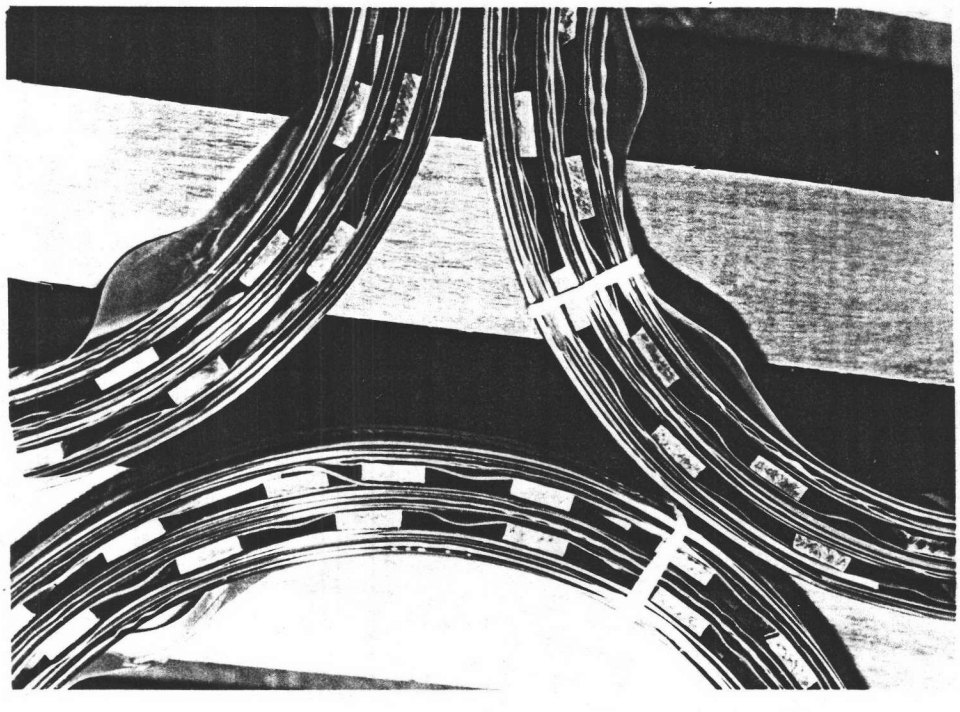
รูป 5.7 ง. การทำให้ขดลวดแต่ละชั้นเรียบเสมอกัน



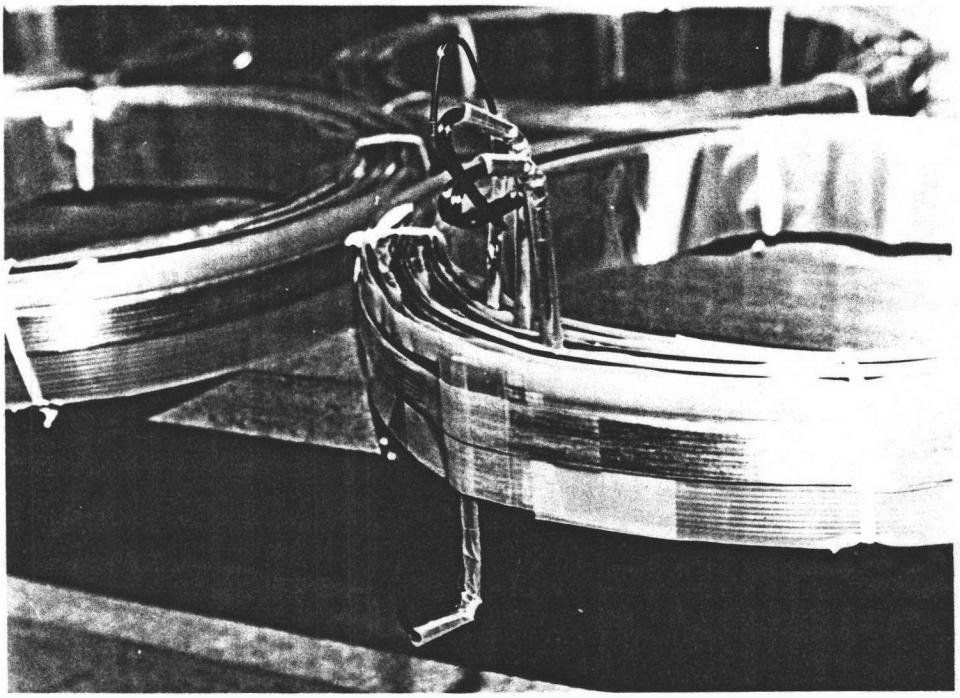
รูป 5.7 จ. การนำหัวสายของแต่ละตอนออกจะใส่ปลอกฉนวนของโพลีเอสเตอร์ฟิล์ม



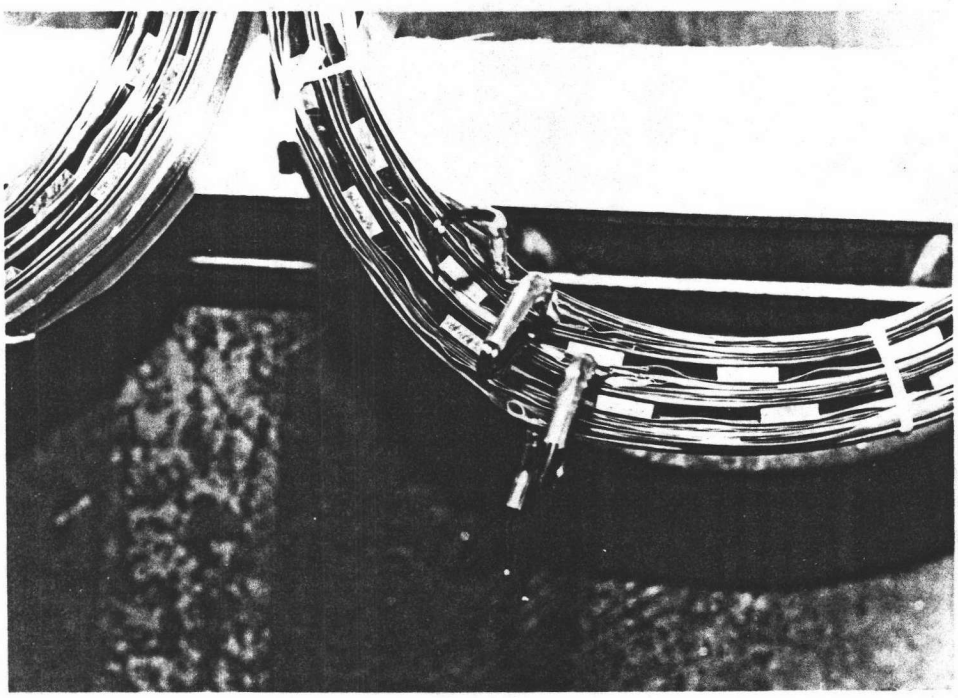
รูป 5.8 ก. ขดลวดแรงสูงที่พันเสร็จแล้วแต่ละตอน



รูป 5.8 ข. แสดงรายละเอียดของร่องระบายความร้อน



รูป 5.8 ง. ด้านบนของขดลวดแรงสูงสำหรับตอนที่มีจุดแยก



รูป 5.8 ค. ด้านข้างของขดลวดแรงสูงสำหรับตอนที่มีจุดแยก

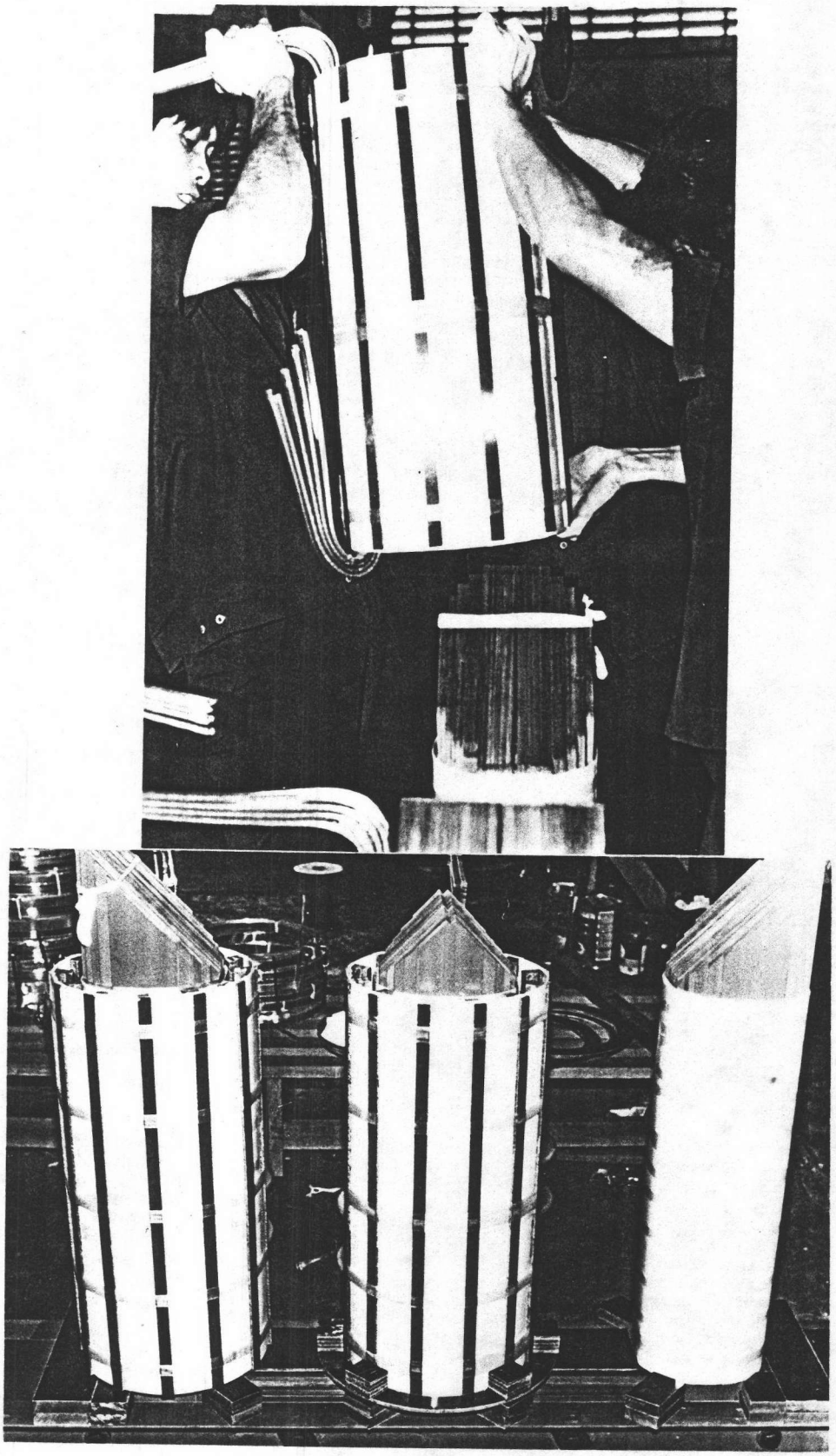
5.2.3 <u>การประกอบขดลวดลงแกนเหล็ก</u>

เมื่อพันขดลวดแรงสูงและแรงต่ำเสร็จเรียบร้อยแล้วก่อนจะประกอบขดลวดลงแกนเหล็กจะใช้โพลีเอสเตอร์ฟิล์ม ขนาด 350 μm พันรอบแกนเหล็ก 5 ชั้นก่อน เพื่อเป็นฉนวนระหว่างขดลวดแรงต่ำกับแกนเหล็ก มีร่องระบายความร้อนโดยใช้เบกไลต์ หนา 5 mm วางคั่นเป็นช่วง เมื่อพันฉนวน 5 ชั้นเรียบร้อยแล้วจึงสวมขดลวดแรงต่ำลงแกนเหล็กก่อนจากนั้นจึงตอกเบกไลต์ หนา 5 mm เป็นช่วง ๆ ลงในระหว่างโพลีเอสเตอร์ฟิล์มกับขดลวดแรงต่ำด้านใน ดังแสดงในรูป 5.9ข สำหรับช่องว่างหัวท้ายระหว่างขดลวดกับแกนเหล็กใช้ เบกไลต์ชนิดหนารองเป็นช่วง ๆ เพื่อให้รับน้ำหนักของขดลวดได้

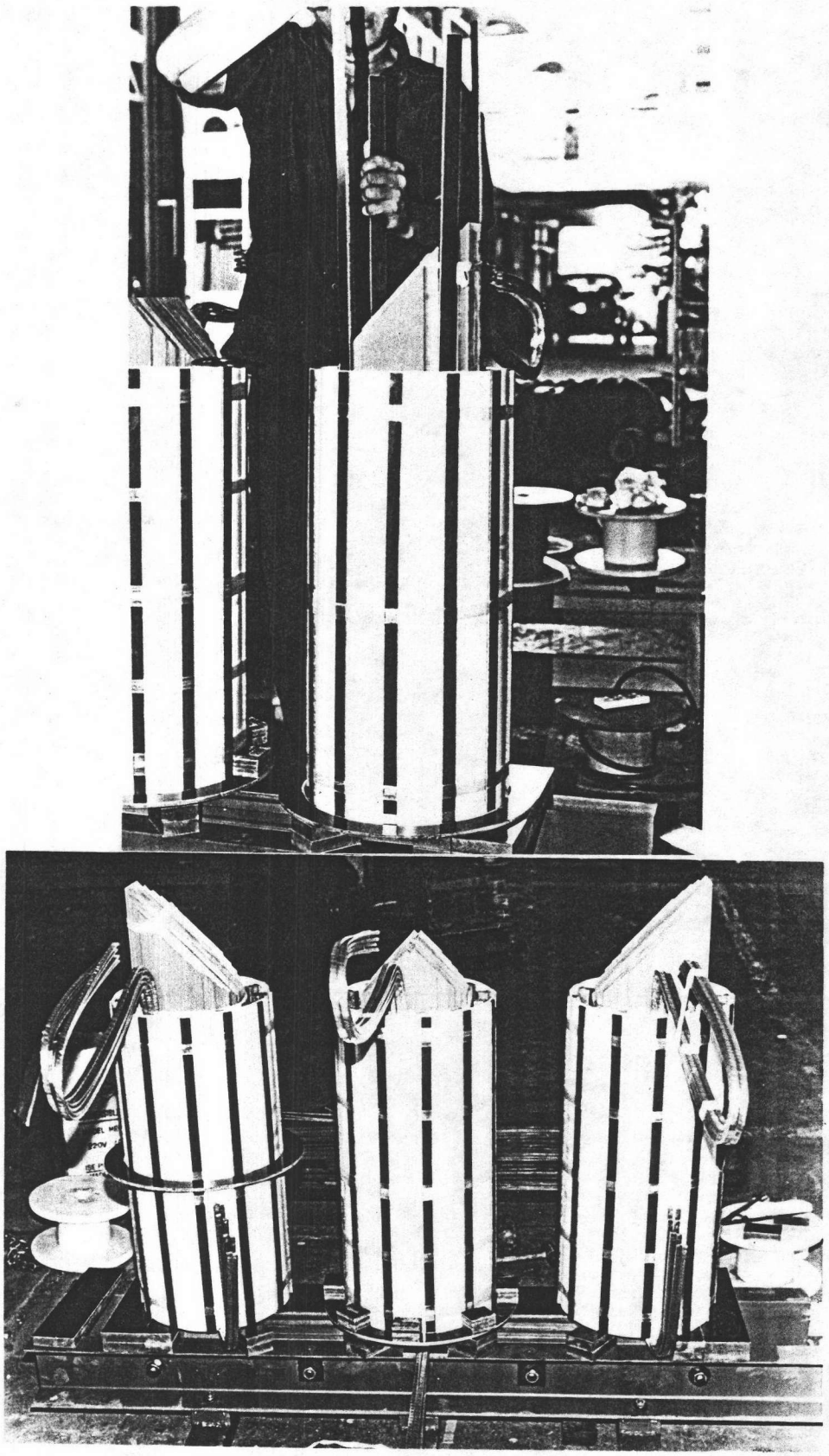
หลังจากประกอบขดลวดแรงต่ำแล้วขั้นต่อไปประกอบขดลวดแรงสูง แต่ละตอนของขดลวดวางห่างกันตามระยะที่ออกแบบไว้ในข้อ 4.2 โดยใช้ เบกไลต์ วางเป็นระยะให้เกิดช่องว่างตามต้องการ เวลาประกอบลงแกนเหล็กเริ่มใส่ตอนที่ 10 ก่อน ตามลำดับจนถึงตอนที่ 1 เมื่อประกอบลงแกนเหล็กครบทั้ง 3 เฟสแล้ว นำเหล็กซิลิคอนแผ่นส่วนโย้กมาเรียงประกอบปิดด้านบนแล้วยึดด้วยแคลมป์

หลังจากประกอบแกนเหล็กส่วยโย้กเรียบร้อยแล้วจึงทำการเชื่อมแต่ละตอนของขดลวดเข้าด้วยกันพร้อมทั้งต่อจุดแยกทั้งหมดไปยังตำแหน่งของการเปลี่ยนจุดแยกด้านบน ลักษณะการต่อขดลวดแต่ละตอน แสดงในรูป 5.11 ก

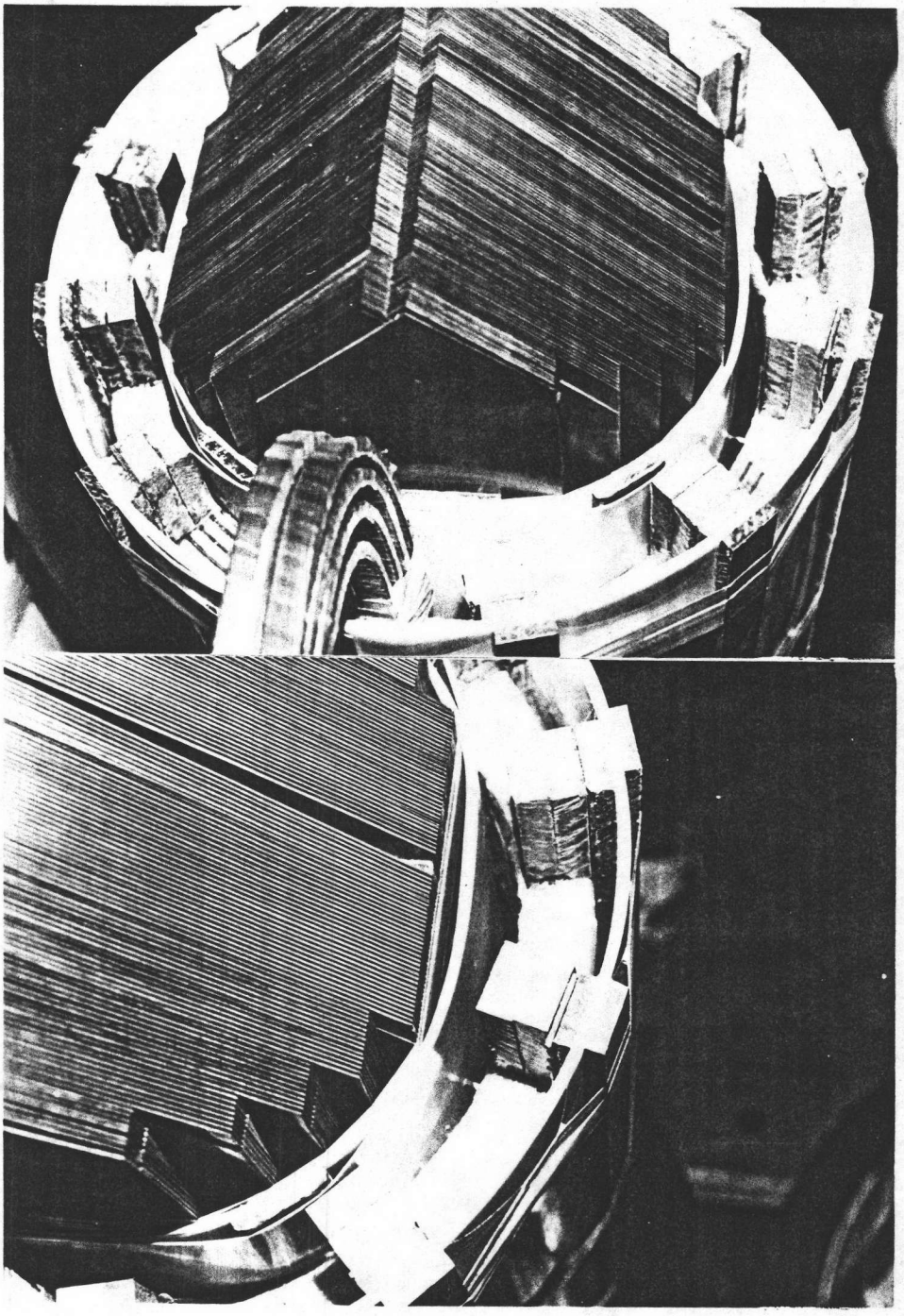
ขั้นตอนการประกอบขดลวดลงแกนเหล็กแสดงดังในรูป 5.9 ก ถึง 5.11 จ



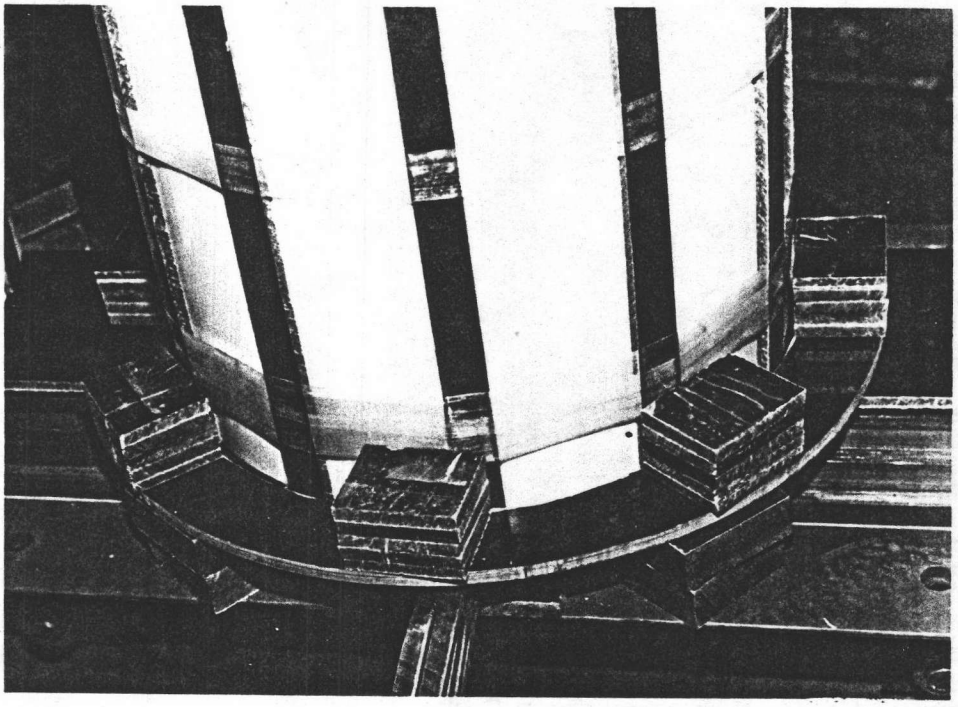
รูป 5.9 ก. การใส่ขดลวดแรงต่ำลงในแกนเหล็ก



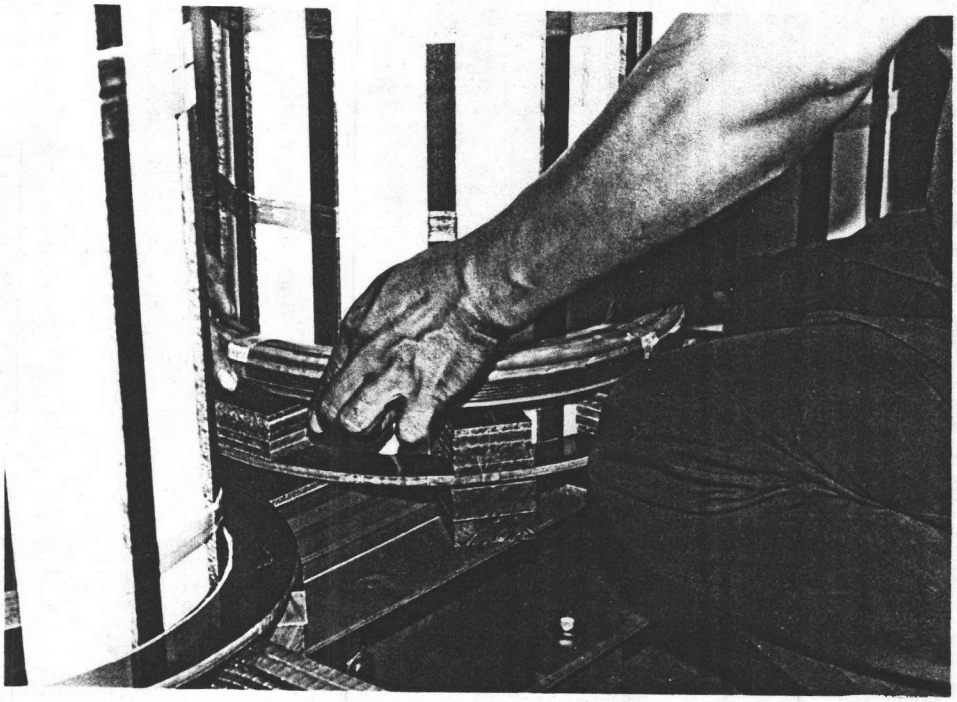
รูป 5.9 ข. การตอก เบกไลต์ เพื่อทำให้ เกิดร่องระบายความร้อนตรงด้านในของขดลวดแรงต่ำ



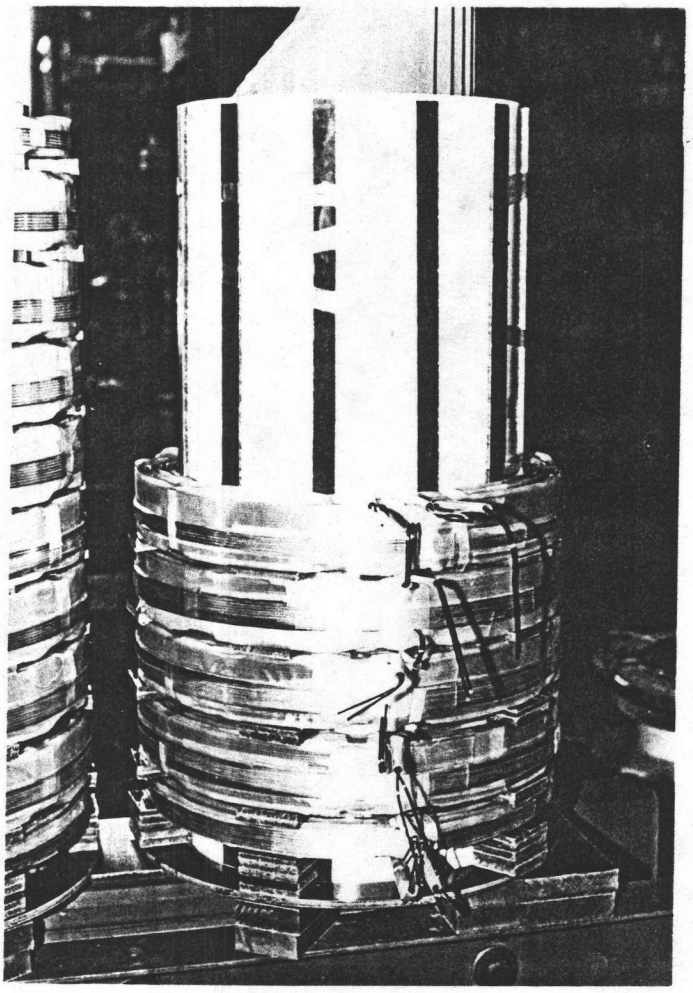
รูป 5.9 ค. ด้านบนของแกนเหล็กเมื่อประกอบขดลวดแรงต่ำแล้ว



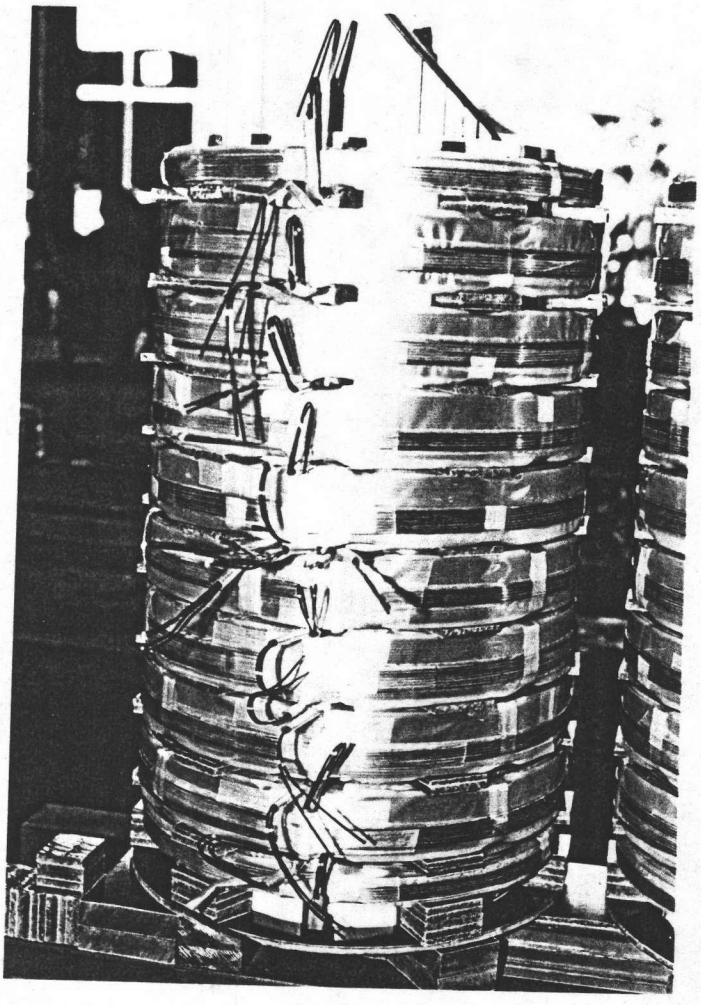
รูป 5.10 ก. การวางเบกไลต์เพื่อเป็นตัวรองรับขดลวดแรงสูง



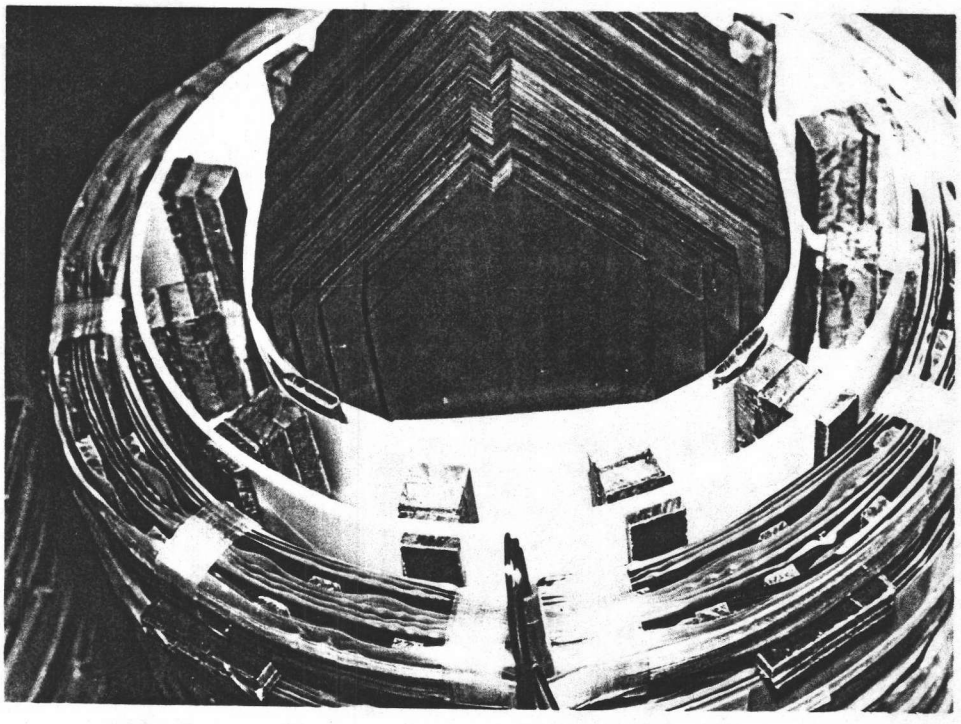
รูป 5.10 ข. การวางขดลวดแรงสูงทีละตอน



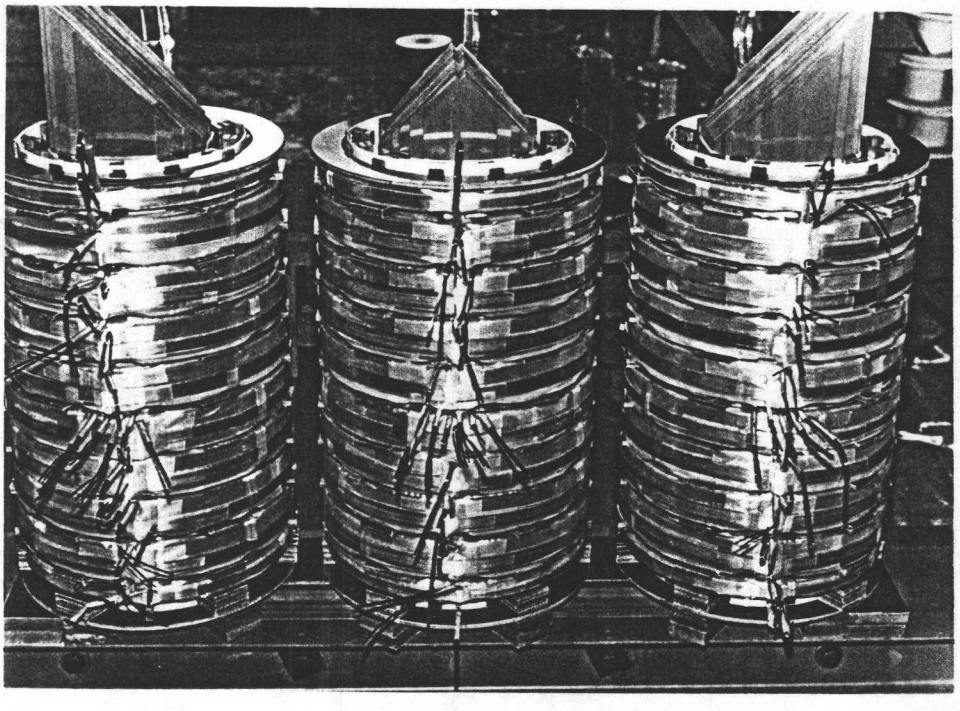
รูป 5.10 ค. แต่ละตอนของขดลวดแรงสูงจะคั่นด้วย เบกไลต์



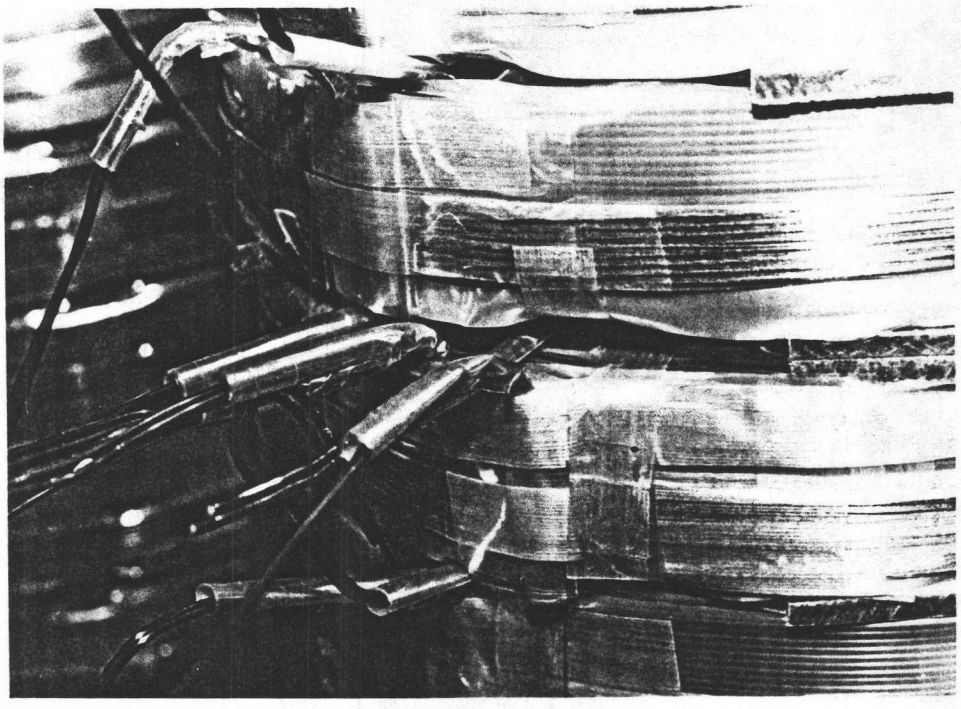
รูป 5.10 ง. เมื่อประกอบขดลวดแรงสูงลงแกนเหล็กครบทั้ง 10 ตอน



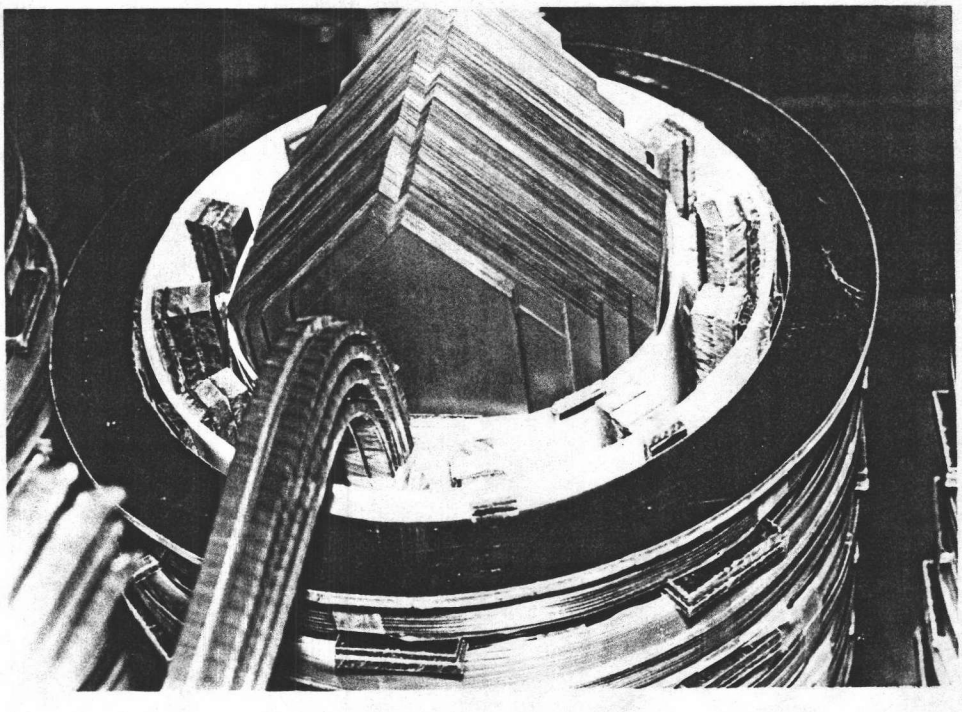
รูป 5.10 จ. ด้านบนของแกนเหล็กเมื่อประกอบขดลวดแรงสูงแล้ว



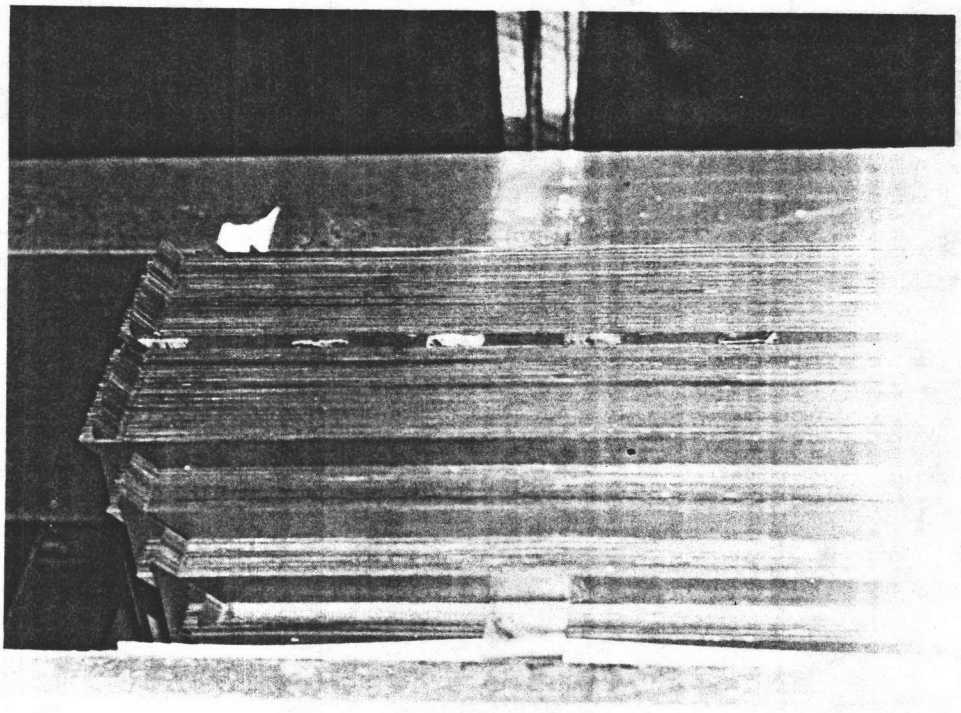
รูป 5.10 ฉ. เมื่อประกอบขดลวดลงแกนเหล็กครบทั้ง 3 เฟส



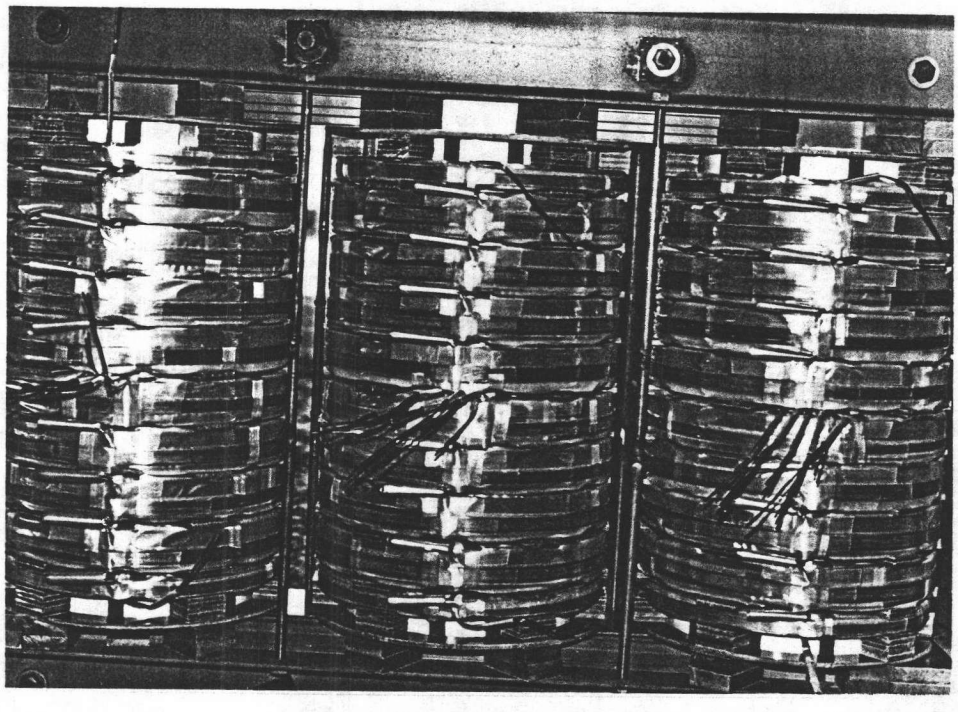
รูป 5.10 ซ. จุดแยกของขดลวดแรงสูง



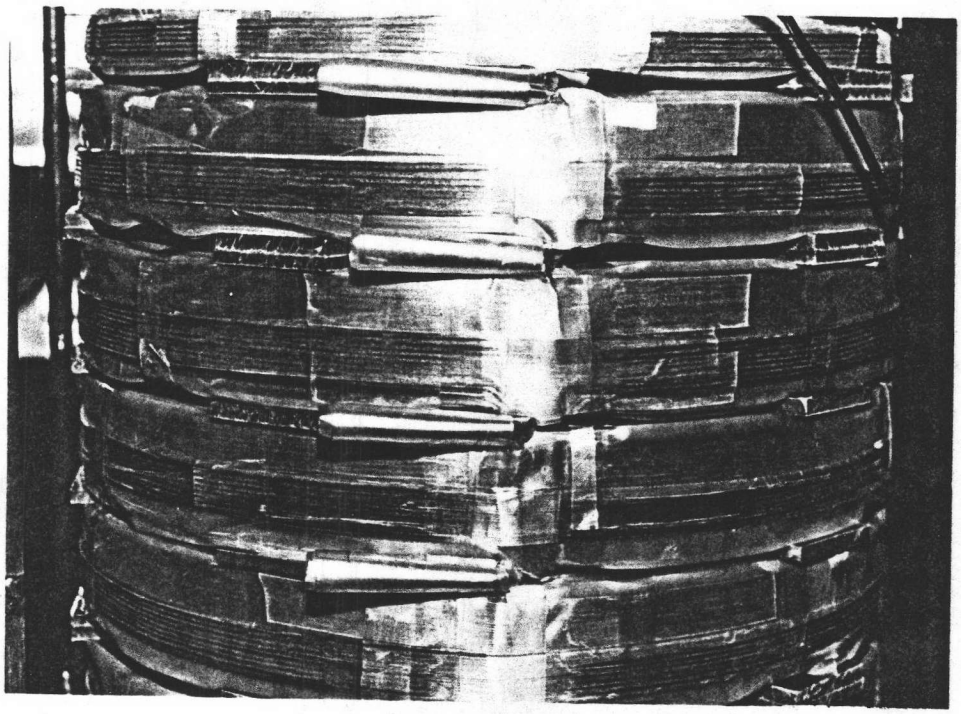
รูป 5.10 ซ. การวางแผ่น เบกไลต์ เป็นฉนวนระหว่างขดลวดแรงสูงกับแกน เหล็ก



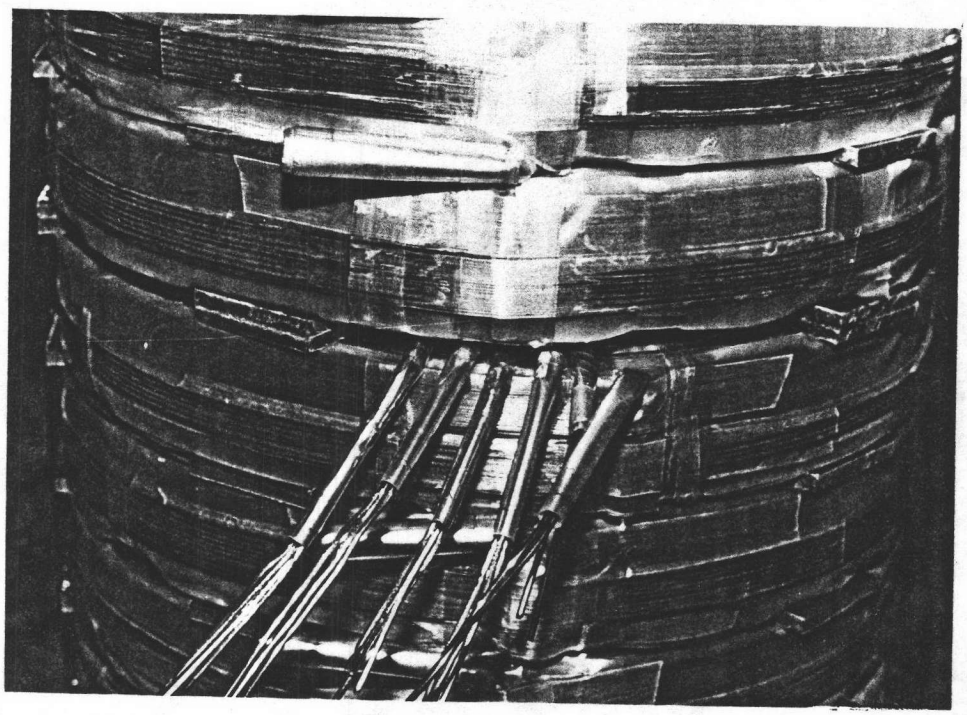
รูป 5.10 ฌ. แผ่นเหล็กที่เรียงด้านบนของแกนเหล็กพร้อมแคลมป์ยึด



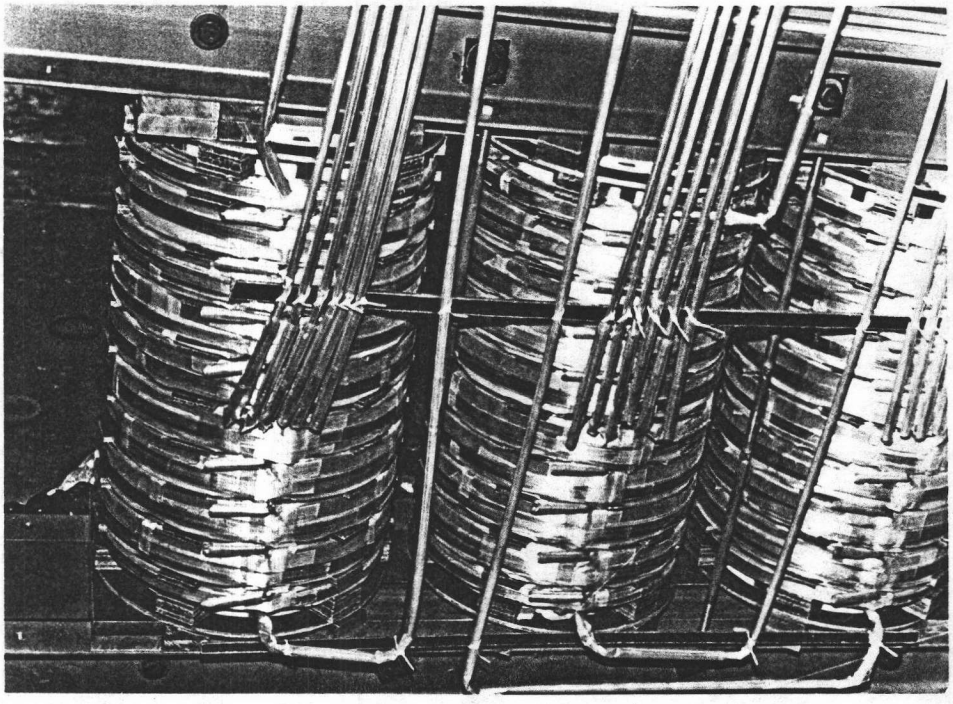
รูป 5.10 ญ. แคลมป์ด้านบนและด้านล่างยึดติดกันแน่นด้วยแท่งเหล็กกลมดังในรูป



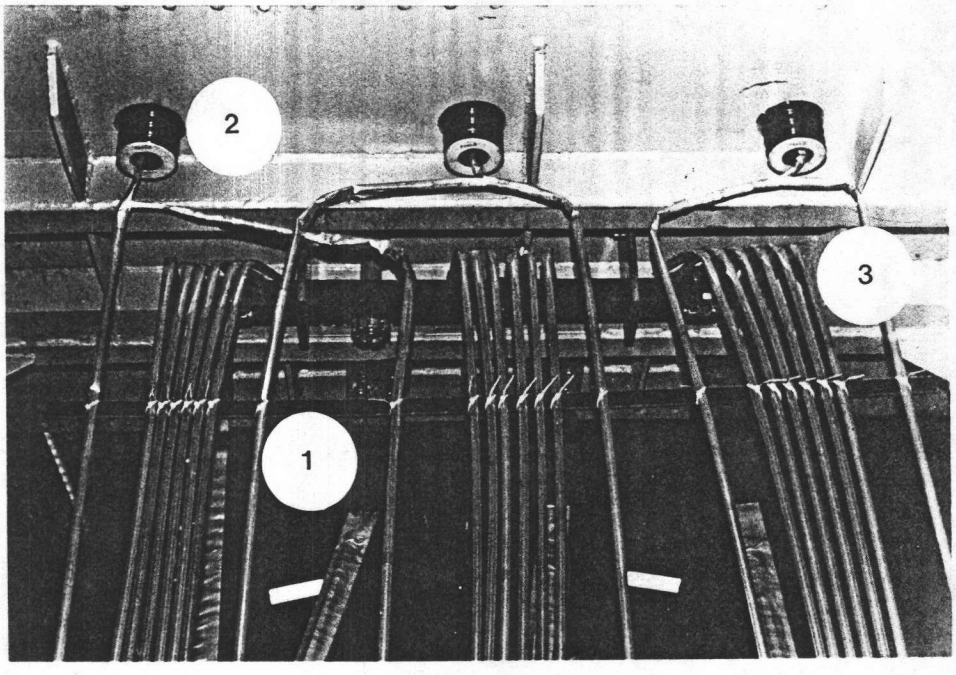
รูป 5.11 ก. แต่ละตอนของขดลวดแรงสูงจะเชื่อมเข้าด้วยกันแล้วใส่ปลอกฉนวน



รูป 5.11 ข. จุดแยกของขดลวดแรงสูงที่เตรียมจะต่อกับตัวปรับแรงดัน



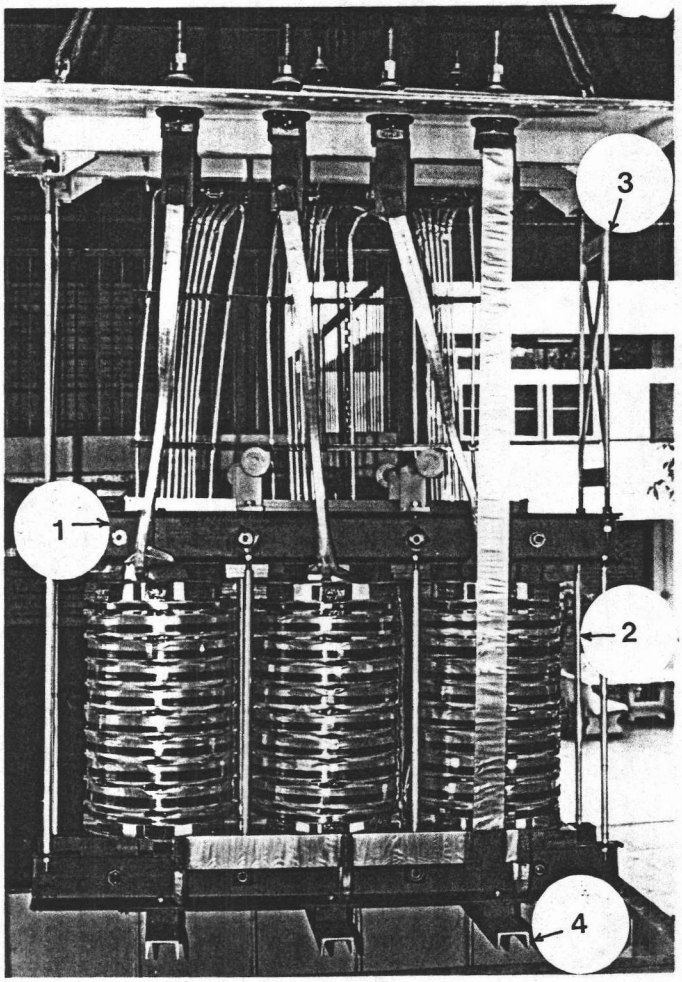
รูป 5.11 ค. การต่อจุดแยกขึ้นด้านบนใส่ปลอกฉนวน



รูป 5.11 ง. การต่อขั้วแรงต่ำกับปลอกฉนวนนำสาย 1

การต่อขั้วแรงสูงกับปลอกฉนวนนำสาย 2

จุดแยกในการปรับแรงดัน 3



รูป 5.11 จ. แกนเหล็กและขดลวดที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยเตรียมพร้อมที่จะประกอบลงตัวถัง

รายละเอียดตัวยึดต่าง ๆ ของไส้ในหม้อแปลงในรูป 5.11 จ. มีดังนี้

1 เหล็กแคลมป์ยึดแกนเหล็ก เป็นเหล็กรางน้ำขนาด 2½"x5" หนา ¼" ยาว 1455 mm

2 แกนยึดแคลมป์บนและล่าง เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 หุน ยาว 750 mm

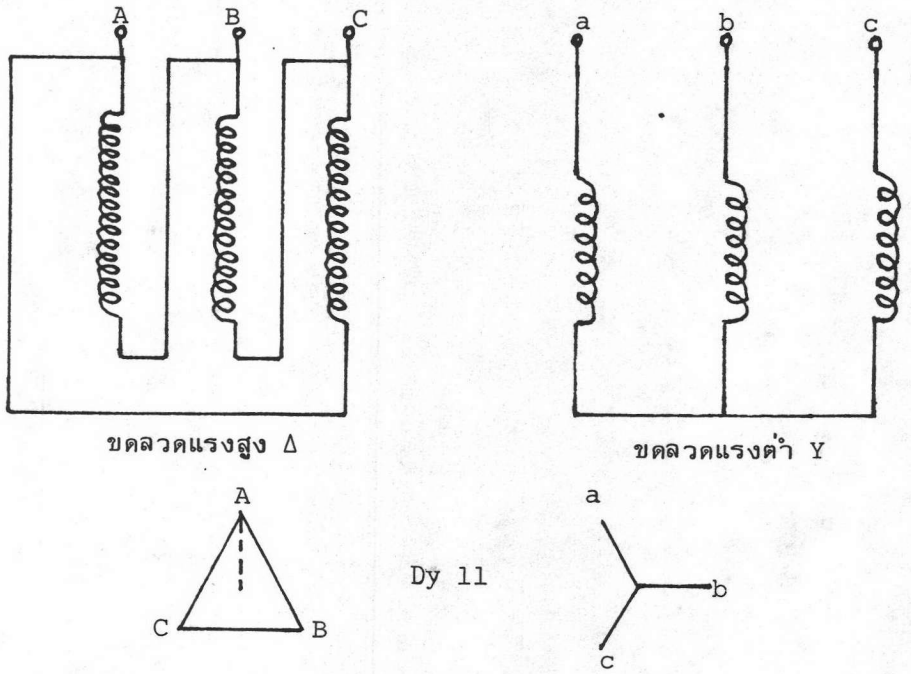
3 ตัวยึดไส้หม้อแปลงกับฝาถัง มีเหล็ก 3 ขนาด

- เหล็กแบนที่ยึดด้านบนและล่าง หนา 9 mm กว้าง 50 mm ยาว 239 mm
- เหล็กแบนที่ยึดไขว้ หนา 9 mm กว้าง 25 mm ยาว 530 mm
- เหล็กกลมตันยึดด้านข้าง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 หุน ยาว 900 mm

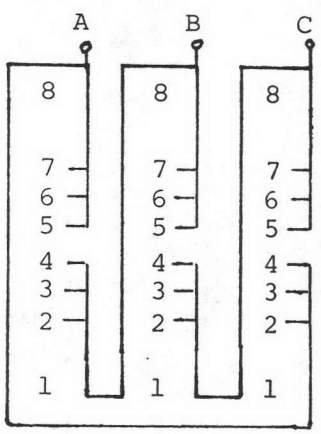
4 เหล็กรองพื้นเป็นเหล็กรางน้ำ ขนาด 1½"x3" หนา ¼" ยาว 630 mm

นอตที่ใช้ทั้งหมดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 หุน

เมื่อต่อจุดแยกเรียบร้อยจึงต่อขดลวดระหว่างเฟส โดยด้านแรงสูงต่อเป็น Δ และด้านแรงต่ำต่อเป็น Y เพื่อให้ลักษณะการต่อมี สัญลักษณ์กลุ่มเวกเตอร์เป็น Dy 11 จึงต่อขดลวดลักษณะดังในรูป5.12ก ส่วนรูป5.12ข เป็นรูปการต่อจุดแยกเมื่อต้องการระดับแรงดันต่างกันตั้งแต่จุดแยกที่ 1 ถึง จุดแยกที่ 5



รูป 5.12ก. การต่อขดลวดแบบ Dy 11



จุดแยกที่	แรงดัน V	การต่อขดลวดภายใน
1	12000	5-4
2	11700	5-3
3	11400	6-3
4	11100	6-2
5	10800	7-2

รูป 5.12 ข. การต่อจุดแยกของขดลวดแรงสูง

5.3 **ตัวถัง**

ขนาดของตัวถัง เมื่อยังไม่ได้ติดครีบระบายความร้อน

กว้าง x ยาว x สูง = 0.79 x 1.62 x 1.92 m^3

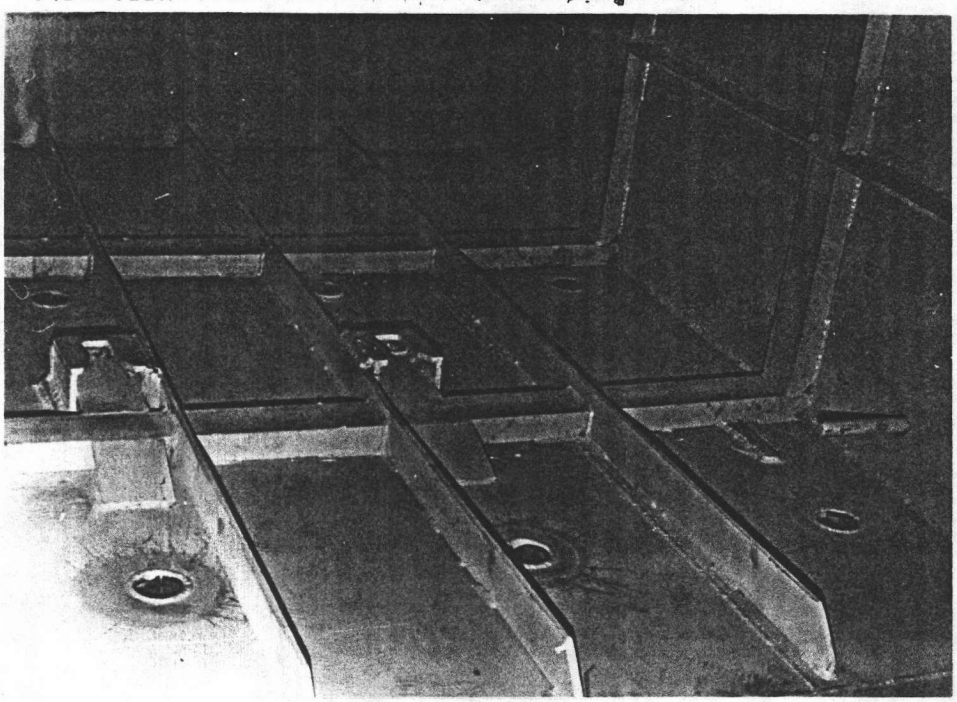
เมื่อติดครีบระบายความร้อนแล้วจะมีขนาด เป็น

กว้าง x ยาว x สูง = 1.44 x 1.62 x 1.92 m^3

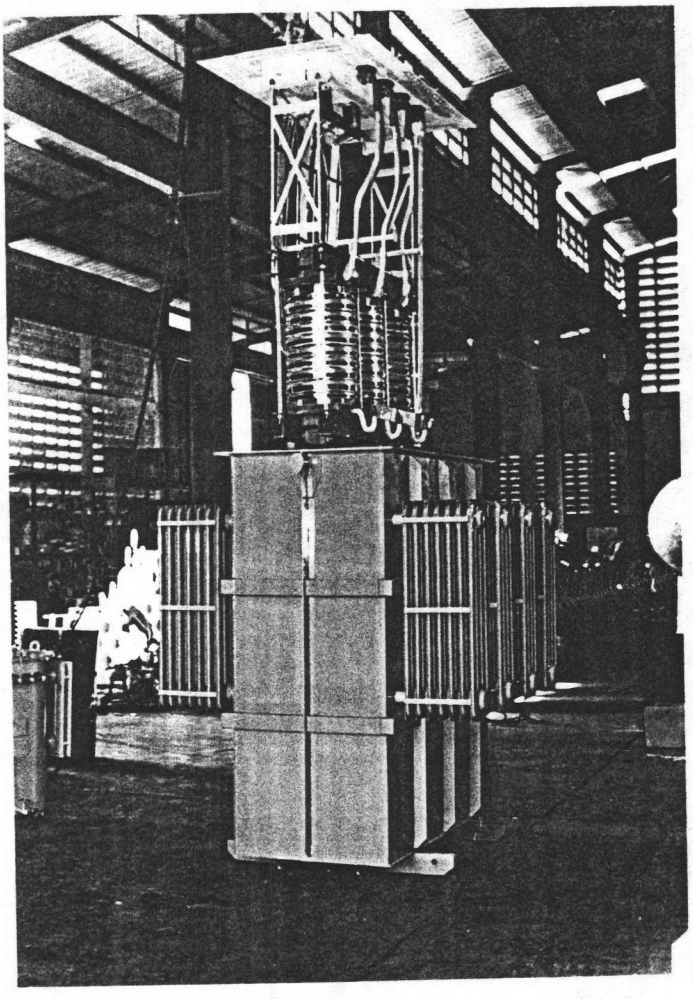
การดาม เหล็กยึดตัวถังจะดามทั้งภายในและภายนอกตัวถัง เพื่อให้ทนต่อแรงอัดความดันก๊าซ SF_6 ภายใน และแรงภายนอก เมื่อทำกระบวนการสุญญากาศได้ ก่อนจะประกอบตัวหม้อแปลงลงถังจะต่อขดลวดทั้งทางด้านแรงสูงและแรงต่ำ เข้ากับปลอกฉนวนนำสายที่ยึดติดกับฝาถังก่อน นำไปอบที่อุณหภูมิ $105^{\circ}C$ เป็นเวลา 7 วัน เพื่อไล่ความชื้นที่ผิวรอบนอกไส้หม้อแปลงและความชื้นในส่วนของ เบกไลต์ จากนั้นจึงประกอบหม้อแปลงลงในตัวถัง

ตัวถังหม้อแปลงจะติดอุปกรณ์วัดความดัน [ที่วัดได้ทั้งความดันต่ำกว่าบรรยากาศและสูงกว่าบรรยากาศ คือ -76 cm ถึง 5.5 kg/cm^2], เทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิของก๊าซและติดข้อต่อพร้อมวาล์วไว้สำหรับอัดก๊าซหรือทำกระบวนการสุญญากาศ

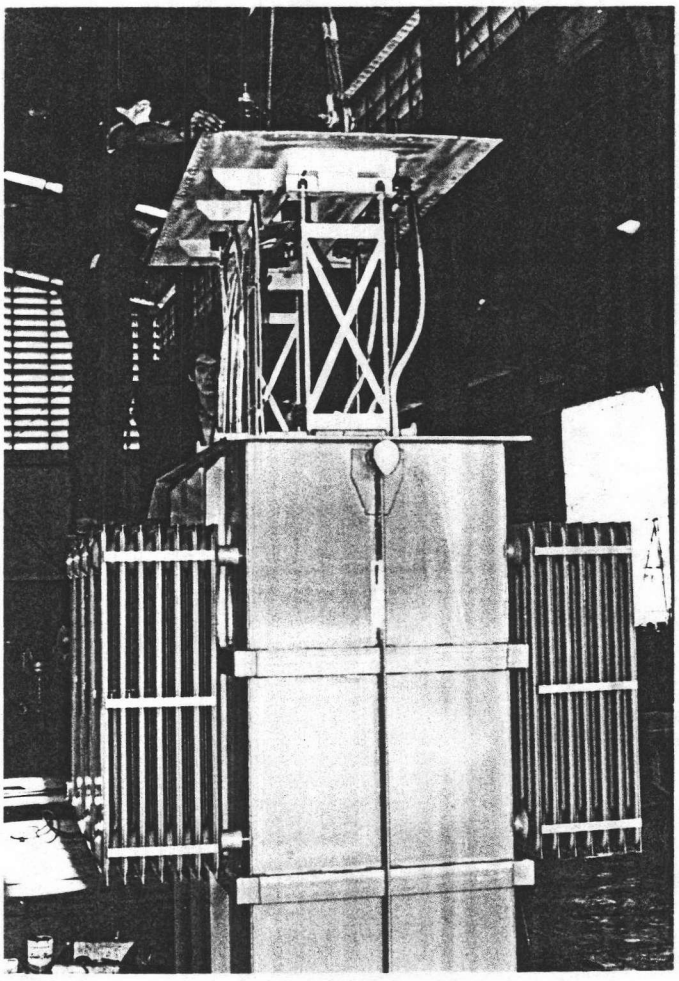
รายละเอียดตัวถังและปลอกฉนวนนำสาย แสดงในรูป 5.14



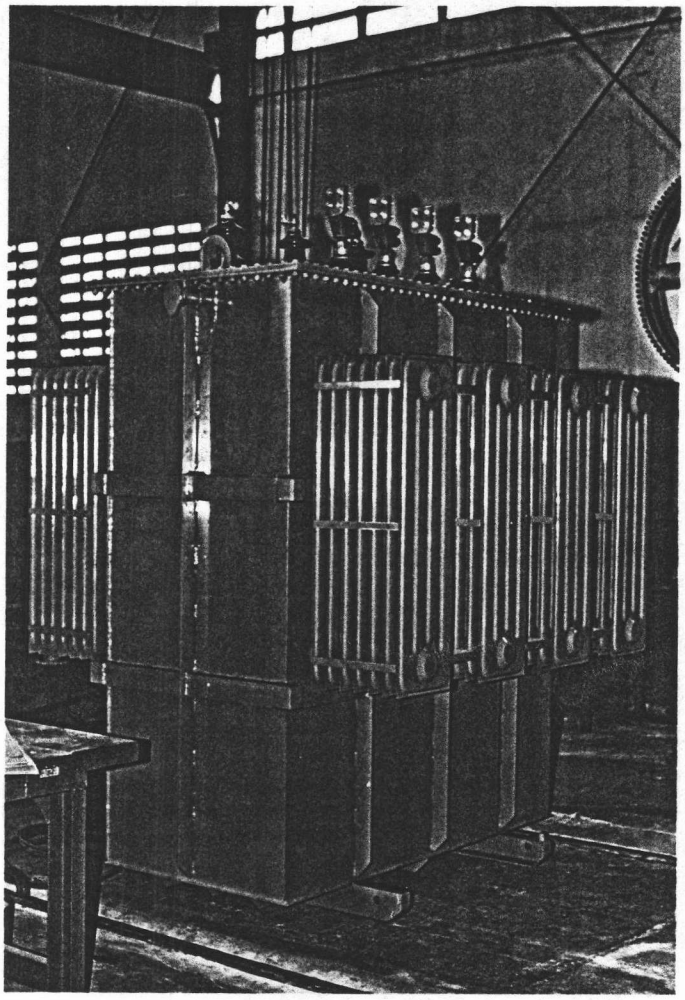
รูป 5.13 ก. การดามภายในตัวถังหม้อแปลง



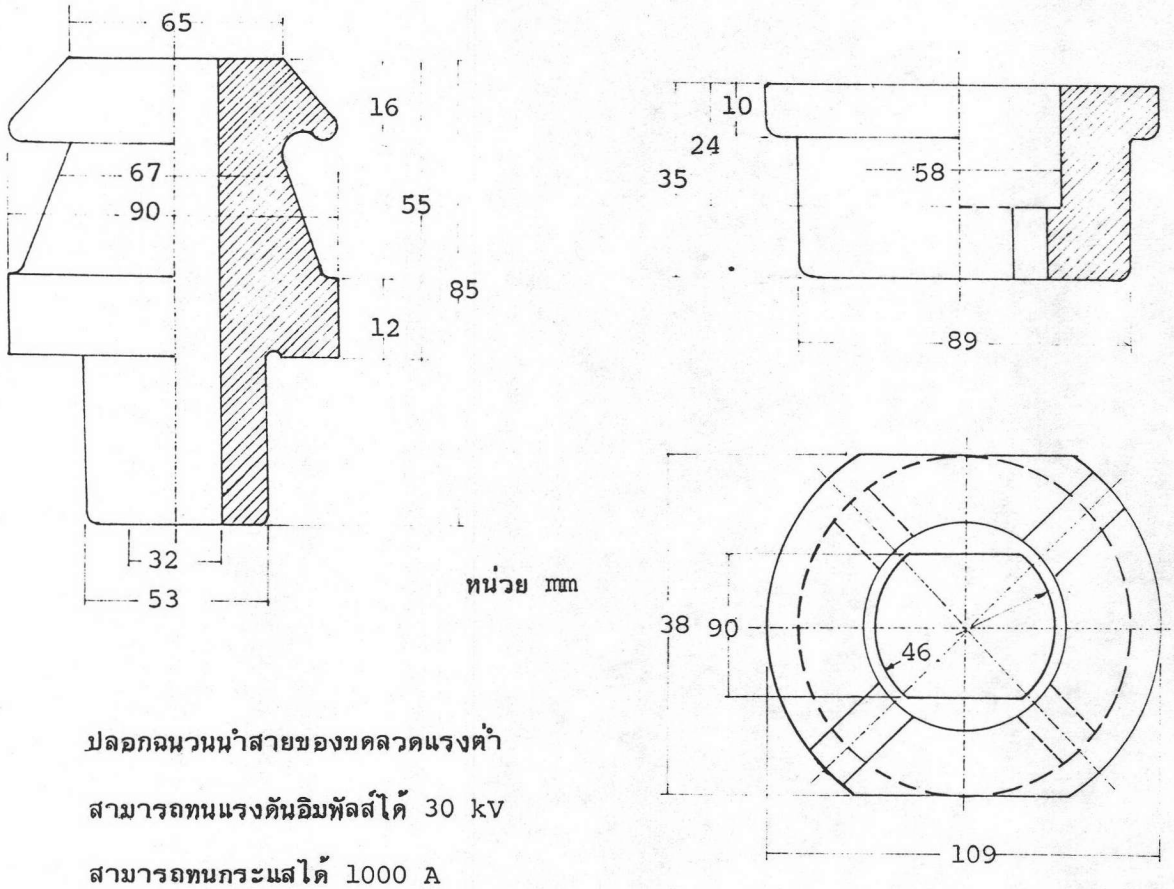
รูป 5.13 ข. การเตรียมเพื่อใส่ไส้หม้อแปลงลงในตัวถัง



รูป 5.13 ค. การประกอบไส้หม้อแปลงลงในตัวถัง



รูป 5.13 ง. หม้อแปลงที่ประกอบเสร็จ

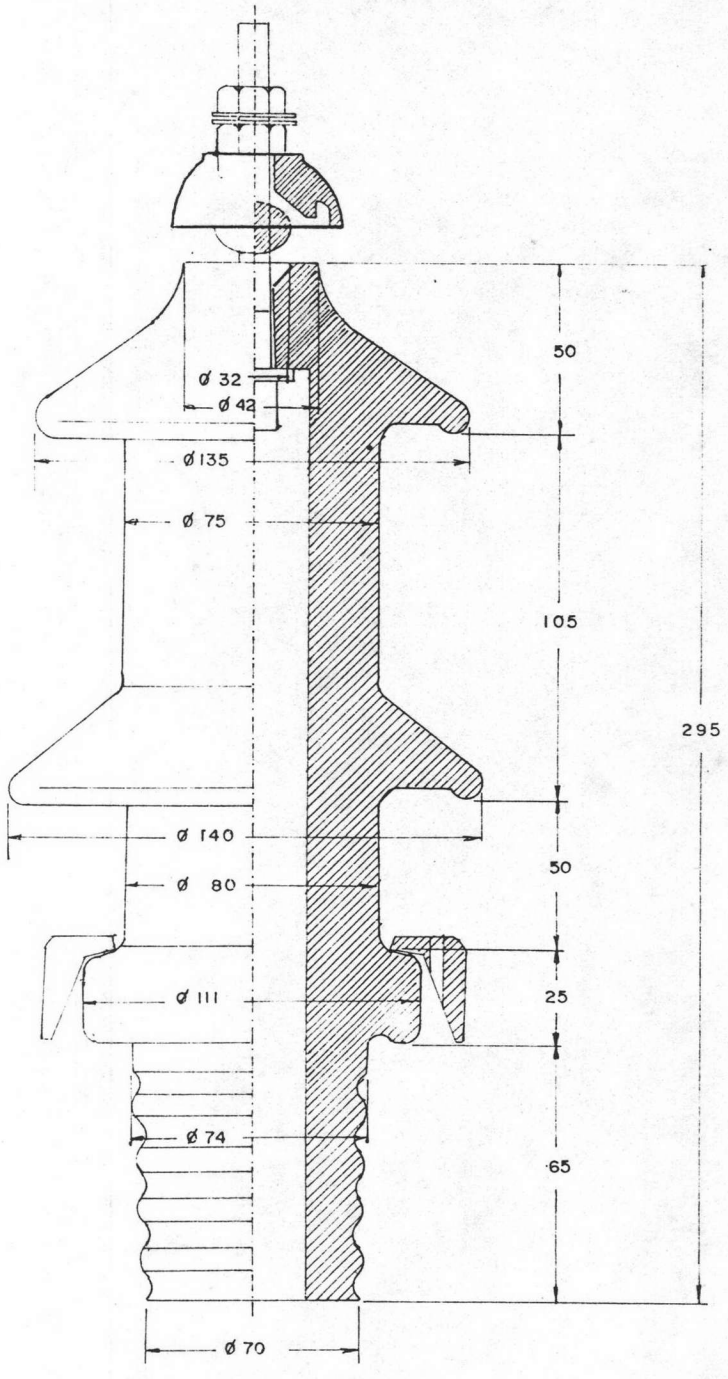


ปลอกฉนวนนำสายของขดลวดแรงต่ำ

สามารถทนแรงดันอิมพัลส์ได้ 30 kV

สามารถทนกระแสได้ 1000 A

รูป 5.14ก. ปลอกฉนวนนำสายแรงต่ำ

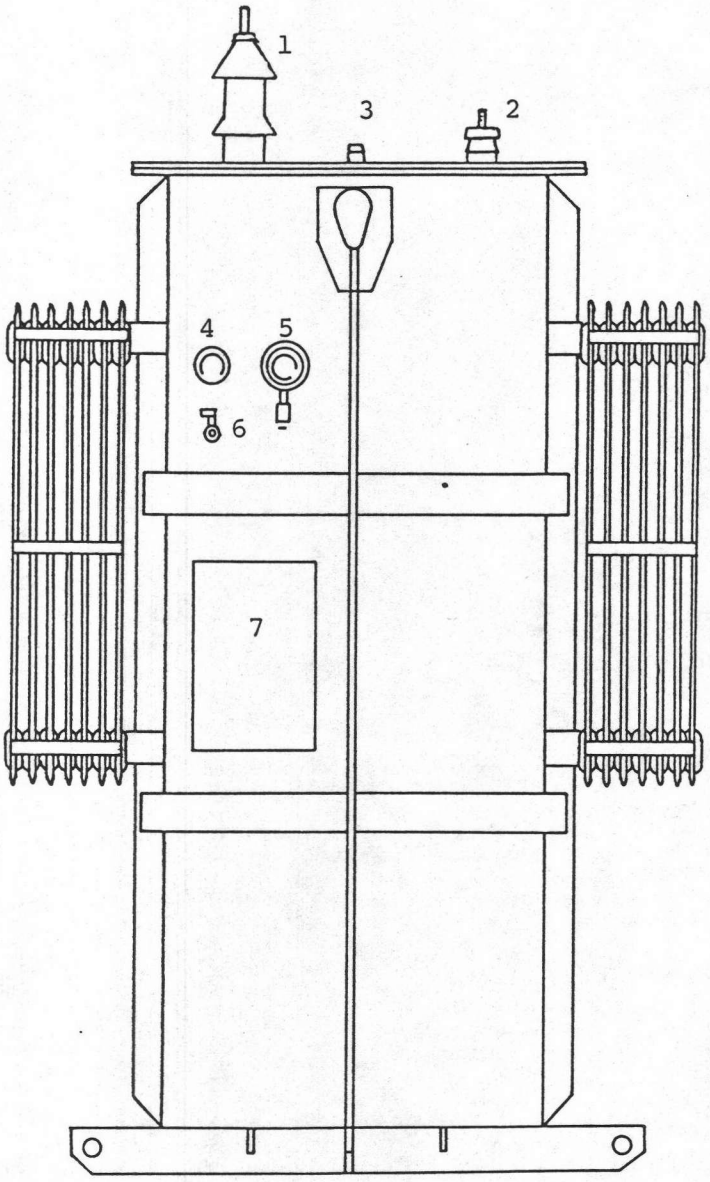


หน่วย mm

ปลอกฉนวนนำสายขดลวดแรงสูง

สามารถทนแรงดันอิมพัลส์ได้ 95 kV

รูป 5.14ข. ปลอกฉนวนนำสายแรงสูง



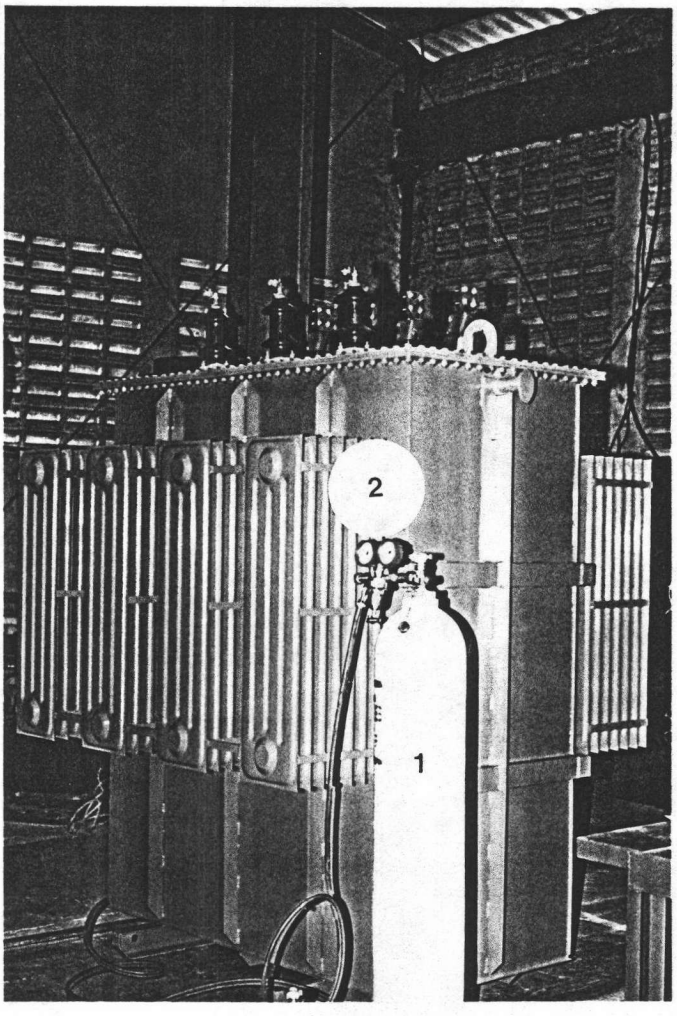
1. ปลอกฉนวนนำสายแรงสูง
2. ปลอกฉนวนนำสายแรงต่ำ
3. ที่ปรับระดับแรงดัน
4. เทอร์โมมิเตอร์
5. มิเตอร์วัดความดัน
6. วาล์วสำหรับบรรจุก๊าซ
7. ป้ายชื่อ

รูป 5.14ค. ตัวถังหม้อแปลงที่ประกอบเสร็จแล้ว

5.4 กระบวนการบรรจุก๊าซ SF_6

ขั้นตอนในการบรรจุก๊าซ SF_6 จะเป็นดังนี้

- การทำกระบวนการสุญญากาศให้ได้ความดันต่ำที่สุดประมาณ 4.5 ทอรร์ เป็นเวลา 3 วัน
- ทดสอบการรั่วโดยการอัดก๊าซ N_2 ที่ความดัน 2.4 $kg/cm^2.abs$ ทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ สาเหตุที่ใช้ก๊าซ N_2 พราะก๊าซ N_2 เป็นก๊าซที่แห้งเมื่อเทียบกับอากาศ ไม่ทำให้เกิดความชื้นขึ้นในขดลวด ระหว่างการทดสอบการรั่วจะมีการย้ายที่หม้อแปลงด้วย เพื่อทดสอบว่าจะมีการรั่วจากการเคลื่อนย้ายหรือไม่
- ทำกระบวนการสุญญากาศอีกครั้งให้ได้ความดันต่ำที่สุดเช่นกัน ทิ้งไว้ประมาณ 2 วัน
- เติมก๊าซ SF_6 โดยก่อนจะบรรจุก๊าซจะต้องไล่อากาศที่อยู่ในสายสำหรับส่งก๊าซให้หมดเสียก่อน บรรจุก๊าซ SF_6 ที่ความดันประมาณ 2.35$kg/cm^2.abs$



รูป 5.15 กระบวนการบรรจุก๊าซ SF_6

1 ถัง SF_6 เหลว

2 ตัวปรับความดันก๊าซในท่อเวลาบรรจุพร้อมมิเตอร์วัดความดันที่บอกความดันในตัวถังที่บรรจุ SF_6 และความดันในสายท่อที่ส่งก๊าซเข้าหม้อแปลง