# บทที่ 3

# วิธีดำเนินการวิจัย

## 3.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

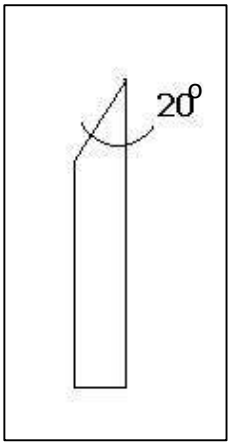
ในการเตรียมชิ้นงานจะใช้แผ่นทองแดงบริสุทธิ์ 99.99 % มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเชิงตัวเลข (Arithmetic Mean Roughness : $R_a$) ประมาณ 0.164 μm มีความหนา 1 mm. เป็นโลหะพื้นในการบัดกรี และนำมาตัดด้วยเครื่องตัดแบบคันโยกให้มีขนาด 10 x 70 mm. ดังแสดงในภาพที่ 3.1 จากนั้น นำชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการเตรียมชิ้นตัวอย่างโดยในขั้นตอนแรกจะทำความสะอาดพื้นผิวชิ้นงานในสบู่เพื่อขจัดคราบไขมันที่อยู่บนชิ้นตัวอย่างจากนั้นทำความสะอาดพื้นผิวชิ้นงานในกรดเกลือ 35% จากนั้นล้างในเอธานอลโดยปล่อยให้แห้งในอากาศแล้วนำชิ้นตัวอย่างไปจุ่มลงใน ฟลักซ์ Ultracore Flux AMR N-1003 ดังแสดงในภาพที่ 3.2 จากนั้นนำชิ้นงานไปจุ่มในโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วด้วยเตาหลอมไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 3.3 ที่อุณหภูมิ 170, 190 และ210°C แต่ละอุณหภูมิใช้เวลาในการจุ่ม 5, 15 และ 25 วินาที ตามลำดับ

**ภาพที่ 3.1** ลักษณะของแผ่นรองทองแดงที่ตัดด้วยเครื่องตัดแบบคันโยก

**ภาพที่ 3.2** ฟลักซ์ Ultracore Flux AMR N-1003

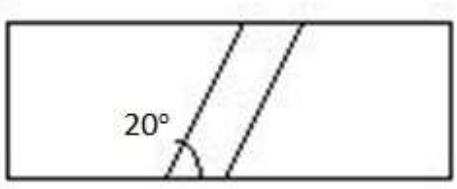
นำชิ้นตัวอย่างไปตัดด้วยเครื่องตัดแบบแรงโน้มถ่วงยี่ห้อ Struers รุ่น Minitom โดยการตัดจะทำมุมเอียง 20 องศา เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการวัดความหนาของชั้นสารประกอบเชิงโลหะ เนื่องจากระนาบที่เอียง 20 องศา จะขยายให้ชั้นบางมีความหนาเพิ่มขึ้นถึง 2.92 เท่า ดังแสดงในภาพที่ 3.4

**ภาพที่ 3.3** เตาหลอมไฟฟ้า




**ภาพที่ 3.4** ลักษณะของแผ่นรองทองแดงที่ถูกตัด

จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างมาหล่อเรซินในแม่แบบทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง1.5 นิ้วสูง 1 cm ด้วยเรซินส่วนผสม CPJ-422Tp โดยใช้ด้านที่ตัดทำมุมสัมผัสกับวัสดุรองและหล่อในเรซิน ดังแสดงในภาพที่ 3.5




**ภาพที่ 3.5** ชิ้นงานตัวอย่างที่หล่อเรซิน

นำชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการหล่อเรซินไปขัดด้วยกระดาษทรายที่มีความละเอียดตั้งแต่เบอร์ 600, 800, 1000 และ 1200 ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงทำการขัดโดยใช้ผงอะลูมินา ($Al_2O_3$) ขนาด 1.0 และ 0.3 ไมครอนบนสักหลาดโดยใช้เครื่องขัดยี่ห้อ Struers รุ่น LaboPol-1จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการขัดโดยผงอะลูมินา ($Al_2O_3$) แล้วไปทำการกัดผิวหน้าชิ้นงาน ด้วยสารละลายที่ประกอบด้วย 93% Ethanol: 5% Nitric: 2%Hydrochloric จากนั้นล้างกรดจากการกัดผิวหน้าด้วยเครื่อง Elma E30H Elmasonic ดังแสดงในภาพที่ 3.6

**ภาพที่ 3.6** เครื่อง Elma E30H Elmasonic

### 3.2 การวิเคราะห์ผลทางโครงสร้างจุลภาค

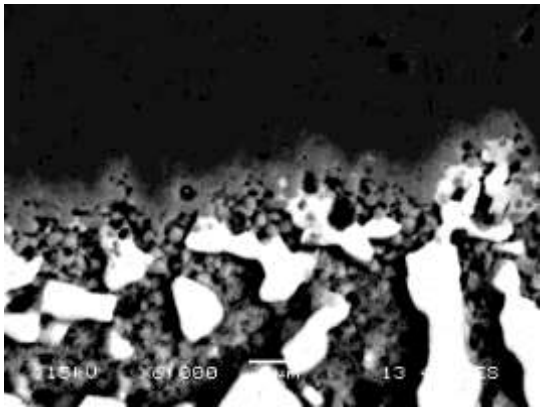
#### 3.2.1 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคเบื้องต้นโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง

ในเบื้องต้นจะทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน เพื่อตรวจสอบความเรียบของหน้าผิวชิ้นตัวอย่าง รวมถึงลักษณะของชั้นสารประกอบเชิงโลหะ (Intermetallic Compound) รวมถึงลักษณะ

และขนาดของเกรน เนื่องจากโครงสร้างจุลภาคเหล่านั้นส่งผลโดยตรงต่อคุณสมบัติทางกลของรอยต่อบัดกรี โดยนำชิ้นตัวอย่างที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดสอบ นำไปตรวจดูด้วยกล้อง Optical Microscope ยี่ห้อ Zeiss รุ่น Axiolab ซึ่งมีกำลังขยายสูงสุดอยู่ที่ 500 เท่า

**3.2.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและองค์ประกอบทางเคมี**

ในการศึกษาชั้นสารประกอบเชิงโลหะที่เกิดขึ้นและองค์ประกอบทางเคมี จะทำการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ แบบส่องกราดยี่ห้อ JEOL JSM-6380LV ด้วยการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยวิธี Back Scatter Electron เพื่อตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของชิ้นตัวอย่างที่เกิดชั้นสารประกอบเชิงโลหะ จากนั้นจะทำการปรับฟังก์ชันให้เป็นการตรวจสอบปริมาณธาตุที่พบบนพื้นผิวของชิ้นตัวอย่าง ด้วยวิธี EDX จะได้ผลเป็นปริมาณธาตุที่พบตรงบริเวณจุดสำรวจของผิวชิ้นตัวอย่าง แสดงผลเป็นสเปกตรัมเฉพาะของธาตุที่ค้นพบและรายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของธาตุที่ค้นพบ และนำภาพที่ถ่ายได้จากกระบวนการ SEM ดังแสดงในภาพที่ 3.7 ไปทำการค้นหาความหนาของชั้นสารประกอบเชิงโลหะด้วยโปรแกรม Image Pro Express ต่อไป



**ภาพที่ 3.7** ภาพที่ได้จากการ SEM ด้วยวิธี Back Scatter Electron ที่กำลังขยาย 6,000 เท่า

**3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัยของขั้นตอนการออกแบบการทดลองและดำเนินการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ ($3^k$ Factorial Design)**

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการทดลองเพื่อค้นหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ ($3^k$ Factorial Design)

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ ($3^k$ Factorial Design) คือการออกแบบที่ประกอบด้วย k ปัจจัย ในระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ ($3^k$ Factorial Design) ครั้งนี้ จะกำหนดระดับของปัจจัยออกเป็น 3 ระดับ โดยจะนำระดับของปัจจัยที่เคยทำการทดลองเบื้องต้นมาทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง และทำการกำหนดค่าระดับกลางเพิ่มขึ้นให้กับปัจจัยต่างๆ ซึ่งจะต้องทำการทดลองทั้งหมด 3 x 3 x 3 x … x 3 = $3^k$ การทดลอง

เมื่อได้ทำการออกแบบการทดลองเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็คือ การดำเนินการทดลองตามรูปแบบการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ พร้อมทั้งบันทึกผลการทดลอง

**3.4 วิธีการดำเนินงานวิจัยของขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลอง**

เมื่อได้ผลการทดลองครบถ้วนแล้วให้นำผลการทดลองทั้งหมดไปวิเคราะห์ผลและสรุปผล ในการวิเคราะห์ได้ใช้วิธีการสถิติเชิงวิศวกรรม เพื่อให้ได้ผลการทดลองและข้อสรุปจากการทดลองโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากผลการดำเนินการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ ($3^k$ Factorial Design) ซึ่งอาศัยโปรแกรม Minitab Version 16 มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลองดังนี้

1. การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking)
2. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

**3.5 การดำเนินงานของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ**

ในขั้นตอนของการดำเนินงานของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุจะกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังนี้

$x_1$= อุณหภูมิ ($^oC$)

$x_2$= เวลา (s)

y = ความหนาของชั้นสารประกอบเชิงโลหะ

วิธีการดำเนินงานประกอบด้วย 3 ขั้นตอน

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ
2. ศึกษาการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุในโปรแกรม Minitab Version 16
3. ตรวจสอบ เงื่อนไขเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความถดถอย

**3.5.1 การทำนายความหนาของชั้นสารประกอบเชิงโลหะโดยใช้การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ**

ก่อนที่จะเริ่มต้นการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ เพื่อนำไปใช้ในการตัดสินใจเลือกรูปแบบความสัมพันธ์ของสมการถดถอยจะต้องสร้างสมการหรือตัวแบบจำลองโดยทั่วไปที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระ เพื่อเป็นสมการพื้นฐานในการศึกษารูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสม

การนำวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ มาใช้ในการเลือกรูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสมของสมการถดถอย เพื่อศึกษาการทำนายความหนาของชั้นสารประกอบเชิงโลหะนั้นมีองค์ประกอบหลายอย่างที่มีผลต่อการเรียนรู้ของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ การเรียนรู้ได้ดีจะส่งผลให้สมการถดถอยมีความสามารถในการคำนวณหาคำตอบได้แม่นยำขึ้น ดังนั้นก่อนทำการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ จึงต้องมีการพิจารณาถึงองค์ประกอบที่มีผลต่อการเรียนรู้และประสิทธิภาพของสมการถดถอย ดังนี้

3.5.1.1 การตรวจสอบการแจกแจงข้อมูล

การตรวจสอบการแจกแจงข้อมูลว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ เป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีผลต่อการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ ซึ่งในปริญญานิพนธ์นี้จะใช้วิธีการตรวจสอบการแจกแจงข้อมูล ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 วิธีดังนี้

การตรวจสอบโดยใช้กราฟ กราฟที่ใช้ในการตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลคือ

1. การตรวจสอบการกระจายตัวปกติ (Normal Distribution) ของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) จากการพิจารณาการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ซึ่งใช้ในการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Plot) โดยการนำข้อมูลมาสร้างแผนภูมิ ค่าส่วนตกค้าง (Residuals) มีการกระจายตัวเป็นเส้นตรงทำให้ประมาณได้ว่า ค่าส่วนตกค้าง (Residuals) มีการแจกแจงปกติ

2. การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) สามารถพิจารณาโดยการสร้างแผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) โดยการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ที่มีรูปแบบที่เป็นอิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน หรือไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้แสดงว่าส่วนตกค้าง (Residuals) มีความเป็นอิสระต่อกัน (Independent)

3. การตรวจสอบความเสถียรของ $\sigma^2$ (Variance Stability) สามารถพิจารณาจากแผนภูมิการกระจาย ซึ่งเป็นแผนภูมิการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) เทียบกับ Fitted Value ถ้า $\sigma^2$ ของค่าส่วนตกค้าง $\sigma^2$ มีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละตำแหน่ง และไม่พบว่ารูปแบบการกระจายตัวของค่าเส้นตกโค้ง (Residuals) มีลักษณะเป็นแนวโน้มจึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

3.5.1.2 จำนวนตัวแปรอิสระแบบตัวแปรตาม

โตรงการวิจัยนี้ได้กำหนดจำนวนตัวแปรอิสระ 2 ปัจจัย จากปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความหนาของชั้นสารประกอบเชิงโลหะของชิ้นงาน คือ เวลาและอุณหภูมิ ส่วนตัวแปรตามจะกำหนดจากค่าผลลัพธ์ที่ต้องการให้สมการถดถอยคำนวณออกมา คือ ความหนาของชั้นสารประกอบเชิงโลหะ