

บทที่ 4

การสร้างแม่เหล็กแบบอัลฟา

ในการสร้างแม่เหล็กโดยทั่วไป สามารถแบ่งงานหลักๆในการสร้างได้เป็นดังนี้ คือ

- (i) การสร้างขั้วและ York ของแม่เหล็ก
- (ii) การพันขดลวดของแม่เหล็ก
- (iii) การประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน

โดยรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนจะได้กล่าวต่อไป

4.1 การสร้างขั้วแม่เหล็ก

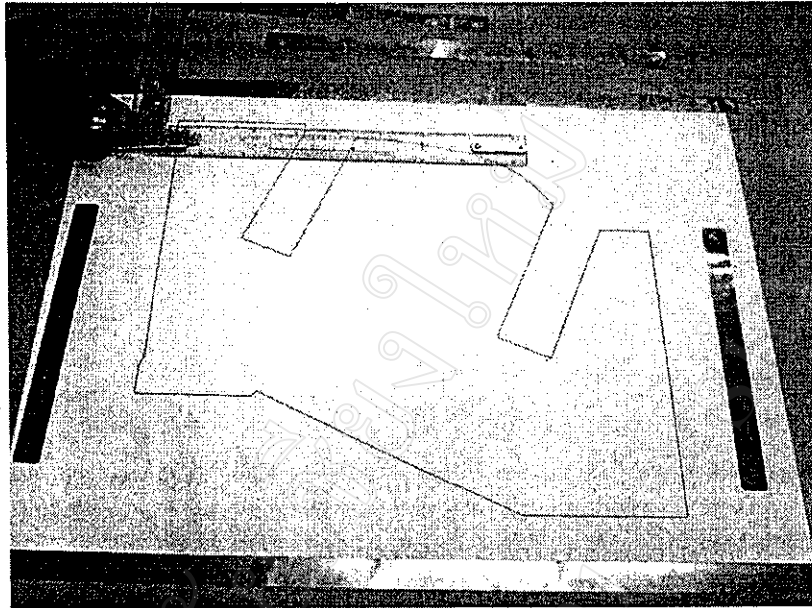
การสร้างขั้วแม่เหล็กนั้นทางโรงงานของอาคารวิจัยนิวตรอนพลังงานสูงไม่สามารถสร้างเองได้ ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถของเครื่องมือที่มีอยู่ไม่เพียงพอ จึงได้ส่งไปให้กับบริษัทสยามโทเนะ จำกัด ทำการสร้างขั้วแม่เหล็กตามแบบที่ส่งไป และวัสดุที่ใช้สร้างขั้วแม่เหล็กเป็นเหล็กอ่อน ที่มีคาร์บอนน้อยกว่า 0.1 % และองค์ประกอบทางเคมีของเหล็กซึ่งทดสอบโดย บริษัท NTS Steel Group แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเหล็กที่นำมาสร้างขั้วแม่เหล็ก

C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %	Ni %	Al %	Alins %
0.0345	0.044	0.262	0.0089	0.0030	0.043	0.008	0.065	0.028	0.005
Alsoi %	Co %	Cu %	Nb %	Ti %	V %	W %	Pb %	Sn %	As %
0.024	0.007	0.110	<0.000	0.0011	0.000	<0.0005	<0.0002	0.008	0.0085
Zr %	Ca %	Cains %	Casol %	Ce %	Sb %	Ta %	B %	N ppm	O
<0.001	0.0025	0.0016	0.0008	<0.0005	0.0029	0.0037	<0.0001	67.9	

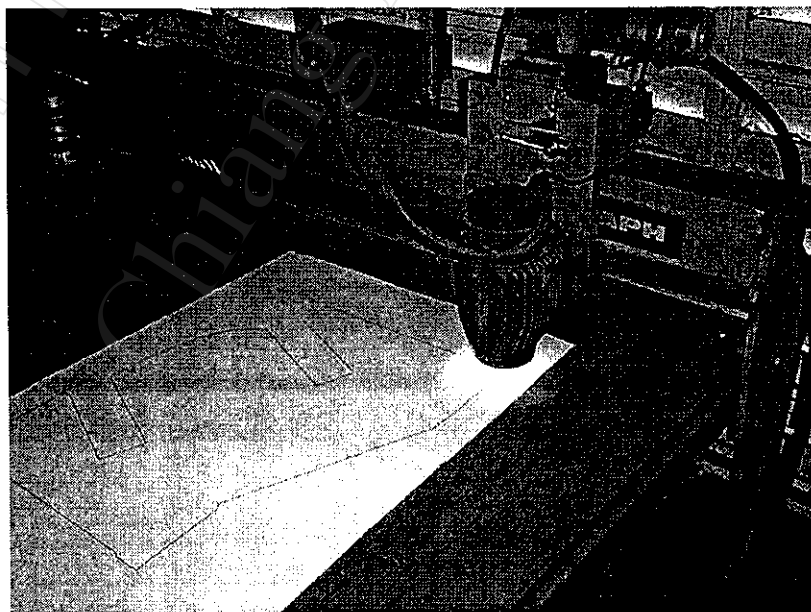
สำหรับขั้นตอนการสร้างขั้วแม่เหล็กอย่างคร่าวๆ และรูปภาพขณะทำการสร้างขั้วแม่เหล็กได้รับข้อมูลมาจากบริษัทสยามโทเนะจำกัด โดยมีรายละเอียดการสร้างดังนี้

(i) เริ่มต้นด้วยการสร้างแบบสำหรับการขึ้นรูปเบื้องต้น โดยการวาดแบบลงบนกระดาษแข็ง ดังแสดงในรูปที่ 4.1

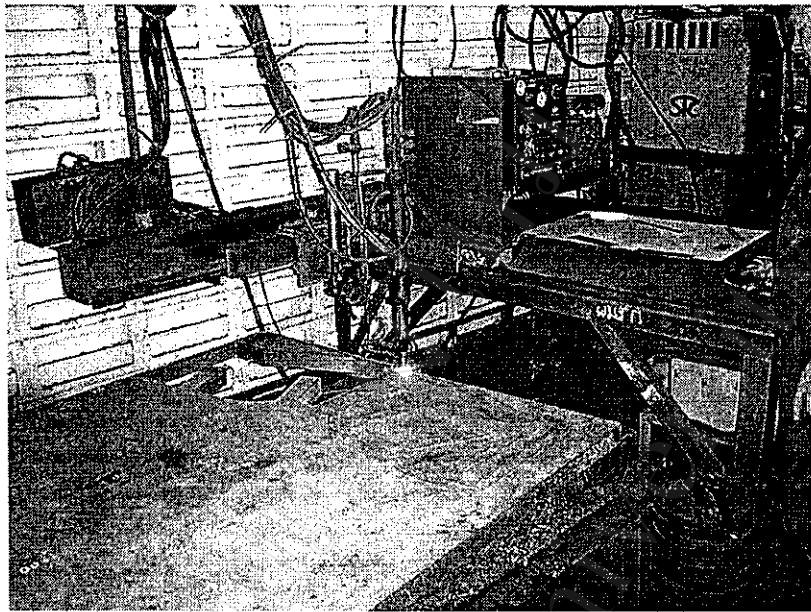


รูปที่ 4.1 แสดงแบบสำหรับการตัดที่ทำจากกระดาษแข็ง

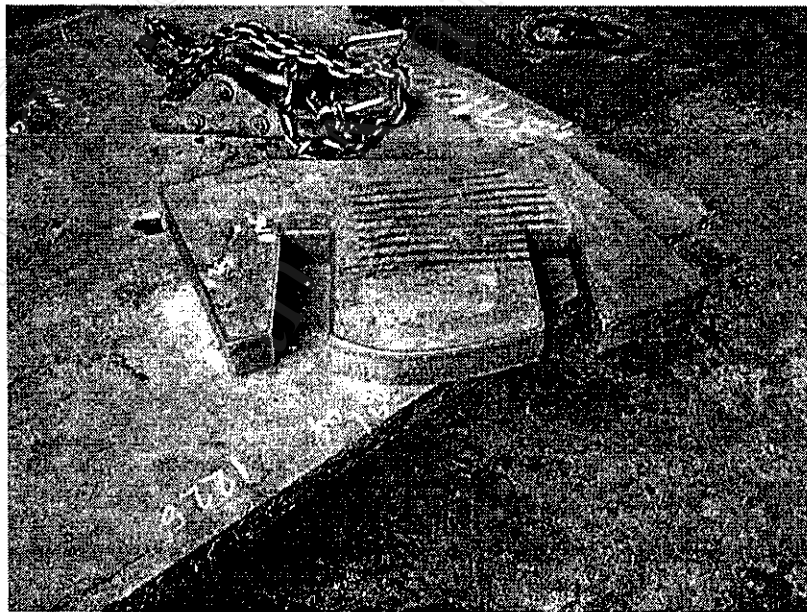
(ii) ทำการตัดเหล็กด้วยชุด Eye Trasor Cutting M/C โดยชุด EYE TRASOR จะเดินไปตามเส้นในแบบนำตัดที่สร้างขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.2 และชุดหัวตัดแก๊สจะเคลื่อนที่ไปตามทิศทางการเคลื่อนที่ของ EYE TRASOR ดังแสดงในรูปที่ 4.3 จะได้ชิ้นงานที่มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.2 แสดงการทำงานของชุด EYE TRASOR

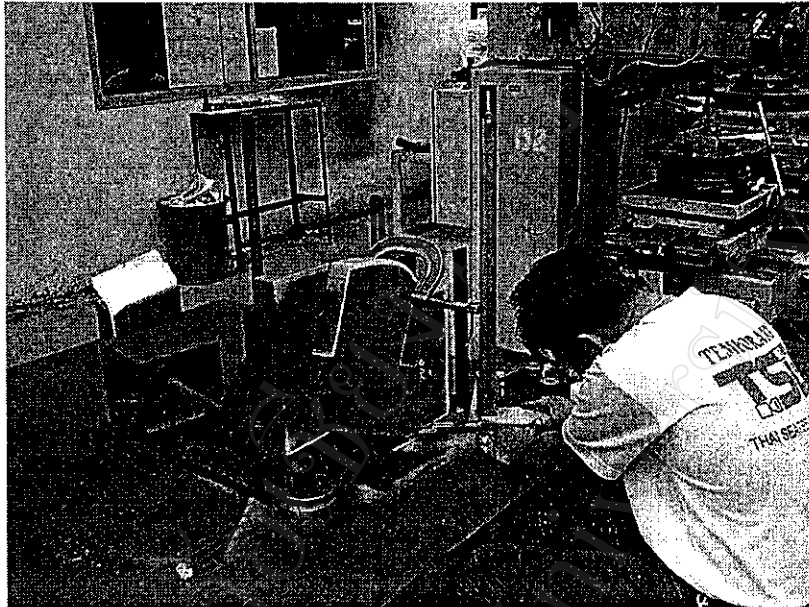


รูปที่ 4.3 แสดงการตัดเหล็กของชุดหัวตัดแก๊ส



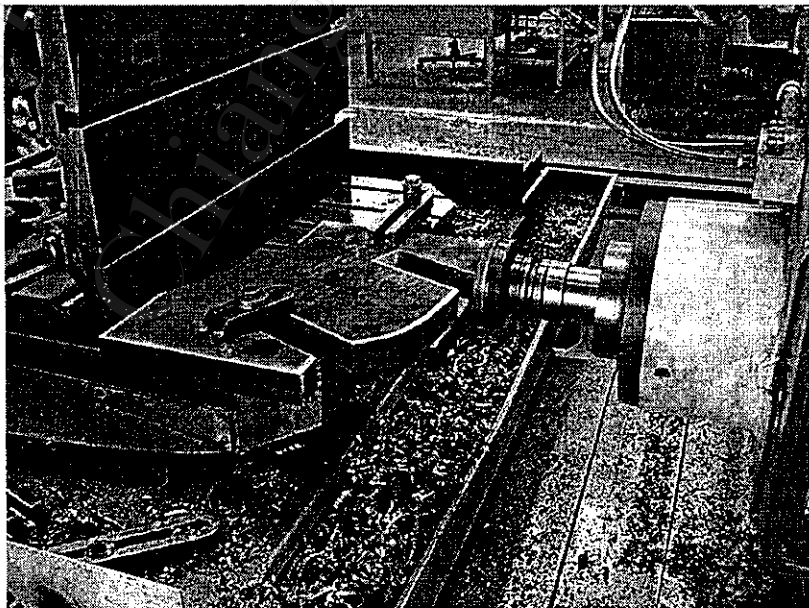
รูปที่ 4.4 แสดงชิ้นงานที่ได้จากการตัดด้วยชุด EYE TRASOR CUTTING M/C

(iii) นำชิ้นงานมาเช็คขนาดเพื่อให้แน่ใจว่าชิ้นงานเพียงพอสำหรับทำการ machine รอบนอก และทำการกำหนด เส้น $X=0$ และ $Y=0$ ลงในชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.5

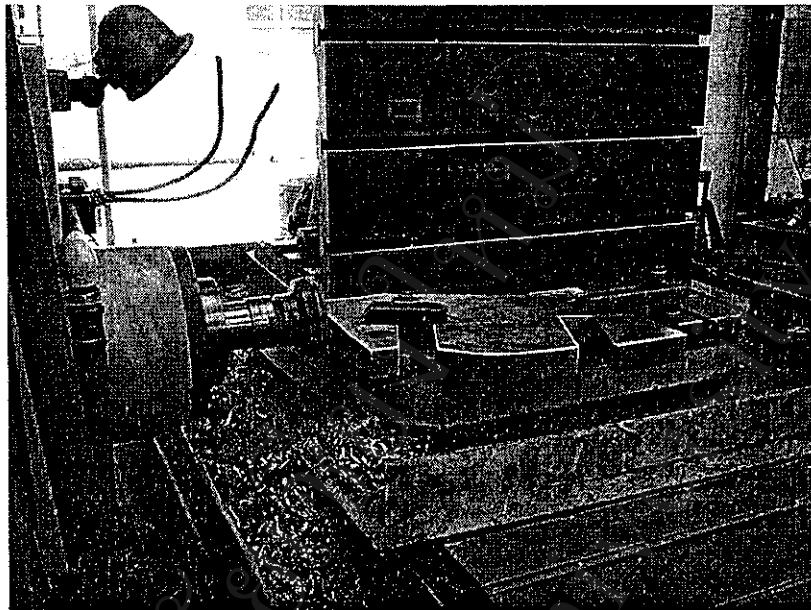


รูปที่ 4.5 แสดงการเช็คขนาดของชิ้นงานที่ตัดแล้ว

(iv) จับยึดชิ้นงานบนโต๊ะในแนวนอนแล้วทำการ machine ในแนวแกน $X=0$ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 แล้วทำการหมุนโต๊ะไป 90 องศา เพื่อทำการ machine ชิ้นงานในแนวแกน $Y=0$ ดังแสดงในรูปที่ 4.7

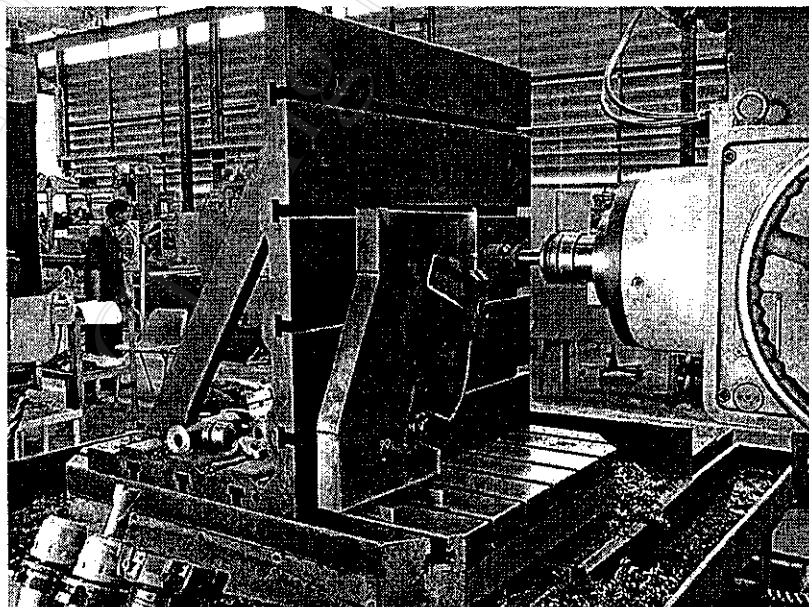


รูปที่ 4.6 แสดงการ machine ชิ้นงานในแนวแกน $X = 0$



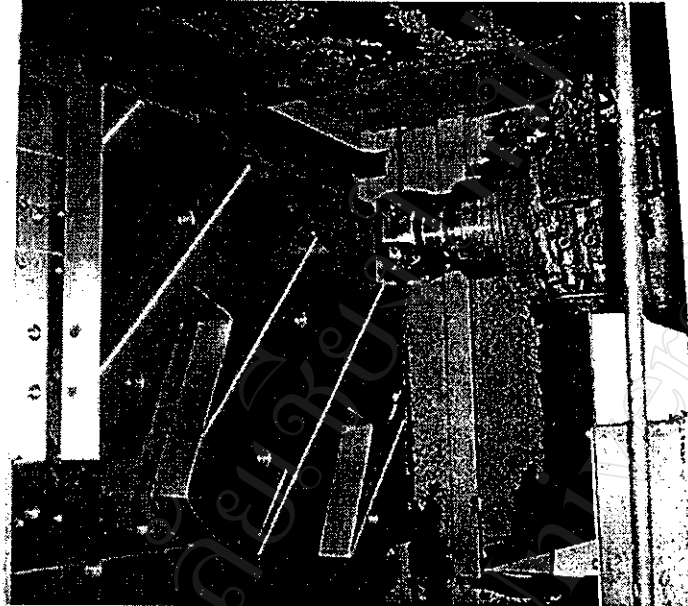
รูปที่ 4.7 แสดงการ machine ชิ้นงานในแนว $Y=0$

(v) จับยึดชิ้นงานในแนวตั้งแล้วทำการกำหนดตำแหน่ง $X=0$ และ $Y=0$ หลังจากนั้นทำการเจาะรูชิ้นงานตามแบบที่กำหนดดังแสดงในรูปที่ 4.8



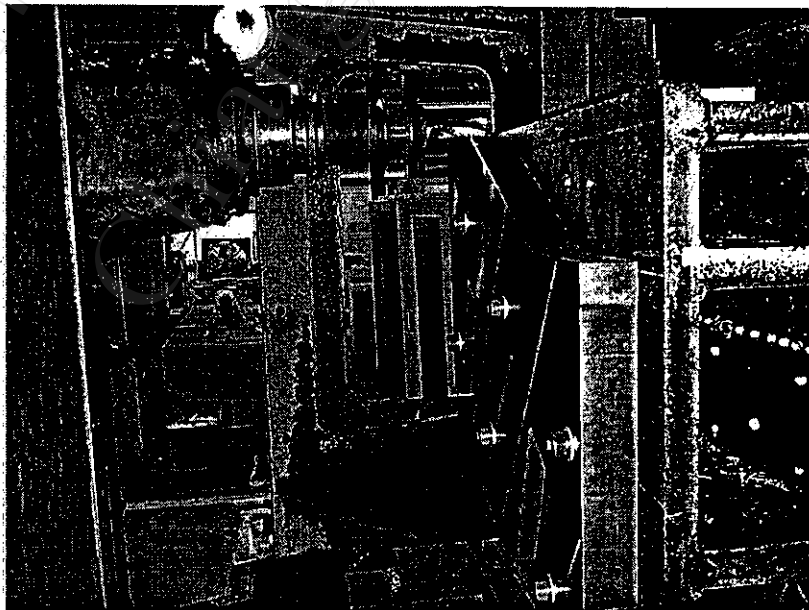
รูปที่ 4.8 แสดงการ machine และการเจาะรูชิ้นงานในแนวตั้ง

(vi) ทำการ machine ผิวทั้งสองข้างของชิ้นงานจะได้ความหนา 45 มม. ดังแสดงในรูปที่ 4.9

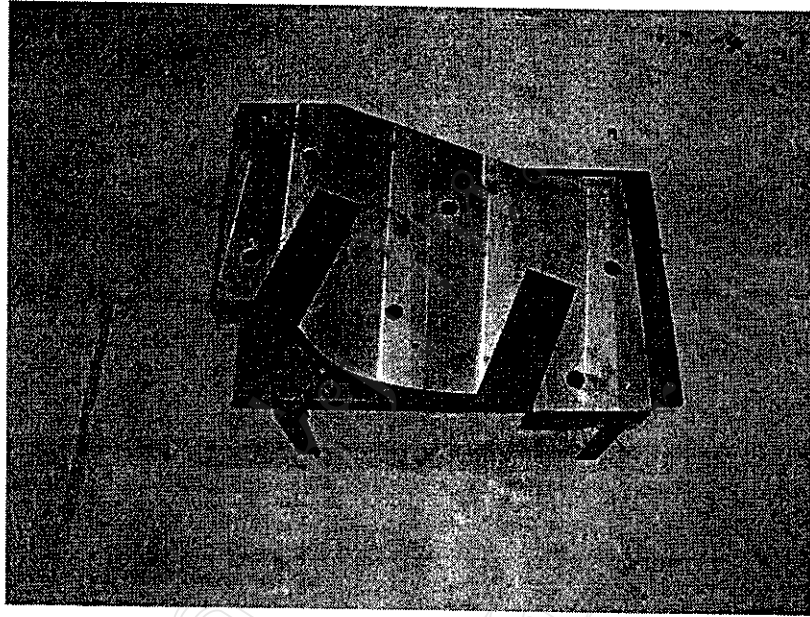


รูปที่ 4.9 แสดงการ machine ผิวข้างของชิ้นงาน

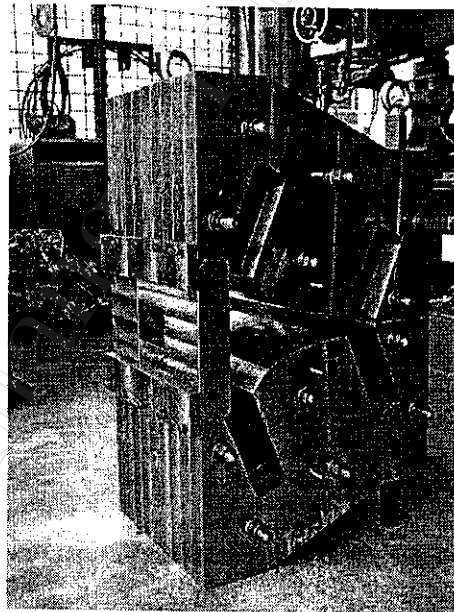
(vii) ทำการ machine ผิวของชิ้นงานรอบนอก รวมทั้ง pole face ด้วยเครื่อง CNC MACHINE CENTER รวมทั้งเก็บรายละเอียดทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 4.10 โดยชิ้นงานเมื่อเสร็จแล้วจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 แสดงการ machine ผิวรอบนอกของชิ้นงาน



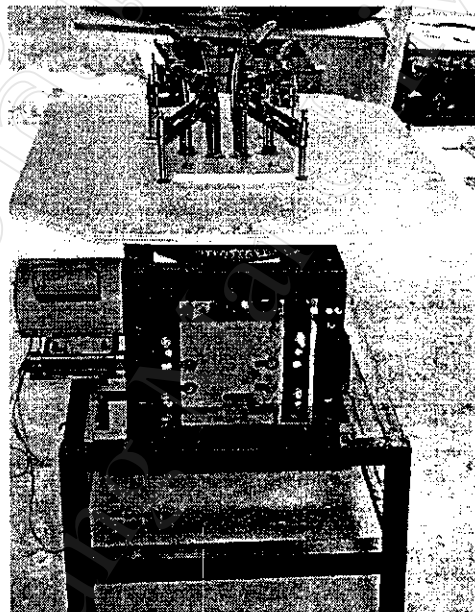
รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะของขี้แม่เหล็กที่ทำการ machine เสร็จเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 4.12 แสดงการประกอบชิ้นส่วนของขี้แม่เหล็ก

4.2 การพันขดลวดของแม่เหล็กแบบอัลฟา

เนื่องจากขดลวดที่เลือกมาใช้ทำคอล์ยของแม่เหล็กมีขนาดค่อนข้างใหญ่ จึงทำให้ขั้นตอนของการพันขดลวดค่อนข้างยุ่งยาก รวมทั้งกระแสไฟฟ้าที่ใช้มีค่าสูง จึงจำเป็นต้องระมัดระวังไม่ให้เกิดการลัดวงจรของขดลวดในขณะที่ทำการสร้าง ในการพันขดลวดขนาดใหญ่ต้องอาศัยโต๊ะที่สามารถหมุนได้ช่วยในการพัน โดยโต๊ะดังกล่าวจะถูกควบคุมการหมุนด้วยมอเตอร์และชุดควบคุมการหมุน ตามเข็ม-ทวนเข็มนาฬิกา นอกจากนั้นบนโต๊ะหมุนจะมีขั้วแม่เหล็กจำลองติดอยู่บนโต๊ะเพื่อใช้เป็นโครงสร้างสำหรับพันขดลวด เมื่อพันขดลวดได้ครบตามจำนวนรอบตามที่ต้องการแล้ว โครงดังกล่าวสามารถถอดออกได้ เพื่อที่จะสามารถนำขดลวดออกมาได้ ลักษณะของโต๊ะหมุนที่ใช้ในการพันขดลวดแสดงดังรูปที่ 4.13

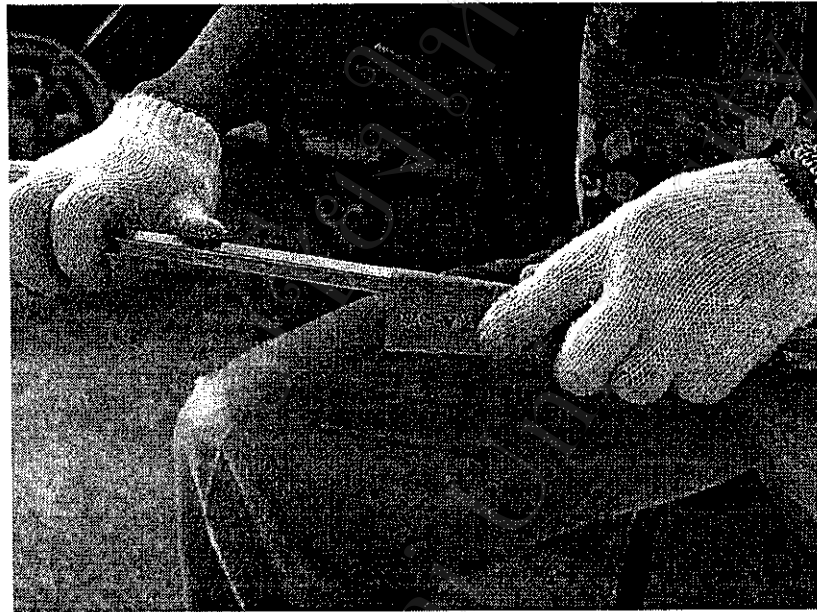


รูปที่ 4.13 แสดงโต๊ะหมุนและวงจรควบคุมการหมุน

ขดลวดที่ใช้ในการพันมีขนาดใหญ่ การที่จะพันขดลวดให้ต่อเนื่องกันทั้งหมด 70 รอบเป็นเรื่องที่ทำได้ค่อนข้างยาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแบ่งการพันขดลวดออกเป็นชุดๆ โดยจะทำการพันขดลวดทีละ 2 ชั้น ซึ่งลักษณะดังกล่าวถูกเรียกว่า double pancake โดยที่แต่ละ double pancake มีจำนวนขดลวด 10 รอบ หลังจากการพันได้ครบ 70 รอบ แล้วจะได้จำนวน 7 double pancake โดยขั้นตอนของการพันมีรายละเอียดดังนี้

(i) ก่อนทำการพันขดลวดใช้กระดาษทรายละเอียดขัดรอบลวดทองแดงเพื่อทำความสะอาดคราบสนิมทองแดง จากนั้นใช้ผ้าชุบอะซิโตนทำความสะอาดผิวเพื่อกำจัดคราบสกปรกที่เกิดจาก

การขัดผิวทองแดง ดังแสดงในรูปที่ 4.14 เมื่อทำความสะอาดขดลวดเรียบร้อยแล้วใช้ฉนวนไฟฟ้าชนิด glass cloth tape ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ทนโวลต์และความร้อนได้สูง พันรอบขดลวดโดยพันฉนวนแบบเฉียงครึ่งรอบดังแสดงในรูปที่ 4.15

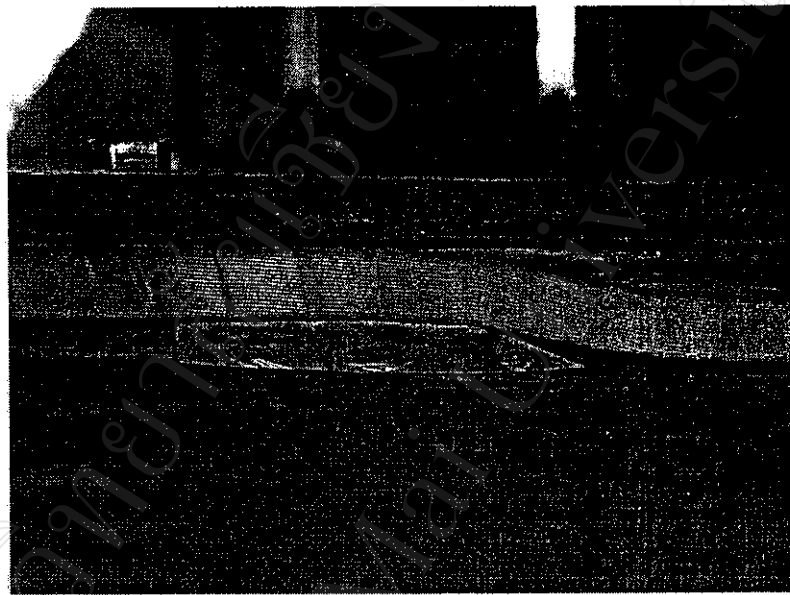


รูปที่ 4.14 แสดงการใช้กระดาษทรายขัดทำความสะอาดขดลวดทองแดง

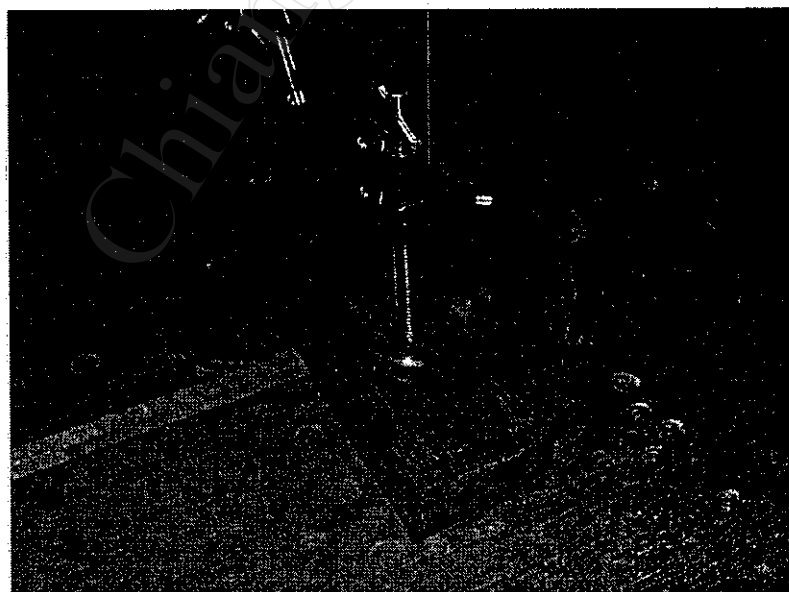


รูปที่ 4.15 แสดงการพันฉนวนรอบขดลวดทองแดง

(ii) เริ่มต้นการพันด้วยการเว้นปลายขดลวดไว้ประมาณ 30-45 ซม. เพื่อใช้ในการพันขดลวดชั้นที่สอง ทำการขมปลายของขดลวดตัวนำที่ใช้เป็นจุดเริ่มต้นด้วยลิ่มอะลูมิเนียมโดยนำลิ่มมาวางบนโต๊ะหมุนวางให้ชิดด้านในของโครงแม่เหล็กจำลองแล้วนำลวดทองแดงมาวางทาบลิ่มตอกให้เส้นลวดทาบติดกับลิ่มและโต๊ะจะทำให้เส้นลวดงอตามความลาดเอียงของลิ่ม ดังแสดงในรูปที่ 4.16 แล้วใช้ไม้และ clamp ยึดบริเวณดังกล่าวดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะของลวดทองแดงที่ลาดเอียงตามความเอียงของลิ่ม



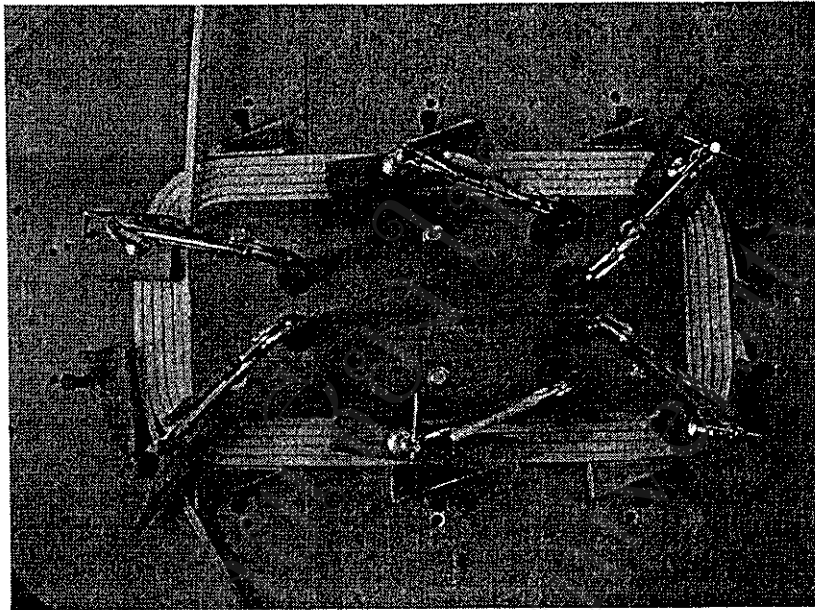
รูปที่ 4.17 แสดงการยึดขดลวดและลิ่มไว้กับโต๊ะก่อนเริ่มต้นการพัน

(iii) เริ่มการพันในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ใช้ก้อนกับแท่งไม้ตอกขึ้นรูปเส้นลวดทองแดงไปเรื่อยๆ และในขณะที่ตอกทำการบิดเส้นลวดให้ชิดและขนานกับโต๊ะรวมทั้งพยายามทำให้เส้นลวดเรียงชิดอย่างเป็นระเบียบมากที่สุด โดยใช้ clamp และลิ้มไม้ช่วยดังแสดงในรูปที่ 4.18 ในขณะที่พันจะต้องมีผู้ช่วยในการทำความสะอาดและพันจนวนรอบขดลวดไปด้วย และการพันต้องเป็นไปอย่างช้าๆ เวลาตอกขดลวดต้องตอกไม้ให้แรงเกินไปเพราะอาจจะทำให้ฉนวนฉีกขาดได้ เมื่อพันครบ 5 รอบแล้วให้เหลืปลายของขดลวดไว้ประมาณ 30-45 ซม. และต้องทำการยึดไว้ไม่ให้ขดลวดคลายตัว ดังแสดงในรูปที่ 4.19

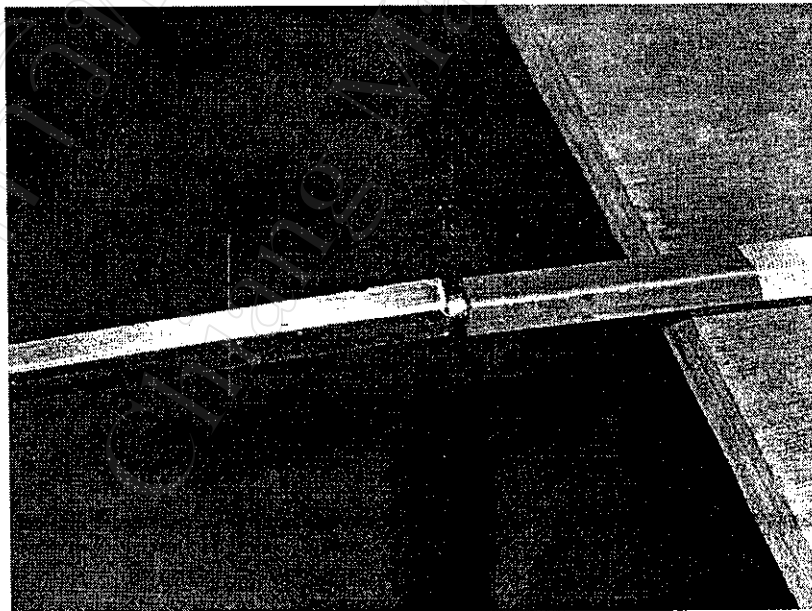


รูปที่ 4.18 แสดงการบิดขดลวดไว้กับโต๊ะ

(iv) ก่อนเริ่มต้นการพันขดลวดชั้นที่สองใช้ส่วนเจาะขยายรูของลวดทองแดงที่ปลายเริ่มต้นของขดลวดที่เหลืไว้ครั้งแรกและปลายของขดลวดใหม่ที่จะใช้ในการพันชั้นที่สอง ใช้ท่อทองแดง (ferrules tube) สอดเข้าไประหว่างเส้นลวดทั้งสองดังแสดงในรูปที่ 4.20 แล้วเชื่อมทั้งสองส่วนเข้าด้วยกันโดยการเชื่อมด้วยความร้อนและใช้ลวดเชื่อมเงินเป็นตัวประสาน ดังแสดงในรูปที่ 4.21 ทำความสะอาดรอยเชื่อมด้วยตะไบและกระดาษทรายหลังจากนั้นก็พันทับด้วยฉนวนเพื่อเตรียมพันขดลวดชั้นที่สองต่อไป



รูปที่ 4.19 แสดงขดลวดเมื่อพื้นชั้นแรกเสร็จแล้ว

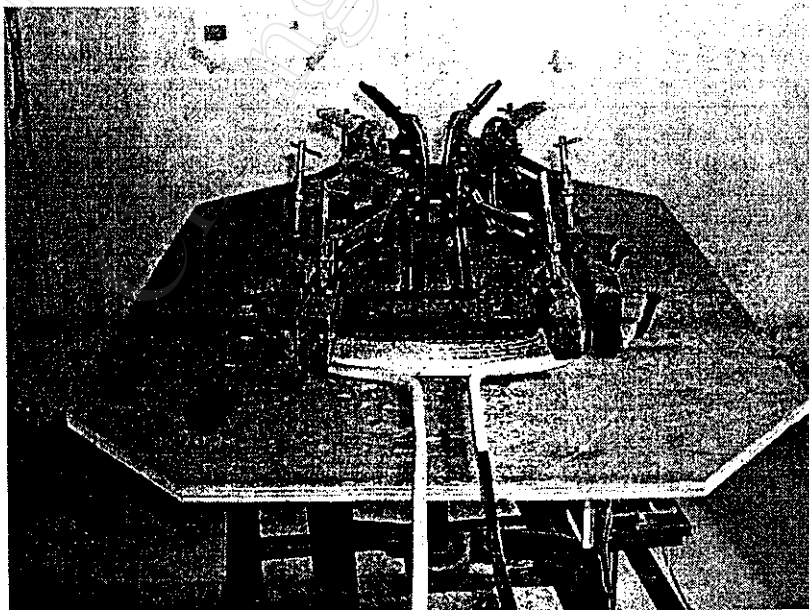


รูปที่ 4.20 แสดงการสอดท่อทองแดงเข้าไประหว่างขดลวดทองแดง



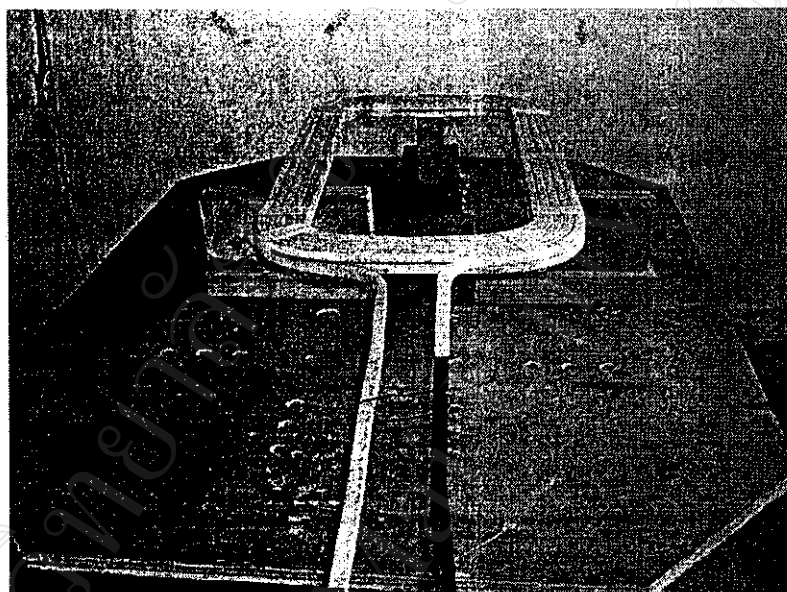
รูปที่ 4.21 แสดงการเชื่อมลวดทองแดงเข้าด้วยกัน

(v) เริ่มพันขดลวดชั้นที่สองโดยหมุนโต๊ะในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ดึงเส้นลวดให้ขนาบและชิดกับชั้นแรกมากที่สุดและใช้ clamp ยึดขดลวดไว้ตลอดเวลาในระหว่างกันเพื่อไม่ให้ขดลวดคลายตัว เมื่อพันครบสองชั้นแล้วจะได้ลักษณะของ 1 double pancake หลังจากนั้นทำการตัดขึ้นรูปปลายของขดลวดทั้งสองจะได้ลักษณะของ 1 double pancake ดังแสดงในรูปที่ 4.22

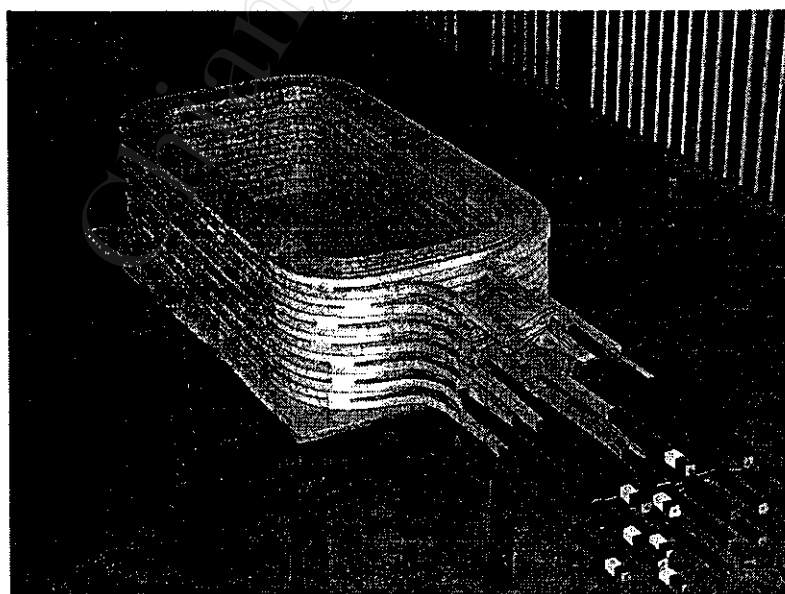


รูปที่ 4.22 แสดงขดลวด 1 double pancake ที่ตัดปลายขดลวดแล้ว

(vi) ถอด clamp และลิ้มไม้ที่ยึดขดลวดออกให้หมด แล้วถอดน็อตยึดโครงของขดลวดกับ โต๊ะหมุนออก ถอดโครงออกจากขดลวดอย่างระมัดระวังเพื่อไม่ให้ขดลวดเสียรูปและหลุดออกจากกัน จากนั้นใช้ glass cloth tape พันยึดขดลวดทั้งสองชั้นไว้ไม่ให้หลุดออกจากกัน เมื่อเสร็จแล้วจะได้ขดลวด 1 double pancake ที่พร้อมที่จะใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 4.23 และเริ่มพันครบ 7 double pancake แล้วนำมาวางซ้อนกันจะได้ลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.24

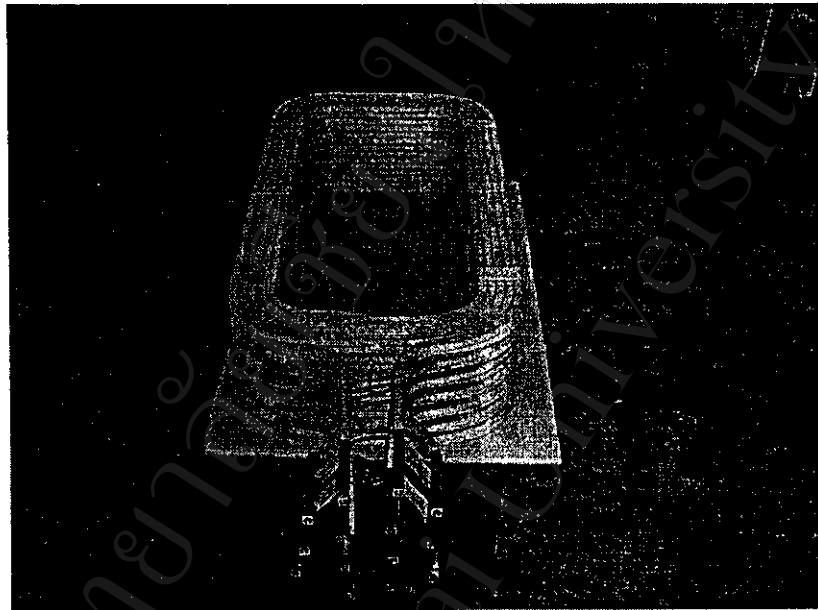


รูปที่ 4.23 แสดงขดลวด 1 double pancake



รูปที่ 4.24 แสดงขดลวด 7 double pancake (70 รอบ)

(vii) ตัดปลายของขวดรดให้ได้ความยาวตามขนาดแล้วถ้าวานรูที่ปลายขวดรดเพื่อเตรียมใส่ข้อต่อน้ำ (fitting) ดังแสดงในรูปที่ 4.25 หลังจากนั้นเชื่อมข้อต่อน้ำเข้ากับขวดทองแดงจะได้ลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.26



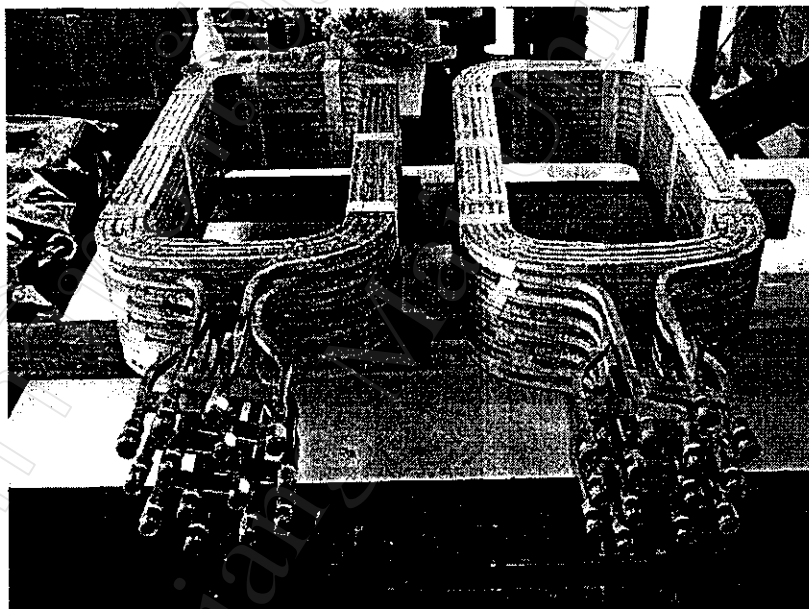
รูปที่ 4.25 แสดงขวดรดที่ตัดปลายและเจาะรูเพื่อเตรียมใส่ข้อต่อน้ำ



รูปที่ 4.26 แสดงขวดรดที่ใส่ข้อต่อน้ำเข้าไปที่ปลายขวดรด

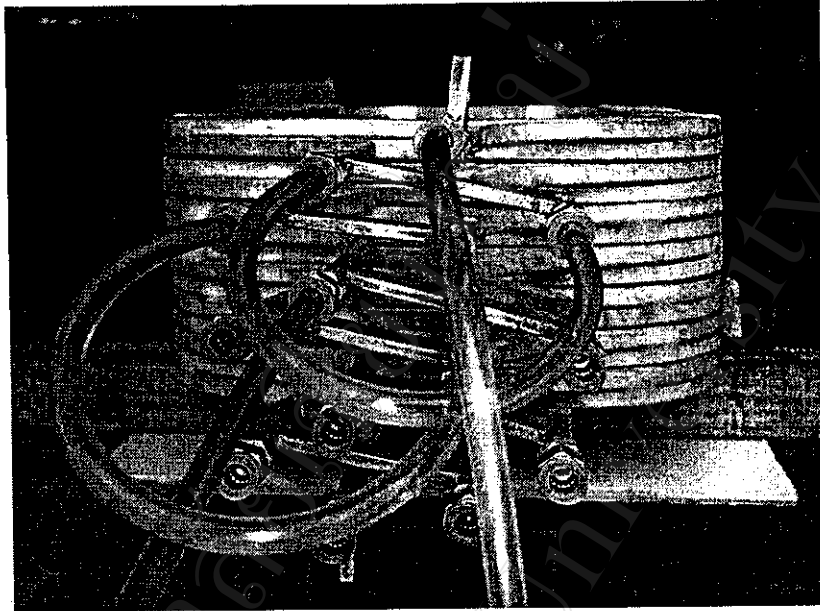
(viii) ใช้ epoxy ชนิด Aradite DBF ผสมกับ Hardener HY 956 EN ในอัตราส่วน 5 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก ทาบริเวณผิวของขดลวดแต่ละ double pancake เพื่อเป็นฉนวนกันไฟฟ้าและป้องกันอันตรายที่ทำให้ glass cloth tape เกิดฉีกขาด โดยคุณสมบัติของ epoxy เมื่อผสมกันแล้วหลังจากทา รอบขดลวดจะเป็นฉนวนที่ทนความร้อนสูงและจะมีความแข็งแรงมาก เมื่อปล่อยให้แห้ง

(ix) เนื่องจากแต่ละ double pancake ไม่ได้ต่อกัน ดังนั้นจึงใช้ copper bus bar เชื่อมต่อระหว่าง double pancake ซึ่งการต่อจะเป็นการต่อแบบอนุกรม โดยใช้ความร้อนและลวดเชื่อมเงินเป็นตัวประสานระหว่างลวดทองแดงกับ copper bus bar หลังจากนั้นใช้ glass cloth tape พันยึดขดลวดทั้ง 7 double pancake เข้าด้วยกันเพื่อไม่ให้หลุดออกจากกัน รูปของขดลวดที่เชื่อมต่อเข้าด้วยกันแล้วแสดงดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 แสดงขดลวดที่พร้อมจะนำไปใช้งานจริง

(x) ทำการทดสอบรอยรั่วบริเวณข้อต่อที่น้ำที่ถูกเชื่อมเข้ากับขดลวดทองแดงโดยการปล่อยน้ำประปาให้ไหลเข้าไป แล้วอุดปลายสายยางบริเวณน้ำขาออก เพื่อทดสอบดูว่ามีรอยรั่วตรงบริเวณไหน เพื่อจะได้ทำการอุดรอยรั่วนั้น การทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 แสดงการทดสอบหารอยรั่วบริเวณข้อต่อ

4.3 การประกอบขดลวดเข้ากับขั้วแม่เหล็ก

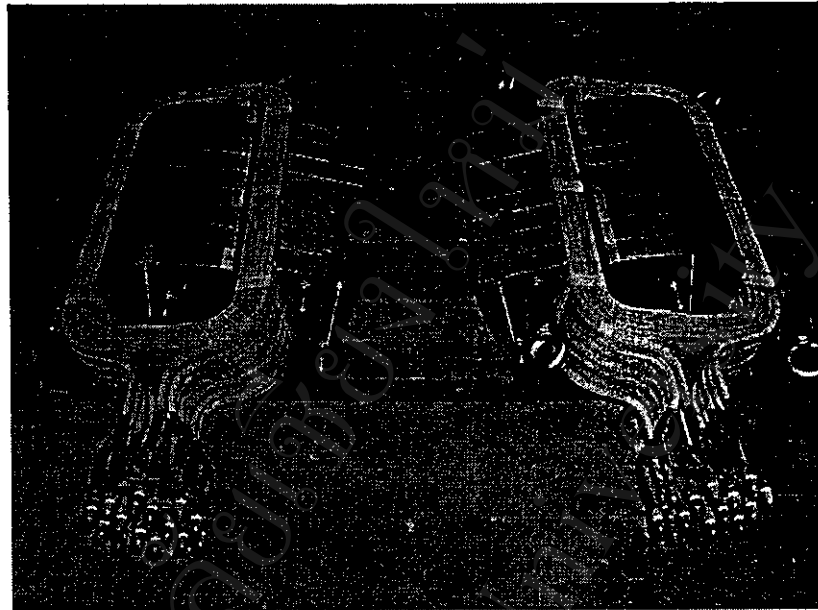
หลังจากการสร้างขั้วแม่เหล็กและการพันขดลวดเสร็จแล้วขั้นตอนสุดท้ายก่อนนำแม่เหล็กไปใช้งานก็คือ การประกอบชิ้นส่วนของแม่เหล็กเข้าด้วยกันโดยในที่นี้จะทำการประกอบแล้ววางแม่เหล็กในแนวนอนก่อน เพื่อความสะดวกในการทดสอบและวัดค่าสนามแม่เหล็กซึ่งขั้นตอนของการประกอบมีดังต่อไปนี้ คือ

(i) นำขั้วแม่เหล็กแต่ละแผ่นที่ได้จากการสร้างมาประกอบกันโดยแบ่งออกเป็นขั้วแม่เหล็กขั้วบนและขั้วแม่เหล็กขั้วล่าง โดยแต่ละขั้วจะมีทั้งหมด 9 แผ่น ระหว่างแผ่นแต่ละคู่จะใช้สปริงล็อกเบ่ง (spring pin) ดอกล็อกระหว่างรูของแต่ละแผ่นเพื่อเป็นการ alignment ขั้วแม่เหล็กแต่ละแผ่นเมื่อครบทั้ง 9 แผ่นแล้วใช้น็อตยึดทั้งหมดเข้าด้วยกัน รูปของขั้วแม่เหล็กแสดงดังรูปที่ 4.29



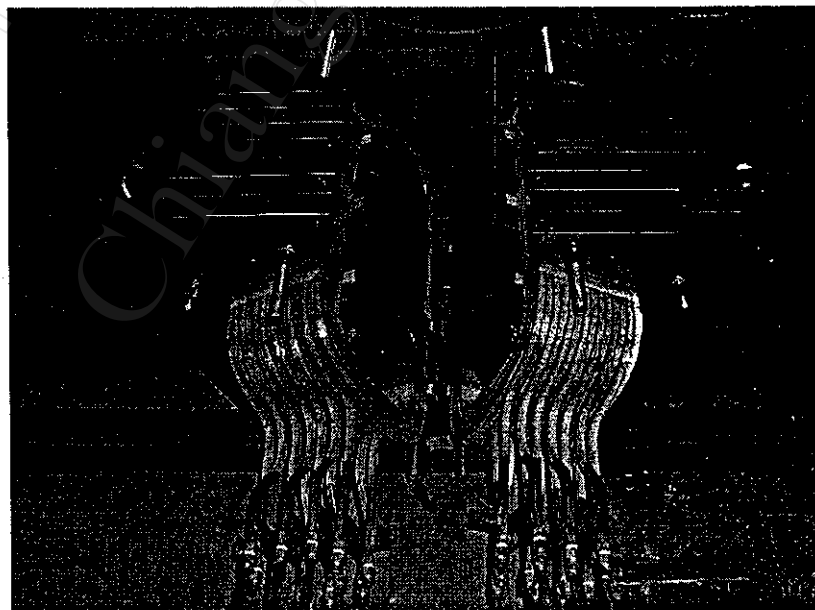
รูปที่ 4.29 แสดงแผ่นของขั้วแม่เหล็กที่ประกอบเข้าด้วยกัน

(ii) นำขดลวดที่พันเสร็จแล้วใส่เข้าไปในช่องว่างภายในขั้วแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.30



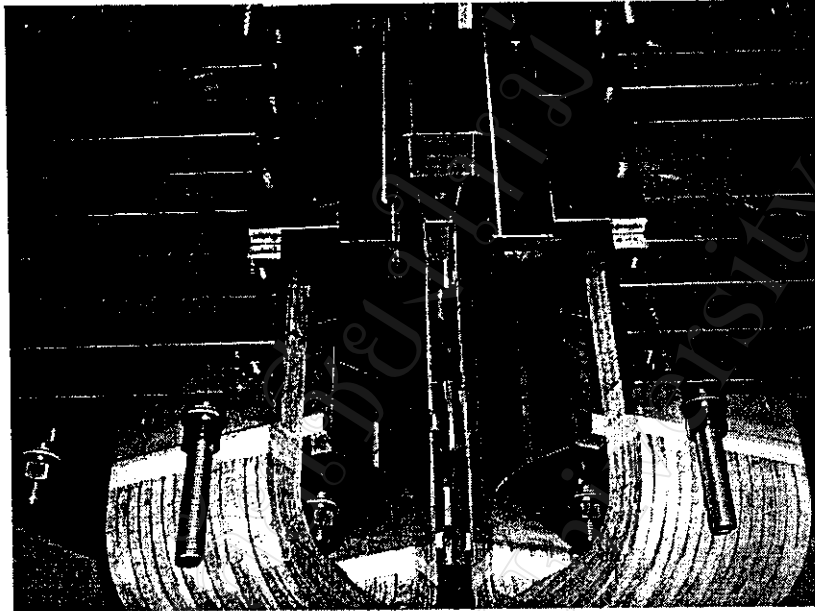
รูปที่ 4.30 แสดงการใส่ขดลวดเข้าไปในขั้วแม่เหล็ก

(iii) นำขั้วแม่เหล็กที่ใส่ขดลวดเข้าไปแล้วมาประกบเข้าด้วยกันหลังจากนั้นใช้น็อตยึดให้แน่นดังแสดงในรูปที่ 4.31



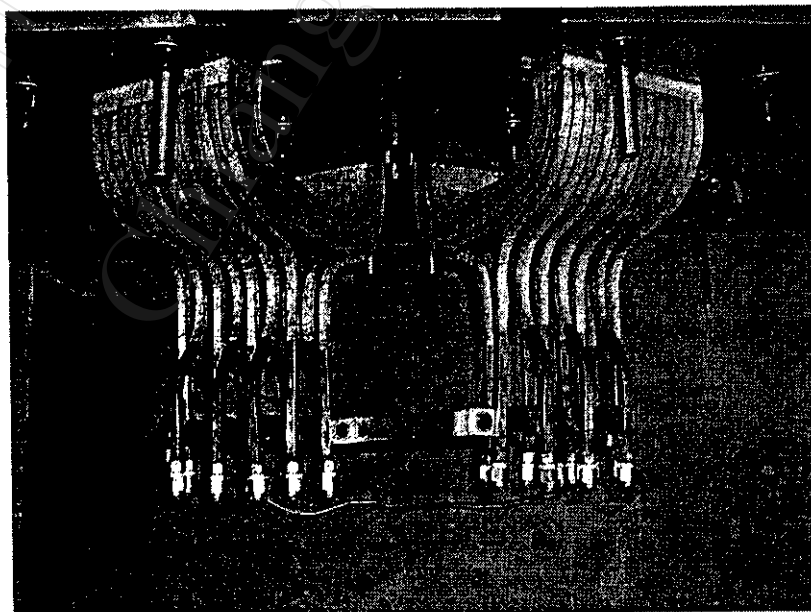
รูปที่ 4.31 แสดงการประกบขั้วแม่เหล็ก 2 อันเข้าด้วยกัน

(iv) นำชิ้นส่วนของ front plate มาใส่เข้ากับขั้วแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.32

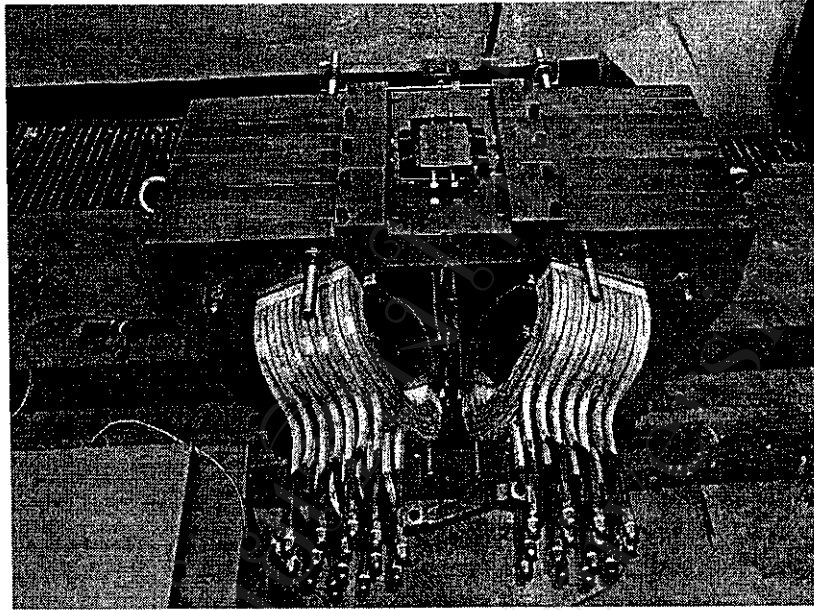


รูปที่ 4.32 แสดงการประกอบ front plate เข้ากับขั้วแม่เหล็ก

(v) ใช้ copper bus bar เชื่อมต่อระหว่างขดลวดทั้ง 2 ขด ดังแสดงในรูปที่ 4.33 หลังจากนั้นจะได้แม่เหล็กที่พร้อมจะทำการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.33 แสดงการเชื่อมต่อขดลวด 2 ขดเข้าด้วยกัน



รูปที่ 4.34 แม่เหล็กแบบอัลฟาที่พร้อมจะใช้งาน