บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทำแอโนดิกทรีตเมนต์

ผลการทำแอโนดิกทรีตเมนต์ ชิ้นงานดีบุกที่ทำการวิจัยทั้งหมด 3 ชุด โดยชิ้นงานในแต่ละชุดจะได้รับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในการทำแอโนดิกทรีตเมนต์ดังนี้

ตารางที่ 4.1.1 สรุปผลการทำแอโนดิกทรีตเมนต์ ของชิ้นงานชุดที่ 1 , ชุดที่2 , ชุดที่3

ชิ้นงานที่ทำการทดสอบ			ทำการตั้งค่าที่เครื่องแปลง	ค่าความหนาแน่นของกระแส
ชุดที่1	ชุดที่2	ชุดที่3	ไฟฟ้ากระแสตรง (volts)	ไฟฟ้าที่ให้กับชิ้นงาน (mA/cm^2)
1A0	7AC0	14AC0	0	0
2A1	8AC1	15AC1	2	1.4
3A2	9AC2	16AC2	3.5	10
4A3	10AC3	17AC3	5.5	25
5A4	11A4	18AC4	7.5	40
6A5	12AC5	19AC5	10	67

เมื่อทำการตั้งค่าโวลต์ที่เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสตรงในการทำแอโนดิกทรีตเมนต์ จากค่า 0-10 โวลต์จะทำให้เกิดความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ในการทำแอโนดิกทรีตเมนต์มีค่าจาก 0-67 mA/cm^2 โดย

ชิ้นงานชุดที่ 1 เมื่อผ่านการทำแอโนดิกแล้วก็ไปทำการวิเคราะห์พื้นผิวของชั้นพาสซิเวชั่น

ชิ้นงานชุดที่ 2 เมื่อผ่านการทำแอโนดิกแล้วก็จะไปทำแคโทดิกทรีตเมนต์ จากนั้นจึงไปวิเคราะห์ผิวของชั้นพาสซิเวชั่น

ชิ้นงานชุดที่ 3 เมื่อผ่านการทำแอโนดิกแล้วก็จะไปทำแคโทดิกทรีตเมนต์ รวมทั้งชิ้นงานดีบุกที่ไม่ได้ผ่านการทรีตเมนต์ ชิ้นงาน13A0 โดยจะทำการทดสอบความสามารถในการต้านทาน

การกัดกร่อนพิจารณาหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการทรีตเมนต์ แล้วทำให้ค่าความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุด เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาผลที่มีต่อชั้นพาสซิเวชั่น ของชิ้นงานที่ทำการวิจัยโดย จะเลือกพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานดีบุกที่ไม่ได้ผ่านการทรีตเมนต์ ชิ้นงาน 1A0 และชิ้นงานดีบุกที่ผ่านการ ทำแคโทดิกทรีตเมนต์เพียงอย่างเดียว ชิ้นงาน7AC0 รวมทั้งชิ้นงานดีบุกที่ผ่านการทำแอโนดิกทรีตเมนต์แล้วจึงทำแคโทดิกทรีตเมนต์ โดยมีค่าความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนสูงสุด

4..2 ผลวิเคราะห์ชั้นพาสซิเวชั่น ชิ้นงานชุดที่ 1

ผลวิเคราะห์ชั้นพาสซิเวชั่นชิ้นงานชุดที่ 1 ที่ผ่านการทำแอโนดิกทรีตเมนต์ ด้วย ESCA ร่วมกับเทคนิคการปาดชั้นอะตอมออกโดยการกระแทกด้วยอิออนของธาตุอาร์กอนได้ผลดังแสดงตาม ตารางที่ 4.2.1

ตารางที่ 4.2.1 ผลการทำแอโนดิกทรีตเมนต์ ที่ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่างๆ (A) ของชิ้นงานชุดที่1 โดยพิจารณา ออกไซด์ของดีบุกที่ตรวจพบลึกจากผิวของชิ้นงาน (SnO_x) , ออกซิเจนอะตอมที่ตรวจพบลึกจากผิวของชิ้นงาน (O) , ชนิดของออกไซด์ของดีบุก (D)

ชิ้นงาน	A (mA/cm^2)	SnO_x(A°)	O (A°)	D
1A0	0	16	29	SnO2
3A2	10	16	60	SnO2
4A3	25	136	150	SnO
5A4	40	60	180	SnO
6A5	67	22	48	SnO

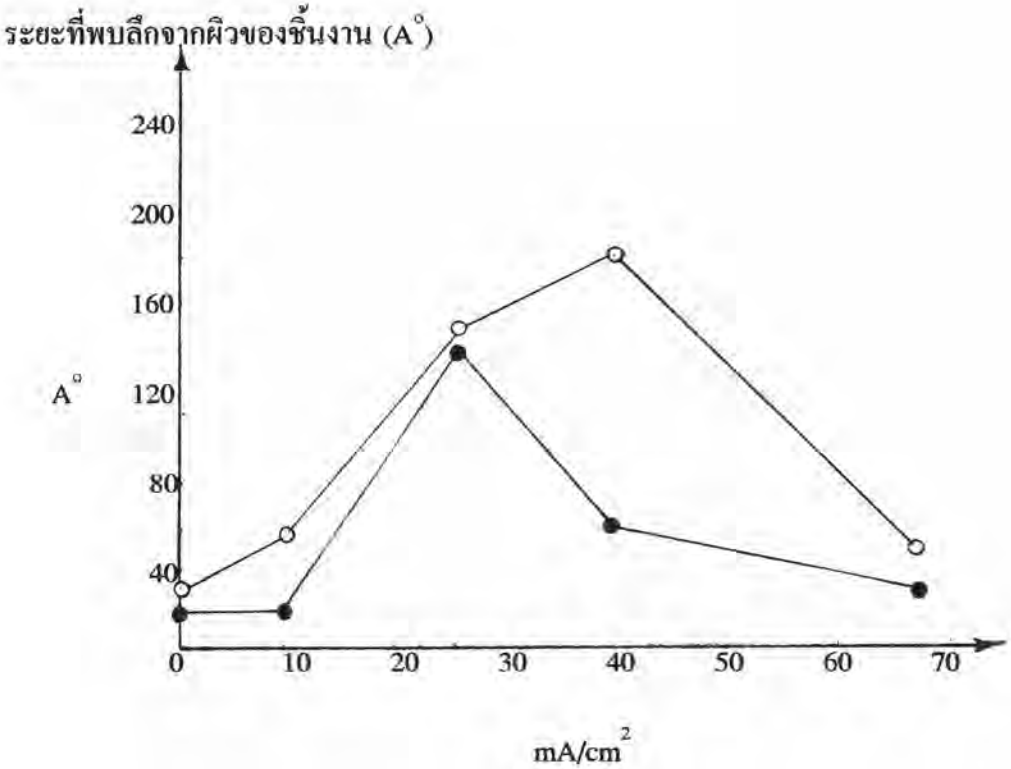
หมายเหตุ

A = ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในการทำแอโนดิกทรีตเมนต์ (mA/cm^2)

SnO_x = ออกไซด์ของดีบุกที่ตรวจพบลึกจากผิวของชิ้นงาน (A°)

O = ออกซิเจนอะตอมที่ตรวจพบลึกจากผิวของชิ้นงาน (A°)

D = ชนิดของออกไซด์ของดีบุก



ภาพที่ 4.2.1 แสดงผลของการทำแอโนดิกทรีตเมนต์ด้วยค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่างๆ ต่อออกไซด์ของดีบุกและ อะตอมของออกซิเจนที่ตรวจพบที่ความลึกจากผิวของชิ้นงานดีบุก (A°)

● Sn = ความลึกของออกไซด์ของดีบุกที่ตรวจพบจากผิวของชิ้นงาน (A°)

o at.O = ความลึกของอะตอมออกซิเจนที่ตรวจพบจากผิวของชิ้นงาน (A°)

ผลการทำแอโนดิกทรีตเมนต์ (ภาพที่ 4.2.1) พบว่าการทำแอโนดิกทรีตเมนต์ในช่วงความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 0-40 mA/cm^2 จะพบอะตอมออกซิเจนลึกจากผิวของชิ้นงานดีบุกเพิ่มขึ้น และจะมีค่าสูงสุดเมื่อให้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามีค่า 40 mA/cm^2

โดยจะพบออกซิเจนอะตอมลึกจากผิวของชิ้นงาน 180A° เมื่อเพิ่มความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเป็น 67 mA/cm^2 พบว่าอะตอมออกซิเจนที่ระดับความลึกจากผิว 48 A° มีค่า ลดลง โดยจะพบอะตอมออกซิเจนที่ระดับลึกจากผิวมากที่สุดในช่วงความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทำแอโนดิกต์ทรีตเมนต์มีค่า 25-40 mA/cm^2 ส่วนออกไซด์ของดีบุก จะพบที่ระดับความลึกจากผิวเพิ่มขึ้นเมื่อให้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในช่วง10-25 mA/cm^2 โดยจะพบออกไซด์ของดีบุกอยู่ลึกจากผิวมากที่สุดที่ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 25 mA/cm^2 โดยออกไซด์ของดีบุกอยู่ลึกจากผิว 136 A° เมื่อเพิ่มความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามากกว่า 25 mA/cm^2 พบว่าออกไซด์ของดีบุกอยู่ลึกจากผิวลดลง

ในการทำแอโนดิกต์ทรีตเมนต์ จะทำให้ค่าพลังงานยึดเหนี่ยวของชั้นพาสซิเวชันมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ใช้มีค่ามากกว่า 10 mA/cm^2 จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของออกไซด์ของดีบุกจาก SnO_2 (B.E.=486.6 eV) เป็น SnO (B.E.= 486.8 eV) และเกิดการเปลี่ยนแปลงของ Sn (B.E.=484.9 eV) เป็น SnO (B.E.= 486.8 eV)

4.3 ผลวิเคราะห์ชั้นพาสซิเวชัน ชิ้นงานชุดที่ 2

ผลการวิเคราะห์ชั้นพาสซิเวชั่น ชิ้นงานชุดที่ 2 ซึ่งเป็น ชิ้นงานที่ผ่านการทำแอโนดิกทรีตเมนต์ที่ ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่างๆ ในช่วง 0-67 mA/cm^2 จากนั้นก็จะผ่านการทำแคโทดิกทรีตเมนต์ โดยจะทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของโครเมียม และองค์ประกอบของดีบุก ผลที่ได้ตาม ตาราง 4.3.1

ตารางที่ 4.3.1 แสดงผลวิเคราะห์ชิ้นงานชุดที่ 2 ชิ้นงานผ่านการทำแอโนดิกทรีตเมนต์ที่ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆก่อนการทำแคโทดิกทรีตเมนต์

ชิ้นงานชุดที่ 2	A/C (mA/cm^2)	Cr (A°)	Sn(A°)	at .O (A°)
7AC0	0	29	22	57
9AC2	10	29	22	79
10AC3	25	98	29	148
11AC4	40	180	70	205
12AC5	67	150	98	295

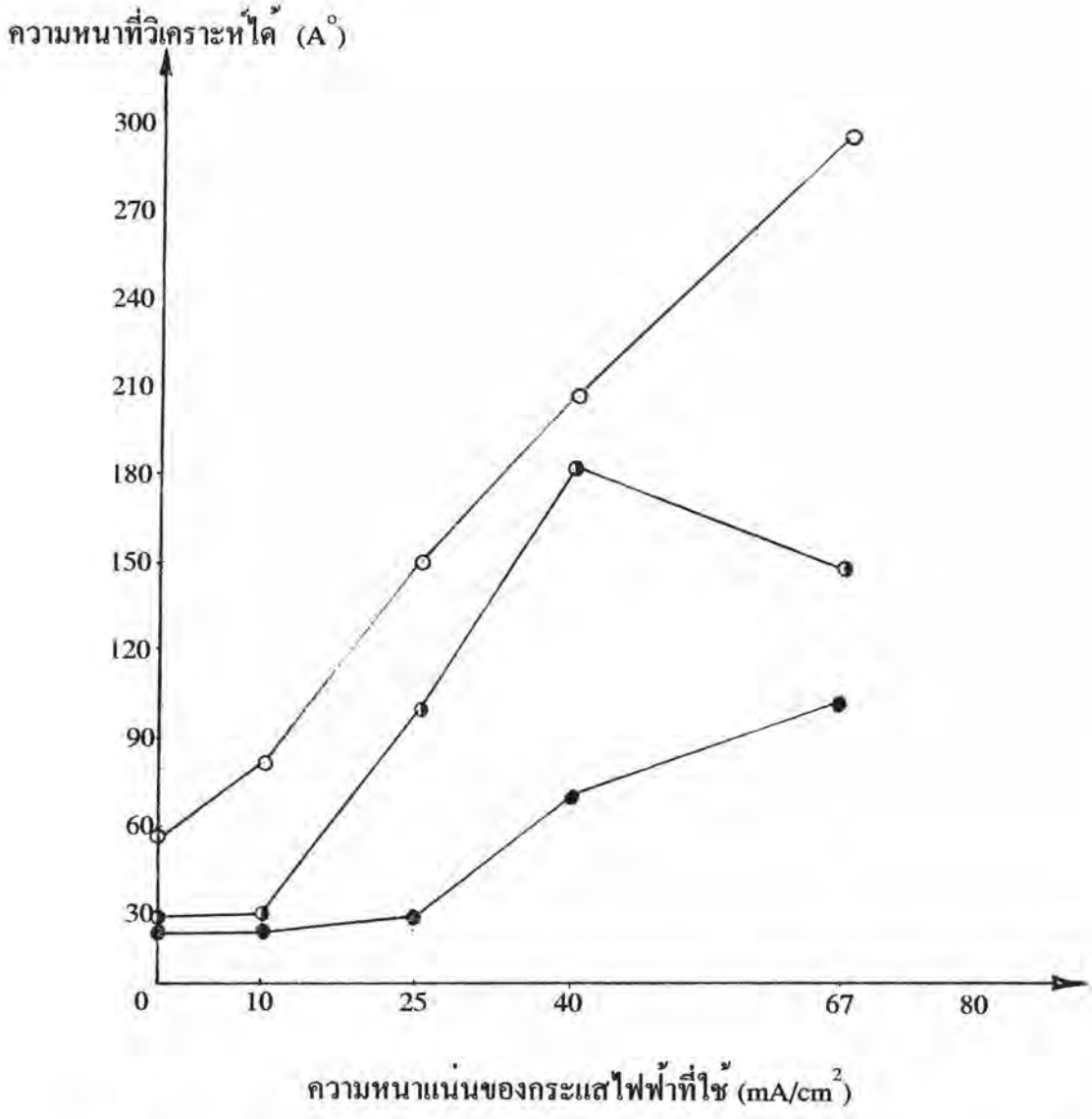
หมายเหตุ

A/C = ชิ้นงานผ่านการทำแอโนดิกทรีตเมนต์ด้วยค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่แสดงในตาราง (mA/cm^2) ก่อนที่จะไปทำแคโทดิกทรีตเมนต์

Cr = ความลึกของออกไซด์โครเมียม จากผิวของชิ้นงาน(A°)

Sn = ความลึกของออกไซด์ของดีบุกจากผิวของชิ้นงาน (A°)

at..O = ความลึกของอะตอมออกซิเจนจากผิวของชิ้นงาน (A°)



ภาพที่ 4.3.1 แสดงผลของการทำแอโนดิกทรีตเมนต์ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่างๆแล้วจึงไปทำแคโทดิกทรีตเมนต์

◑ = ความลึกของออกไซด์โครเมียม จากผิวของชิ้นงาน (A°)

● = ความลึกของออกไซด์ของดีบุกจากผิวของชิ้นงาน (A°)

○ = ความลึกของอะตอมของออกซิเจนจากผิวของชิ้นงาน (A°)

จากภาพที่ 4.3.1 พบว่า ออกไซด์ของโครเมียมจะอยู่ลึกจากผิวมากขึ้น เมื่อทำแอโนดิกทรีตเมนต์ก่อน การทำแคโทดิกทรีตเมนต์ ที่ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 25 mA/cm^2 สำหรับชิ้นงานที่ไม่ได้ผ่านการทำแอโนดิกทรีตเมนต์ ก่อนการทำแคโทดิกทรีตเมนต์ จะพบออกไซด์ของโครเมียมอยู่ลึกจากผิว 29 A° เมื่อผ่านการทำแอโนดิกทรีตเมนต์ที่ 25 และ 40 mA/cm^2 จะพบว่าโครเมียมออกไซด์จะอยู่ลึกจากผิวเป็น 3 และ 6 เท่า ตามลำดับแต่เมื่อเพิ่ม ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในการทำแอในดิกทรีตเมนต์เป็น 67 mA/cm^2 ออกไซด์ของโครเมียมจะอยู่ลึกจากผิวไม่เพิ่มขึ้นอีกแต่จะลดลงจากเดิม โดยมีค่าเป็น 5 เท่าของชิ้นงานที่ผ่านการทำแคโทดิกทรีตเมนต์เพียงอย่างเดียว

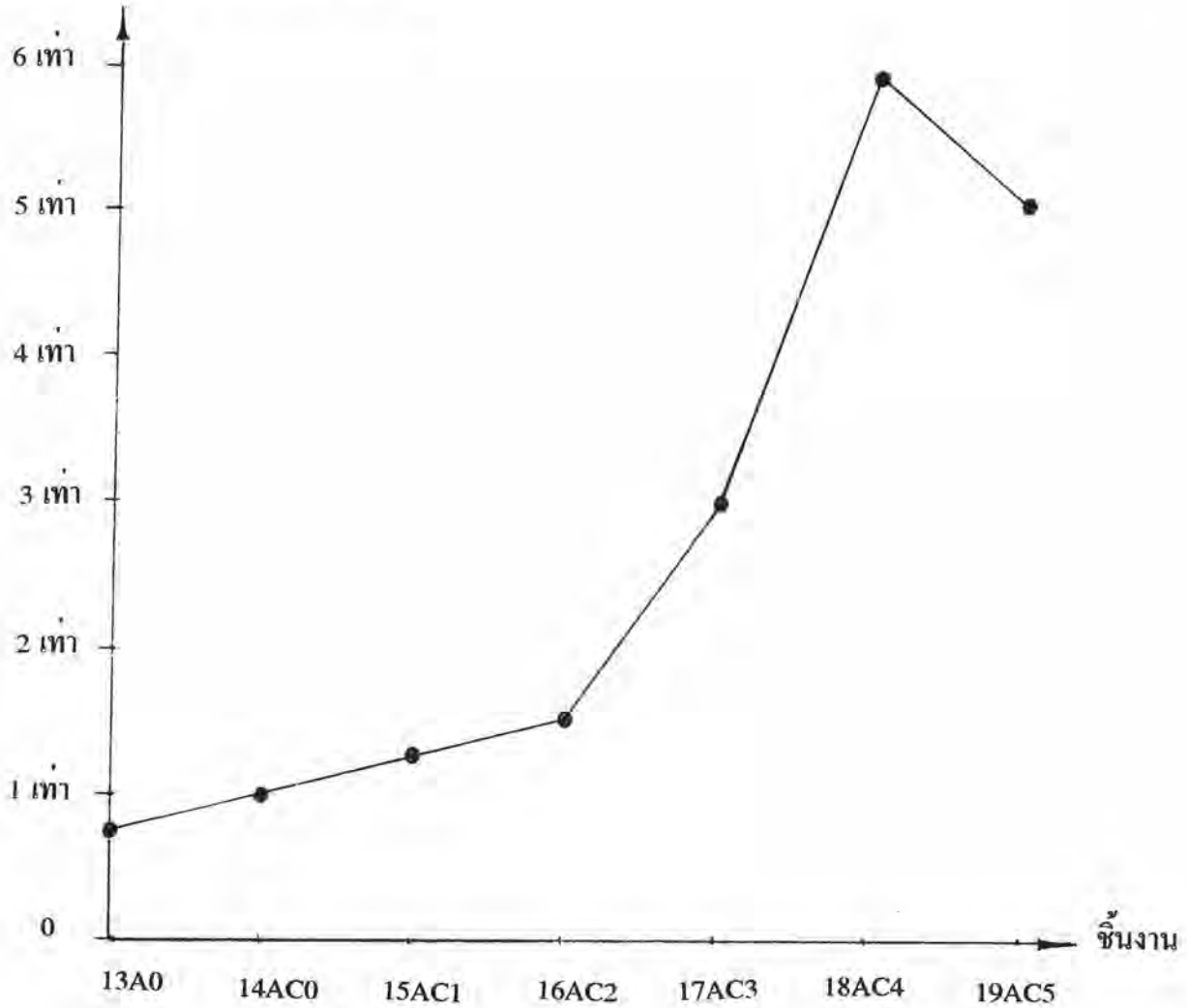
ผลวิเคราะห์องค์ประกอบของชั้นพาสซิเวชั่นพบว่าออกไซด์ของโครเมียมที่เกิดขึ้นนั้นประกอบด้วย Cr_2O_3, CrOOH, $Cr(OH)_3$ และ CrO_2^+ แม้ว่าจะผ่านการทำแอโนดิกทรีตเมนต์ก่อนการทำแคโทดิกทรีตเมนต์หรือไม่ผ่านการทำแอโนดิกทรีตเมนต์แต่ผ่านการทำแคโทดิกทรีตเมนต์เพียงอย่างเดียวก็ตาม และมีผลต่อออกไซด์ของเหล็กโดยทำให้มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 1.3-4.5 เท่า ของชิ้นงานที่ผ่านการทำแคโทดิกทรีตเมนต์เพียงอย่างเดียว ส่วนออกซิเจนอะตอมจะพบที่ระดับลึกจากผิวของชิ้นงานเพิ่มขึ้น มีค่าเป็น 1.4 - 5 เท่าของชิ้นงานที่ผ่านการทำแคโทดิกทรีตเมนต์เพียงอย่างเดียว

4.4 ผลการทดสอบความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนของชิ้นงานชุดที่3 โดยผ่านการทำแอโนดิกทรีตเมนต์ก่อนแล้วจึงผ่านการทำแคโทดิกทรีตเมนต์ รวมทั้งชิ้นงานดีบุกที่ไม่ผ่านการ ทรีตเมนต์ชิ้นงาน13A0 จากนั้นก็มาทดสอบความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อน

ตารางที่ 4.4.1 ผลการทดสอบความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนที่ได้

ชิ้นงานชุดที่3	ปริมาณดีบุกที่ละลายออกมาในสารละลาย	กำหนดให้ความสามารถในการต้าน
และชิ้นงา13A0	มีค่าเป็น ส่วนในล้านส่วน (PPM)	ทานการกัดกร่อนชิ้นงาน14AC0 =1
13A0	4	.75 เท่า
14AC0	3	1 เท่า
15AC1	2.5	1.2 เท่า
16AC2	2	1.5 เท่า
17AC3	1	3 เท่า
18AC4	0.5	6 เท่า
19AC5	0.6	5 เท่า

นำค่าที่ได้จาก ตาราง 4.4.1 มาเขียนกราฟจะได้ดัง ภาพที่ 4.4.1



ภาพที่ 4.4.1 แสดงความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนของชิ้นงานต่างๆ

จากผลการทดสอบความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนของชิ้นงานชุดที่ 3 รวมทั้งชิ้นงาน 13A0 ซึ่งเป็นชิ้นงานดีบุกที่ไม่ได้ผ่านการทรีตเมนต์ พบว่าชิ้นงานดีบุกที่ไม่ได้ผ่านการทรีตเมนต์จะมีความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนต่ำที่สุด ส่วนชิ้นงานที่ผ่านการทำแคโทดิกทรีตเมนต์ เพียงอย่างเดียว จะทำให้ความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น .25 เท่า และการทำแอโนดิกทรีตเมนต์ก่อนการทำแคโทดิกทรีตเมนต์ที่ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในช่วง 1-67 mA/cm^2 ทำให้ความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.2 - 6 เท่า ของชิ้นงานที่ทำแคโทดิกทรีตเมนต์เพียงอย่างเดียว(ชิ้นงาน 14AC0) การทำ

แคโทดิกทรีตเมนต์ที่ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากค่า 0- 40 mA/cm^{2}จะทำให้ความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเป็น 1.2 , 1.5 , 3 และ 6 เท่า ของชิ้นงานที่ทำแคโทดิกทรีตเมนต์เพียงอย่างเดียวแต่ เมื่อเพิ่มค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามากกว่านี้คือที่ 67mA/cm^2 ความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนจะมีค่าไม่เพิ่มขึ้นอีก แต่จะมีค่าเพียง 5 เท่าของชิ้นงานที่ทำแคโทดิกทรีตเมนต์เพียงอย่างเดียวเท่านั้น เมื่อพิจารณาหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการทำแอโนดิกทรีตเมนต์ แล้วทำให้ความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุด โดยมีค่าเป็น 6เท่าของชิ้นงานที่ทำแคโทดิกทรีตเมนต์เพียงอย่างเดียว พบว่าการทำแอโนดิกทรีตเมนต์ที่ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ 40 mA/cm^2 เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด เพราะทำให้ความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนมีค่าสูงสุดเป็น6 เท่าของชิ้นงานที่ทำแคโทดิกทรีตเมนต์เพียงอย่างเดียว