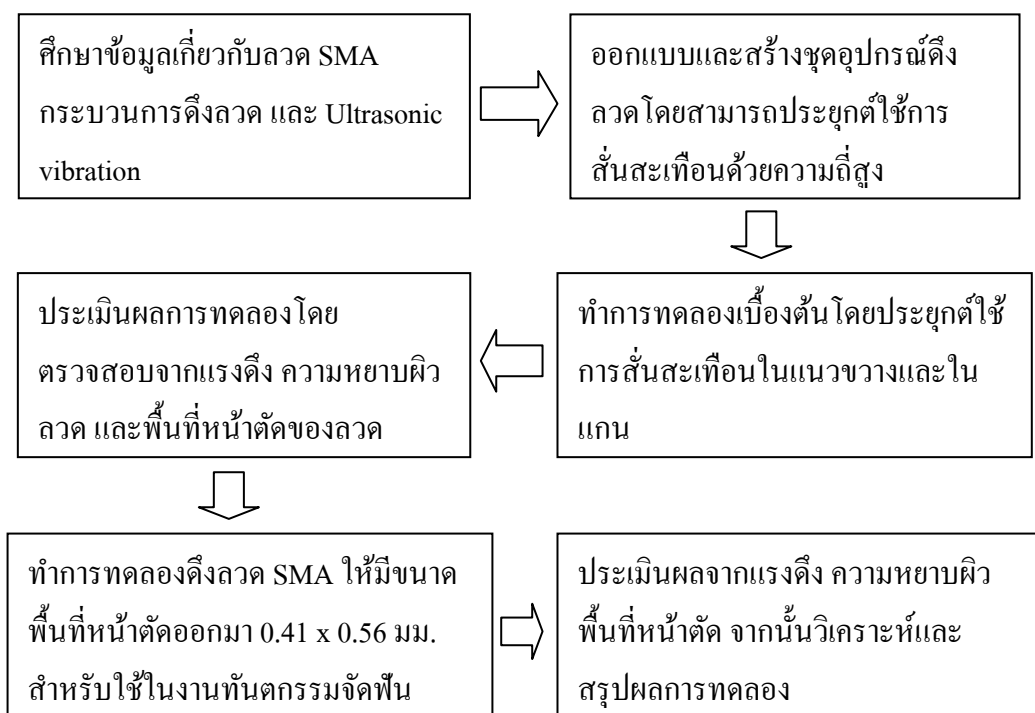


## บทที่ 4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยชุดนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อประยุกต์ใช้การสั่นสะเทือนด้วยความถี่สูงในกระบวนการดึงลวดโลหะผสมจำรูป ซึ่งรูปแบบการสั่นสะเทือนที่ใช้ในการทดลองคือการสั่นสะเทือนในแนวแกน โดยตัวแปรหลักที่ศึกษาคือแรงที่ใช้ในการดึงลวด ความหยาบผิวของลวด และความเที่ยงตรงของลวดว่าจะมีผลต่อลวดหลังดึงผ่านแม่พิมพ์อย่างไร โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองดังต่อไปนี้

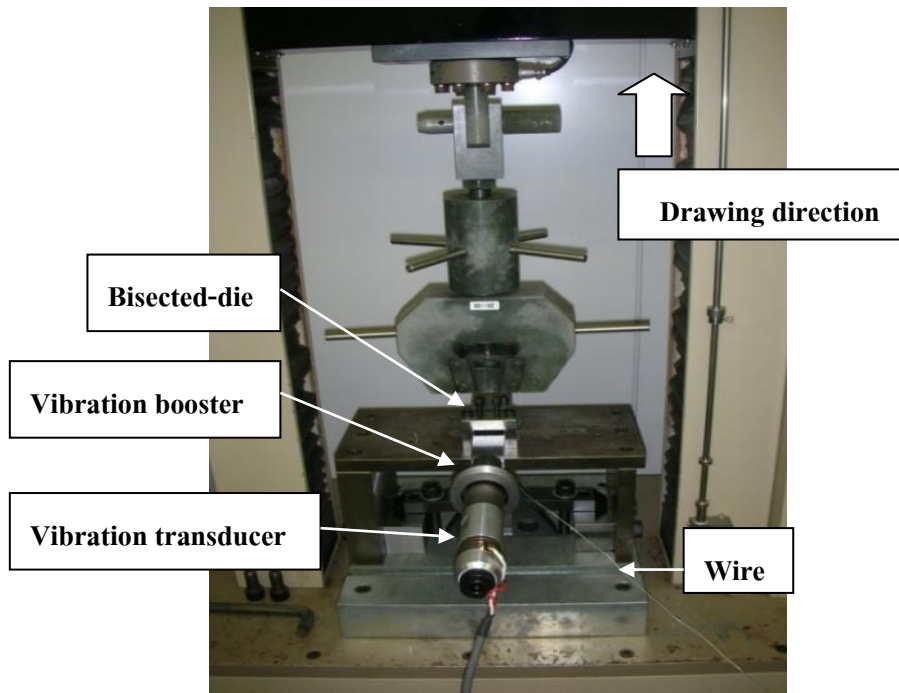
### 4.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

#### 4.1.1 ออกแบบและสร้างเครื่องดึงลวดที่ให้แม่พิมพ์สั่นสะเทือนในแนวขวาง

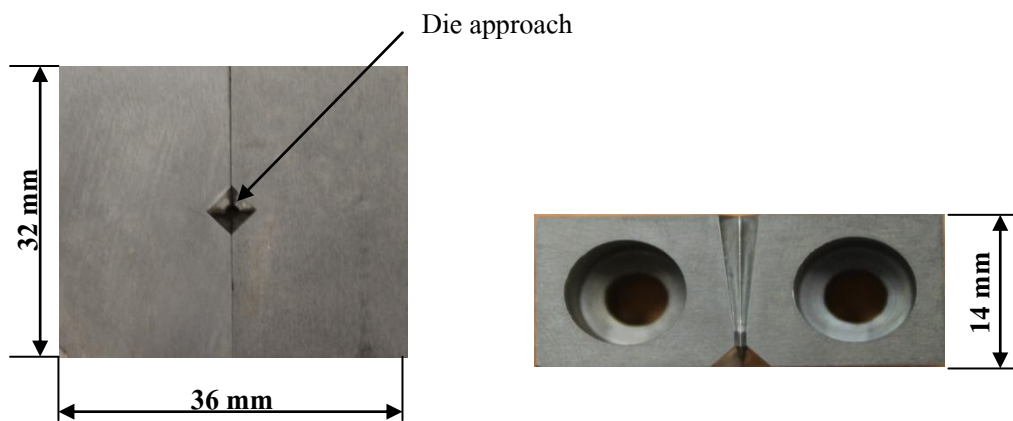
การออกแบบเครื่องจะออกแบบให้สามารถใช้กับเครื่องทดสอบแรงดึง โดยชุดอุปกรณ์ของเครื่องจะใช้สำหรับการสั่นสะเทือนในแนวขวาง โดยแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ชุดอุปกรณ์ดึงลวดที่ให้แม่พิมพ์สั่นสะเทือนในแนวขวาง

4.1.2 ออกแบบและจัดสร้างแม่พิมพ์สำหรับการสั่นสะเทือนในแนวขวาง

แม่พิมพ์ที่ใช้สำหรับการสั่นสะเทือนในแนวขวางจะมี 1 ตัว แม่พิมพ์จะเป็นแบบ Bisected-die แม่พิมพ์ทำมาจากวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์ ครึ่งมุมการไหลแม่พิมพ์ (Semi Angle,  $\alpha$ ) =  $8.5^\circ$  ระยะกำหนดขนาด (Die Bearing) 2 มิลลิเมตร ขนาดแม่พิมพ์ 32x14 มิลลิเมตร ขนาดรูปร่างในแม่พิมพ์ 0.85x085 มิลลิเมตร



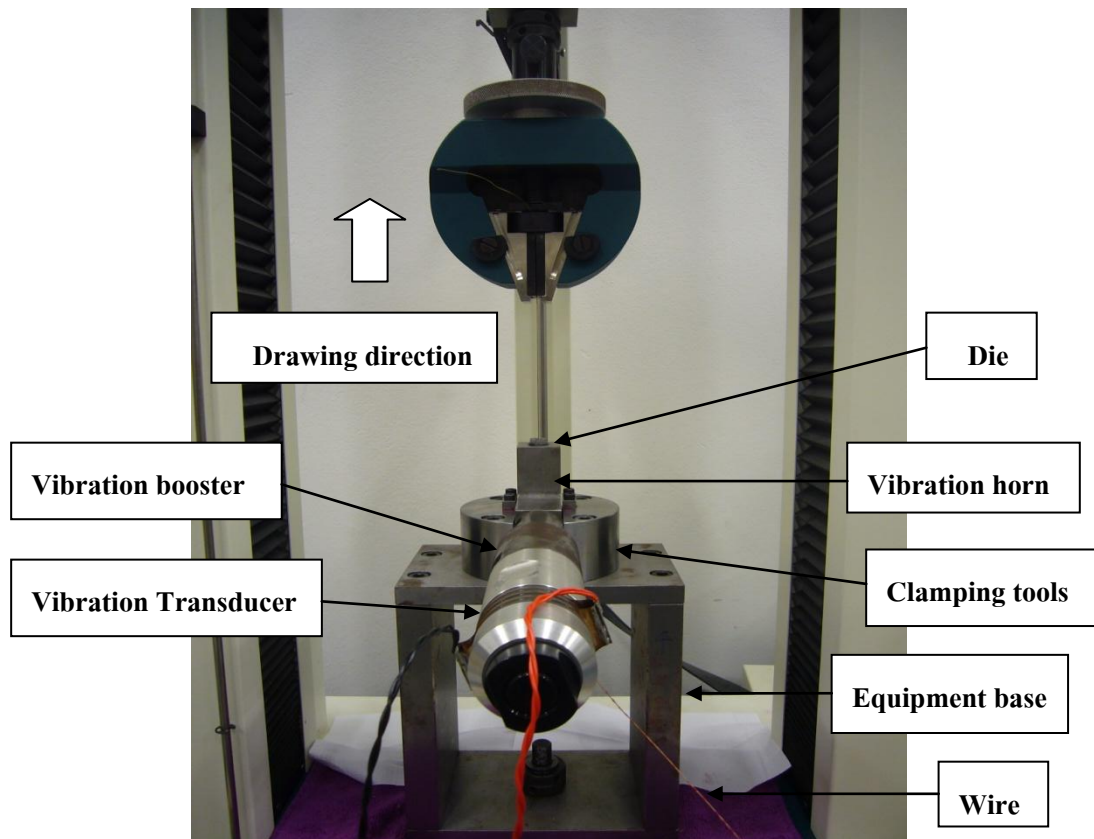
ก). ภาพด้านบนของแม่พิมพ์ Bisected-die

ข). ภาพด้านหน้าของแม่พิมพ์ Bisected-die

รูปที่ 4.3 รูปแม่พิมพ์ดึงลวดที่มีขนาดรูปร่างใน  $0.85 \times 0.85$  มิลลิเมตร สำหรับสั่นสะเทือนในแนวขวาง

#### 4.1.3 ออกแบบและสร้างเครื่องดึงลวดที่ให้แม่พิมพ์สันสะท้อนในแนวแกน

การออกแบบเครื่องจะออกแบบให้สามารถใช้กับเครื่องทดสอบแรงดึง โดยชุดอุปกรณ์ของเครื่องจะใช้สำหรับการสันสะท้อนในแนวแกนโดยแสดงดังรูปที่ 4.4



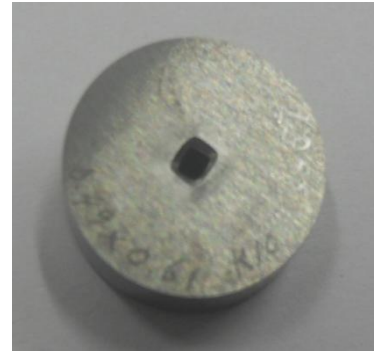
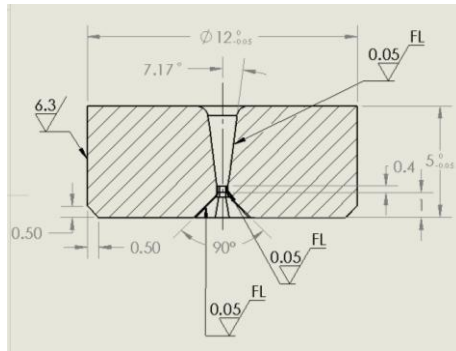
รูปที่ 4.4 ชุดอุปกรณ์ดึงลวดที่ให้แม่พิมพ์สันสะท้อนในแนวแกน

#### 4.1.4 ออกแบบและจัดสร้างแม่พิมพ์สำหรับการสันสะท้อนในแนวแกน

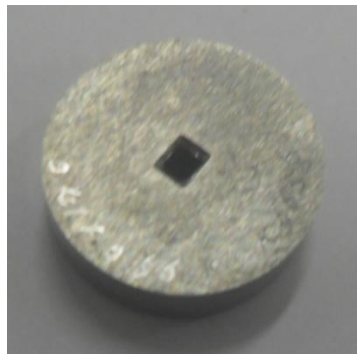
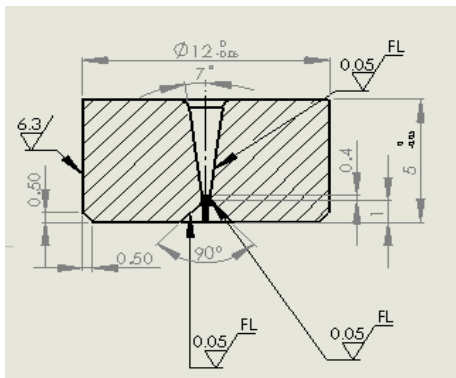
แม่พิมพ์ที่ทำการออกแบบและจัดสร้างจะมี 2 ตัวคือแม่พิมพ์ที่ใช้สำหรับการสันสะท้อนในแนวแกน โดยแม่พิมพ์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

แม่พิมพ์ที่ใช้สำหรับการสันสะท้อนในแนวแกน แม่พิมพ์ทำมาจากวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์ เครื่องมืองการไหลแม่พิมพ์ (Semi Angle,  $\alpha$ ) =  $7^\circ$  ระยะกำหนดขนาด (Die Bearing) 0.4 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางดาอินเสิร์ท (Die Insert) 12x5 มิลลิเมตรแม่พิมพ์ที่ใช้สำหรับการสันสะท้อนในแนวแกนจะใช้ 2 ตัว โดยแต่ละตัวมีรายละเอียดดังนี้

- แม่พิมพ์ตัวแรกมีขนาดรูปร่างในแม่พิมพ์ 0.49×0.61 มิลลิเมตร
- แม่พิมพ์ตัวสองมีขนาดรูปร่างในแม่พิมพ์ 0.41×0.56 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.5 ภาพตัดและรูปแม่พิมพ์ดิ่งลวดที่มีขนาดรูปร่างใน 0.49×0.61 มิลลิเมตร สำหรับ  
สันสะท้อนในแนวแกน



รูปที่ 4.6 ภาพตัดและรูปแม่พิมพ์ดิ่งลวดที่มีขนาดรูปร่างใน 0.41×0.56 มิลลิเมตร สำหรับ  
สันสะท้อนในแนวแกน

วัสดุที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์จะคำนึงถึงประสิทธิภาพและสามารถใช้กับการสันสะท้อนด้วยความถี่สูง สำหรับงานวิจัยนี้กำหนดรูปร่างแม่พิมพ์ตามมาตรฐาน W 103 ที่ใช้ในการงานอุตสาหกรรมดิ่งลวดทั่วไป [33] โดยแม่พิมพ์จะเป็นทั้งสแตนคาร์ไบด์ทั้งก่อนไม่ใช่เป็นลักษณะอินเสิร์ตลงในเคสโลหะเหมือนคायทั่วไป

#### 4.1.5 ลวดโลหะผสมจํารูปที่ใช้ในการทดลอง

ลวดโลหะผสมจํารูป (สมบัติของวัสดุแสดงในภาคผนวก ก ) ขนาดลวดก่อนดิ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 มิลลิเมตร มาดิ่งผ่านแม่พิมพ์ให้เป็นหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.49 × 0.61 มิลลิเมตร มีอัตราการลดขนาดหน้าตัดลวด 22.32 % จากนั้นนำลวดโลหะผสมจํารูปหน้าตัดเหลี่ยมขนาด 0.49×0.61

มิลลิเมตร มาดึงผ่านแม่พิมพ์ให้เป็นหน้าตัดเหลี่ยมขนาด  $0.41 \times 0.56$  มิลลิเมตร มีอัตราการลดขนาดหน้าตัดลด 23.18 % โดยประยุกต์ใช้การสันสะท้อนในแนวแกน

#### 4.1.6 น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในการทดลอง

การใช้สารหล่อลื่นจะเลือกน้ำมันที่ใช้ในการดึงลวดโลหะผสมจํารูป และพิจารณาจากงานวิจัยที่ทำการดึงลวดโลหะผสมจํารูป [1] เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ดังกล่าวแล้วงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สารหล่อลื่น 2 ชนิดคือ (ภาคผนวก ง)

- สารหล่อลื่นน้ำมัน ISO CUT 570-A ความหนืดที่  $40^{\circ}\text{C} = 45.62 \text{ mm}^2/\text{s}$
- สารหล่อลื่นของแข็ง sodium stearate มีจุดหลอมเหลวมากกว่า  $200^{\circ}\text{C}$

#### 4.1.7 ขั้นตอนการทดลองและบันทึกผลการทดลอง

##### ก. การบันทึกผลก่อนการทดลองดึงลวด

1. วัดความหยาบผิวของลวดก่อนดึง (ภาคผนวก จ)
2. วัดความแข็งของลวดก่อนดึง (ภาคผนวก จ)
3. วัดค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของลวดก่อนการดึง (ภาคผนวก ก)

##### ข. ขั้นตอนการทดลอง

ทำการดึงลวดโลหะผสมจํารูป โดยประยุกต์ใช้การสันสะท้อนในแนวแกน ก่อนดึงจะทำการลดขนาดปลายลวดโลหะผสมจํารูปด้วยการ Swaging แล้วจึงทำการดึงลวด โดยประยุกต์ใช้การสันสะท้อนในแนวแกน ในการทดลองทำการดึง 2 ขั้นตอนดังนี้

- 1.) ขั้นตอนแรกดึงผ่านแม่พิมพ์หน้าตัด  $0.49 \times 0.61$  มิลลิเมตร โดยใช้ความเร็วดึง 10 มิลลิเมตร/นาที สารหล่อลื่นที่ใช้คือ โซเดียมสเตียเรทและ น้ำมัน Iso-cut 570A ซึ่งมีอัตราส่วนของ Iso-cut 570A: โซเดียมสเตียเรทเท่ากับ 1: 0.5
- 2.) ขั้นตอนสอง นำลวดจากขั้นตอนแรกดึงผ่านแม่พิมพ์หน้าตัด  $0.41 \times 0.56$  มิลลิเมตร ที่ความเร็ว 10 มิลลิเมตร/นาที โดยใช้สารหล่อลื่นโซเดียมสเตียเรทและ น้ำมัน Iso-cut 570A ซึ่งมีอัตราส่วนของ Iso-cut 570A: โซเดียมสเตียเรทเท่ากับ 1: 0.5

##### ค. บันทึกข้อมูลและทดสอบสมบัติของลวดที่ผ่านการดึง

###### 1. Tensile test

1. นำลวด SMA ที่ต้องการจะทดสอบ Tensile test มากำหนด Gage length ที่ขนาด 10 มิลลิเมตร

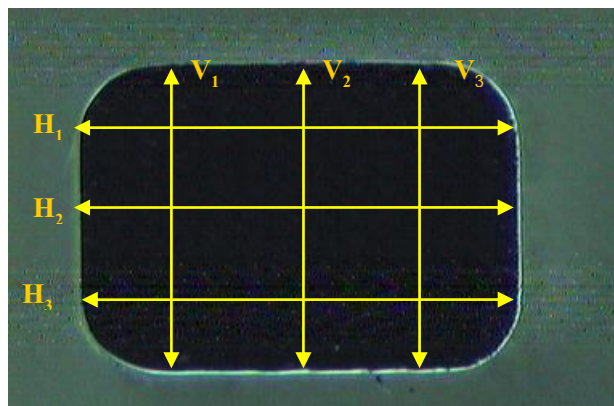
2. วางลวด SMA ให้มีทิศตั้งฉากกับแนวระดับของเครื่องทดสอบแรงดึงยี่ห้อ Tinius Olsen รุ่น H50KS แล้วยึดลวดติดกับเครื่องทดสอบแรงดึง
3. ใช้ความเร็วในการดึงลวดที่ 5 mm/min
4. ดึงลวด SMA ที่ทดสอบจนกระทั่งขาด
5. บันทึกผลค่า %Elongation และ Ultimate Tensile Strength

## 2. การวัดค่าความหยาบผิว (Roughness Test)

1. นำลวด SMA ที่ผ่านกรรมวิธีการดึงผ่านแม่พิมพ์มาวัดค่าความหยาบผิวลวด
2. ทำการวัดความหยาบผิวโดยใช้เครื่องวัดความหยาบผิวยี่ห้อ Kosaka laboratory รุ่น SE 1200
3. ทำการวัดความหยาบผิวของลวด SMA ในแนวรัศมีโดยมีค่า cut off เท่ากับ 0.08 มิลลิเมตร และระยะลากเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน JIS94 โดยทำการวัดลวด 5 ครั้ง
4. หาค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิวลวด
5. บันทึกค่าความหยาบผิวที่ได้

## 3. การวัดขนาดหน้าตัดของลวด

1. นำลวด SMA ที่หล่อเสร็จแล้วมาวางบนแท่นวางของกล้อง Optical Micro Scope
2. วัดขนาดหน้าตัดโดยใช้กล้อง Optical Micro Scope ทำการวัดหน้าตัดลวด ดังรูปที่ 4.7

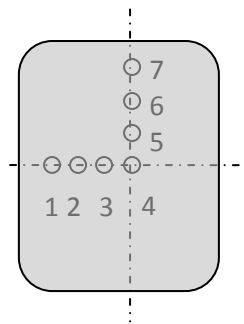


รูปที่ 4.7 ตำแหน่งการวัดขนาดหน้าตัดของลวด

3. นำค่าขนาดหน้าตัดที่ได้ทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยของแต่ละด้าน
4. บันทึกค่าขนาดหน้าตัดที่ได้

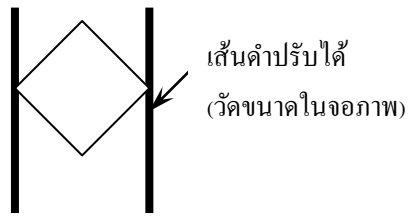
#### 4. การวัดค่าความแข็งจุลภาค (Micro Hardness)

1. นำลวด SMA ที่ผ่านกรรมวิธีการดึงผ่านแม่พิมพ์ มาตัดให้ได้ความยาวประมาณ 1.5 เซนติเมตร
2. นำลวดที่ตัดแล้วมาทำการขึ้นเรือน
3. นำชิ้นงานที่ขึ้นเรือนแล้วมาทำการขัดให้ผิวมีลักษณะมันวาว
4. นำชิ้นงานมาวัดค่าความแข็งจุลภาค ด้วยเครื่องวัดความแข็งจุลภาค ยี่ห้อ Future-Tech รุ่น FM-700e โดยมีเงื่อนไขดังนี้
  - การติดตั้งกล้องจุลทรรศน์จะต้องมีให้มีการสันสะท้อนได้
  - การให้แรงกดจะต้องสม่ำเสมอโดยให้ความเร็วต่ำกว่า 20 ไมโครเมตร/sec
  - ให้เวลาแซนผิวงานเท่ากัน เมื่อต้องการเปรียบเทียบค่า
  - มีกำลังขยายและมีแสงสว่างเพียงพอในการวัดเส้นทแยงมุมรอยกด
5. เพื่อให้อ่านค่าได้แม่นยำจะเลือกใช้สเกลค่าแรง 300 gf.
6. ยึดชิ้นงานบนปากจับให้ตั้งฉากกับหัวกด
7. หมุนเลนส์ให้เลนส์ขยาย 100 เท่า ส่องดูชิ้นงาน + ปรับโฟกัสให้ชัดเจน
8. หมุนเลนส์ให้เลนส์ขยาย 400 เท่า ส่องดูชิ้นงาน + ปรับโฟกัสให้ชัดเจน
9. กำหนดระยะกดจากตำแหน่งนอกสุดผ่านจุดศูนย์กลางเป็นระยะเท่าๆ กัน 7 ตำแหน่งดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ตำแหน่งของจุดกดวัดความแข็ง

10. กดปุ่มให้หัวเพชรกดชิ้นงาน
11. หลังจากกดเสร็จแล้วให้ปรับหมุนปุ่มวัดขนาดเส้นทแยงมุมรอยกด ดังรูปที่ 4.9 ให้ทั้งสองเส้นจรดมุมเหลี่ยมพอดี กดปุ่ม READ จะปรากฏค่าตัวเลขความแข็งจากค่าเส้นทแยงมุม จะเป็นค่าความแข็งจุลภาค HV บนจอ DATA



รูปที่ 4.9 การวัดขนาดเส้นทแยงมุมรอยกดบนจอภาพ

12. บันทึกค่าความแข็งจุดภาพของลวดที่ดึงผ่านแม่พิมพ์เทียบกับลวดคัดพื้นจริง

#### 4.1.8 วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการทดลองทั้งหมด โดยเปรียบเทียบผลของการใช้การสั้นสะเทือน กับไม่ใช้การสั้นสะเทือน

### 4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

#### 4.2.1 เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile testing machine)

เครื่องทดสอบแรงดึง ยี่ห้อ Tinius Olsen รุ่น H50KS



รูปที่ 4.10 เครื่องทดสอบแรงดึง

#### 4.2.2 เครื่องวัดความแข็งจุลภาค (Micro vickers hardness test)

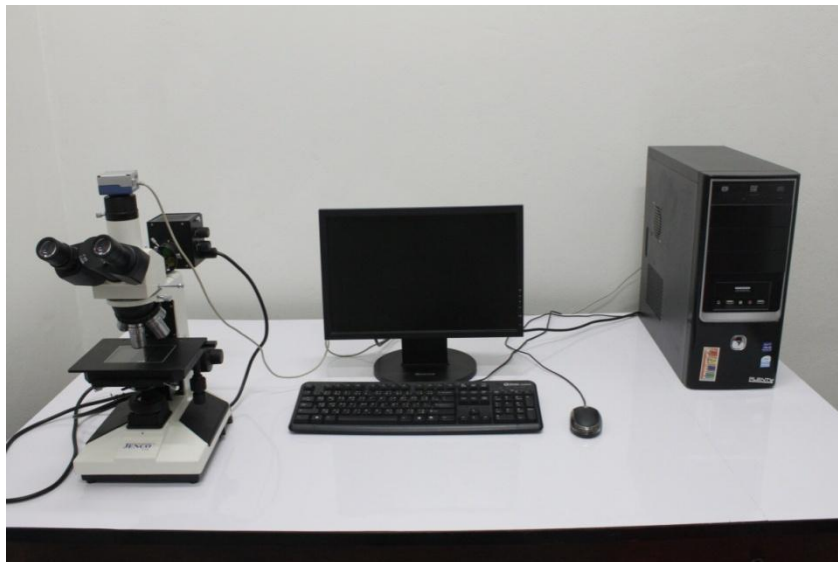
เครื่องวัดความแข็งจุลภาค ยี่ห้อ Future-Tech รุ่น FM-700e ใช้วัดความแข็งของผิวลวด



รูปที่ 4.11 เครื่องวัดความแข็งจุลภาค

#### 4.2.3 กล้องจุลทรรศน์ (Optical microscope)

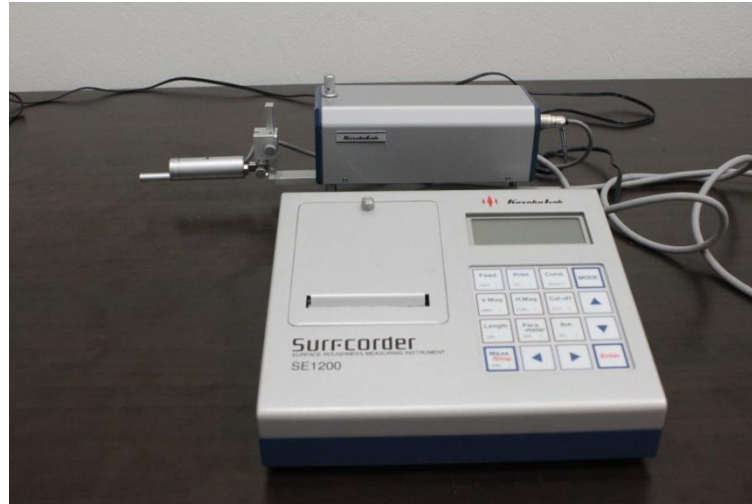
ชุดกล้องจุลทรรศน์ใช้ในการถ่ายภาพหน้าตัดของลวดโลหะผสมจํารูป ประกอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ ยี่ห้อ JENCO และชุดคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้โปรแกรม Imaging-Pro



รูปที่ 4.12 ชุดกล้องจุลทรรศน์

#### 4.2.4 เครื่องวัดความหยาบผิว (Surface roughness measuring device)

เครื่องวัดความหยาบผิว ยี่ห้อ Kosaka laboratory รุ่น SE 1200



รูปที่ 4.13 เครื่องวัดความหยาบผิว

#### 4.2.5 เตาอบ (Heat treatment furnace)

เตาอบหลอดโลหะผสมจำรูปยี่ห้อ CHAVACHOTE รุ่น L9/12PS ใช้อบหลอดโลหะผสมจำรูป



รูปที่ 4.14 ภาพแสดงเตาอบ

#### 4.2.6 เครื่องขัดอัตโนมัติ (Automatic polishing machine)

เครื่องขัดคูมินาฮีหือ Struers รุ่น LaboPol-21



รูปที่ 4.15 เครื่องขัดอัตโนมัติ

#### 4.2.7 เครื่องขึ้นเรือนแบบร้อน (Hot mounting presses machine)

เครื่องขึ้นเรือนแบบร้อนยี่ห้อ Huayin รุ่น XQ-2B



รูปที่ 4.16 เครื่องขึ้นเรือนแบบร้อน

#### 4.2.8 ดิจิตอลไมโครมิเตอร์ (Micrometer digital)

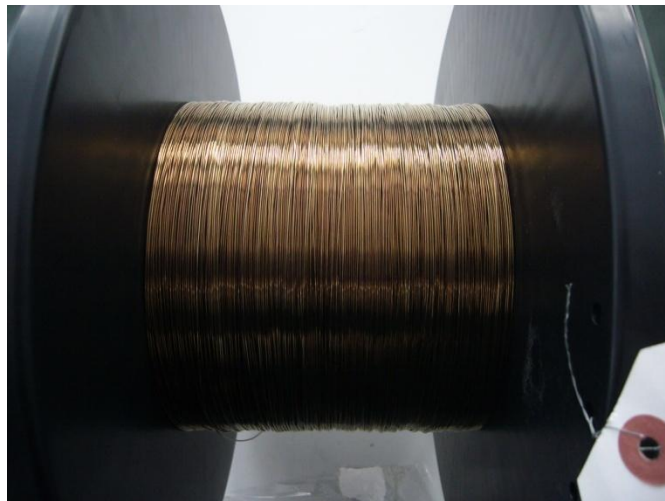
ไมโครมิเตอร์แบบดิจิตอล ยี่ห้อ Mitutoyo ความละเอียด 0.001 มม. ใช้วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลวด  
หลังดึง



รูปที่ 4.17 ไมโครมิเตอร์แบบดิจิตอล

#### 4.2.9 ลวดโลหะผสมจำรูป

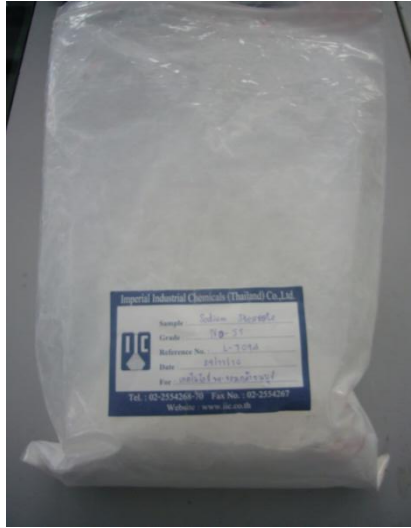
ลวดโลหะผสมจำรูป ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 มิลลิเมตร



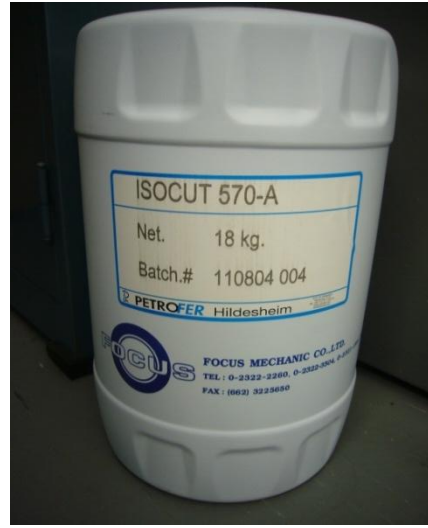
รูปที่ 4.18 ลวดโลหะผสมนิเกิล-ไทเทเนียม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 มิลลิเมตร

#### 4.2.10 สารหล่อลื่น

ใช้สำหรับลดความเสียดทานระหว่างลวดและผิวแม่พิมพ์ในระหว่างการทำการทดลองดึงขึ้นรูปลวดจริง เป็นชนิดผง (Sodium stearate) ของบริษัทอิมพีเรียล อินดัสเตรียล เคมีคัลส์ (ประเทศไทย) จำกัด และชนิดน้ำมัน (ISO CUT 570-A) ของบริษัท โฟกัส แมคคานิค จำกัด



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.19 สารหล่อลื่น (ก) โซเดียมสเตียเรท (ข) น้ำมัน ISO-CUT 570A