



๖๕๐๐๙

รายงานการวิจัย

สมบัติทางกลในงานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนโดยการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน

Properties in Carbon Steel Welded by Friction Welding

๖๖๙, ๑๔๒๐

เดช เหมือนขาว

Dech Maunkhaw ๑ ๘๘๑

ยงยุทธ ดุลยกุล

Yongyuth Duniyakul ๒๕๕๖

๕๓๖
๓๓๖๓๖

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ. ๒๕๕๖

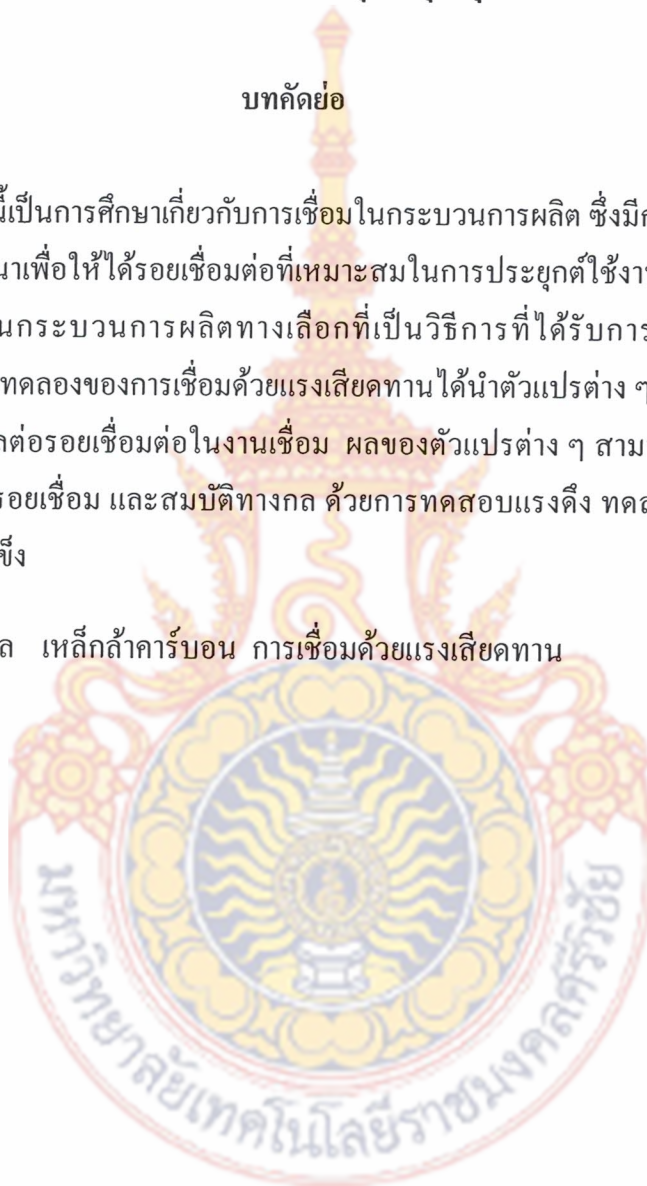
สมบัติทางกลในงานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนโดยการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน

เดช เหมือนขาว¹ และ ยงยุทธ ดุลยกุล²

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเชื่อมในกระบวนการผลิต ซึ่งมีกระบวนการเชื่อมต่าง ๆ ที่ได้รับการพัฒนาเพื่อให้ได้รอยเชื่อมต่อที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ การเชื่อมด้วยแรงเสียดทานเป็นกระบวนการผลิตทางเลือกที่เป็นวิธีการที่ได้รับการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ในการออกทดลองของการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานได้นำตัวแปรต่าง ๆ ที่เหมาะสมมาใช้ในการทดลองอันส่งผลต่อรอยเชื่อมต่อในงานเชื่อม ผลของตัวแปรต่าง ๆ สามารถตรวจสอบได้จากความแข็งแรงของรอยเชื่อม และสมบัติทางกล ด้วยการทดสอบแรงดึง ทดสอบแรงกระแทก และการทดสอบความแข็ง

คำสำคัญ : สมบัติทางกล เหล็กกล้าคาร์บอน การเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน



^{1,2} คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ. สงขลา 90000

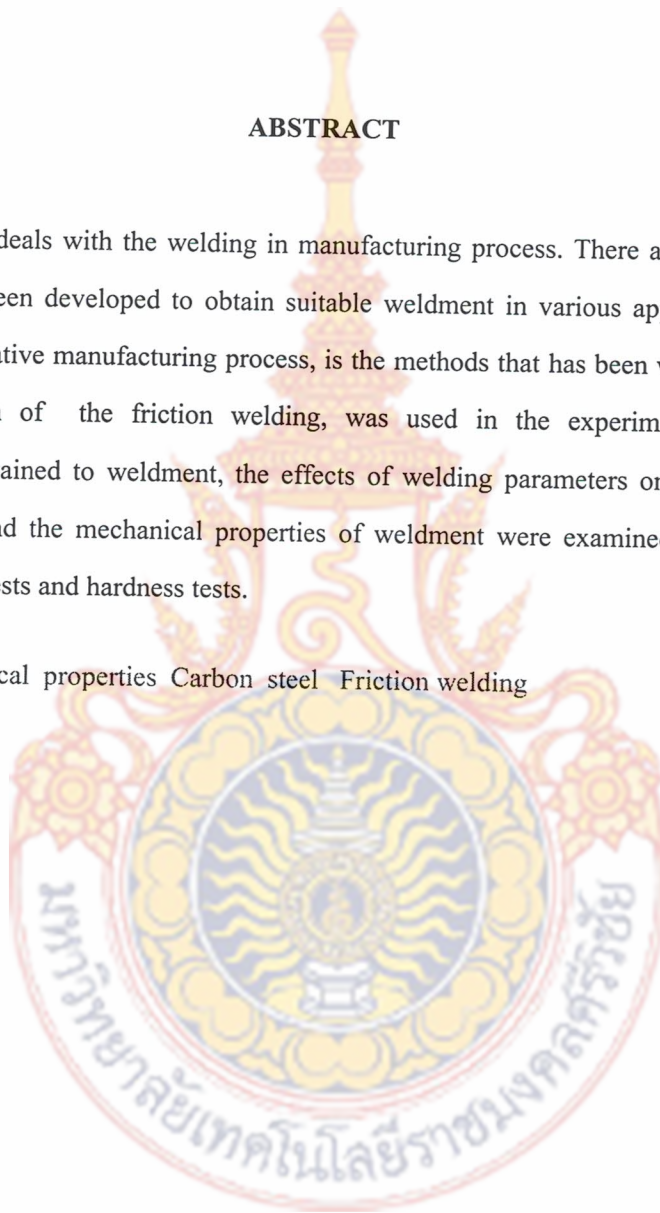
Mechanical Properties in Carbon Steel Welded by Friction Welding

Dech Maunkhaw¹, and Yongyuth Dulyakul²

ABSTRACT

This study deals with the welding in manufacturing process. There are various welding process that have been developed to obtain suitable weldment in various applications. Friction welding is an alternative manufacturing process, is the methods that has been widely used. In the experimental design of the friction welding, was used in the experiments, the optimum parameters were obtained to weldment, the effects of welding parameters on welding strength were investigated and the mechanical properties of weldment were examined by using tensile tests, notch-impact tests and hardness tests.

Keywords: Mechanical properties Carbon steel Friction welding



^{1,2} Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkla 90000

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1. ความเป็นมาและความสำคัญ	1
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
3. ขอบเขตของการวิจัย	2
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
1. ทฤษฎีและที่เกี่ยวข้อง	3
2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	19
1. วัสดุที่ใช้ทำการทดลอง	19
2. การเชื่อมชิ้นงานเชื่อมด้วยกรรมวิธีการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน	20
3. การศึกษาสมบัติทางโลหะวิทยา	23
4. การเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบสมบัติทางกล	23
บทที่ 4 ผลการวิจัย	26
1. ผลการทดสอบสมบัติทางกล	26
2. ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา	31
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	33
1. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	33
2. สรุปผลการทดลอง	33
3. ข้อเสนอแนะ	34
บรรณานุกรม	35
ภาคผนวก	36

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ส่วนผสมทางเคมี เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เกรด 1040	19
3.2	การออกแบบการทดสอบความแข็งแรงดึงของงานเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน โดยพิจารณาจากเวลาในการหมุนเพื่อให้เกิดความร้อน (Tf) ที่เปลี่ยนแปลงไป	21
3.3	การออกแบบการทดสอบความแข็งแรงดึงของงานเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน โดยพิจารณาแรงกดจนเกิดแรงเสียดทานขณะที่หมุน(Pf) ที่เปลี่ยนแปลงไป	22
4.1	ผลการทดสอบความแข็งแรงดึงเฉลี่ยของงานเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน โดยพิจารณาจากเวลาในการหมุนเพื่อให้เกิดความร้อน (Tf) ที่เปลี่ยนแปลงไป	26
4.2	ผลการทดสอบความแข็งแรงดึงเฉลี่ยของงานเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน โดยพิจารณาแรงกดจนเกิดแรงเสียดทานขณะที่หมุน(Pf) ที่เปลี่ยนแปลงไป	28
4.3	ผลการทดสอบความแข็งแรงของงานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน โดยการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน โดยพิจารณาจากเวลาในการหมุนเพื่อให้เกิดความร้อน (Tf) ที่เปลี่ยนแปลงไป	29
4.4	ผลการทดสอบความแข็งแรงของงานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน โดยการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน โดยพิจารณาแรงกดจนเกิดแรงเสียดทานขณะที่หมุน(Pf) ที่เปลี่ยนแปลงไป	30
4.5	ผลการทดสอบแรงกระแทกแบบ Charpy Impact Test	31
4.6	ขนาดของเกรนที่ระยะที่ห่างจากรอยเชื่อมระยะต่าง ๆ	32

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ตัวแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน	3
2.2	ลักษณะชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา	5
2.3	โครงสร้างของโลหะบริเวณ HAZ บริเวณ fully plasticized (Zpl) partiallydeformed (Zpd) and undeformed (Zud) regions	6
2.4	การทดสอบแรงกระแทกแบบ Charpy และ Izod	6
2.5	แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับ Impact Transition Temperatureและอิทธิพลของ อุณหภูมิต่อความแกร่งของวัสดุ	7
2.6	รอยกดและแนวทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์	8
2.7	โพลีเซลล์แบบสเตรนเกจ	9
2.8	หลักการการทำงานของระบบโพลีเซลล์แบบอนาล็อก	10
2.9	หลักการการทำงานของระบบโพลีเซลล์แบบดิจิทัล	11
2.10	โพลีเซลล์แบบสเตรนเกจ	12
2.11	ระบบโพลีเซลล์	13
2.12	โพลีเซลล์แบบรับแรงกดแบบปุ่ม	13
2.13	ระบบโพลีเซลล์แบบไฮดรอลิก	14
2.14	ส่วนประกอบของโพลีเซลล์แบบสปริง	16
3.1	ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง	19
3.2	การเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน	20
3.3	ชิ้นงานเชื่อมด้วยกรรมวิธีการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน	20
3.4	การเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึงและการทดสอบด้วยแรงดึง	24
3.5	ตำแหน่งของจุดทดสอบความแข็ง	25
3.6	แสดงการทดสอบแรงกระแทกแบบ Charpy Impact Test	25

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญ

กระบวนการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานเป็นกระบวนการเชื่อมที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถใช้เวลาในการเชื่อมที่สั้น ไม่จำเป็นต้องใช้ฝีมือ ไม่ใช้วัสดุช่วยในการผสานในการเชื่อมและสามารถเชื่อมโลหะต่างชนิดกันได้ ซึ่งรอยเชื่อมที่ได้มีความแข็งแรงที่สูงเนื่องจากการเชื่อมผสานติดกันทั้งพื้นที่หน้าตัด รอยเชื่อมไม่เป็นการเชื่อมพอกเหมือนกระบวนการเชื่อมแบบการอาร์คด้วยลวดเชื่อม โดยที่กระบวนการเชื่อมแบบการอาร์คด้วยลวดเชื่อมมีข้อจำกัดในการเชื่อมที่ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลลดลงอันเนื่องจากการแพร่ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอาร์คและทำให้เกิดการหลอมละลายเข้าด้วยกันของเนื้อโลหะบริเวณบ่อหลอม การหลอมละลายของเนื้อโลหะหลังจากการเชื่อมเมื่อโลหะแข็งตัวจะเกิดโครงสร้างขึ้นมาใหม่ ซึ่งอาจจะไม่เหมือนกับโครงสร้างเดิมของโลหะนั้น จนเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกล มีความเค้นตกค้าง (Residual stress) และการบิดงอ (Distortion) นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการแตกของรอยเชื่อมในระหว่างการแข็งตัวและมีปัญหาการเกิดโพรงอากาศ (Porosity)

ดังนั้นจึงได้หาวิธีการเชื่อมที่เหมาะสมเพื่อที่จะให้โครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลไว้ให้ใกล้เคียงกับโลหะเดิมมากที่สุดภายหลังจากการเชื่อมด้วยวิธีการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมแบบเสียดทานซึ่งเป็นกระบวนการเชื่อมในสถานะของแข็ง (Solid State Welding) ที่สามารถเชื่อมยึดโลหะเข้าด้วยกันที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของโลหะนั้น โดยที่โลหะยังอยู่ในสถานะของแข็ง ซึ่งโลหะจะเชื่อมติดกันโดยความร้อนบริเวณชิ้นงานเชื่อมต่ำกว่าจุดหลอมเหลว ซึ่งกระบวนการเชื่อมดังกล่าวส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างทางโลหะวิทยาที่น้อยมาก เพราะอาศัยหลักการเปลี่ยนแรงเสียดทานจากการหมุนของชิ้นงานเป็นพลังงานความร้อน จากนั้นใช้แรงแรงกดในขณะที่เชื่อมต่อ โดยใช้เวลาในช่วงหนึ่งเพื่อให้เกิดการเชื่อมติดกันของวัสดุที่จะเชื่อม

จากข้อมูลและเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้โดยจะศึกษาสมบัติทางกลในงานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนโดยการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน เพื่อความเหมาะสมของสมบัติทางกลและโครงสร้างทางจุลภาคเพื่อการเลือกใช้กรรมวิธีการเชื่อมที่เหมาะสมทั้งในแง่งานวิจัยและอุตสาหกรรมต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาสมบัติทางกลในงานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนโดยการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน
- 2.2 เพื่อศึกษาตัวแปรในการเชื่อมโดยการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน
- 2.3 เพื่อศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของงานเชื่อมที่ผ่านการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน

3. ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของโครงการวิจัยนี้จะศึกษาการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยกรรมวิธีการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน (Friction Welding) ศึกษาสมบัติทางกลของแนวเชื่อม ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางโลหะวิทยา โครงสร้างทางมหภาค (Macrostructure) โครงสร้างทางจุลภาค (Microstructure) บริเวณที่มีผลกระทบอันเนื่องมาจากการเชื่อม โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM)

4. ประโยชน์ที่ว่าจะได้รับ

- 4.1 ทราบถึงผลของตัวแปรในกรรมวิธีการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน ที่มีผลต่อสมบัติทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอน
- 4.2 โครงสร้างทางจุลภาคของรอยต่อเหล็กกล้าคาร์บอนหลังจากการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน
- 4.3 ทราบถึงความเป็นไปได้และค่าตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสม สำหรับการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน เพื่อประโยชน์ทางด้านงานวิจัยและอุตสาหกรรมสำหรับโลหะประเภทนี้ต่อไป

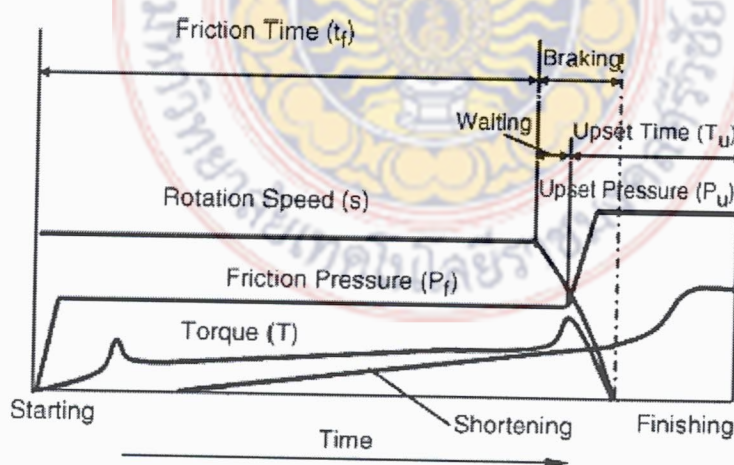
บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาสมบัติทางกลในงานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน โดยการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานซึ่งจำเป็นต้องศึกษาหลักการและทฤษฎีต่าง ๆ เพื่อให้บรรลุตรงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ โดยมีทฤษฎีและหลักการดังนี้

1. ทฤษฎีและที่เกี่ยวข้อง

1.1 การเชื่อมด้วยแรงเสียดทานเป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญหลักการเปลี่ยนแรงเสียดทานเป็นพลังงานความร้อนในระหว่างการหมุนภายใต้แรงกด เวลาในการเสียดทานและความเร็วในการหมุนซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน ซึ่งในการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานที่ใช้กันโดยทั่วไปมี 2 วิธีการคือ การเชื่อมด้วยแรงเสียดทานโดยการหมุนของชิ้นงานอย่างต่อเนื่อง ชิ้นงานเชื่อมจะหมุนด้วยความเร็วที่คงที่ (s) ในขณะที่หมุนจะมีแรงกดจนเกิดแรงเสียดทาน (P_f) โดยใช้เวลาในการหมุนเพื่อให้เกิดความร้อน (T_f) ปล่อยให้หยุดขณะหนึ่งแล้วใช้แรงกดที่สูงกว่าจนทำให้ชิ้นงานเสียรูป (P_u) โดยเวลาในการกดอย่างรวดเร็ว (T_u) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานโดยการหมุนของชิ้นงานแบบเฉื่อย

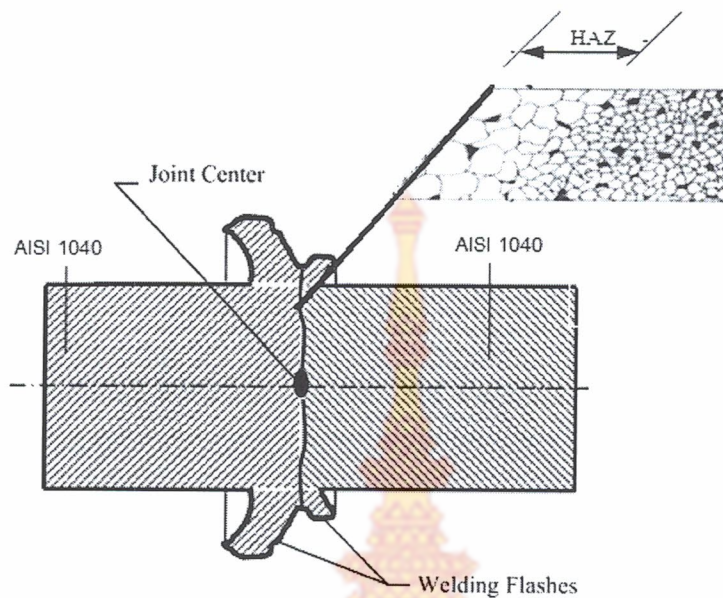


รูปที่ 2.1 ตัวแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน [2]

1.2 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

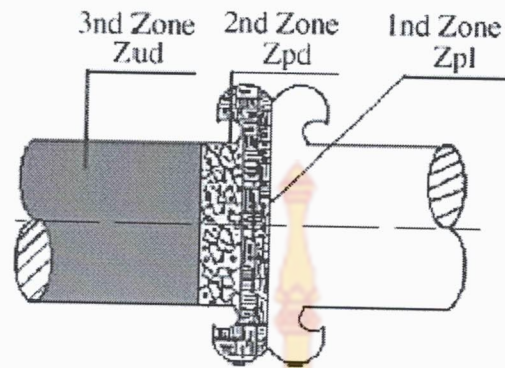
1.2.1 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค เป็นการตรวจสอบทางกายภาพหรือใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายต่ำกว่า 10 เท่า จุดประสงค์ของการตรวจสอบเพื่อดูความสมบูรณ์ของงานเชื่อม ความแตกต่างรูปร่างของแนวเชื่อม การแบ่งเขตชั้นของรอยเชื่อม การหลอมตึก ความกว้างของบริเวณที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อน (HAZ) ตลอดจนลักษณะจุดบกพร่องต่างๆ ของรอยเชื่อม สำหรับการเตรียมชิ้นงานเพื่อตรวจสอบโครงสร้างมหภาคในงานวิจัยนี้ได้กำหนดตามมาตรฐาน ASTM E304

1.2.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค กระทำได้โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงกว่า 10 เท่า ถ้าเป็นกล้องที่ใช้แสงจากหลอดไฟจะให้กำลังขยายไม่เกิน 2,000 เท่า แต่ถ้าเป็นกล้องที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอนจะสามารถให้กำลังขยายได้สูงถึง 100,000 เท่า หรือมากกว่านี้ จุดประสงค์ของการตรวจสอบเพื่อดูกระจายตัวและลักษณะเกรนของโครงสร้างบริเวณแนวเชื่อม (WM) เขตบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน (HAZ) และบริเวณเนื้อโลหะเดิม (BM) เป็นต้น สำหรับการเตรียมชิ้นงานเพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคในงานวิจัยนี้ได้กำหนดตามมาตรฐาน ASTM E407 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาโดยทั่วไปสามารถตรวจสอบได้ 2 วิธี คือ การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค (Macrostructure) และการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) การตรวจสอบโครงสร้างทั้ง 2 วิธี เพื่อต้องการทราบอิทธิพลของธาตุผสมในโลหะที่ทำการตรวจสอบนั้น ๆ อีกทั้งยังสามารถตรวจสอบปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นหลังจากการกระทำทางความร้อนสิ้นสุดลงอีกด้วย ข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาสามารถนำไปใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องมือ เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาทั้ง 2 วิธี ซึ่งการตรวจสอบแต่ละวิธีมีความแตกต่างกัน โดยมีรายละเอียด คือ การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคเป็นการตรวจสอบโครงสร้างด้วยการมองด้วยตาเปล่า หรือใช้กล้องขยายก็มีกำลังขยายไม่เกิน 50 เท่า การเตรียมชิ้นงานเพื่อการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคจะไม่ยุ่งยากเพราะว่าเป็นการตรวจสอบรูพรุนภายในของโลหะ การแยกชิ้นของผลึก รอยร้าว รอยแตก หน้าตัดที่ถูกดึงจนขาด และปริมาณธาตุผสมในโลหะของชิ้นงาน



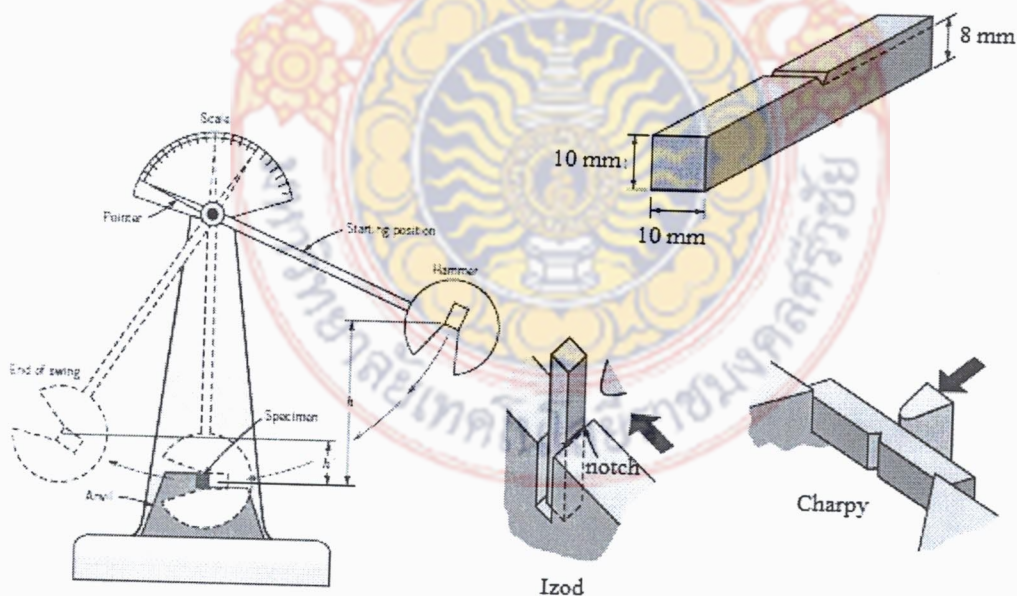
รูปที่ 2.2 ลักษณะชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

1.3 บริเวณอิทธิพลความร้อน เนื้อโลหะแนวเชื่อม (Weld Metal) ในการเชื่อมจะเกิดการหลอมเหลวรวมกันของโลหะชิ้นงาน ความจะเกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อมบนโลหะชิ้นงานขณะทำการเชื่อมและจะเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วหลังจากการเชื่อมเพียงไม่กี่วินาที จะมีผลกระทบต่อโลหะชิ้นงานบริเวณใกล้เคียงกับแนวเชื่อมซึ่งไม่ใช่แนวเชื่อมและไม่มีการหลอมเหลว แต่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน เรียกว่า Heat Affected Zone (HAZ) หรือบริเวณอิทธิพลทางความร้อน โครงสร้างผลึกของโลหะชิ้นงานที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อนจากการอาร์ค บริเวณอิทธิพลทางความร้อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำจากบริเวณส่วนใกล้แนวเชื่อมจากเส้นขอบแนวเชื่อม (Fusion Line) มาเล็กน้อย เป็นบริเวณซึ่งได้รับอุณหภูมิความร้อนสูงในเวลาอันสั้น จนใกล้จะจุดหลอมเหลว แล้วเย็นตัวอย่างรวดเร็วจนเกือบถึงอุณหภูมิห้อง มีผลโลหะชิ้นงาน (Base Metal) ส่วนนี้แข็งมากที่สุด บริเวณอิทธิพลทางความร้อนแบ่งได้เป็นส่วน ๆ ตามความมากน้อยของอุณหภูมิที่ได้รับส่วนที่อยู่ใกล้แนวเชื่อมจะมีอุณหภูมิสูงกว่า และอุณหภูมิจะต่ำลงมาระยะห่างของบริเวณส่วนนั้น ๆ เพราะเมื่อลวดเชื่อมเคลื่อนที่ไป คลื่นของอุณหภูมิความร้อนจะเคลื่อนที่ตามและการกระจายความร้อนลักษณะเป็นวงรีดังคลื่นซึ่งเกิดจากเรือกำลังวิ่งกลางลำน้ำ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโลหะเนื่องจากความร้อนในการเชื่อม มีโอกาสเกิดขึ้นได้ทั้งขณะเชื่อมและภายหลังเชื่อมเย็นตัวลงแล้ว ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ได้รับ และระยะเวลาที่อยู่ภายใต้อุณหภูมินั้น



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของโลหะบริเวณ HAZ บริเวณ fully plasticized (Zpl) partially deformed (Zpd) and undeformed (Zud) regions

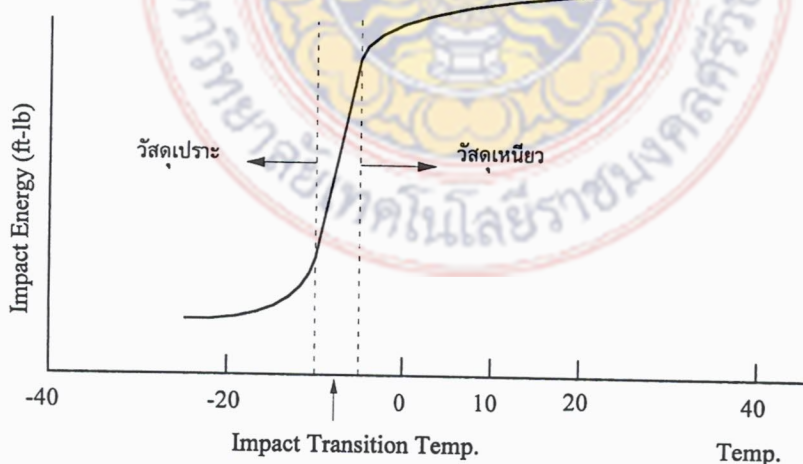
1.4 การทดสอบแรงกระแทก (Impact Testing) สามารถวัดค่า Impact Energy หรือ Impact Toughness ซึ่งเป็นการวัดปริมาณของพลังงานที่วัสดุจะดูดซับไว้ได้เมื่อได้รับแรงจากการกระแทกฉับพลัน (Dynamic Impact Force) วิธีการทดสอบมีอยู่ 2 ชนิดคือ Charpy Impact Test และ Izod Impact Test เครื่องมือทดสอบทั้ง 2 ชนิดนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการทดสอบแรงกระแทกแบบ Charpy และ Izod [1]

วิธีการทดสอบของทั้ง 2 ชนิดนี้คล้ายกัน คือจะวางชิ้นงานทดสอบไว้รับแรงกระแทกจากการเหวี่ยงของลูกตุ้มที่น้ำหนักค่าหนึ่ง พลังงานนี้ขึ้นอยู่กับมวลของลูกตุ้มและความเร็วของมันขณะกระแทก จุดกระแทกจะเป็นจุดต่ำสุดของการเหวี่ยงซึ่งลูกตุ้มมีความเร็วมากที่สุด เมื่อลูกตุ้มกระทบชิ้นทดสอบ ลูกตุ้มจะเสียพลังงานไปจำนวนหนึ่งในการจะทำให้ชิ้นทดสอบหัก พลังงานที่เสียไปนี้ก็คือ ค่า Impact Energy มีหน่วยเป็น ft-lbf หรือ Joule ชิ้นทดสอบจะเป็นแท่งยาว มีพื้นที่ภาคตัดขวางเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส และมีรอยบากอยู่ตรงกลาง รอยบากนี้จะทำเป็นรูปตัว V U หรือรูปอื่นๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ซึ่งมีมาตรฐานกำหนดไว้ ข้อแตกต่างระหว่าง Charpy และ Izod ก็คือการวางชิ้นทดสอบโดยการทดสอบแบบ Charpy จะวางชิ้นทดสอบไว้ในแนวระดับ ให้ลูกตุ้มตกกระแทกที่ด้านตรงข้ามกับรอยบาก ส่วนการทดสอบแบบ Izod จะวางชิ้นทดสอบไว้ในแนวตั้ง และให้ลูกตุ้มกระแทกกับด้านที่มีรอยบาก

อุณหภูมิมีผลต่อความแข็งแรงอย่างมาก วัสดุเหนียวอาจจะเปลี่ยนเป็นวัสดุเปราะได้เมื่ออุณหภูมิต่ำลง ถ้านำค่า Impact Energy มาพลอตกับอุณหภูมิ จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิอยู่ช่วงหนึ่งซึ่งมีค่าของ Impact Energy เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วดังแสดงในรูปที่ 2.5 ค่าอุณหภูมิในช่วงนี้เรียกว่า Impact Transition Temperature (ITT) Impact Transition Temp. นี้เป็นอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากวัสดุเหนียวมาเป็นวัสดุเปราะ คือ ช่วงที่มีค่าพลังงานสูงจะเป็นวัสดุเหนียวและช่วงที่มีพลังงานต่ำจะเป็นวัสดุเปราะ ค่า Impact Energy จะไม่นำมาใช้โดยตรงในการออกแบบ แต่มันมีประโยชน์ที่จะใช้เป็นแนวทางในการประเมินคุณสมบัติของวัสดุ เมื่อใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ ๆ โดยเฉพาะพวกเหล็กที่มีค่า ITT อยู่ใกล้กับอุณหภูมิห้อง เราจะต้องระมัดระวัง ไม่ใช้งานวัสดุที่อุณหภูมิต่ำกว่า ITT ของมัน



รูปที่ 2.5 แสดงแนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับ Impact Transition Temperature และอิทธิพลของอุณหภูมิต่อความแข็งแรง (ความเป็นวัสดุเหนียว-เปราะ) ของวัสดุ [4]

1.5 การทดสอบแรงดึง กระทำได้โดยทดสอบด้วยแรงดึงในแนวตามยาวของชิ้นงานทดสอบ แบบลดขนาด จุดประสงค์ของการทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งแรง และสมบัติทางกลด้านอื่นๆ เช่น ความแข็งแรงที่จุดคราก (Yield Strength) เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Percent Elongation) เป็นต้น วิธีการทดสอบในงานวิจัยนี้ได้กำหนดตามมาตรฐาน ASTM E8

1.6 การทดสอบความแข็ง วิธีการทดสอบความแข็งโดยการวัดความแข็งด้วยหัวกดเพชรที่มีลักษณะเป็นรูปปิรามิดฐานสี่เหลี่ยม ที่ปลายหัวกดทำมุม 136 องศา เป็นเวลา 5-10 วินาที สามารถวัดค่าความแข็งได้ตั้งแต่โลหะที่นิ่มมากที่ค่าความแข็งประมาณ 5 kgf/mm² จนถึงโลหะที่มีค่าความแข็งมาก ๆ ประมาณ 1500 kgf/mm² โดยไม่ต้องเปลี่ยนหัวกด จะเปลี่ยนก็เฉพาะแรงกดเท่านั้น โดยมีตั้งแต่ 1-120 kgf ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับความแข็งของโลหะที่ทดสอบ สำหรับกรณีในงานเชื่อม การทดสอบความแข็งที่นิยมใช้คือการทดสอบแบบวิกเกอร์ส (Vickers Test) เนื่องจากการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์สจะเหมาะสำหรับการวัดบริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยเชื่อม จุดประสงค์ของการทดสอบเพื่อหาค่าความสามารถของงานเชื่อมในการต้านทานต่อการแปรรูปถาวรเมื่อถูกแรงกดจากหัวกดที่กระทำลงบนผิวของชิ้นงานทดสอบ การเตรียมชิ้นงานและวิธีการทดสอบในงานวิจัยนี้ได้กำหนดตามมาตรฐาน ASTM E92



รูปที่ 2.6 รอยกดและแนวทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์

$$HV = \frac{1.854P}{L^2}$$

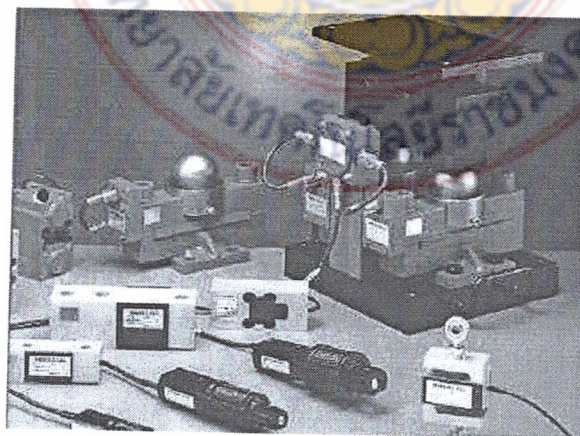
โดยที่ HV คือ ค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ (kgf/mm²)

P คือ แรงกด (kgf)

L คือ ขนาดเส้นทแยงมุม L_1 และ L_2 เฉลี่ย (mm)

1.6 โหลดเซลล์ เครื่องมือวัดน้ำหนักที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมคือ โหลดเซลล์ (Load Cell) แบบสเตรนเกจ (Strain Gauge) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 อย่างไรก็ตาม ก่อนที่โหลดเซลล์จะเป็นที่นิยม เราใช้ตาชั่งแบบคานเป็นเครื่องมือวัดน้ำหนักในงานอุตสาหกรรม โดยใช้ชั่งวัดตั้งแต่ยาเม็ดเล็ก ๆ

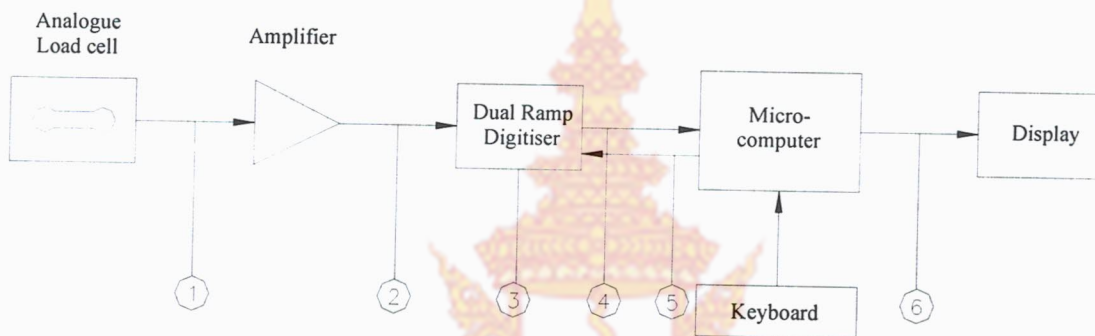
จนกระทั่งในงานอุตสาหกรรมรถยนต์ ตาซังแบบคานเป็นเครื่องมือที่มีความแม่นยำและเชื่อถือได้ หากได้รับการสอบเทียบและบำรุงรักษาอย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันได้มีการใช้ระบบชั่งวัดที่มีความทันสมัยมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งโพลดเซลล์แบบสเตรนเกจ (Strain Gage) ซึ่งวิวัฒนาการของโพลดเซลล์ได้เริ่มขึ้นจากการคิดค้นวงจรสะพานไฟฟ้าของ เซอร์ชาลส์วีทสตัน นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ วงจรที่เขาได้คิดค้นขึ้นเหมาะสำหรับใช้วัดการเปลี่ยนแปลงความต้านทานที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์วัดความเครียดหรือสเตรนเกจ ซึ่งได้รับการพัฒนาต่อมาในคริสต์ศตวรรษ 1940 แม้ในยุคเริ่มต้นการใช้สเตรนเกจมีความยุ่งยาก แต่ต่อมาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้สเตรนเกจกลายเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานได้ง่ายขึ้นในขณะที่มีราคาถูกลง ปัจจุบันนี้แม้ในระดับห้องปฏิบัติการที่ต้องการวัดด้วยความแม่นยำสูง ยังคงมีความจำเป็นต้องใช้ตาซังแบบคานในการชั่งวัดอยู่ แต่ในงานอุตสาหกรรม ได้มีการใช้โพลดเซลล์แบบสเตรนเกจอย่างแพร่หลาย โพลดเซลล์แบบนิวมेटริกมักจะใช้ในกรณีที่ต้องการความปลอดภัยและความสะอาดของสภาพการทำงาน ส่วนโพลดเซลล์แบบไฮดรอลิกมักจะมีการใช้ในที่ที่เข้าถึงได้ยากเนื่องจากโพลดเซลล์แบบนี้ไม่ต้องการแหล่งจ่ายพลังงานแต่อย่างใด อุปกรณ์ตรวจวัดแบบโพลดเซลล์ที่มีสเตรนเกจนี้มีความแม่นยำอยู่ในช่วง 0.03-0.25% ของช่วงการวัดแบบเต็มสเกล (Full Scale) และเหมาะสมที่จะใช้ในงานอุตสาหกรรมเกือบทุกรูปแบบ ในการใช้งานที่ไม่ต้องการความแม่นยำมากนัก เช่น ในการขนถ่ายวัสดุที่เป็นก้อน ๆ หรือการตริงหรือดิ่งน้ำหนักบรรทุกทุก แท่นชั่งน้ำหนักแบบที่มีขีดสเกลยังคงมีใช้อยู่อย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตามในการใช้งานแบบนี้ แรงที่กระทำต่อคานกลไกมักจะถูกวัดโดยโพลดเซลล์ ทั้งนี้เป็นเพราะโพลดเซลล์มีความเหมาะสมกับการใช้งานในระบบดิจิทัลซึ่งอาจถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์อีกทีหนึ่ง ข้อดีและสมรรถนะของโพลดเซลล์แบบต่าง ๆ แสดงอย่างย่อในตารางที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โพลดเซลล์แบบสเตรนเกจ [9]

1.6.1 ระบบของโหลดเซลล์ ระบบโหลดเซลล์ในปัจจุบันได้รับการพัฒนาและนิยมใช้กันในปัจจุบัน 2 ระบบด้วยกัน

1) ระบบโหลดเซลล์แบบอนาล็อก (A Common Analogue System) เครื่องชั่งไม้อัดโนมิตที่ระบบโหลดเซลล์แบบอนาล็อกประกอบทำงานอยู่นั้นเป็น รูปแบบที่นิยมใช้กับเครื่องชั่งไม้อัดโนมิตมากที่สุด หลักการทำงานจะแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 หลักการทำงานของระบบโหลดเซลล์แบบอนาล็อก [10]

หมายเลข 1 สัญญาณด้านทางออกโหลดเซลล์ (Load Cell Output) มีค่าประมาณ 0-30 mV

หมายเลข 2 สัญญาณถูกขยายด้วยตัวขยายสัญญาณ (Amplifier) เพิ่มสูงขึ้นประมาณ 0-5 V

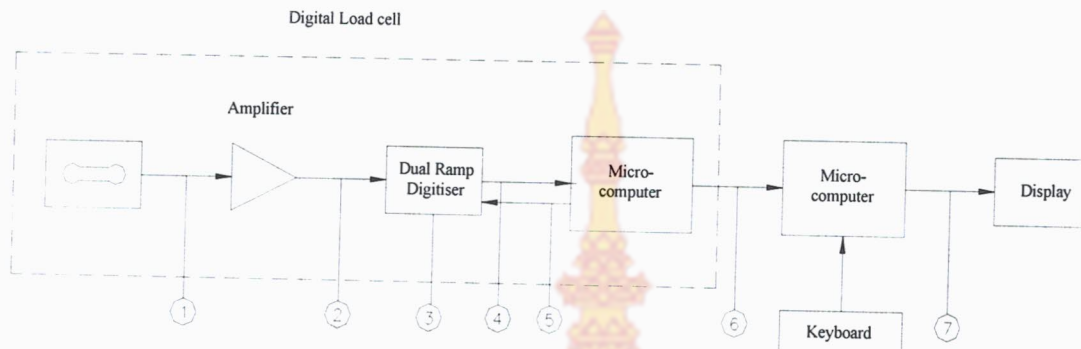
หมายเลข 3 ตัวแปรสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (A/D Converter) แบบ Dual Ramp Digitizer Converts ทำการแปรสัญญาณอนาล็อกให้เป็นดิจิตอลด้านทางออกจากตัวขยายและทำการนับจำนวนสัญญาณพัลส์แบบดิจิตอล

หมายเลข 4 จำนวนพัลส์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักที่กระทำต่อโหลดเซลล์ ซึ่งจำนวนสัญญาณพัลส์จะประกอบด้วยน้ำหนักตาย (Dead Load) เช่น น้ำหนักส่วนรับน้ำหนัก และน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง (Life Load) คือน้ำหนักวัสดุที่ต้องการชั่ง

หมายเลข 5 ไมโครคอมพิวเตอร์จะทำการส่งสัญญาณเกจ (Gating Signals) ออกมาเพื่อควบคุมการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล

หมายเลข 6 สัญญาณจากตำแหน่ง 4 ก็จะถูกส่งไปประมวลผลเพื่อส่งสัญญาณไปเพื่อแสดงค่าน้ำหนักโดยทางจอแสดงค่า

2) ระบบโหลดเซลล์แบบดิจิทัล (A Common Digital System) โดยมี หลักการทำงานแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 หลักการทำงานของระบบโหลดเซลล์แบบดิจิทัล [10]

หมายเลข 1 สัญญาณด้านออกของโหลดเซลล์ (Load Cell Output) มีค่าประมาณ 0-30 mV

หมายเลข 2 สัญญาณถูกขยายด้วยตัวขยายสัญญาณ (Amplifier) เพิ่มสูงขึ้นประมาณ 0-5 V

หมายเลข 3 ตัวแปรสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (A/D Converter) แบบ (Dual Ramp Digitizer Converts) ทำการแปรสัญญาณอนาล็อกให้เป็นดิจิทัลด้านทางออกจากตัวขยาย และทำการนับจำนวนสัญญาณพัลส์แบบดิจิทัล

หมายเลข 4 จำนวนพัลส์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักที่กระทำต่อโหลดเซลล์ ซึ่งจำนวนสัญญาณพัลส์จะประกอบด้วยน้ำหนักตาย (Dead Load) เช่น น้ำหนักส่วนรับน้ำหนัก และน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง (Life Load) คือน้ำหนักวัสดุที่ต้องการชั่ง

หมายเลข 5 ไมโครคอมพิวเตอร์จะทำการส่งสัญญาณเกจ (Gating Signals) ออกมาเพื่อควบคุมการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล

หมายเลข 6 สัญญาณจากตำแหน่ง 4 จะถูกทำให้เป็นเส้นตรงก่อนและทำการชดเชยผลผิดอันเนื่องมาจากปัจจัยฟิสิกส์ต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความยืดตัวของโลหะ (Creep) และ Hysteris เป็นต้น โดยไมโครชิปซึ่งติดตั้งอยู่บน โหลดเซลล์ชนิดดิจิทัลชนิดนี้ก่อนที่จะส่งสัญญาณออกไปจากตัวโหลดเซลล์ไปประมวลผล

หมายเลข 7 สัญญาณส่งไปยังจอแสดงค่า (Display) เพื่อแสดงผลการชั่ง

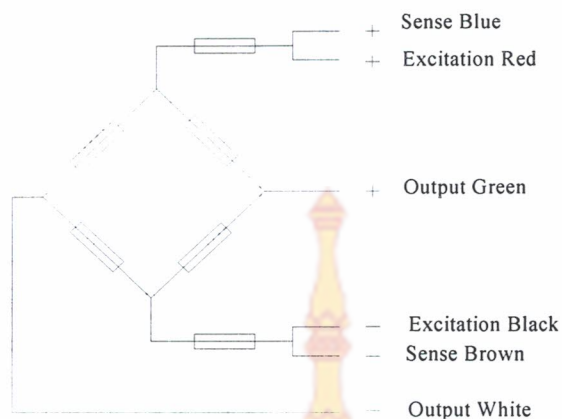
1.6.2 หลักการทำงานของโหลดเซลล์ การออกแบบโหลดเซลล์จะขึ้นอยู่กับชนิดของสัญญาณที่จะออกจากตัวโหลดเซลล์เป็นสำคัญ เช่น สัญญาณออกที่ต่อเข้ากับระบบนิวเมติก ไฮดรอลิก หรือไฟฟ้า นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงชนิดของแรงที่ต้องการวัด แรงบิด แรงเฉือน แรงกด แรง

คัด เป็นต้น ค่าความต้านทานจะเปลี่ยนไปมากหรือน้อยตามขนาดแรงกด ทำให้วงจร Bridge ไม่สมดุล ทำให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้า เรานำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ไปแปลงเป็นค่าน้ำหนักสัญญาณที่ได้จากโหลดเซลล์เป็นสัญญาณไฟฟ้าอนาล็อก ค่าที่ได้เป็น Volt แรงดันต่ำมาก ส่งผ่านสายนำสัญญาณเข้าสู่ Indicator ซึ่ง Indicator จะแปลง Volt ให้เป็นค่าดิจิทัล ค่าที่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดแรงดันที่ได้จากสเตรนเกจ (ซึ่งถูกกดโดยน้ำหนักของที่ชั่ง) A/D (Analog To Digital) ถูกติดตั้งอยู่ในตัวโหลดเซลล์ใกล้กับสเตรนเกจ เพื่อไม่ให้สัญญาณไฟฟ้าถูกรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวน (อย่างเช่นแบบอนาล็อก) สัญญาณที่ส่งออกจากโหลดเซลล์ จะเป็นสัญญาณไฟฟ้าแบบดิจิทัล (มีค่า 0 Volt แทนค่า 0 และ 5 Volt แทนค่า 1) การรบกวนทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะไม่มีทำให้น้ำหนักที่ได้จะนิ่งและแม่นยำกว่า

1) โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ จะเปลี่ยนแรงที่มากกระทำเป็นสัญญาณไฟฟ้า เครื่องมือวัดแบบนี้ยึดติดกับโครงสร้างที่มีการเปลี่ยนรูปเมื่อมีแรงหรือน้ำหนักมากกระทำ ส่วนใหญ่แล้วมักจะใช้เกจวัดความเครียด 4 ตัว ในการวัดเพื่อให้ได้ความไวสูงสุดและมีการชดเชยผลของอุณหภูมิขณะทำการวัดด้วย เกจทั้งสี่จะเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อช่วยในการปรับตั้งค่าชดเชยวงจร โดยทั่วไปเกจ 2 ตัวจะอยู่ในสภาพถูกดึงและอีก 2 ตัวอยู่ในสภาพถูกกด ดังแสดงในรูปที่ 2.10 และ รูปที่ 2.11 เมื่อมีน้ำหนักมากกระทำ ความเครียดจะเปลี่ยนเป็นความต้านทานทางไฟฟ้าในสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่มากกระทำ อุปกรณ์โหลดเซลล์แบบนี้ยังมีการเพิ่มความแม่นยำให้สูงขึ้นในขณะที่ราคาต่ำลง



รูปที่ 2.10 โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ [10]



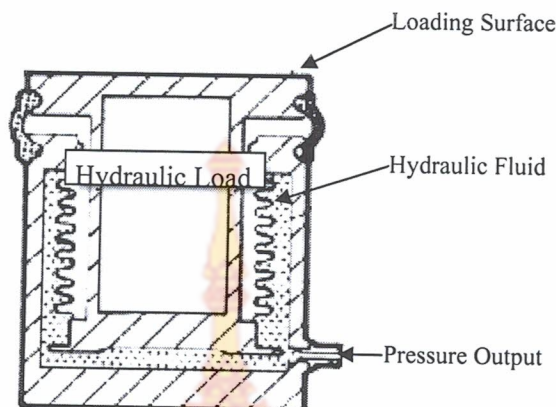
669.1420
๑ 8๖1
๒๕๕๖

รูปที่ 2.11 ระบบโวลต์เซลล์ [10]

2) โวลต์เซลล์แบบไฮดรอลิก วัดน้ำหนักจากการเปลี่ยนแปลงความดันของของเหลวภายในระบบเมื่อมีแรงกระทำที่แท่นรับน้ำหนักในโวลต์เซลล์แบบไฮดรอลิกที่มีแผ่นไดอะแฟรมม้วน แรงจะถูกส่งผ่านลูกสูบเป็นผลให้ของเหลวภายในช่องแผ่นไดอะแฟรมถูกกดอัด การวัดแรงที่เกิดขึ้นสามารถวัดได้จากความดันของของเหลว ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับแรงดันของของเหลวนี้มีลักษณะเป็นแบบเชิงเส้น โดยไม่ขึ้นกับอุณหภูมิและปริมาณของของเหลวในกระบอกสูบ ถ้าโวลต์เซลล์แบบนี้ได้รับการติดตั้งหรือสอบเทียบที่เหมาะสม ความแม่นยำในการวัดควรอยู่ที่ 0.25% ของช่วงการวัดเต็มสเกลหรือดีกว่านั้น ระดับความแม่นยำนี้เป็นที่ยอมรับได้ในงานอุตสาหกรรมทั่วไป เนื่องจากเครื่องมือวัดแบบนี้ไม่ต้องใช้ไฟฟ้า จึงเหมาะที่จะใช้ในพื้นที่ที่อันตราย ข้อเสียของโวลต์เซลล์แบบไดอะแฟรมนี้ คือสามารถรับแรงสูงสุดได้ไม่เกิน 1000 psi ในงานที่ต้องการวัดแรงดันสูงจะต้องใช้โวลต์เซลล์แบบที่มีไดอะแฟรมทำด้วยโลหะซึ่งสามารถรับน้ำหนักได้ถึง 4500 Ton ดังรูปที่ 2.12 และ รูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 โวลต์เซลล์แบบรับแรงกดแบบปุ่ม [11]



รูปที่ 2.13 ระบบโหลดเซลล์แบบไฮดรอลิก [11]

โดยทั่วไปแล้วโหลดเซลล์แบบไฮดรอลิกมักจะใช้ในการวัดน้ำหนักถึงเก็บวัสดุหรือแท่งสำหรับกรณีที่ต้องการความแม่นยำสูงสุด การวัดควรจะใช้โหลดเซลล์หลายตัวมาวัดที่จุดรองรับแต่ละตำแหน่ง เนื่องจากการกำหนดครณะบจะต้องใช้จุด 3 จุด ดังนั้นการวัดน้ำหนักวัตถุที่มีขนาดใหญ่จึงควรจะใช้โหลดเซลล์ 3 ตัวเพื่อวัดน้ำหนัก ณ จุดรองรับวัตถุทั้ง 3 จุด น้ำหนักของวัตถุจะหาได้จากผลรวมของค่าน้ำหนักที่อ่านได้จากโหลดเซลล์ทั้งสามนั่นเอง

3) โหลดเซลล์แบบนิวเมติก ทำงานโดยใช้หลักการสมดุลแรงเช่นเดียวกับแบบไฮดรอลิก โหลดเซลล์แบบนี้มีความแม่นยำกว่าแบบไฮดรอลิก เพราะมีการใช้ช่องว่างหลายช่องในการหน่วงความดันของของเหลวและลดการสั่นสะเทือน โหลดเซลล์แบบนี้มักจะใช้วัดสิ่งของที่มีน้ำหนักไม่มากนักในงานอุตสาหกรรมที่ต้องการความสะอาดและความปลอดภัยสูง จุดเด่นของโหลดเซลล์แบบนี้คือสามารถทนแรงกระแทกได้สูงและไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ นอกจากนี้ระบบนิวเมติกไม่ใช้ของเหลวในเครื่องมือวัดเหมือนระบบไฮดรอลิกทำให้มั่นใจได้ว่าไม่มีของเหลวมาปนเปื้อนสิ่งที่ต้องการจะวัดถ้าไดอะแฟรมมีการแตกรั่ว อย่างไรก็ตาม โหลดเซลล์แบบนี้มีข้อเสียคือความเร็วในการตอบสนองต่ำและต้องใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่สะอาดปลอดภัยขึ้นและจะต้องมีการควบคุมอากาศหรือไนโตรเจนภายในเครื่องให้เหมาะสม

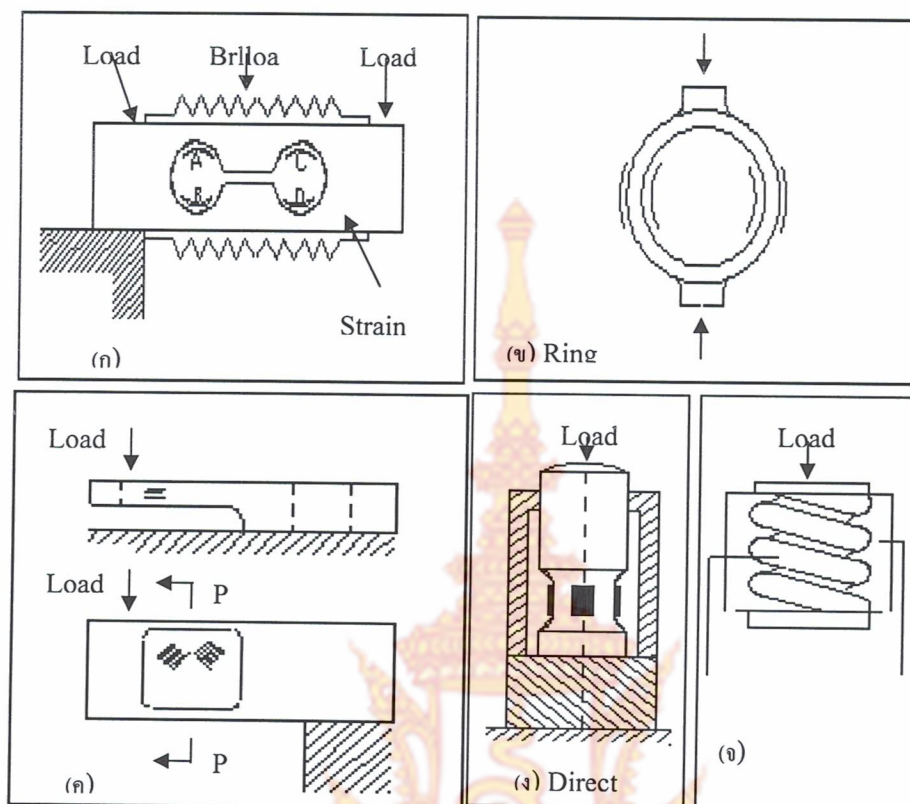
4) ไพโซเรซิสทีฟ (Piezoresistive) มีการทำงานเหมือนกับเกจวัดความเครียด แต่ไพโซเรซิสทีฟ สามารถผลิตสัญญาณออกมาได้ในระดับสูงจึงเหมาะสำหรับเครื่องชั่งน้ำหนักที่ไม่ซับซ้อนในการวัด เนื่องจากสามารถต่อเข้าโดยตรงกับส่วนแสดงผล อย่างไรก็ตามเครื่องมือวัดลักษณะนี้ได้รับความนิยมลดลงเรื่อย ๆ เพราะตัวขยายสัญญาณที่มีคุณภาพดีนั้นมีราคาถูกลง นอกจากนี้ ไพโซเรซิสทีฟยังมีข้อเสียคือความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่ออกกับน้ำหนักที่วัดมี

ลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น อุปกรณ์ที่ใช้หลักการการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก อุปกรณ์ลักษณะนี้จะตรวจวัดการเคลื่อนที่ของแกนแม่เหล็ก โดยวัดการเหนี่ยวนำของขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปในที่นี้การเคลื่อนที่ของแกนเหล็กจะแปรผันโดยตรงกับน้ำหนักที่วัดนั่นเอง

5) แมกเนโตสเตริกทีฟ (Magnetostrictive) การทำงานของเซนเซอร์แบบนี้ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงในการแผ่สัญญาณแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรที่อยู่ภายใต้แรงที่มากกระทำแรงทำให้เกิดการผิดรูปของสนามแม่เหล็กและจะให้เกิดสัญญาณที่เป็นสัดส่วนโดยตรงต่อแรงที่มากระทำ อุปกรณ์ตรวจวัดนี้มีความทนทานมากและยังคงมีใช้อยู่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมที่มีการรีดโลหะแผ่น

1.6.3 การพัฒนาเซนเซอร์แบบใหม่ ในการพัฒนาเซนเซอร์แบบใหม่ โพลดเซลล์แบบใยแก้วนำแสงได้รับความนิยมมากเนื่องจากผลการวัดมิได้ถูกรบกวนโดยสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า และสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ (EMI/RFI) จึงเหมาะที่จะใช้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูง ปัจจุบันนี้ยังคงมีการพัฒนาโพลดเซลล์แบบที่ใช้แสงในการวัด เทคนิคในการวัดมีอยู่ 2 แบบ คือการวัดผลกระทบจากการคดตัวของใยแก้วนำแสง และการวัดแรงที่มากระทำจาก Fiber Bragg Grating : FBG อุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้หลักการของเทคโนโลยีทั้งสองอย่างนี้ได้มีการนำมาทดลองใช้งานจริงในเมืองฮอกไกโด ประเทศญี่ปุ่น โดยใช้ในการวัดน้ำหนักของหิมะบนสายส่งไฟฟ้า ปัจจุบันนี้ อุปกรณ์วัดน้ำหนักแบบใยแก้วนำแสงมีอยู่น้อย เครื่องมือวัดแบบใยแก้วนำแสงสามารถสอดผ่านรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 mm เพื่อวัดแรงที่มากระทำในแนวแกนของรู โดยที่ไม่ต้องพะวงถึงแรงอื่น ๆ ที่มีได้มากระทำในแนวแกนรวมทั้งแรงบิดด้วย โพลดเซลล์แบบที่เป็นแผ่นวงจรรีจิสตรอน อยู่ในระหว่างการพัฒนาที่มหาวิทยาลัย Twente ประเทศเนเธอร์แลนด์ ได้มีการสร้างแผงวงจรรีจิสตรอน โดยใช้เทคนิคไมโครแมชีนนิ่ง เป็นไปได้ว่าโพลดเซลล์แบบรีจิสตรอนนี้จะได้รับความนิยมมากในงานอุตสาหกรรมในอนาคต

1.6.4 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด ส่วนประกอบที่เป็นสปริงในโพลดเซลล์มีลักษณะเป็นคาน สามารถตอบสนองโดยตรงต่อความเค้นที่มาจาก การดึง การกด การคด หรือการเหือน โดยทั่วไปแล้วจะเรียกชื่อตามลักษณะของการวัด เช่น คานคด คานเหือน เสาสูง ทรงกระบอก เกลียวและอื่น ๆ ดังรูปที่ 2.14 แบบที่นิยมที่สุดในการวัดน้ำหนักในอุตสาหกรรมมีอยู่ 2 ชนิด คือแบบวัดแรงคด และ แบบวัดแรงเหือน



รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบของโหลดเซลล์แบบสปริง [9]

1) เซนเซอร์แบบคานคัด เป็นหนึ่งในการออกแบบโหลดเซลล์ที่นิยมที่สุด เนื่องจากการใช้งานไม่ซับซ้อนและมีราคาไม่แพง รูปร่างเป็นแบบคานยื่นแบบลากลิ่งคู่ดังรูปที่ 2.14 (ก) หรือออกแบบเป็นวงแหวนดังรูปที่ 2.14 (ข) อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดจะติดอยู่ที่ด้านบนและด้านล่างเพื่อวัดแรงดึงและแรงกด จึงมีการใช้ยางยึดคลุมเพื่อป้องกันตัวคานที่ทำจากโลหะผสมซึ่งมีความทนทานสูงและเคลือบด้วยนิเกิล ในการวัดน้ำหนักหรือแรง เช่น ในเครื่องมือทางการแพทย์ หุ่นยนต์ คานของเครื่องมือวัดจะมีขนาดเล็กและสามารถใช้วัดแรงสูงสุดถึง 18 kg ในกรณีที่แรงไม่เกิน 230 g ตัวคานจะทำจากโลหะผสมทองแดงกับเบอริลเลียม ในกรณีที่ภาระมากกว่านั้นคานจะทำจากสแตนเลสเคลือบผิวด้วยยูรีเทน เซนเซอร์แบบแหวน อุปกรณ์ตรวจวัดแบบนี้จะใช้คานที่มีรูปร่างกลมแบนประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดที่ติดอยู่กับกล่องสแตนเลส รูปร่างของเครื่องมือวัดมีลักษณะแบบแผ่นค้ำดังรูปที่ 2.8(ข) เครื่องมือวัดจะมีกลไกเพื่อจำกัดการเคลื่อนที่ของแรงและควบคุมให้แนวแรงผ่านไปยังจุดกึ่งกลางของแผ่นวงกลม เครื่องมือที่วัดแรงกดอัดและแรงดึงจะมีเก็ยที่จุดกึ่งกลางของตัวเครื่องมือวัด ส่วนแผ่นไดอะแฟรมจะติดอยู่ที่บริเวณเซนเซอร์ที่รับแรง

2) เซนเซอร์แบบวัดแรงเฉือน ใช้วัดแรงเฉือน ส่วนเซนเซอร์ใช้วัดแรงดัดไม่สามารถใช้วัดแรงเฉือนได้เนื่องจากความเค้นเฉือนจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามระดับความลึกของพื้นที่หน้าตัดของคาน คานสำหรับวัดแรงเฉือนจะเป็นคานรูปตัวไอ (I-Beam) ดังรูปที่ 2.14 (ค) อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดจะติดอยู่บนคานและใต้คานด้านละ 1 คู่ โดยที่แนวของอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดจะยาวตามแกนหลัก ข้อดีเซนเซอร์แบบวัดแรงเฉือนเมื่อเทียบกับเซนเซอร์แบบวัดแรงดัด คือสามารถตรวจวัดแรงด้านข้างและแรงพลวัตได้เพราะสามารถกลับสู่จุดศูนย์ได้เร็วกว่า โหลดเซลล์แบบวัดความเค้นโดยตรง ใช้คานแบบที่วัดแรงดัดนั่นเอง แต่ติดตั้งอยู่ภายในแนวของเสาหรือสิ่งที่ต้องรับแรงดังรูปที่ 2.14 (ง) คานจะจับยึดในแนวตั้งพร้อมด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด 2 ตัวที่ติดอยู่ในแนวเดียวกับเสา และอีก 2 ตัวจะติดอยู่ในแนวขวางของเสา เสาอาจจะเป็นสิ่งเหล็ม วงกลมหรือวงกลมที่มีการแตงผิวให้เรียบเพื่อให้เหมาะกับการติดอุปกรณ์วัดความเครียดก็ได้ นอกจากนี้ตัวกล่องยังป้องกันอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดไม่ให้เกิดความเสียหายจากสภาพแวดล้อม กล่องของโหลดเซลล์จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 38.1 mm ซึ่งจะรับแรงได้ 45 – 220 kg สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลาง 165 mm ซึ่งเหมาะสำหรับการชั่งรถบรรทุก ถึงและถึงเก็บที่รับน้ำหนักได้ถึง 220 kg โหลดเซลล์แบบเกลียว เหมาะสำหรับการรับแรงอัดนอกแนวแกน ดังรูปที่ 2.14 (จ) การทำงานของโหลดเซลล์แบบเกลียวมีพื้นฐานมาจากการใช้สปริง โดยสปริงจะเป็นตัวสมดุลแรงโมเมนต์ความตึงในตัวของมันเอง แรงปฏิกิริยาของความตึงจะเคลื่อนที่จากด้านบนของเกลียวไป สู่ด้านล่าง ซึ่งการวัดโมเมนต์ของความตึงจะใช้สเตรนเกจติดเข้ากับตัวสปริง โหลดเซลล์แบบเกลียวจะให้ความเที่ยงตรงในการวัดที่เชื่อถือได้มาก โดยที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายมากในการทำโครงสร้างยึดติด แรงที่กระทำแบบไม่สมมาตรหรือเป็นแรงนอกแนวแกนให้ผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อสปริงและเซนเซอร์สเตรนเกจสามารถวัดได้ทั้งแรงดึงและแรงอัด

โหลดเซลล์แบบเกลียวสามารถติดตั้งได้แม้พื้นผิวจะขรุขระหรือพื้นผิวด้านบนและล่างที่ไม่ขนานกัน ซึ่งความผิดพลาดทั้งหมดไม่เกิน 0.5% ของความต้านทานแรงล้นสะท้อนหรือแรงที่เกิน จึงทำให้เหมาะที่จะนำมาใช้วัดแรงในแนวแกน ยานพาหนะ ที่นั่งหรือในงานรยกได้ดี บริเวณด้านล่างของแหวนรองจะติดโหลดเซลล์สเตรนเกจ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใช้งานตั้งแต่ 12.7 – 38.1 mm เซนเซอร์ที่มีขนาดเล็กนั้นจะเหมาะสำหรับการใช้งานในแบบการอัด แต่โหลดเซลล์ขนาดใหญ่จะมีรูที่ทำเกลียวไว้เพื่อใช้วัดแรงดึงได้ สำหรับเซนเซอร์ขนาดเล็กสุดจะรับภาระได้ประมาณ 90 kg แต่บางประเภทก็สามารถวัดได้ถึง 22 Ton เพราะว่าโหลดเซลล์เล็ก ๆ นี้มีความยืดหยุ่นต่อแรงนอกแกนและแรงที่เคลื่อนที่ซึ่งจะไม่มีผลต่อพิสัยความคลาดเคลื่อน ในอีกทางหนึ่งบริเวณด้านล่างของแหวนรองนั้นมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน อีกทั้งเซนเซอร์ขนาดเล็กที่ทำมา

จากสแตนเลส ซึ่งทำเป็นวงจรวีทส โตนบรีดจ์แบบสี่แขนสามารถวัดแรงได้ถึง 90 kg ที่อุณหภูมิสูงถึง 800 °C

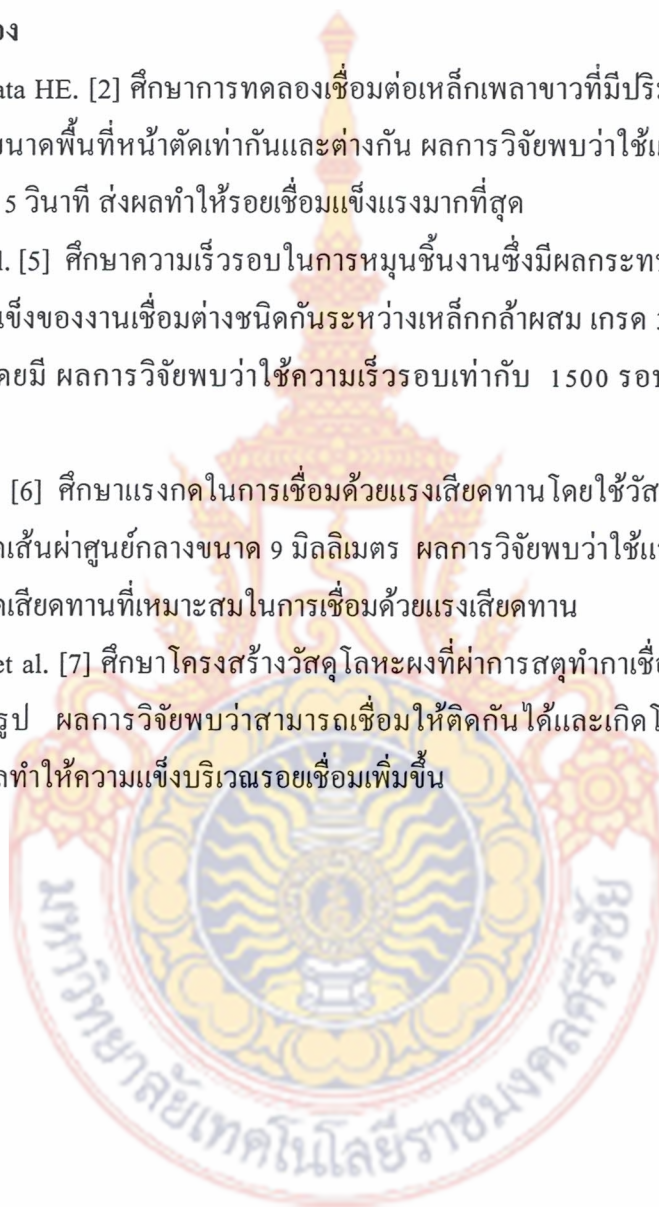
2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sahin M, Akata HE. [2] ศึกษาการทดลองเชื่อมต่อเหล็กเพลลาขาวที่มีปริมาณคาร์บอน 0.17-0.23 เปอร์เซ็นต์ ที่ขนาดพื้นที่หน้าตัดเท่ากันและต่างกัน ผลการวิจัยพบว่าใช้แรงกดเสียดทาน 30 MPa เวลาเสียดทาน 5 วินาที ส่งผลทำให้รอยเชื่อมแข็งแรงมากที่สุด

Ozdemir, et al. [5] ศึกษาความเร็วรอบในการหมุนชิ้นงานซึ่งมีผลกระทบต่อโครงสร้างของรอยเชื่อมและความแข็งแรงของงานเชื่อมต่างชนิดกันระหว่างเหล็กกล้าผสม เกรด 304L กับเหล็กกล้าผสม เกรด 4340 โดยมี ผลการวิจัยพบว่าใช้ความเร็วรอบเท่ากับ 1500 รอบต่อนาที ส่งผลต่อโครงสร้างน้อยที่สุด

Ates, et al. [6] ศึกษาแรงกดในการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน โดยใช้วัสดุชุบเปอร์อัลลอยด์ ชนิด MA 956 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 9 มิลลิเมตร ผลการวิจัยพบว่าใช้แรงกดเสียดทาน 50-100 MPa เป็นแรงกดเสียดทานที่เหมาะสมในการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน

Jayabharath, et al. [7] ศึกษาโครงสร้างวัสดุโลหะผงที่ผ่านการสตุทำกาเชื่อมต่อด้วยแรงเสียดทานกับทองแดงขึ้นรูป ผลการวิจัยพบว่าสามารถเชื่อมให้ติดกันได้และเกิดโครงสร้างจุลภาคที่เปลี่ยนแปลงไปส่งผลทำให้ความแข็งแรงบริเวณรอยเชื่อมเพิ่มขึ้น



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

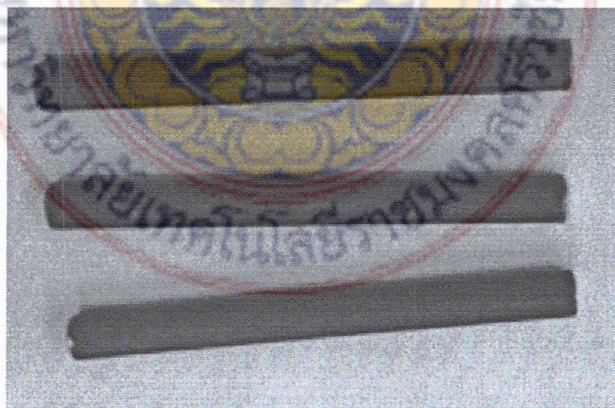
ในการศึกษาสมบัติทางกลในงานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน โดยการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน แล้วนำชิ้นงานเชื่อมดังกล่าวไปศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกล ดังนั้นจึงได้กำหนดวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. วัสดุที่ใช้ทำการทดลอง

1.1 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองคือ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เกรด 1040 (AISI 1040) ดังแสดงตารางที่ 3.1 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร ดังแสดงรูปที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมี เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เกรด 1040 [9]

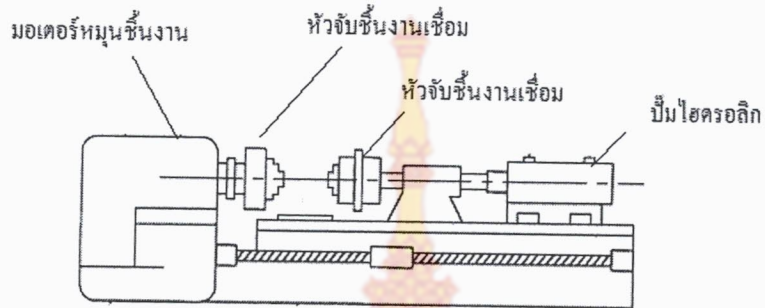
Material	% C	% P	% S	% Mn	% Si	% Ni	% Cr	Tensile strength of material (MPa)
AISI 1040	0.35 0.44	<0.04	<0.05	0.75	0.20	–	–	800



รูปที่ 3.1 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

1.2 จัดเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์และการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน

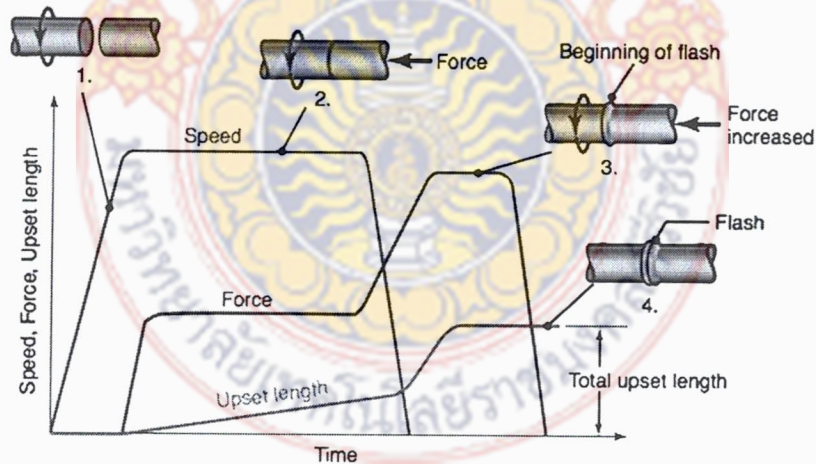
จัดเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์ในกรรมวิธีการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 3.2 การเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน

2. การเชื่อมชิ้นงานเชื่อมด้วยกรรมวิธีการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน

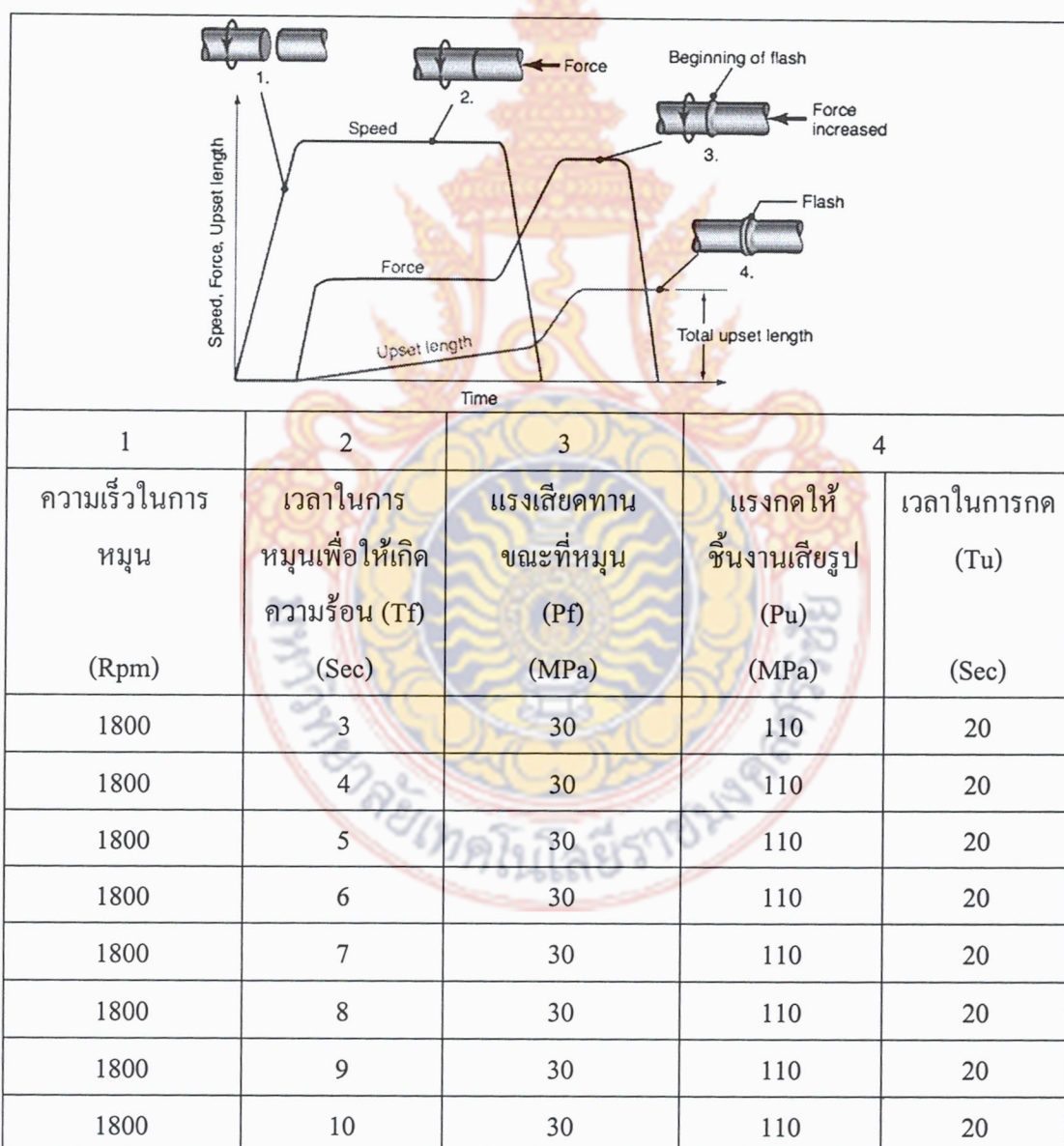
2.1 ทำการเชื่อมชิ้นงานเชื่อมด้วยกรรมวิธีการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน โดยกำหนดชิ้นงานเชื่อมจะหมุนด้วยความเร็วที่คงที่ (s)



รูปที่ 3.3 ชิ้นงานเชื่อมด้วยกรรมวิธีการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน

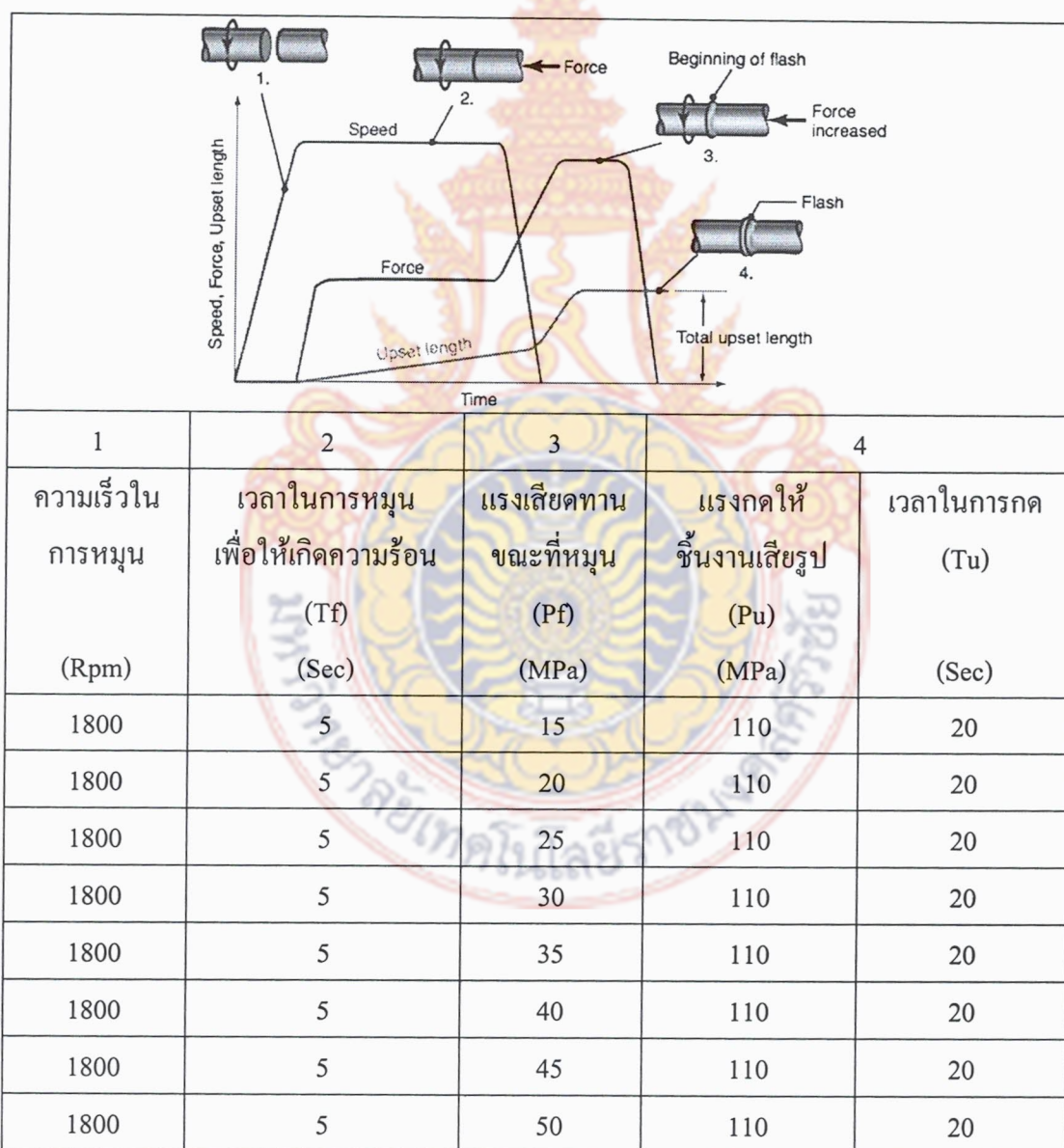
2.1.1 ทำการศึกษาโดยพิจารณาจากเวลาในการหมุนเพื่อให้เกิดความร้อน (Tf) เท่ากับ 3 4 5 6 7 8 9 และ 10 วินาที กำหนด ในขณะที่หมุนจะมีแรงกดจนเกิดแรงเสียดทาน (Pf) เท่ากับ 30 MPa ปลดปล่อยให้หยุดขณะหนึ่งแล้วใช้แรงกดที่สูงกว่าจนทำให้ชิ้นงานเสียรูป (Pu) เท่ากับ 110 MPa โดยเวลาในการกดอย่างรวดเร็ว (Tu) เท่ากับ 20 วินาที

ตารางที่ 3.2 การออกแบบการทดสอบความแข็งแรงดึงของงานเชื่อมด้วยแรงเสียดทานโดยพิจารณาจากเวลาในการหมุนเพื่อให้เกิดความร้อน (Tf) ที่เปลี่ยนแปลงไป



2.1.2 ทำการศึกษาโดยพิจารณา แรงกดจนเกิดแรงเสียดทานขณะที่หมุน(Pf) เท่ากับ 15 20 25 30 35 40 45 และ 50 MPa โดยใช้เวลาในการหมุนเพื่อให้เกิดความร้อน (Tf) เท่ากับ 5 วินาที ปล่อยให้หยุดขณะหนึ่งแล้วใช้แรงกดที่สูงกว่าจนทำให้ชิ้นงานเสียรูป (Pu) เท่ากับ 110 MPa โดยเวลาในการกดอย่างรวดเร็ว (Tu) เท่ากับ 20 วินาที

ตารางที่ 3.3 การออกแบบการทดสอบความแข็งแรงดึงของงานเชื่อมด้วยแรงเสียดทานโดยพิจารณา แรงกดจนเกิดแรงเสียดทานขณะที่หมุน(Pf) ที่เปลี่ยนแปลงไป



3. การศึกษาสมบัติทางโลหะวิทยา

การศึกษาศักยภาพโลหะวิทยาหลังจากทำการเชื่อมแล้ว จะนำชิ้นงานมาทำการศึกษาในแง่ของโลหะวิทยาการเชื่อม เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างทางมหภาค โครงสร้างทางจุลภาค และเปรียบเทียบข้อแตกต่างทางโครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อโลหะเดิม (Base Metal) บริเวณที่รับผลกระทบจากความร้อน (Heat Affect Zone) และบริเวณรอยต่อ (Interface) ซึ่งการเตรียมชิ้นงานสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยามีขั้นตอนดังนี้

3.1 การตัดชิ้นงานเชื่อมที่ต้องการตรวจสอบโครงสร้าง ต้องหลีกเลี่ยงให้เกิดความร้อนน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทั้งนี้ก็เพราะว่าความร้อนดังกล่าวจะทำให้โครงสร้างที่ผิวหน้าตัดนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้การตรวจสอบนั้นเกิดข้อผิดพลาด สำหรับขนาดของชิ้นตรวจสอบกำหนดให้ขนาด 10×25 มิลลิเมตร ทั้งนี้ เพื่อให้การขัดผิวกระทำได้ง่ายโดยไม่ต้องทำตัวเรือน

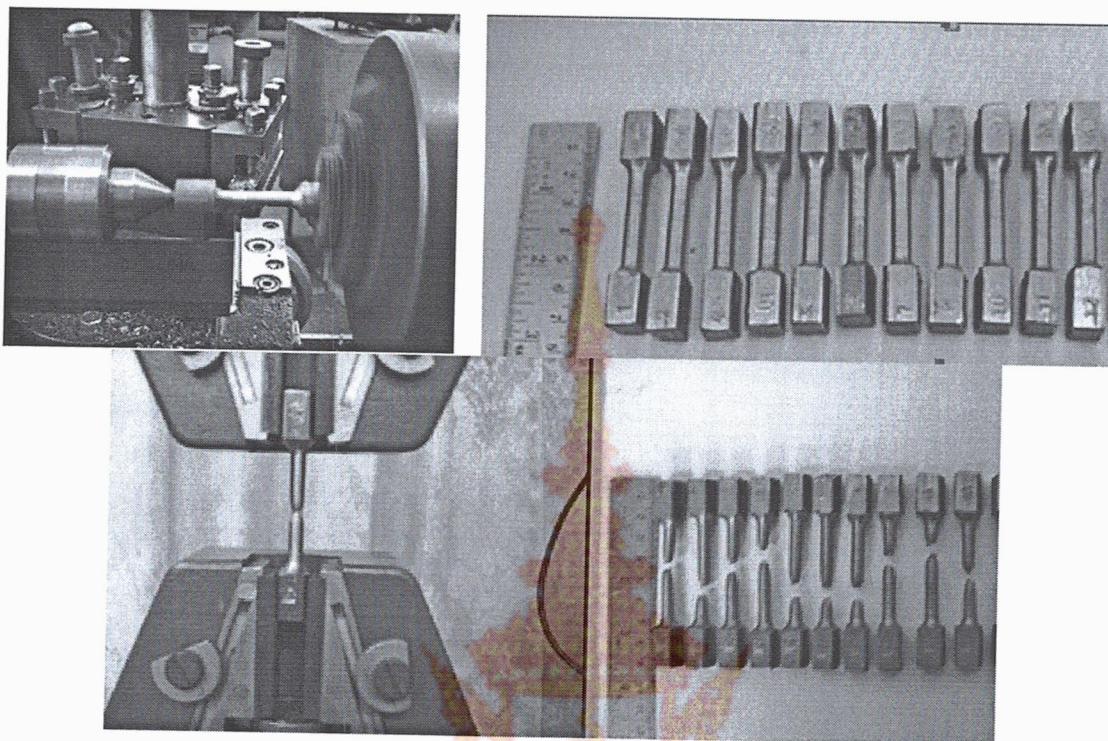
3.2 การขัดผิวชิ้นงานตรวจสอบ ขัดด้วยกระดาษทราย ตั้งแต่เบอร์ 220 จนถึงเบอร์ 1,200 ตามลำดับ ในการขัดวางกระดาษทรายลงบนกระจกหนาเรียบแล้วขัดผิวตรวจสอบลงบนกระดาษทรายนั้น ในขณะเดียวกันเปิดน้ำอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้น้ำชำระสิ่งสกปรกซึ่งได้แก่ผงโลหะ และซิลิโคนคาร์ไบด์ออกให้หมด การขัดผิวตรวจสอบควรใช้แรงพอประมาณ ไม่ควรออกแรงขัดมากเกินไป ทั้งนี้จะส่งผลให้โครงสร้างของชิ้นตรวจสอบเกิดความบกพร่องจนทำให้การตรวจสอบโครงสร้างเกิดข้อผิดพลาดได้

3.3 การขัดผิวด้วยผงขัด (Polishing) เป็นการขัดผิวมันของชิ้นตรวจสอบด้วยผงขัดที่ทำจากอะลูมินา (Alumina Oxide) โดยผงขัดใช้ขนาดตั้งแต่ 0.05 ไมครอน ด้วยจานหมุนที่ห่อหุ้มด้วยผ้าสักหลาด ใช้ผงขัดผสมกับน้ำเทลงบนสักหลาดแล้วขัดผิวจนเป็นมัน

3.4 การกัดด้วยน้ำยา (Etching) ชิ้นงานตรวจสอบที่ถูกขัดจนเป็นมันแล้วล้างด้วยแอลกอฮอล์ จากนั้นนำไปกัดด้วยน้ำยา ซึ่งใช้กรดไนตริกร้อยละ 2.5 ผสมกับแอลกอฮอล์ หลังจากการกัดกรดนำไปล้างน้ำและเป่าให้แห้ง แล้วเคลือบด้วยแลคเกอร์ นำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา (Metallurgical Inspection) ต่อไป

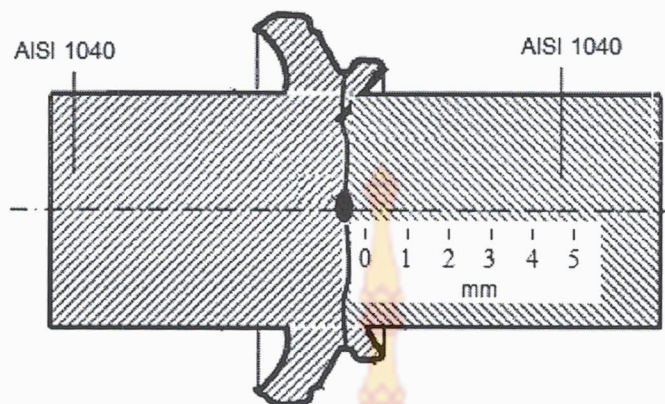
4. การเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบสมบัติทางกล

4.1 การเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบแรงดึง ขั้นตอนการดำเนินงานแสดงในรูปที่ 3.4 หลังจากนั้นนำชิ้นงานไปทดสอบด้วยแรงดึง กำหนดค่าพารามิเตอร์ในการทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E 8 และทำการบันทึกข้อมูลต่างๆ



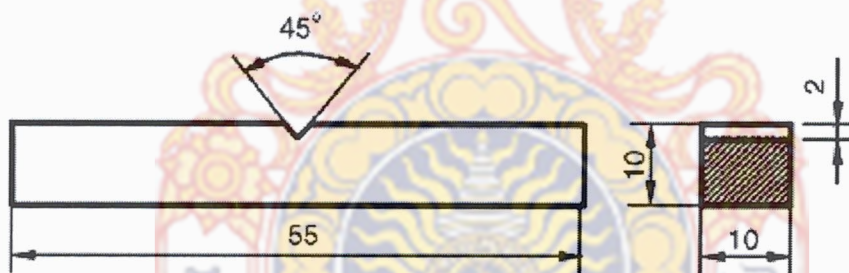
รูปที่ 3.4 การเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึงและการทดสอบด้วยแรงดึง

4.2 การเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบความแข็ง (Harness Test) จะใช้ชิ้นงานชิ้นเดียวกันกับการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา โดยกำหนดตำแหน่งทดสอบบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม (Weld Metal) เขตที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อน (HAZ) และเนื้อโลหะงาน (Base Metal) แสดงในรูปที่ 3.5 วิธีการวัดความแข็งจะใช้หัวกดเพชรมีลักษณะเป็นปิรามิดฐานสี่เหลี่ยม ที่ปลายหัวกดทำมุม 136 องศา ใช้แรงกด 10 kgf กดแช่เป็นเวลา 5 วินาที



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งของจุดทดสอบความแข็ง

4.3 การทดสอบแรงกระแทก สามารถวัดค่า Impact Energy หรือ Impact Toughness ซึ่งเป็นการวัดปริมาณของพลังงานที่วัสดุจะดูดซับไว้ได้เมื่อได้รับแรงจากการกระแทกจันทัก (Dynamic Impact Force) วิธีการทดสอบคือ Charpy Impact Test ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงการทดสอบแรงกระแทกแบบ Charpy Impact Test

4.4 วิเคราะห์และสรุปผล นำเสนอข้อมูลต่างๆ ที่เก็บรวบรวมจากการทดลองรวมถึงรายละเอียดในการทดลองและการวิเคราะห์รวมทั้งสรุปผลในรูปแบบของรายงาน

บทที่ 4

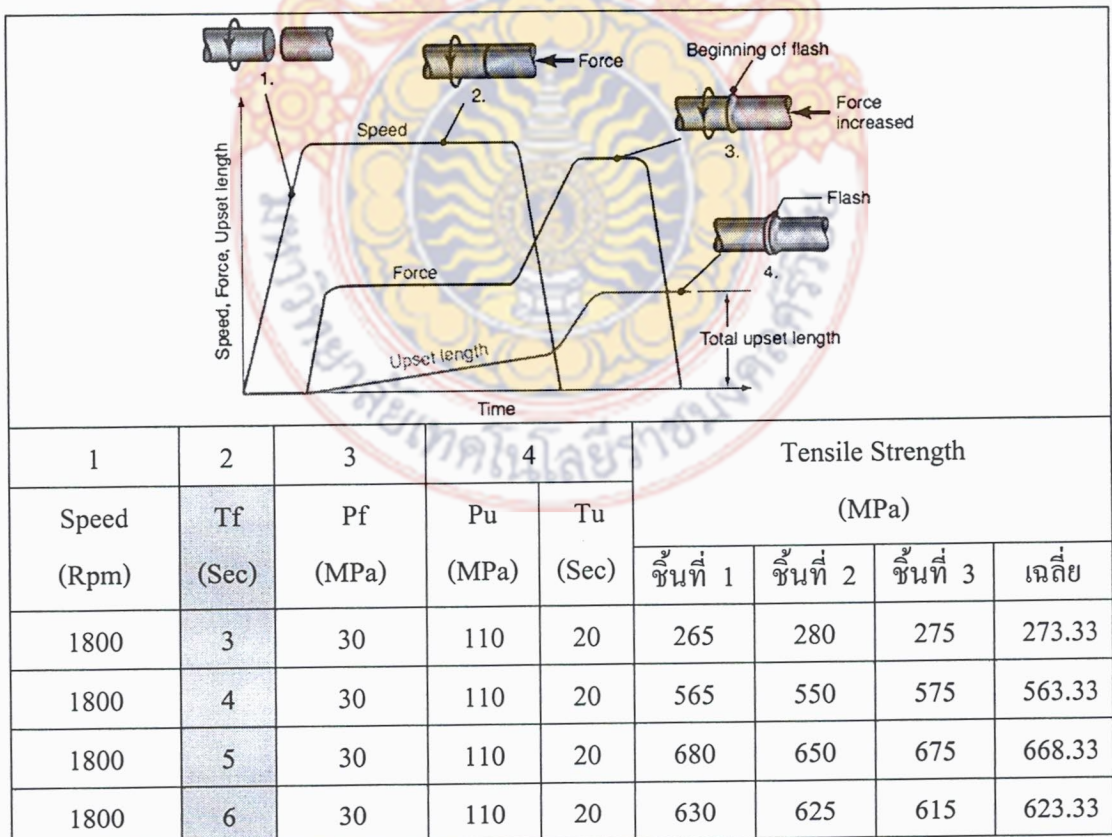
ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาสมบัติทางกลในงานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนโดยการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน โดยผู้วิจัยจะกล่าวถึงผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลของการวิจัย ดังนี้

1. ผล การทดสอบสมบัติทางกล

1.1 ทำการศึกษาโดยพิจารณาจากเวลาในการหมุนเพื่อให้เกิดความร้อน (T_f) เท่ากับ 3 4 5 6 7 8 9 และ 10 วินาที กำหนด ในขณะที่หมุนจะมีแรงกดจนเกิดแรงเสียดทาน (P_f) เท่ากับ 30 MPa ปล่อยให้หยุดขณะหนึ่งแล้วใช้แรงกดที่สูงกว่าจนทำให้ชิ้นงานเสียรูป (P_u) เท่ากับ 110 MPa โดยเวลาในการกดอย่างรวดเร็ว (T_u) เท่ากับ 20 วินาที

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความแข็งแรงดึงเฉลี่ยของงานเชื่อมด้วยแรงเสียดทานโดยพิจารณาจากเวลาในการหมุนเพื่อให้เกิดความร้อน (T_f) ที่เปลี่ยนแปลงไป



ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

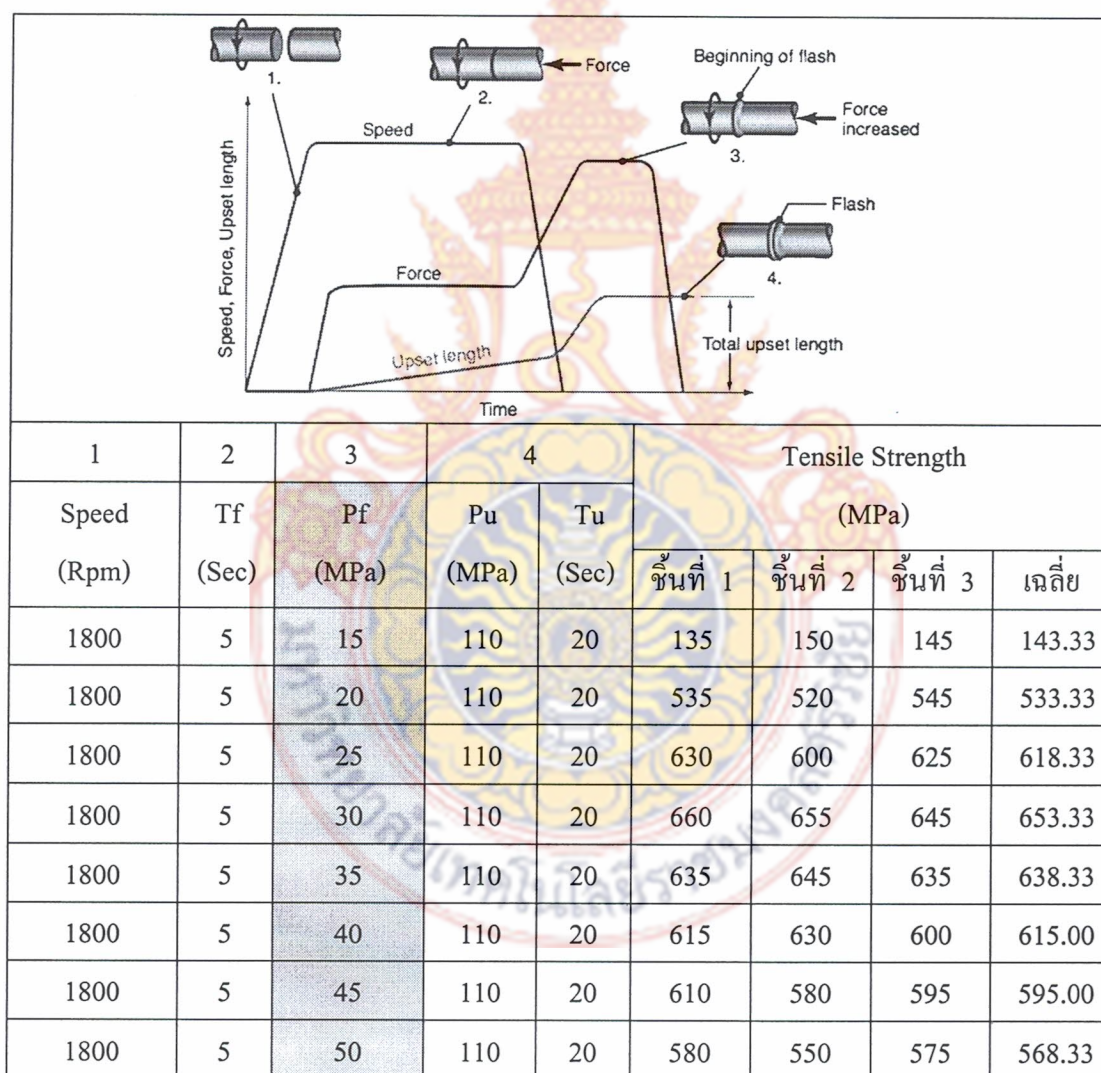
1	2	3	4		Tensile Strength			
					(MPa)			
			Speed (Rpm)	Tf (Sec)	Pf (MPa)	Pu (MPa)	Tu (Sec)	ชั้นที่ 1
1800	7	30	110	20	645	655	645	648.33
1800	8	30	110	20	555	570	540	555.00
1800	9	30	110	20	490	460	475	475.00
1800	10	30	110	20	470	440	465	458.33

ค่าความแข็งแรงดึงจากการทดสอบในตารางที่ 4.1 - 4.2 ค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยของงานเชื่อมด้วยแรงเสียดทานโดยพิจารณาจากเวลาในการหมุนเพื่อให้เกิดความร้อน (Tf) ที่เปลี่ยนแปลงไป มีค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยของงานเชื่อมด้วยแรงเสียดทานระหว่างประมาณ 273.33-668.33 Mpa ค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยของงานเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน โดยพิจารณาแรงกดจนเกิดแรงเสียดทาน ขณะที่หมุน(Pf) ที่เปลี่ยนแปลงไป มีค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยของงานเชื่อมด้วยแรงเสียดทานระหว่างประมาณ 143.33-658.33 Mpa



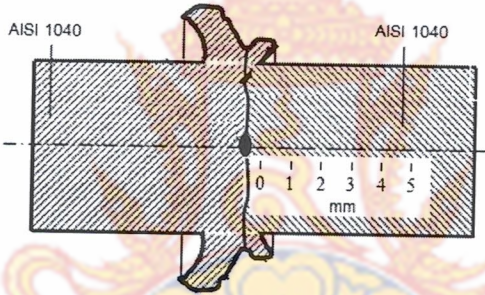
1.2 ทำการศึกษาโดยพิจารณา แรงกดจนเกิดแรงเสียดทานขณะตีหมุน(Pf) เท่ากับ 15 20 25 30 35 40 45 และ 50 MPa โดยใช้เวลาในการหมุนเพื่อให้เกิดความร้อน (Tf) เท่ากับ 5 วินาที ปล่อยให้หยุดขณะหนึ่งแล้วใช้แรงกดที่สูงกว่าจนทำให้ชิ้นงานเสียรูป (Pu) เท่ากับ 110 MPa โดยเวลาในการกดอย่างรวดเร็ว (Tu) เท่ากับ 20 วินาที

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความแข็งแรงดึงเฉลี่ยของงานเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน โดยพิจารณาแรงกดจนเกิดแรงเสียดทานขณะตีหมุน(Pf) ที่เปลี่ยนแปลงไป



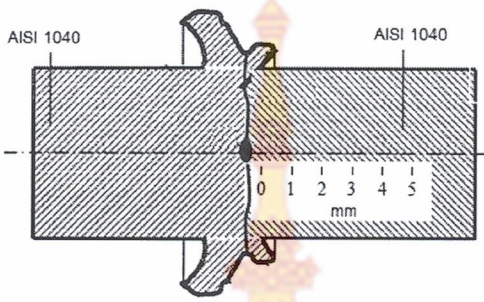
1.3 ผลการทดสอบความแข็ง จะใช้ชิ้นงานชิ้นเดียวกันกับการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา โดยกำหนดตำแหน่งทดสอบบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม (Weld Metal) เขตที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อน (HAZ) และเนื้อโลหะงาน (Base Metal) โดยทั้งสองด้านของรอยเชื่อม จึงสามารถตั้งเงื่อนไขว่าด้านทั้งสองด้านของรอยเชื่อมนั้นมีความสมมาตรกัน ดังนั้นจึงทำการวัดความแข็งเพียงด้านเดียวซึ่งจะวัดที่ระยะห่างกัน 1 มิลลิเมตร เป็นระยะจากรอยเชื่อมออกไป 5 มิลลิเมตร เพื่อให้ครอบคลุมช่วง Heat effect zone และได้แยกแยะแสดงผลการวัดความแข็งไว้ที่ตารางที่ 4.3 - 4.4

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความแข็งของงานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนโดยการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานโดยพิจารณาจากเวลาในการหมุนเพื่อให้เกิดความร้อน (Tf) ที่เปลี่ยนแปลงไป



1	2	3	4		ตำแหน่งทดสอบ / ค่าความแข็ง (HV)					
			Pu	Tu	0	1	2	3	4	5
Speed (Rpm)	Tf (Sec)	Pf (MPa)	Pu (MPa)	Tu (Sec)						
1800	3	30	110	20	118.79	116.31	139.29	131.26	121.77	121.79
1800	4	30	110	20	113.92	130.75	173.36	163.71	158.93	134.93
1800	5	30	110	20	112.04	123.23	149.02	166.10	155.47	144.47
1800	6	30	110	20	112.98	119.47	145.01	165.16	149.32	132.66
1800	7	30	110	20	120.33	123.83	143.05	161.15	150.76	148.76
1800	8	30	110	20	107.18	107.86	154.15	154.23	125.47	136.40
1800	9	30	110	20	104.87	108.89	151.16	145.61	132.53	137.53
1800	10	30	110	20	108.80	116.14	165.42	145.44	155.44	150.11

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความแข็งของงานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน โดยการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน โดยพิจารณาแรงกดจนเกิดแรงเสียดทานขณะที่หมุน(Pf) ที่เปลี่ยนแปลงไป



1	2	3	4		ตำแหน่งทดสอบ / ค่าความแข็ง (HV)					
Speed (Rpm)	Tf (Sec)	Pf (MPa)	Pu (MPa)	Tu (Sec)	0	1	2	3	4	5
1800	5	15	110	20	119.98	117.47	140.68	132.57	122.99	123.01
1800	5	20	110	20	114.49	131.40	174.23	164.53	159.72	135.60
1800	5	25	110	20	110.36	121.38	146.78	163.61	153.14	142.30
1800	5	30	110	20	114.11	120.66	146.46	166.81	150.81	133.99
1800	5	35	110	20	120.93	124.45	143.77	161.96	151.51	149.50
1800	5	40	110	20	105.57	106.24	151.84	151.92	123.59	134.35
1800	5	45	110	20	105.92	109.98	152.67	147.07	133.86	138.91
1800	5	50	110	20	109.34	116.72	166.25	146.17	156.22	150.86

1.4 ผลการทดสอบแรงกระแทก สามารถวัดค่า Impact Energy หรือ Impact Toughness ซึ่งเป็นการวัดปริมาณของพลังงานที่วัสดุจะดูดซับไว้ได้เมื่อได้รับแรงจากการกระแทกจนหัก

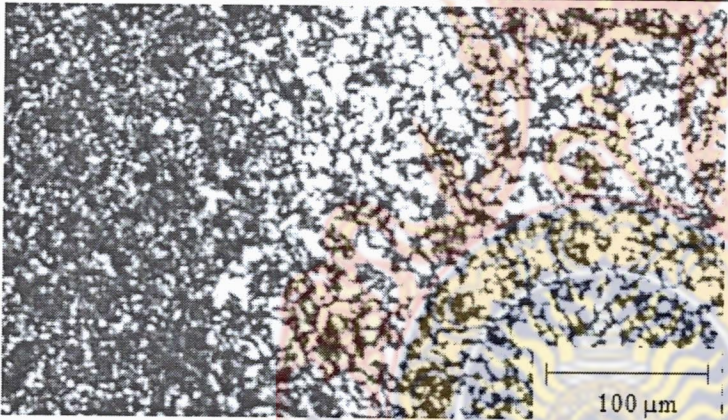
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบแรงกระแทกแบบ Charpy Impact Test

AISI 1040 (base metal)															
Notch-impact toughness (J/cm^2)															
43.45															
Welded parts (AISI 1040-AISI 1040)															
เวลาในการหมุนเพื่อให้เกิดความร้อน (Tf) ที่เปลี่ยนแปลง (sec)								แรงกดจนเกิดแรงเสียดทานขณะที่หมุน(Pf)ที่เปลี่ยนแปลง (MPa)							
3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Notch-impact toughness (J/cm^2)								Notch-impact toughness (J/cm^2)							
40	39	42	37	41	29	34	42	45	43	37	38	35	40	44	29
42.625								38.875							

2. ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

ผลการศึกษาสมบัติทางโลหะวิทยา หลังจากทำการเชื่อมแล้ว จะนำชิ้นงานมาทำการศึกษาในแง่ของโลหะวิทยาการเชื่อม เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างทางมหภาค โครงสร้างทางจุลภาค และเปรียบเทียบข้อแตกต่างทางโครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อโลหะเดิม (Base Metal) บริเวณที่รับผลกระทบจากความร้อน (Heat Affect Zone) และบริเวณรอยต่อ (Interface)

ตารางที่ 4.6 แสดงขนาดของเกรนที่ระยะที่ห่างจากรอยเชื่อมระยะต่างๆ

ระยะจากรอยเชื่อม (mm)						ลักษณะของเกรน
0	1	2	3	4	5	0. มีการแพร่หากันระหว่างเกรน
						1. มีขนาดค่อนข้างหยาบและมีการรวมกลุ่มของคาร์บอน
						2. มีขนาดละเอียดขึ้นมีเหล็กในเฟสคาร์บอนกระจายโดยทั่วไป
						3. มีขนาดเกรนละเอียด
						4. เกรนมีขนาดที่หยาบขึ้นกว่าระยะที่ผ่านมา
						5. เกรนมีขนาดที่ใกล้เคียงกับชิ้นงานเดิม
ภาพรอยเชื่อม						

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสมบัติทางกลในงานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน โดยการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน สามารถสรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะได้ดังนี้

1. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.1 เพื่อศึกษาสมบัติทางกลในงานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน โดยการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน
- 1.2 เพื่อศึกษาตัวแปรในการเชื่อม โดยการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน
- 1.3 เพื่อศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของงานเชื่อมที่ผ่านการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน

2. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการเชื่อมด้วยความเสียดทาน ด้วยชิ้นงานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 มิลลิเมตร ทำให้ได้ชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมด้วยความเสียดทาน สามารถนำชิ้นงานดังกล่าวไปทำการตรวจสอบทางโลหะวิทยาของรอยเชื่อม หาค่าความแข็งของรอยเชื่อมและทดสอบหาความแข็งแรงดึงของรอยเชื่อม ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

2.1 เวลาที่เหมาะสมในการหมุนเพื่อให้เกิดความร้อน (Tf) โดยกำหนด ในขณะที่หมุนจะมีแรงกดจนเกิดแรงเสียดทาน (Pf) เท่ากับ 30 MPa ปล่อยให้หยุดขณะหนึ่งแล้วใช้แรงกดที่สูงกว่าจนทำให้ชิ้นงานเสียรูป (Pu) เท่ากับ 110 MPa โดยเวลาในการกดอย่างรวดเร็ว (Tu) เท่ากับ 20 วินาที เวลาที่เหมาะสมในการหมุนเพื่อให้เกิดความร้อน เท่ากับ 5 วินาที โดยจะให้ค่าความแข็งแรงดึงของชิ้นงานทดสอบที่ 668.33 MPa

2.2 แรงกดที่เหมาะสมจนเกิดแรงเสียดทานขณะที่หมุน (Pf) โดยใช้เวลาในการหมุนเพื่อให้เกิดความร้อน (Tf) เท่ากับ 5 วินาที ปล่อยให้หยุดขณะหนึ่งแล้วใช้แรงกดที่สูงกว่าจนทำให้ชิ้นงานเสียรูป (Pu) เท่ากับ 110 MPa โดยเวลาในการกดอย่างรวดเร็ว (Tu) เท่ากับ 20 วินาที แรงกดที่เหมาะสมจนเกิดแรงเสียดทานขณะที่หมุน เท่ากับ 30 MPa โดยจะให้ค่าความแข็งแรงดึงของชิ้นงานทดสอบที่ 658.33 MPa

2.3 เวลาในการหมุนเพื่อให้เกิดความร้อน (Tf) เท่ากับ 3 4 5 6 7 8 9 และ 10 วินาที กำหนด ในขณะที่หมุนจะมีแรงกดจนเกิดแรงเสียดทาน (Pf) เท่ากับ 30 MPa ปล่อยให้หยุดขณะหนึ่งแล้วใช้แรงกดที่สูงกว่าจนทำให้ชิ้นงานเสียรูป (Pu) เท่ากับ 110 MPa โดยเวลาในการกด

อย่างรวดเร็ว (Tu) เท่ากับ 20 วินาที ให้ค่าความสามารถทนแรงกระแทกของชิ้นงานทดสอบเฉลี่ยที่ 428.625 J/cm^2

2.4 ทำการศึกษาโดยพิจารณาแรงกดจนเกิดแรงเสียดทานขณะที่หมุน (Pf) เท่ากับ 15 20 25 30 35 40 45 และ 50 MPa โดยใช้เวลาในการหมุนเพื่อให้เกิดความร้อน (Tr) เท่ากับ 5 วินาที ปล่อยให้หยุดขณะหนึ่งแล้วใช้แรงกดที่สูงกว่าจนทำให้ชิ้นงานเสียรูป (Pu) เท่ากับ 110 MPa โดยเวลาในการกดอย่างรวดเร็ว (Tu) เท่ากับ 20 วินาที ให้ค่าความสามารถทนแรงกระแทกของชิ้นงานทดสอบเฉลี่ยที่ 38.875 J/cm^2

3. ข้อเสนอแนะ

3.1 ศูนย์ของหัวจับชิ้นงานของ เครื่องเชื่อมด้วยความเสียดทานไม่มีความแม่นยำ ซึ่งมีความจำเป็นจะต้องทำการตั้งศูนย์ของหัวจับชิ้นงานทั้งสองให้ตรงกัน เพื่อให้ชิ้นงานทั้งสองตรงและเป็นแนวเดียวกัน

3.2 ความเร็วของระบบอัดชิ้นงาน และวิธีควบคุมอัตราป้อนในระบบอัดชิ้นงานนั้นยังไม่สามารถควบคุมการกดชิ้นงานที่ละเอียดและแม่นยำ



บรรณานุกรม

- [1] Sahin M, Akata HE. (2003). Joining with Friction Welding of Plastically Deformed steel. J Mater Process Technol. pp. 239–246.
- [2] Askeland , Donald R. The Science and Engineering of Materials. Oxford UK, Chapman N Hall, 1996.
- [3] วิชชุดา แสงสำลี. (2550). การออกแบบโพลดเซลล์. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.thailandindustry.com> (20 มีนาคม 2553)
- [4] เพ็ญศิริ ทองผดุงโรจน์. (2547). หลักการทำงานของโพลดเซลล์. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://pirun.ku.ac.th/~b4755264/page2.htm>. (20 มีนาคม 2553)
- [5] Blog เครื่องซั๋ง. (2552). รวบรวมเทคนิคการใช้งานเครื่องซั๋งระบบดิจิทัล. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://xn--42cgal7joc4a7b0e0de.blogspot.com>. (22 มีนาคม 2553)
- [6] Ozdemir, N. Sarsilmaz, F. and Hascalik, A. (2007). Effect of Rotation Speed on the Interface Properties of Friction Welding AISI 304L to 4340 steel. Materials and design 28, pp. 301-307.
- [7] Ates, H. Turker, M. and Kurt, A. (2007). Effect of Friction Pressure on the friction welded MA956 Iron-Base Supperalloy . Materials and design 28, pp. 948-935.
- [8] Jayabharath K. Ashfaq, M. venugopal, P. And Achar, D.R.G. (2007). Investigation on the Continouse Drive Friction Welding of Sintered Powder Metallurgical (P/M) Steel and Wrough Copper Parts. Materials Science and Engineering 454-455. pp. 114-123.
- [9] Wegst, CW, Stahlschlüssel, Verlag Stahlschlüssel Wegst GmbH.D-71672 Marbach, 1995.



ภาคผนวก

คู่มือการใช้งานจอแสดงผล



คู่มือการใช้งาน (User Manual)

Weight Controller

Model : WC1-B11



Weight Controller

WC1-B11



- ขนาด 96 x 48 mm ลึก 100 mm ใช้ยึดติดหน้าตู้คอนโทรล
- ตัวแสดงผลขนาด 14.22 mm (0.56 in) 6 หลักเห็นได้ชัดเจน
- Voltage Excitation 10Vdc 120mA Short Circuit Protection ใช้งานร่วมกับ Load Cell ได้ 4 ตัว (Impedance 350 Ohm)
- ใช้กับ Load Cell ได้ตั้งแต่ 0.2 mV/V - 3.0 mV/V หรือมากกว่า
- ความละเอียดของภาคอนาล็อกอินพุต 16 bit 32000 Step
- สามารถจับค่า MAX , MIN พร้อมตัวตั้งเวลา เพื่อให้ได้ค่าที่แน่นอน
- กำหนดการอัปเดตการแสดงผล 7 Segment ตั้งแต่ 1-5 ครั้งต่อวินาที ไม่ต้องทำ Zero, Span ให้ยุ่งยากอีกต่อไป
- Option: RS485 Modbus RTU Protocol
- Option: Analog Output 4-20mA, 0-10Vdc (ReTransmit) ใช้ DAC 16 บิต

การเลือกรุ่น

WC1-B11 X X-1

Analog output

0 = none

1 = 4 - 20mA

2 = 0 - 10 Vdc

communication

0 = none

1 = RS485

ข้อมูลจำเพาะทางไฟฟ้า

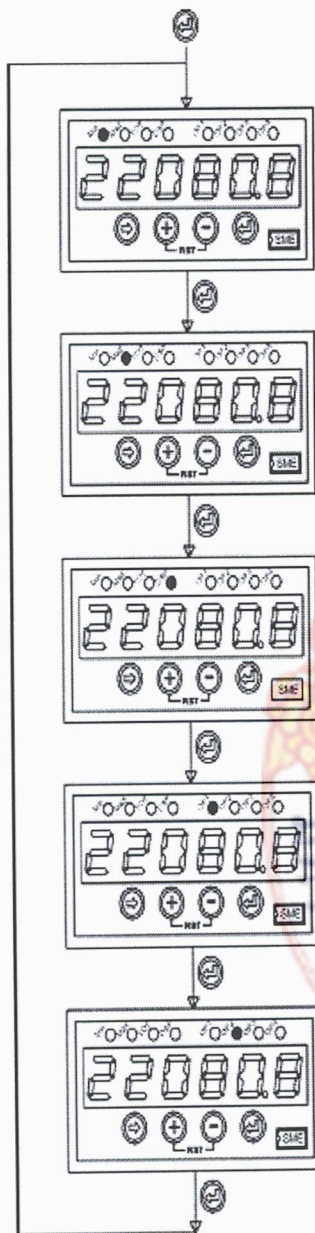
ข้อมูลทางไฟฟ้า	
แรงดันไฟเลี้ยงของมิเตอร์	Transformer 200-240Vac 45-65 Hz
กินไฟสูงสุด	4 VA
AC Input Protection	Varistor 275Vac 7KA , Fuse 1Amp
เทอร์มินอลต่อสาย	Unpluggable (แบบยุโรป)
ย่านอุณหภูมิใช้งาน	10-55 °C
DC Voltage Excitation	10Vdc 120mA Short circuit Protect
Resolution Input	Analog to Digital 16 Bit
Input Protection	Diode Clamplng
Range Input	0 - 40 mili-volt

OPTION COMMUNICATION	
Ttpe	RS485
Data Format	1 Start bit ,8 Data bit 1 หรือ 2 Stop bit Parity none, odd,even
BaudRate	1200, 2400, 4800, 9600 และ 19200 bit/sec
Protocol	Modbus RTU
Isolation	Optocoupler Isolate
#Node	32 unit / Network

OPTION Analog Output 4-20mA or 0-10Vac	
Resolution	Digital to Analog 16 Bit
Volt output	Min.1k ohm 20mA Max.
Current output	Max. 300 ohm 22mA Max.
Isolation	Optocoupler

ขั้นตอนการดูข้อมูล

การตั้งดูข้อมูลไมเตอร์จัดแบ่งออกเป็น 5 ค่า โดยเริ่มจากการกดปุ่ม ENTER (ไม่ต้องกดค้างนาน 3 วินาที) จากนั้นกดENTER1 ครั้งก็จะเห็นหลอดเปลี่ยนไปเรื่อย



กลุ่ม-1

แสดงค่าต่ำสุดของน้ำหนักรั่วได้

(สามารถปิดหน้าจอนี้เมื่อไม่ใช่ ดูตัวแปรกลุ่ม-7)

กลุ่ม-2

แสดงค่าสูงสุดของน้ำหนักรั่วได้

(สามารถปิดหน้าจอนี้เมื่อไม่ใช่ ดูตัวแปรกลุ่ม-7)

กลุ่ม-3

แสดงค่าน้ำหนักปัจจุบัน

กลุ่ม-4

แสดงค่า SETPOINT 1, หลอด LED จะติดกระพริบผู้ใช้สามารถแก้ไขค่านี้โดยใช้ปุ่มด้านหน้าทั้ง4ปุ่มโดยไม่ต้องเข้าไปโหมดพารามิเตอร์ ทำให้งานที่มีการเปลี่ยนค่า SETPOINTบ่อยๆสะดวกมากขึ้น(หลอด OP1 ถูกใช้งาน 2 รูปแบบ, ขณะกระพริบหมายถึงค่าSETPOINT 1 ที่มีผลทำให้output1ทำงาน,ขณะติดค้าง หมายถึงรีเลย์เอาต์พุต 1 กำลังทำงาน) (สามารถปิดหน้าจอนี้เมื่อไม่ใช่ ดูตัวแปรกลุ่ม-7)

กลุ่ม-5

แสดงค่า SETPOINT 2, หลอด LED จะติดกระพริบผู้ใช้สามารถแก้ไขค่านี้โดยใช้ปุ่มด้านหน้าทั้ง4ปุ่มโดยไม่ต้องเข้าไปโหมดพารามิเตอร์ ทำให้งานที่มีการเปลี่ยนค่า SETPOINTบ่อยๆสะดวกมากขึ้น(หลอด OP2 ถูกใช้งาน 2 รูปแบบ, ขณะกระพริบหมายถึงค่าSETPOINT 2 ที่มีผลทำให้output1ทำงาน,ขณะติดค้าง หมายถึงรีเลย์เอาต์พุต 2 กำลังทำงาน) (สามารถปิดหน้าจอนี้เมื่อไม่ใช่ ดูตัวแปรกลุ่ม-7)

การ TARE ค่าน้ำหนัก สามารถทำได้ 2 ทาง คือ

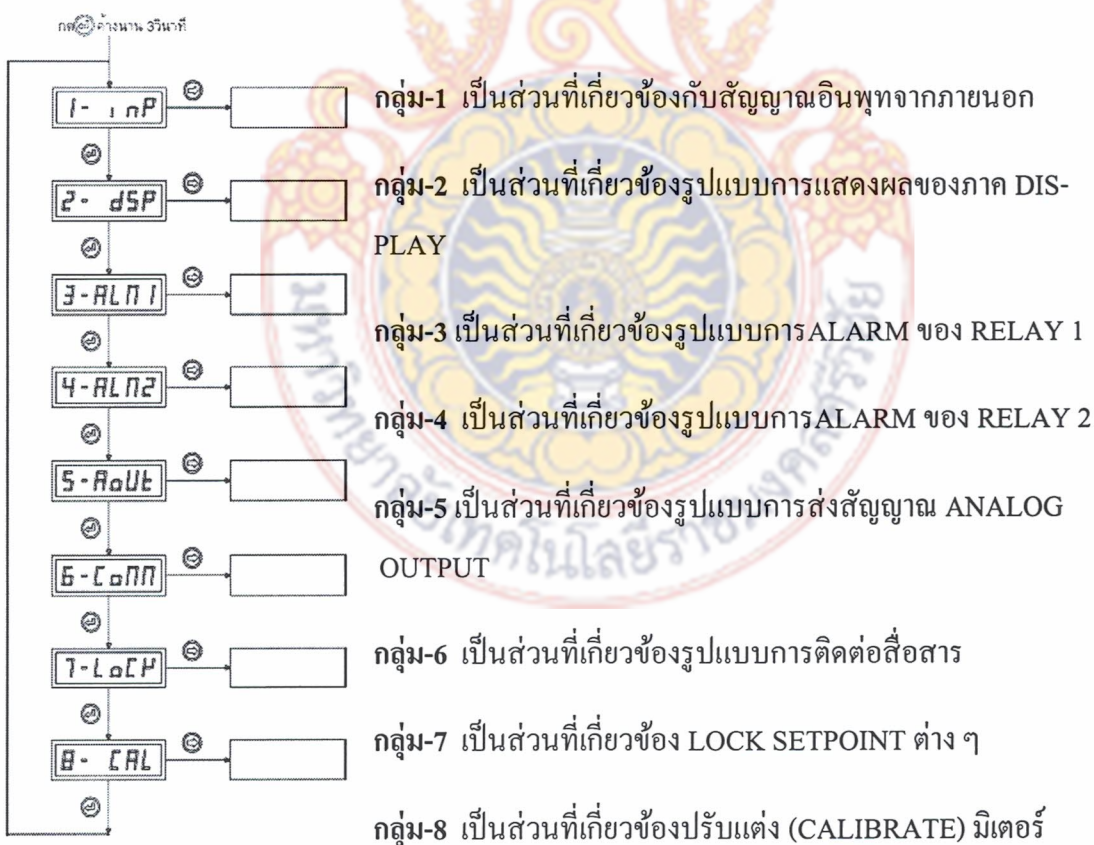
- 1) กดปุ่มเครื่องหมาย + / - ทางหน้าปัดพร้อมกัน
- 2) ต่อหน้าคอนแทก ทางด้านหลังของมิเตอร์

หมายเหตุ

- 1) หลอด LED TOT (TOTLIZE) ใช้แสดงค่าสะสมของน้ำหนักรวมทั้งหมด (เป็น OPTION)
- 2) หลอด LED OP3, OP4 (OUTPUT 3 และ 4) ใช้แสดงค่าSETPOINT 3, 4 และการทำงานของเอาต์พุต 3 และ 4 (เป็น OPTION) ใช้กับงานที่มี RAW MATERIAL มากกว่า 2 ชุดขึ้นไป หรือต้องการ SETPOINT, OUTPUT 4 ค่า

ขั้นตอนการเข้าโหมดตั้งค่าพารามิเตอร์

การตั้งค่าพารามิเตอร์จะจัดแบ่งออกเป็น 8 กลุ่มใหญ่ ๆ โดยเริ่มจากการกดปุ่ม ENTER ค้างนาน 3 วินาที จากนั้นกด ENTER 1 ครั้งก็จะเห็นโหมดแต่ละกลุ่มไปเรื่อย ส่วนการออกจากโหมดสามารถทำได้โดยการกดปุ่ม ENTER ค้าง นาน 3 วินาที อีกครั้งกดENTER ค้างนาน 3 วินาที

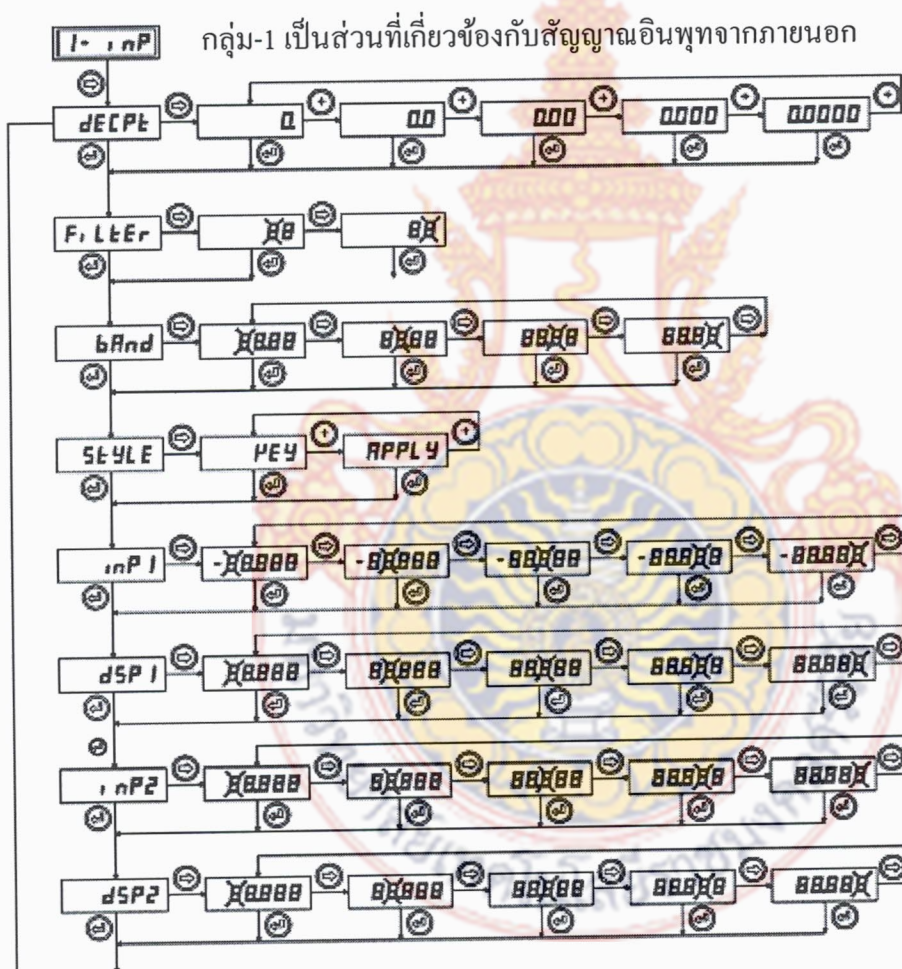


การออกจากโหมดตั้งค่าพารามิเตอร์ ไปสู่หน้าจอแสดงผลปกติให้กดปุ่ม ค้างนาน 3 วินาทีอีกครั้ง

Note:1 ทุกครั้งที่มีการกระพริบของตัว DISPLAY ปุ่มที่ใช้สำหรับตั้งค่ามีดังนี้

- ➡ ใช้เลื่อนไปยังหลักถัดไป
- ⬆ ใช้เพิ่มข้อมูลในตำแหน่งที่กำลังกระพริบอยู่
- ⬅ ใช้เพื่อยืนยันข้อมูลที่กำลังตั้งค่า

ขั้นตอนการเข้าโหมดตั้งค่าพารามิเตอร์ กลุ่ม-1 เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณอินพุตจากภายนอก



- 1) **dECPt (DECIMAL POINT)** กำหนดตำแหน่งจุดทศนิยมของน้ำหนักร เริ่มจากไม่มีทศนิยมจนถึง ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 2) **FiLteR (FILTER)** กำหนดจำนวนครั้งการเฉลี่ยของสัญญาณอินพุตแบบ MOVING AVERAGE เพื่อลดสัญญาณรบกวน




3) **bAnd (BAND FILTER)** กำหนดย่านของการทำงานของ FILTER ในข้อ 2 ถ้าการเปลี่ยนของอินพุตเป็นแบบรวดเร็วมากกว่า BAND FILTER ใน 1Sample ค่า FILTER จะไม่ถูกนำมาใช้ แต่ถ้าการเปลี่ยนของอินพุตเป็นแบบช้า(RATE OF CHANGE LOW)ค่า FILTER จะถูกนำมาใช้ ตำแหน่งของทศนิยมจะอิงกับข้อ 1)



4) **StyLE (STYLE)** กำหนดรูปแบบการ CALIBRATE ค่าน้ำหนัก มี 2แบบ คือ

4.1 KEY หรือ แบบ MANUAL การกำหนดค่า INP1, INP2 จะอาศัยการกดปุ่มด้านหน้าเพื่อป้อนค่าเข้าไป

4.2 APPLY หรือ แบบ AUTO การกำหนดค่า INP1, INP2 จะอาศัยการอ่านสัญญาณจาก LOADCELL ด้านหลัง

5) **inP1 (INPUT จุดที่ 1)** กำหนดค่า mili-Volt ณ.จุดค้ำของน้ำหนัก การกำหนดค่ามี 2 รูปแบบ ขึ้นอยู่กับค่าในตัวแปร ข้อ 3)

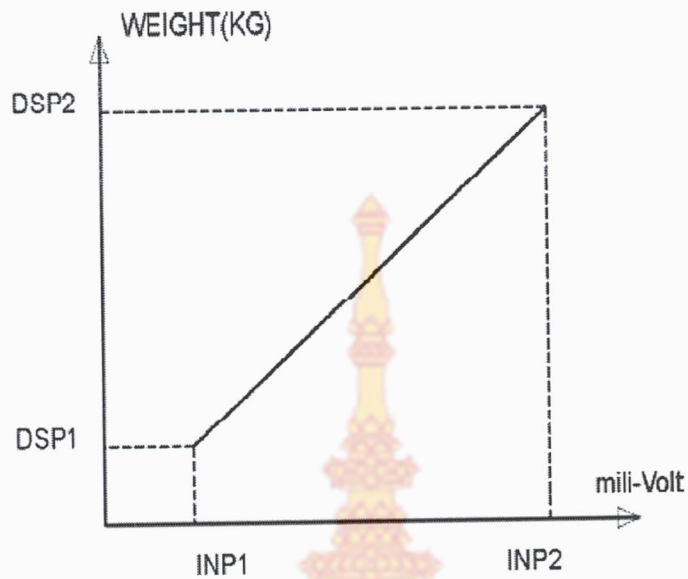
5.1 ถ้าเป็น KEY ให้ป้อนตัวเลข(หน่วยเป็นmV)โดยใช้ปุ่ม  สำหรับเลื่อนหลัก และ  สำหรับการเพิ่ม/ลด ค่าตำแหน่งที่กำลังกระพริบอยู่ เมื่อป้อนค่าจนครบทุกหลักที่ต้องการให้กดปุ่ม  เพื่อยืนยัน

5.2 ถ้าเป็น APPLY ให้ป้อนสัญญาณ mili-Volt จากLoadcell (หรือ Voltage Source ภายนอก) ที่จุดต่ำสุด (ในสถานะถึงเปล่าหรือน้ำหนักวัดดูดิบ =0 Kg) เมื่อกดปุ่ม  หน้าจอจะแสดงค่าของแรงดัน (mili-Volt) เมื่อได้ค่าที่ต้องการแล้วกด  เพื่อยืนยัน

6) **dSP1 (DISPLAY จุดที่ 1)** กำหนดค่าที่จะแสดงผลหน้าจอเมื่อได้รับสัญญาณ = inP1

7) **inP2 (INPUT จุดที่ 2)** กำหนดค่า mili-Volt ณ.จุดสูงสุดของน้ำหนัก การกำหนดค่าทำในลักษณะเดียวกับ inP1

8) **dSP2 (DISPLAY จุดที่ 2)** กำหนดค่าที่จะแสดงผลหน้าจอเมื่อได้รับสัญญาณ = inP2



การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัว 7 SEGMENT ที่กำลังกระพริบโดยใช้ปุ่ม



สำหรับเลื่อนไปยังหลักถัดไป



สำหรับการเพิ่มค่า/ลดตำแหน่งที่กำลังกระพริบอยู่



เพื่อยืนยันการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ตัวนี้

ตัวอย่างการใช้งาน 1 (ใช้การคำนวณแทนการใช้ค้อน้ำหนัก)

SPEC: LOADCELL 3mV/V พิกัด 5000 KG ใช้ VOLT EXCITATION =10 V

ดังนั้นเอาท์พุท LOADCELL เมื่อรับน้ำหนักรวม 5000 Kg = $3\text{mV/V} \times 10\text{V} = 30\text{mV}$

และเอาท์พุทต่ำสุด เมื่อ LOADCELL ไม่ได้รับน้ำหนักเลย = 0mV ที่ 0 KG

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ ในกรณีที่ไม่มีค้อน้ำหนักให้สอบเทียบ แต่ใช้วิธีการคำนวณจากข้อมูลของ LOADCELL

STYLE = KEY (MANUAL) --> ให้ป้อนค่า mV จากการคำนวณโหลดเซลล์แล้วบันทึกลง

ในมิเตอร์แบบ MANUAL

INP1 = 0mV DSP1 = 0 Kg

INP2 = 30mV DSP2 = 5000 Kg

- ข้อควรระวังการใช้วิธีนี้ ต้องทำการวัด VOLT EXCITATION ให้ได้ 10 โวลต์ที่เทอร์มินอลด้านหลังของมิเตอร์ ถ้าไม่ได้ต้องทำการปรับ R-TRIMPOT ที่อยู่ภายในมิเตอร์ จนได้ค่า 10 โวลต์ (ควรใช้โวลต์มิเตอร์ ที่มีความแม่นยำสูง เพื่อลดค่าผิดพลาด)

ตัวอย่างการใช้งาน 2 (ใช้ตุ้มน้ำหนักสอบเทียบ)

SPEC: LOADCELL 3mV/V พิกัด 500 KG ใช้ VOLT EXCITATION = 10 V

ดังนั้นเอาที่พู่ LOADCELL เมื่อรับน้ำหนักรวม 500 KG = $3\text{mV/V} \times 10\text{V} = 30\text{mV}$

และเอาที่พู่ต่ำสุด เมื่อ LOADCELL ไม่ได้รับน้ำหนักเลย = 0mV ที่ 0 KG

ต้องการให้แสดงผลมีทศนิยม 1 ตำแหน่ง , และมีตุ้มน้ำหนักเพื่อใช้สอบเทียบรวมน้ำหนัก = 200 KG
การกำหนดค่าพารามิเตอร์ โดยใช้ตุ้มน้ำหนักสอบเทียบ

dECP = 0.0 ให้แสดงผลมีทศนิยม 1 ตำแหน่ง

STYLE = APPLY (AUTO) --> ให้อ่านค่า mV จากโพลเซลล์แล้วบันทึกลงในมิเตอร์โดยอัตโนมัติ

***ในสถานะนี้ต้องไม่มีน้ำหนักวัตถุใดในถังเลย โพลเซลล์จะรับน้ำหนักเฉพาะตัวถังเท่านั้น

INP1 = xxx mV ขึ้นอยู่กับน้ำหนักถังเปล่าในขณะนั้น ดังนั้นค่า mV ที่จอแสดงอยู่ในขณะนี้จึงยังไม่
ต้องสนใจ มิเตอร์จะทำการอ่าน

ค่า mV จากอินพุทขา IN+ / IN- ของเทอร์มินอล แล้วเก็บค่า mV นี้ โดยอัตโนมัติแทนการคำนวณ
แล้วป้อนค่าตามตัวอย่างที่ 1

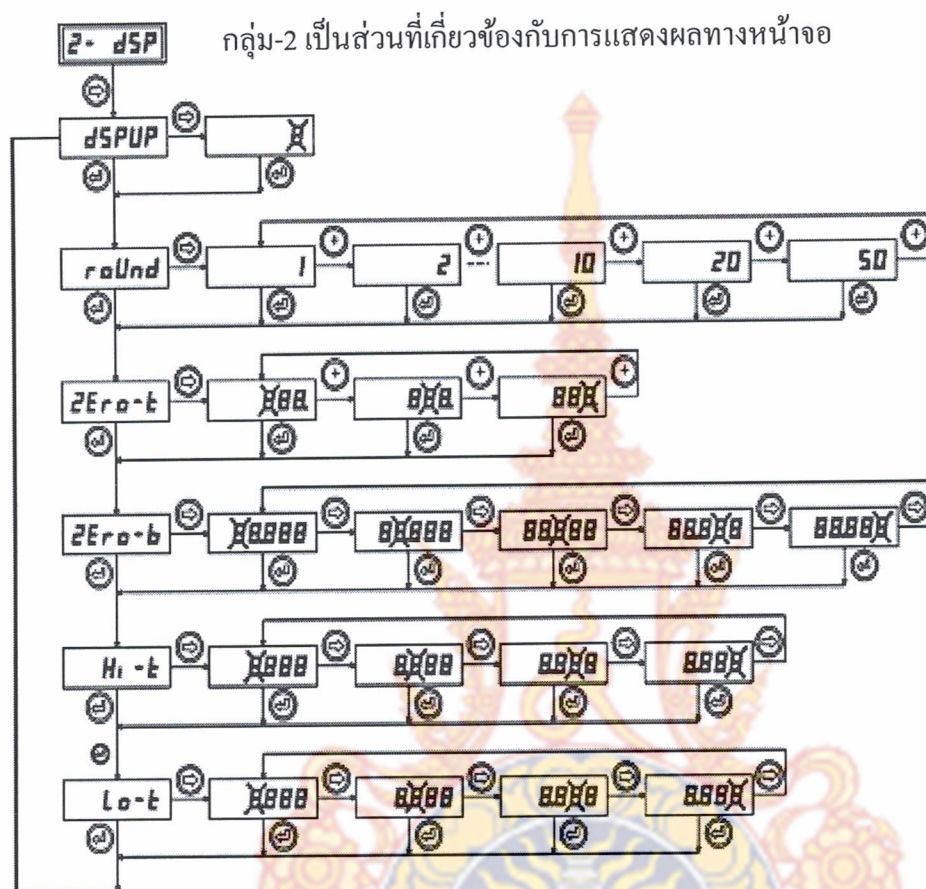
DSP1 = 0.0 Kg (น้ำหนักวัตถุใด = 0 KG, เนื่องจากเป็นถังเปล่า)

*** เริ่มใส่ตุ้มน้ำหนักเข้าไปในถังที่ต้องการสอบเทียบ ในที่นี้มี 200kg

INP2 = xxx mV (มีการรับน้ำหนักวัตถุจำนวน 200 Kg ดังนั้นค่า mV ที่จอแสดงอยู่ในขณะนี้จะ
เพิ่มมากกว่าตอนที่ยังไม่ได้รับน้ำหนัก 200 Kg, มิเตอร์จะทำการอ่านค่าจากเทอร์มินอล แล้วเก็บ mV
นี้โดยอัตโนมัติแทนการคำนวณแล้วป้อนค่าตามตัวอย่างที่ 1)

DSP2 = 200.0 Kg (น้ำหนักวัตถุจำนวน 200 Kg, ส่วนน้ำหนักถังบรรจุไม่นำมาคิด)

ขั้นตอนการเข้าโหมดตั้งค่าพารามิเตอร์ กลุ่ม-2 เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการแสดงผลทางหน้าจอ



- 1) dSPUP (DISPLAY UPDATE) กำหนดจำนวนครั้งในการเปลี่ยน(UPDATE) ค่าหน้าจอ มีหน่วยเป็นครั้ง/วินาที
- 2) round (Round) การปิดเศษ เป็นการกำหนดขั้น(STEP) ของการแสดงผล ตัวอย่างเช่น round=5 ในขณะที่ค่าที่อ่านได้จริง= 100.2 kg หน้าจอจะปิดเศษ และแสดงผลเป็น 100.0 kg แต่ถ้า ค่าที่อ่านได้จริง= 100.3kg หรือ 100.4 kg หน้าจอจะปิดเศษเป็น 100.5 kg นั่นคือการแสดงผลหน้าจอจะเปลี่ยนทีละ 5 ในหลักที่ต่ำที่สุดของการแสดงผล ข้อดีของฟังก์ชันนี้คือทำให้การชั่งน้ำหนักไม่ไวจนเกินไป
- 3) ZEro-t (ZERO TIME) หน่วยเป็นวินาที
- 4) ZEro-b (ZERO BAND) หน่วยเป็นค่าเดียวกับ ENGINEERING UNIT ใน dSP1 , dSP2 หากค่าที่กำลังวัดอยู่มีค่าต่ำกว่าที่กำหนดไว้ใน ZERO-BAND อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน=ค่าที่กำหนดไว้ใน ZERO-TIME ค่าของน้ำหนักบนหน้าจอจะปรับเป็น 0 โดยอัตโนมัติ นั่นคือ การทำ AUTO-TARE นั้นเอง การกำหนด ZERO BAND = 0 เป็นการยกเลิกโหมด AUTO-TARE

5) **Hi-t (HIGH TIME FOR MAXIMUM VALUE)** กำหนดค่าเวลาในการหน่วง เพื่อจับค่าสูงสุด (MAX) มีหน่วยเป็นวินาที สามารถตั้งค่าตั้งแต่ 000.0 - 999.9 วินาที ฟังก์ชันนี้เหมาะสำหรับงานทดสอบแรงดึงของชิ้นจนถึงค่าสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานขาด

6) **Lo-t (LOW -TIME FOR MINIMUM VALUE)** กำหนดค่าเวลาในการหน่วง เพื่อจับค่าต่ำสุด (MIN) มีหน่วยเป็นวินาที สามารถตั้งค่าตั้งแต่ 000.0 - 999.9 วินาที

การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัว 7 SEGMENT ที่กำลังกระพริบโดยใช้ปุ่ม



สำหรับเลื่อนไปยังหลักถัดไป



สำหรับการเพิ่มค่า/ลดตำแหน่งที่กำลังกระพริบอยู่



เพื่อยืนยันการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ตัวนี้



ขั้นตอนการเข้าโหมดตั้งค่าพารามิเตอร์ กลุ่ม-3 เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเอาต์พุตรีเลย์ 1



- 1) oPat-1 (OUTPUT ACTION 1) กำหนดรูปแบบการทำงานของเอาต์พุตรีเลย์
inP-Lo ทำงานเมื่อค่าน้ำหนักต่ำกว่าค่า SETPOINT
inP-Hi ทำงานเมื่อค่าน้ำหนักสูงกว่าค่า SETPOINT
- 2) SPt-1 (SETPOINT 1) กำหนดค่า SETPOINT
- 3) Hys-1 (HYSTERESIS 1) กำหนดค่า HYSTERESIS
- 4) ton-1 (TIMER DELAY ON 1) กำหนดค่าเวลาหน่วงก่อนที่รีเลย์จะทำงาน สามารถตั้งค่าตั้งแต่ 000 - 999 วินาที
- 5) toF-1 (TIMER DELAY OFF 1) กำหนดค่าเวลาหน่วงก่อนยกเลิกรีเลย์ที่ทำงานอยู่ สามารถตั้งค่าตั้งแต่ 000 - 999 วินาที

6) oPSt-1(OUTPUT STATE -1) กำหนดสถานะหรือรูปแบบการทำงานของรีเลย์

noMAL (NORMAL) รีเลย์ทำงาน เมื่อ ALARM

rEUS (REVERSE) รีเลย์หยุดทำงาน เมื่อ ALARM

การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัว 7 SEGMENT ที่กำลังกระพริบ โดยใช้ปุ่ม



สำหรับเลื่อนไปยังหลักถัดไป

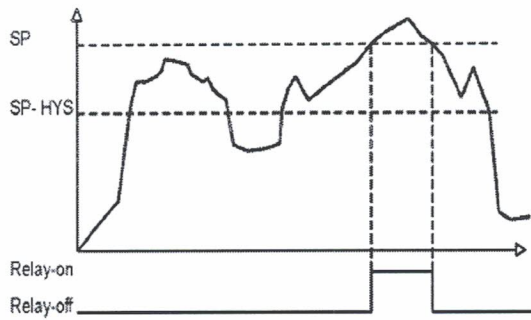


สำหรับการเพิ่มค่า/ลดตำแหน่งที่กำลังกระพริบอยู่

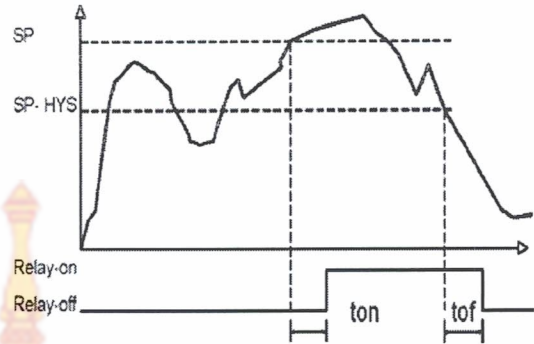


เพื่อยืนยันการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ตัวนี้

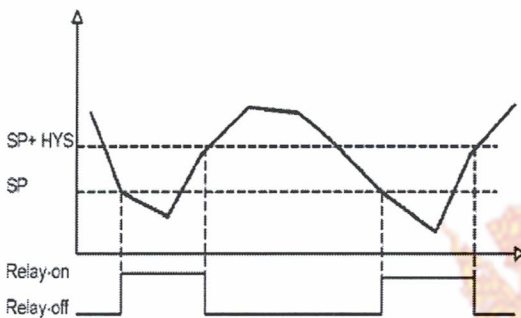




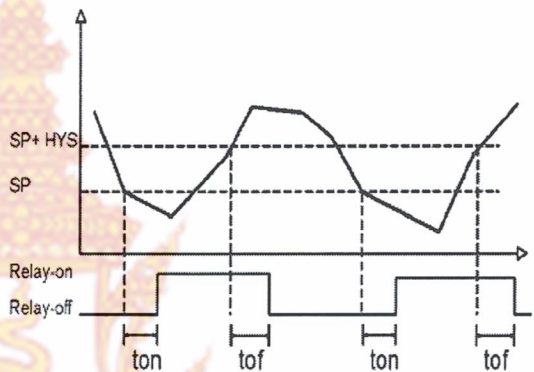
HIGH ALARM + NO DELAY



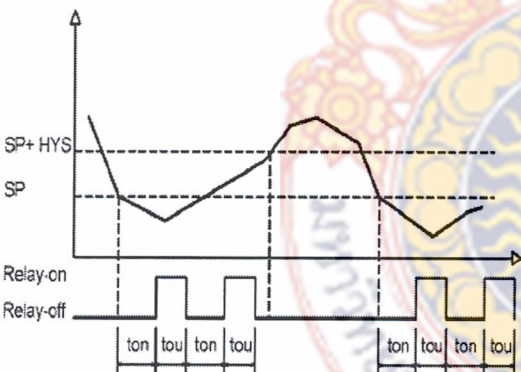
HIGH ALARM + TIME DELAY (ON/OFF)



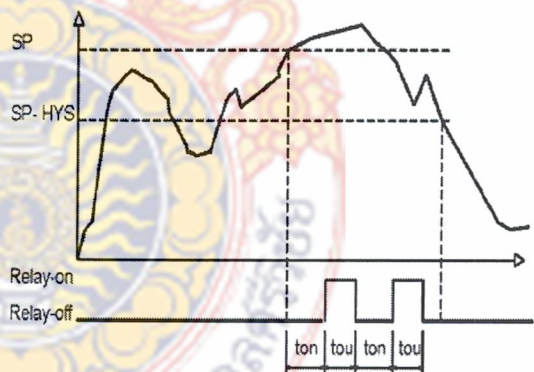
LOWALARM + NO DELAY



LOWALARM + TIME DELAY (ON/OFF)



LOWALARM + TIMEOUT (BUZZER ALARM)

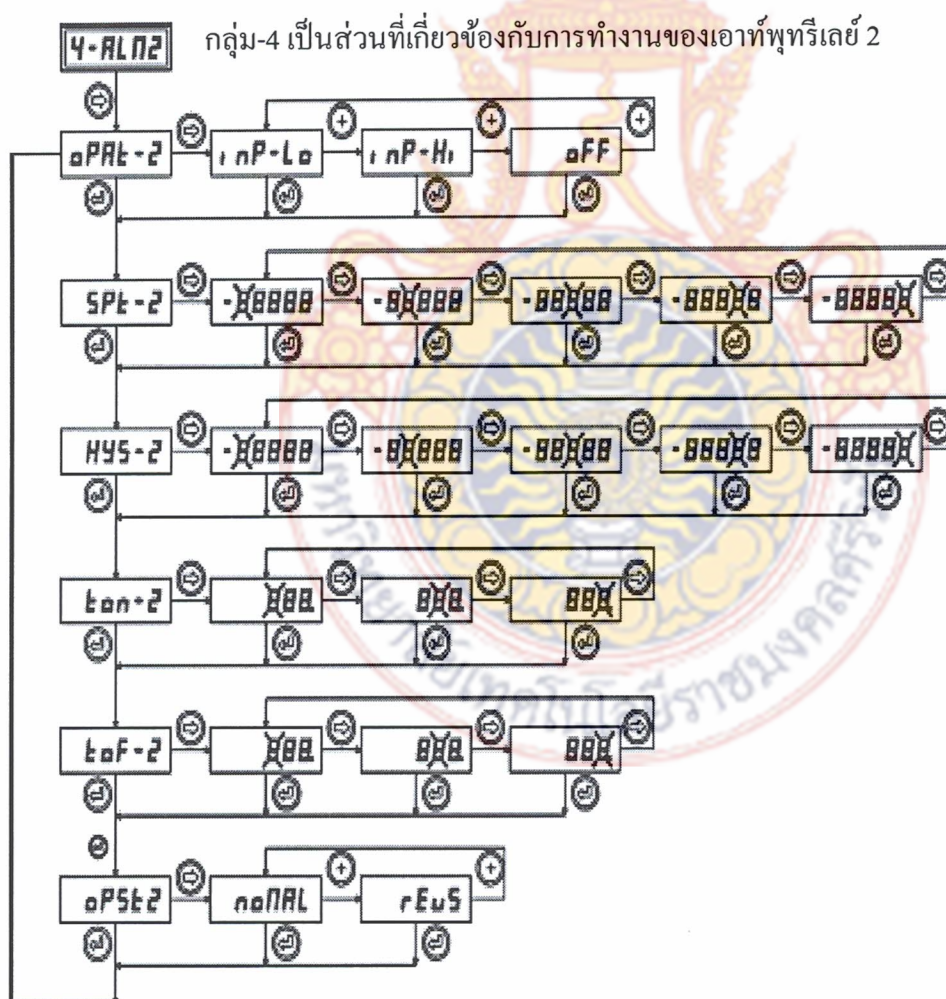


HIGH ALARM + TIMEOUT (BUZZER ALARM)

ตัวอย่างการใช้งาน ชั่งน้ำหนัก 0-100 KG โดยให้ช่วง 0-90KG ชั่งแบบปล่อยเต็มที่ เมื่อน้ำหนัก >90 Kg ให้ชะลอ ลงและตัดที่ 100Kg กำหนดให้เอาต์พุทรีเลย์ 1 --> CLOSE เมื่อน้ำหนักช่วง 0-90 Kg ถ้ามากกว่า 90 Kg ให้นำคอนแทค OPEN กำหนดให้เอาต์พุทรีเลย์ 2 --> OPEN เมื่อน้ำหนักช่วง 0-100 Kg ถ้า มากกว่า หรือ = 100 Kg ให้นำคอนแทค CLOSE




	เอาต์พุตรีเลย์ 1	เอาต์พุตรีเลย์ 2
- oPA1 (OUTPUT ACTION 1)	--> inP-Hi	--> inP-Hi
- SP1 (SETPOINT 1)	--> 90Kg	--> 100Kg
- Hys-1 (HYSTERESIS 1)	--> 0Kg	--> 0Kg
- ton-1 (TIMER DELAY ON 1)	--> 0 sec	--> 0 sec
- toF-1 (TIMER DELAY OFF 1)	--> 0 sec	--> 0 sec
- oPSt-1(OUTPUT STATE -1)	--> rEUS (REVERSE)	--> noMAL (NORMAL)

ขั้นตอนการเข้าโหมดตั้งค่าพารามิเตอร์ กลุ่ม-4 เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเอาต์พุตรีเลย์ 2

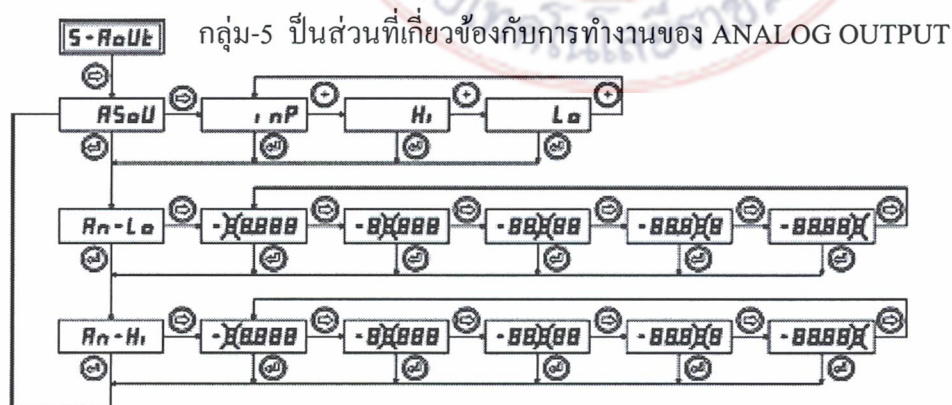


- 1) **oPA2 (OUTPUT ACTION 2)** กำหนดรูปแบบการทำงานของเอาต์พุตรีเลย์
 inP-Lo ทำงานเมื่อค่าน้ำหนักต่ำกว่าค่า SETPOINT
 inP-Hi ทำงานเมื่อค่าน้ำหนักสูงกว่าค่า SETPOINT
- 2) **SPt-2 (SETPOINT 2)** กำหนดค่า SETPOINT
- 3) **Hys-2 (HYSTERESIS 2)** กำหนดค่า HYSTERESIS
- 4) **ton-2 (TIMER DELAY ON 2)** กำหนดค่าเวลาหน่วงก่อนที่รีเลย์จะทำงาน สามารถตั้งค่าตั้งแต่ 000 - 999 วินาที
- 5) **toF-2 (TIMER DELAY OFF 2)** กำหนดค่าเวลาหน่วงก่อนขกเลิกรีเลย์ที่ทำงานอยู่ สามารถตั้งค่าตั้งแต่ 000 - 999 วินาที
- 6) **oPSt-2(OUTPUT STATE -2)** กำหนดสถานะหรือรูปแบบการทำงานของรีเลย์
 noMAL (NORMAL) รีเลย์ทำงาน เมื่อ ALARM
 rEUS (REVERSE) รีเลย์หยุดทำงาน เมื่อ ALARM

การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัว 7 SEGMENT ที่กำลังกระพริบโดยใช้ปุ่ม

-  สำหรับเลื่อนไปยังหลักถัดไป
-  สำหรับการเพิ่มค่า/ลดตำแหน่งที่กำลังกระพริบอยู่
-  เพื่อยืนยันการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ตัวนี้

ขั้นตอนการเข้าโหมดตั้งค่าพารามิเตอร์ กลุ่ม-5 เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของ ANALOG OUTPUT



1) ASoU (ANALOG SOURCE) เป็นการเลือกตัวแปรที่จะนำมาใช้ในการส่งค่าออกทาง ANALOG OUTPUT

inP เลือกค่าจากตัวแปรเป็นค่าน้ำหนักที่แสดงผล

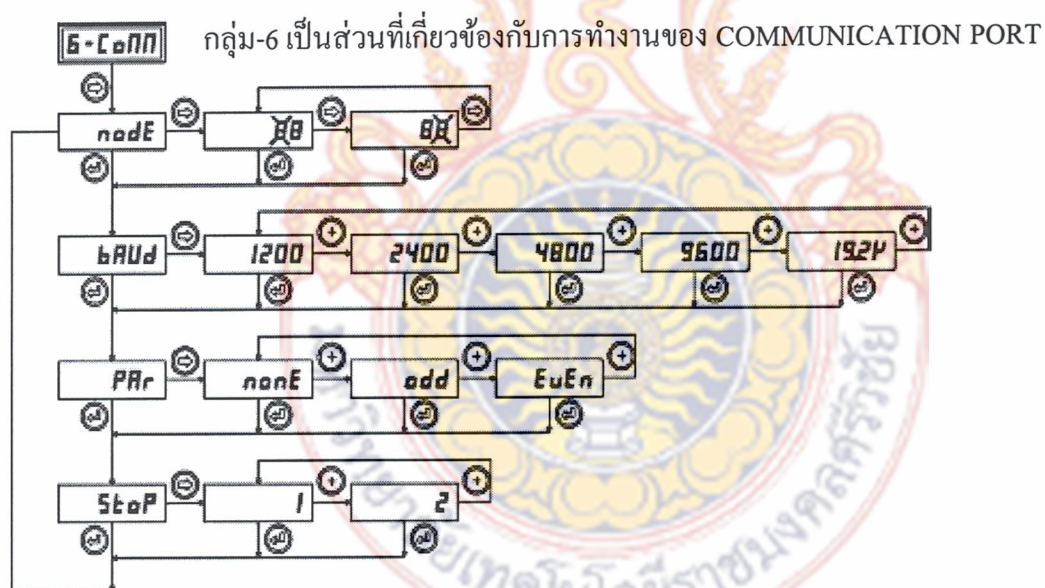
Lo เลือกค่าจากตัวแปรเป็นค่า Minimum Value (ดูค่าตัวแปร Lo-t ในกลุ่ม-2 ด้วย)

Hi เลือกค่าจากตัวแปรเป็นค่า Maximum Value (ดูค่าตัวแปร Hi-t ในกลุ่ม-2 ด้วย)

2) An-Lo (ANALOG OUTPUT LOW) กำหนดค่าต่ำสุดที่ต้องการให้มิเตอร์ส่งค่า ANALOG OUTPUT ที่ 4 mili- Amp

3) An-Hi (ANALOG OUTPUT HIGH) กำหนดค่าสูงสุดที่ต้องการให้มิเตอร์ส่งค่า ANALOG OUTPUT ที่ 20 mili- Amp

ขั้นตอนการเข้าโหมดตั้งค่าพารามิเตอร์ กลุ่ม-6 เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของ COMMUNICATION PORT



- 1) nodE (NODE ADDRESS) ตั้งค่าได้ตั้งแต่ 00 - 99
- 2) bAUd (BUADRATE) ตั้งค่าได้ตั้งแต่ 1200, 2400, 4800, 9600, 19200
- 3) PAr (PARITY CHECK BIT) ตั้งค่าได้ตั้งแต่ NONE, ODD, EVEN
- 4) STOP (STOP BIT) ตั้งค่าได้ตั้งแต่ 1, 2

การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัว 7 SEGMENT ที่กำลังกระพริบโดยใช้ปุ่ม



สำหรับเลื่อนไปยังหลักถัดไป

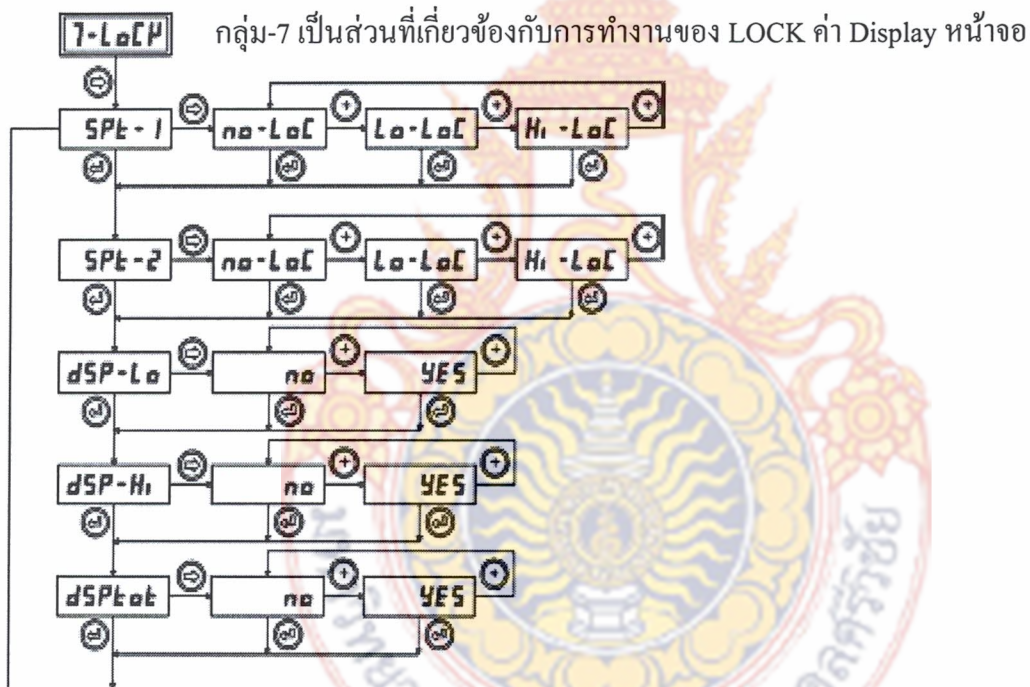


สำหรับการเพิ่มค่า/ลดตำแหน่งที่กำลังกระพริบอยู่



เพื่อยืนยันการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ตัวนี้

ขั้นตอนการเข้าโหมดตั้งค่าพารามิเตอร์ กลุ่ม-7 เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของ LOCK ค่า Display หน้าจอ



1) SPt-1 (SETPOINT -1) เป็นการเลือกระดับการเปลี่ยนค่าตัวแปร SETPOINT 1 ให้สามารถ ดู หรือ แก้ไขได้หรือไม่

no-Loc (NO LOCK) SETPOINT 1 สามารถดูได้ + แก้ไขได้ใน RUN MODE

Lo-Loc (LOCK AT LOW LEVEL) SETPOINT 1 สามารถดูได้ + แต่แก้ไขไม่ได้ใน RUN MODE

Hi-Loc (LOCK AT HIGH LEVEL) SETPOINT 1 ไม่แสดงใน RUN MODE

2) **SPT-2 (SETPOINT -2)** เป็นการเลือกระดับการเปลี่ยนค่าตัวแปร SETPOINT 2 ให้สามารถดูหรือแก้ไขได้หรือไม่

no-Loc (NO LOCK) SETPOINT1 สามารถดูได้ + แก้ไขได้ใน RUN MODE

Lo-Loc (LOCK AT LOW LEVEL) SETPOINT 2 สามารถดูได้ + แต่แก้ไขไม่ได้ใน RUN MODE

Hi-Loc (LOCK AT HIGH LEVEL) SETPOINT 2 ไม่แสดงใน RUN MODE

3) **dSP-Lo (Display Minimum Value)** เป็นการอนุญาตให้การแสดงผลหน้าจอแสดงค่า Minimum Value สามารถดูได้หรือไม่

no ไม่อนุญาต เมื่อกดปุ่ม Enter ค้านหน้าจอ หน้าจอที่แสดงค่า LED Min จะถูกยกเลิก

Yes อนุญาต เมื่อกดปุ่ม Enter ค้านหน้าจอ หน้าจอที่แสดงค่า LED Min จะสามารถดูได้

4) **dSP-Hi (Display Maximum Value)** เป็นการอนุญาตให้การแสดงผลหน้าจอแสดงค่า Maximum Value สามารถดูได้หรือไม่

no ไม่อนุญาต เมื่อกดปุ่ม Enter ค้านหน้าจอ หน้าจอที่แสดงค่า LED Min จะถูกยกเลิก

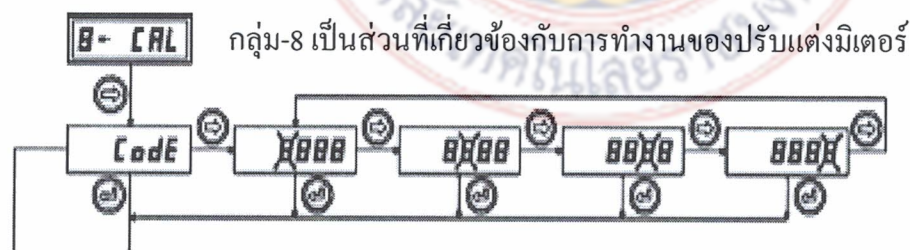
Yes อนุญาต เมื่อกดปุ่ม Enter ค้านหน้าจอ หน้าจอที่แสดงค่า LED Min จะสามารถดูได้

5) **dSPtot (Display Totalizer Value)** เป็นการอนุญาตให้การแสดงผลหน้าจอแสดงค่า Totalizer Value สามารถดูได้หรือไม่

no ไม่อนุญาต เมื่อกดปุ่ม Enter ค้านหน้าจอ หน้าจอที่แสดงค่า LED Min จะถูกยกเลิก

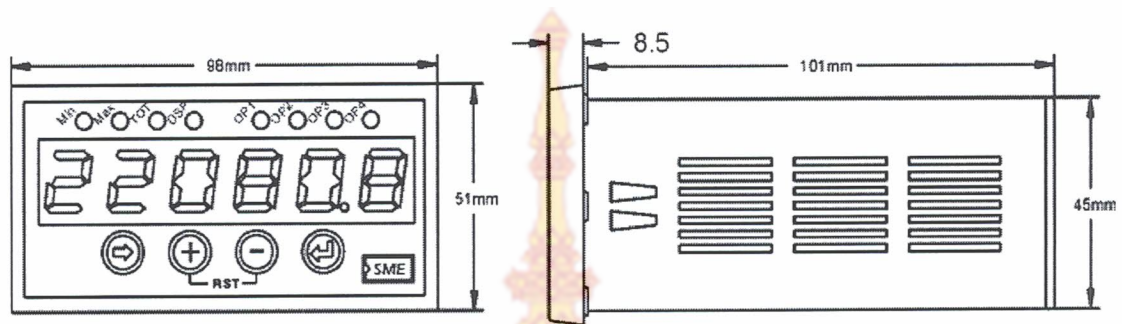
Yes อนุญาต เมื่อกดปุ่ม Enter ค้านหน้าจอ หน้าจอที่แสดงค่า LED Min จะสามารถดูได้

ขั้นตอนการเข้าโหมดตั้งค่าพารามิเตอร์ กลุ่ม-8 เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของปรับแต่งมิเตอร์

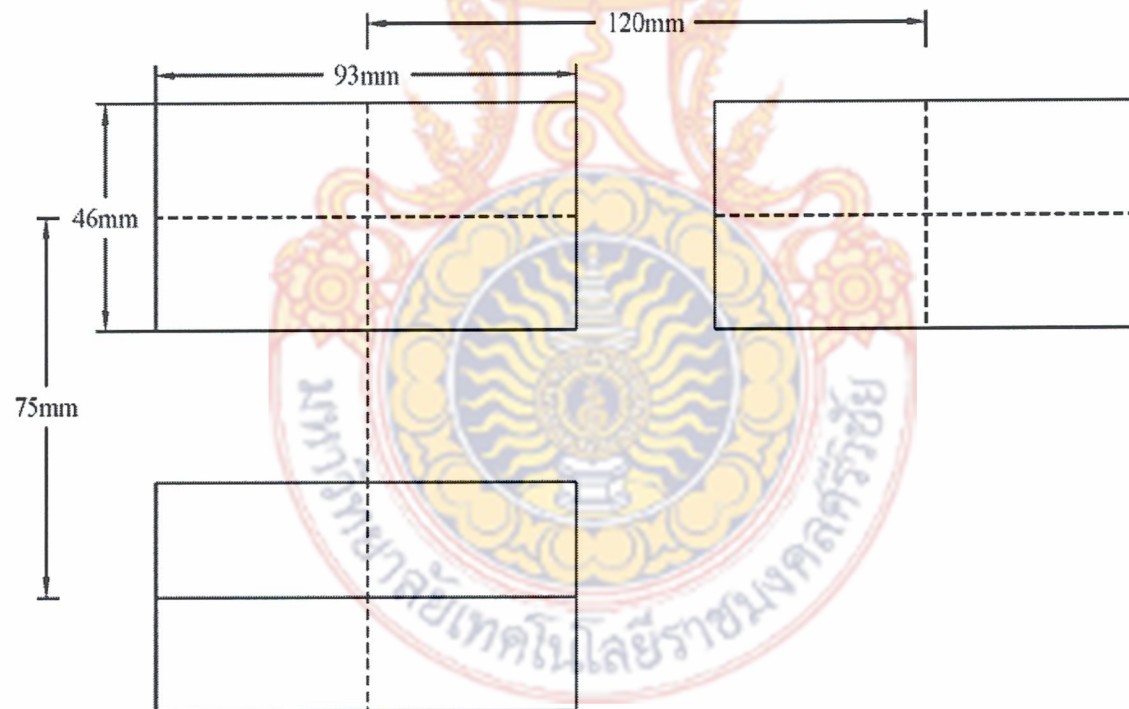


โหมคนี้เป็นการปรับแต่งโดยตรงจากโรงงาน ซึ่งต้องใช้รหัสก่อนเข้า จึงไม่อนุญาตให้ผู้ใช้เข้ามาทำการ CALIBRATE

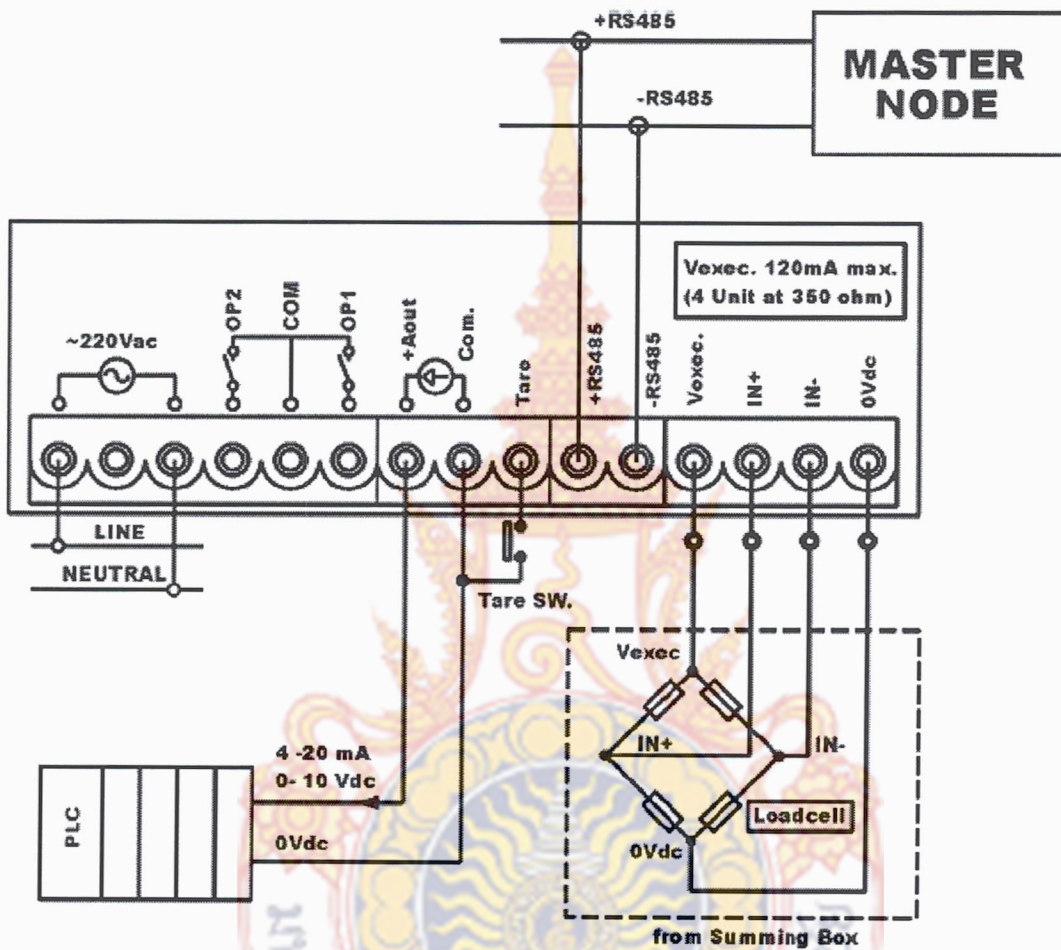
Dimensions



Panel Cutouts



การต่อสาย (Wiring Diagram)



การ TARE คำน้้ำหนัก สามารถทำได้ 2 ทาง คือ

- 1) กดปุ่มเครื่องหมาย + / - ทางหน้าปัดพร้อมกัน
- 2) ต่อหน้าคอนแทก ทางด้านหลังของมิเตอร์