

การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบแรงดึงสำหรับวิชาการทดลอง
วิศวกรรมเครื่องกล

DESIGN AND CONSTRUCTION OF TENSILE TESTING MACHINE FOR
MECHANICAL ENGINEERING LABORATORY



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND CONSTRUCTION OF TENSILE TESTING MACHINE FOR
MECHANICAL ENGINEERING LABORATORY

JETNIPAT THONGPRASITH

CHAYAKORN CHANDRANSU

NATTAPONG BUNPAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2564

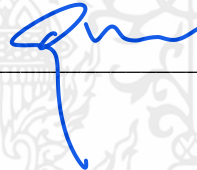
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบแรงดึงสำหรับวิชาการทดลองวิศวกรรมเครื่องกล
DESIGN AND CONSTRUCTION OF TENSILE TESTING MACHINE FOR
MECHANICAL ENGINEERING LABORATORY

ผู้จัดทำ

1. นายเจตนิพัทธ์ ทองประสิทธิ์ รหัสประจำตัว 61010168
2. นายชยากร จันทรางศุ รหัสประจำตัว 61010209
3. นายณัฐพงศ์ บุญปิ่น รหัสประจำตัว 61010340



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.อุนนต์ พิณโสภณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบแรงดึงสำหรับวิชาการทดลองวิศวกรรมเครื่องกล

นายเจตนิพัทธ์ ทองประสิทธิ์ 61010168
นายชยากร จันทรางศุ 61010209
นายณัฐพงศ์ บุญปิ่น 61010340
ผศ.ดร. อุন্নัต พิณโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2564

บทคัดย่อ

โครงการนี้เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบแรงดึงสำหรับใช้ในวิชาการทดลองวิศวกรรมเครื่องกล เพื่อให้ นักศึกษาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลได้ศึกษา และเรียนรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติทางกลของวัสดุ รวมถึงลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง โดยเครื่องทดสอบแรงดึงของโครงการนี้ได้สร้างจากอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วและอุปกรณ์เพิ่มเติมที่จำเป็น เพื่อสามารถทำให้เครื่องทดสอบแรงดึงสามารถทำงานได้ การทดสอบเป็นไปตามวิธีทดสอบมาตรฐานสำหรับการทดสอบแรงดึง ASTM E8/E8M-13a แรงดึงที่ใช้มาจากระบบไฮดรอลิก การควบคุมอัตราเร็วในการดึงด้วยการปรับวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบ Ball valve ขณะที่ทำการทดสอบแรงดึงโปรแกรม LabVIEW จะทำการเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์วัดแรงและเซนเซอร์วัดระยะยืด จากนั้นแสดงผลออกมาในรูปแบบกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดกับเวลา, แรงกับระยะยืด และความเค้นกับความเครียด

การดำเนินการในโครงการนี้เริ่มจากการติดตั้งเครื่องทดสอบแรงดึง รูปแบบและขนาดของชิ้นทดสอบเลือกตามมาตรฐาน ASTM E8/E8M-13a ชิ้นทดสอบทำมาจากวัสดุอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5 และเหล็ก SR24 เครื่องทดสอบแรงดึงสามารถดึงชิ้นทดสอบจนขาด จะเห็นได้ว่าอัตราเร็วในการทดสอบมีบางช่วงไม่อยู่ในมาตรฐานที่เลือกไว้ เนื่องจากตัวเครื่องทดสอบแรงดึงไม่มีระบบควบคุมอัตราเร็วอัตโนมัติ ผลการทดสอบของเครื่องทดสอบแรงดึง เปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ Shimadzu AG-100kN จะได้ค่าความคลาดเคลื่อนของความทนแรงดึง (Tensile strength), ค่าความแรงคราก (Yield strength), ค่าร้อยละการยืด (% Elongation), ค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) วิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ของอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5 เมื่อเทียบกับเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ Shimadzu เท่ากับ 2.09 %, 147.56 %, 17.35 %, 46.06 % และ 240.91 % ตามลำดับ และค่าความคลาดเคลื่อนของความทนแรงดึง (Tensile strength), ค่าความแรงคราก (Yield strength), ค่าร้อยละการยืด (% Elongation), ค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) ของเหล็ก SR24 และวิธีที่ 2 เมื่อเทียบกับเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ Shimadzu เท่ากับ 7.09 %, 12.05 %, 32.12 %, 339.54 % และ 533.84 % ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND CONSTRUCTION OF TENSILE TESTING MACHINE FOR MECHANICAL
ENGINEERING LABORATORY

Jetnipat Thongprasith 61010168

Chayakorn Chandransu 61010209

Nattapong Bunpan 61010340

Assoc.Prof. Dr. Unnat Pinsopon Advisor

Year 2021

ABSTRACT

This project was to design and build a tensile testing machine for use in mechanical engineering laboratory. The mechanical engineering students attending the laboratory could study and learn about the mechanical properties of materials via hands-on practice. The tensile testing machine in this project was built on the existing equipment and additional necessary equipment needed to enable the machine to function. The tests of this machine were in accordance with the ASTM E8/E8M-13a standard test method for tensile testing. The pulling speed was achieved by regulating the hydraulic oil flow rate through a ball-type flow control valve. While performing a test, LabVIEW collected data from the load cell and linear position sensor. The results would then be displayed in graphs showing the relationships between the displacement and time, load and displacement, and stress and strain.

The implementation of this project started with constructing a tensile testing machine. The form and size of the specimen were chosen according to ASTM E8/E8M-13a standard. The specimens were made from 6063-T5 aluminum alloy and SR24 steel materials. The tensile testing machine could pull and break the specimen. It was found that the test speed was not within the speed range of the testing standard. The reason is that the machine did not have a velocity control system. The test results from the machine built in this project were compared with ones obtained from the Shimadzu AG-X100kN universal testing machine. Tensile strength, yield strength, elongation percentage, Young's modulus Method 1 and Method 2 of the 6063-T5 specimen obtained in this project differed from ones obtained from the Shimadzu

machine by 2.09 %, 126.61 147.56 %, 17.35 %, 46.06 % and 240.91 % respectively. The differences of the test values of Tensile strength, yield strength, elongation percentage, Young's modulus Method 1 and Method 2 of SR24 specimen between this project and the Shimadzu machine were 7.09 %, 12.05 %, 32.12 %, 339.54 % and 533.84 % respectively.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมาจาก ผศ.ดร.อุจน์ต์ พิณโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษา อีกทั้งขอบพระคุณคณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ สำหรับคำแนะนำเพิ่มเติมทำให้ปริญญานิพนธ์มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณรุ่นพี่ที่ได้รับเริ่มทำโครงการการออกแบบเครื่องทดสอบแรงดึงราคาถูก รวมทั้งแนะนำการสานต่อโครงการนี้ ขอขอบคุณ รศ.ดร.กฤษฎชัย กัลยาศิริ และนายกำธร สุขพิมาย จากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการที่ให้การอนุเคราะห์โดยการให้ใช้เครื่อง Shimazu AG-X100kN ในการทดสอบวัสดุ และขอขอบคุณ รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข, ดร.จิตราภรณ์ วงศางาม, นายจุลวิชัย มาพัก, นายเจตจันทร์ เกษประดิษฐ์, นายวรุฒม์ แซ่จ้ง, นางสาวกนิษฐ์ วงษ์เที่ยง และนางสาวอภัสสนันท์ สวรรค์ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆตลอดการทำโครงการนี้

ขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูพร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้มอบโอกาสและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำโครงการนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นายเจตนิพัทธ์ ทองประสิทธิ์
นายชยากร จันทรางศู
นายณัฐพงศ์ บุญปิ่น

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญรูป.....	IX
สารบัญตาราง.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ระบบไฮดรอลิก.....	3
2.1.1 อุปกรณ์พื้นฐานของระบบไฮดรอลิก.....	3
2.1.2 การส่งกำลังของระบบไฮดรอลิก.....	3
2.1.3 การทำงานของกระบอกสูบไฮดรอลิก.....	4
2.1.4 วาล์วควบคุมอัตราการไหล.....	4
2.2 การเตรียมวัสดุเพื่อให้เหมาะสมต่อการทดสอบการดึง.....	5
2.3 อัตราเร็วในการดึงสำหรับการทดสอบ.....	9
2.4 ความเค้นและความเครียดของวัสดุ.....	10
2.5 ระบบดาด้าแอกควิซิชัน.....	11
2.5.1 ข้อมูลดิจิทัล.....	12
2.5.2 ความละเอียด.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.3 อัตราการสู่มตัวอย่าง.....	13
2.6 เซนเซอร์.....	14
2.6.1 เซนเซอร์วัดระยะแบบ Potentiometer.....	14
2.6.2 เซนเซอร์วัดแรงแบบ Strain gauges.....	15
2.7 การสอบเทียบเครื่องมือวัด.....	17
2.8 ความลึกของเกลียว.....	18
2.9 ค่าสัดส่วนความปลอดภัย.....	19
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	21
3.1 อุปกรณ์.....	22
3.1.1 Hydraulic Power Unit.....	22
3.1.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส.....	22
3.1.1.2 ปัมป์ประเภท External gear pump.....	23
3.1.1.3 วาล์วปลดแรงดัน.....	23
3.1.1.4 วาล์วควบคุมอัตราการไหล.....	24
3.1.1.5 วาล์วควบคุมทิศทางการไหล.....	24
3.1.1.6 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล.....	25
3.1.1.7 ตัวกรองน้ำมันขากลับ.....	25
3.1.1.8 กระจบokusแบบแกนเฟลาเดี่ยวเคลื่อนที่ 2 ทาง.....	26
3.1.2 โครงสร้างยึดและฐาน.....	26
3.1.3 อุปกรณ์ยึดเซนเซอร์วัดแรง.....	27
3.1.3.1 แผ่นเหล็กยึดเซนเซอร์วัดแรง.....	27
3.1.3.2 ตัวยึดแผ่นเหล็ก.....	27
3.1.4 หัวจับขึ้นทดสอบ.....	28
3.1.5 ขึ้นทดสอบ.....	28
3.1.6 Ni USB-6008.....	29
3.1.7 โปรแกรม LabVIEW.....	30
3.1.8 เซนเซอร์วัดแรง.....	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.9 เซนเซอร์วัดระยะ.....	32
3.1.10 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ.....	33
3.1.11 พาวเวอร์ซัพพลาย	34
3.1.12 กล่องควบคุม.....	34
3.2 ขั้นตอนการทดสอบ.....	35
3.2.1 หัวจับขั้นทดสอบ.....	35
3.2.2 การออกแบบอุปกรณ์ยึดเซนเซอร์วัดแรง.....	36
3.2.3 การออกแบบขั้นทดสอบ.....	39
3.2.4 การสอบเทียบเซนเซอร์วัดแรงและเซนเซอร์วัดระยะ.....	40
3.2.4.1 ขั้นตอนการสอบเทียบเซนเซอร์วัดระยะ.....	41
3.2.4.2 ขั้นตอนการสอบเทียบเซนเซอร์วัดแรง.....	41
3.2.5 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องทดสอบแรงดึง.....	42
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	44
4.1 ผลการออกแบบเครื่องทดสอบแรงดึง.....	44
4.1.1 เครื่องทดสอบแรงดึง.....	44
4.1.2 โปรแกรม LabVIEW สำหรับเครื่องทดสอบแรงดึง.....	45
4.2 ผลการสอบเทียบ.....	49
4.2.1 เซนเซอร์วัดระยะ.....	49
4.2.2 เซนเซอร์วัดแรง.....	50
4.3 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องทดสอบแรงดึง.....	51
4.3.1 อะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5.....	52
4.3.1.1 อัตราเร็วขณะดึงขั้นทดสอบ.....	53
4.3.1.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะยึดกับเวลา.....	54
4.3.1.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะยึด.....	55
4.3.1.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด.....	56
4.3.2 เหล็ก SR24.....	57
4.3.2.1 อัตราเร็วขณะดึงขั้นทดสอบ.....	58
4.3.2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะยึดกับเวลา.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIIอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะยืด.....	60
4.3.2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด.....	61
4.4 เปรียบเทียบผลการทดลองกับเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ของภาควิชาอุตสาหกรรม.....	62
4.4.1 อะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5.....	62
4.4.2 เหล็ก SR24.....	64
4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	65
4.6 ตัวอย่างเอกสารบันทึกผลการทดลอง.....	67
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	78
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	78
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	79
บรรณานุกรม.....	80
ภาคผนวก.....	82

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างการส่งกำลังของระบบไฮดรอลิก.....	4
2.2 การทำงานของกระบอกสูบไฮดรอลิก.....	4
2.3 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลด้วยแผ่นออริฟิส.....	5
2.4 รูปทรงของชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E8/E8M-13a.....	6
2.5 ขนาดของชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E8/E8M-13a.....	6
2.6 ตัวอย่างตำแหน่งที่จับชิ้นทดสอบและหัวจับชิ้นทดสอบในลักษณะต่างๆ.....	7
2.7 ความเข้มข้นของความเค้น ที่เกิดขึ้นในรูปแบบต่างๆ.....	7
2.8 ความเข้มข้นของความเค้นที่เกิดขึ้น.....	8
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง L กับ d และลักษณะความเสียหายของวัสดุ.....	9
2.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด และค่ามอดุลัสสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเหนียว.....	10
2.11 Block diagram ของระบบดาต้าแอกควิชิชัน.....	12
2.12 แผนภาพวงจรของเซนเซอร์วัดระยะแบบ Potentiometer.....	14
2.13 เซนเซอร์วัดแรงแบบ Strain gauges ชนิด Pancake.....	15
2.14 การทำงานของมาตรวัดความเครียด ที่ติดตั้งอยู่ในเซนเซอร์วัดแรง ขณะมีแรงดึง และแรงบีบอัด.....	16
2.15 วงจร Wheatstone Bridge.....	16
2.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากเซนเซอร์ กับตัวแปรที่วัดค่า.....	18
2.17 ภาพหน้าตัดแสดงลักษณะการยึดกันของชิ้นงานด้วยสกรู.....	19
2.18 ภาพหน้าตัดแสดงระยะทั้งหมดในการจับยึดที่มีประสิทธิภาพ.....	19
2.19 สัดส่วนความปลอดภัยในเงื่อนไขต่างๆ.....	20
3.1 ผังการทำงานของชุดทดลอง.....	21
3.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น SCL-KR.....	22
3.3 ปัมป์ประเภท External gear pump ยี่ห้อ Marzocchi รุ่น ALP2A-D-10.....	23
3.4 วาล์วปลดความดัน ยี่ห้อ HydroTechnic รุ่น RV-04T-3-3.....	23
3.5 วาล์วควบคุมอัตราการไหล รุ่น TL-KHB-G1/4.....	24
3.6 วาล์วควบคุมทิศทางการไหล 4/3.....	24
3.7 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล ยี่ห้อ Hedland รุ่น H601A-005.....	25
3.8 ตัวกรองน้ำมันขากลับ ยี่ห้อ UFI รุ่น FRA31B06BNFD32WX.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ IX อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 กระบอกสูบแบบแกนเพลลาเดี่ยวเคลื่อนที่ 2 ทาง.....	26
3.10 โครงสร้างยึดและฐาน.....	26
3.11 แผ่นเหล็กยึดเซนเซอร์วัดแรง.....	27
3.12 ตัวยึดแผ่นเหล็ก.....	27
3.13 หัวจับขึ้นทดสอบ.....	28
3.14 ขึ้นทดสอบ โดยด้านซ้ายเป็นอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5 และด้านขวาเป็นเหล็ก SR24.....	28
3.15 Ni USB-6008.....	29
3.17 โครงสร้างองค์ประกอบฟังก์ชันการใช้งานของ Ni USB-6008.....	30
3.18 หน้าต่าง Front panel.....	31
3.18 หน้าต่าง Block diagram.....	31
3.19 เซนเซอร์วัดแรง รุ่น ZNL.BU-3T.....	32
3.20 เซนเซอร์วัดระยะ ยี่ห้อ Accuiacy รุ่น KTC-200.....	33
3.21 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ ยี่ห้อ KYOWA รุ่น WGA-100B.....	33
3.22 พาวเวอร์สวิตช์หลาย ยี่ห้อ UNI-T รุ่น UTP3315TFL-II.....	34
3.23 ภายนอกของกล่องควบคุม.....	34
3.24 ภายในของกล่องควบคุม.....	35
3.25 หัวจับขึ้นทดสอบที่ได้รับการออกแบบ.....	35
3.26 หัวจับขึ้นทดสอบที่ได้รับการปรับปรุง.....	36
3.27 ผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดระเบียบไฟในต์อิลิเมนต์ผ่านโปรแกรม SOLIDWORKS.....	38
3.28 ภาพเขียนแบบของอุปกรณ์ยึดเซนเซอร์วัดแรง.....	38
3.29 ขนาดและรูปร่างของขึ้นทดสอบ.....	39
3.30 การกลึงขึ้นทดสอบ.....	40
3.31 วิธีการสอบเทียบเซนเซอร์วัดระยะที่เกิดจากการดึงเซนเซอร์วัดระยะเทียบกับตลับเมตร.....	41
3.32 วิธีการสอบเทียบเซนเซอร์วัดแรงที่เกิดจากการแรงที่เกิดเซนเซอร์วัดแรง จากเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ Shimadzu AG-100kN.....	42
4.1 ชุดทดลอง.....	44
4.2 ขึ้นทดสอบขณะที่ถูกดึงจนขาด.....	45
4.3 Front Panel ของโปรแกรม LabVIEW ที่ออกแบบไว้.....	45
4.4 Block diagram ของโปรแกรม LabVIEW ที่ออกแบบไว้.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ X อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 Flow chart การทำงานของโปรแกรม LabVIEW ที่ออกแบบไว้.....	47
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับระยะทาง.....	49
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับน้ำหนัก.....	50
4.8 ข้อมูลผลการทดลองที่ถูกบันทึกอยู่ในรูปแบบของไฟล์ Text.....	51
4.9 รูปเปรียบเทียบก่อนและหลังกรองสัญญาณรบกวนหลังจากการกรองสัญญาณผ่านโปรแกรม MATLAB.....	51
4.10 Front panel หลังเสร็จสิ้นการทดลองวัสดุ อะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5.....	52
4.11 ลักษณะการเสียหายของชิ้นทดสอบของวัสดุอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5.....	52
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเค้นในหน่วยปาสคาลต่อวินาทีกับเวลาในหน่วยวินาทีของวัสดุอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5.....	53
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วในหน่วยมิลลิเมตรต่อวินาทีกับเวลาในหน่วยวินาทีของวัสดุอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5.....	54
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดในหน่วยเซนติเมตรกับเวลาในหน่วยวินาทีของวัสดุอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5.....	54
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงในหน่วยนิวตันกับระยะยืดในหน่วยเซนติเมตรของวัสดุอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5.....	55
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นหน่วยปาสคาลกับความเครียดของวัสดุอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5.....	56
4.17 Front panel หลังเสร็จสิ้นการทดลองวัสดุเหล็ก SR24.....	57
4.18 ลักษณะการเสียหายของชิ้นทดสอบของวัสดุเหล็ก SR24.....	57
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเค้นในหน่วยปาสคาลต่อวินาทีกับเวลาในหน่วยวินาทีของวัสดุเหล็ก SR24.....	58
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วในหน่วยมิลลิเมตรต่อวินาทีกับเวลาในหน่วยวินาทีของวัสดุเหล็ก SR24.....	59
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดในหน่วยเซนติเมตรกับเวลาในหน่วยวินาทีของวัสดุเหล็ก SR24.....	60
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงในหน่วยนิวตันกับระยะยืดในหน่วยเซนติเมตรของวัสดุเหล็ก SR24.....	60

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นหน่วยปาสคาลกับความเครียดของวัสดุเหล็ก SR24.....	61
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นหน่วยปาสคาลกับความเครียดของวัสดุอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5 โดยเส้นสีส้ม คือ เครื่องทดสอบแรงดึงในโครงการนี้ และเส้นสีฟ้า คือ เครื่องทดสอบแรงดึงของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ.....	62
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นหน่วยปาสคาลกับความเครียดของวัสดุเหล็ก SR24 โดยเส้นสีส้ม คือ เครื่องทดสอบแรงดึงในโครงการนี้ และเส้นสีฟ้า คือ เครื่องทดสอบแรงดึงของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ.....	64



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องทดสอบแรงดึงในโครงการนี้ กับเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ โดยใช้ชิ้นทดสอบเป็นอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5.....	63
4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องทดสอบแรงดึงในโครงการนี้ กับเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ โดยใช้ชิ้นทดสอบเป็นเหล็ก SR24.....	64



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

งานสร้างสรรค์ทางวิศวกรรมไม่ว่าจะเป็น รถยนต์ อาคารบ้านเรือน เครื่องจักร หรือแม้แต่การออกแบบชิ้นงานใหม่ วิศวกรหรือผู้ออกแบบล้วนจำเป็นต้องอาศัยความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาใช้งาน เพื่อให้ชิ้นงานสามารถใช้งานได้ตามจุดประสงค์และเงื่อนไขที่ออกแบบไว้ โดยการทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุมีอยู่ด้วยกันหลากหลายวิธี แต่วิธีที่จะนำมาพูดถึงในวิทยานิพนธ์เล่มนี้คือ การทดสอบแรงดึง (Tension test หรือ Tensile test) โดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) ขณะทดสอบวัสดุถูกดึงช้าๆจนขาด ทำให้สามารถตรวจสอบคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่นของวัสดุ ทั้งค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) ค่าความแรงคราก (Yield strength) หรือจุดที่วัสดุรับแรงได้สูงสุดโดยไม่เสียรูป ความทนแรงดึง (Tensile strength) หรือจุดที่แรงสูงสุดที่วัสดุสามารถรับได้

เครื่องทดสอบแรงดึงเป็นอุปกรณ์สำคัญในการศึกษาคุณสมบัติทางกลของวัสดุ แต่ปัจจุบันเนื่องจากเครื่องทดสอบแรงดึงนั้นมีราคาที่สูง กลุ่มนักศึกษาวิศวกรรมเครื่องกลรหัสปีการศึกษา 2560 ได้เริ่มทำโครงการที่ชื่อว่าเครื่องทดสอบแรงดึงราคาถูก [1] โดยการใช้ระบบไฮดรอลิกเป็นต้นกำลัง และติดตั้งเซนเซอร์เพื่อรับค่าและแสดงผลออกมาเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะยืดและความเค้นกับความเครียด โดยกลุ่มของนักศึกษาวิศวกรรมเครื่องกลรหัสปีการศึกษา 2560 ได้ดำเนินการในส่วนของการวางแผนและออกแบบเครื่องทดสอบแรงดึง ออกแบบตัวยึดจับชิ้นงาน เลือก LabVIEW เป็นโปรแกรมที่จะใช้ควบคุมและแสดงผล เลือกมาตรฐานในการออกแบบชิ้นทดสอบ และกลุ่มของผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ได้มาดำเนินการศึกษาและต่อยอดโครงการเครื่องทดสอบแรงดึง รวมทั้งพัฒนาระบบไฮดรอลิกให้สามารถควบคุมการทำงานและแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์ได้ทั้งหมด

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบแรงดึงสำหรับใช้ในวิชาการทดลองวิศวกรรมเครื่องกล
2. เพื่อศึกษาและออกแบบระบบควบคุมการทำงานของระบบไฮดรอลิกผ่านโปรแกรม LabVIEW

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1. เครื่องทดสอบแรงดึงสามารถดึงขึ้นทดสอบจนขาด
2. สามารถใช้โปรแกรม LabVIEW ในการควบคุมการทำงานของเครื่องทดสอบแรงดึงได้
3. โปรแกรม LabVIEW สามารถอ่านค่าจากเซนเซอร์ทุกตัวและแสดงค่าเป็นกราฟได้อย่างถูกต้อง
4. ตัวเครื่องทดสอบแรงดึงสามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนในวิชาการทดลองวิศวกรรมเครื่องกล

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1. ใช้ระบบไฮดรอลิกหนึ่งกระบอกสูบ ขนาดต้นกำลัง 1.5 kW
2. ใช้ขึ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E8/E8M-13a ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm และความยาวระยะพิกัด (Gauge length) เท่ากับ 24 mm
3. ใช้โปรแกรม LabVIEW ในการออกแบบระบบควบคุมและแสดงค่าจากเซนเซอร์
4. ใช้อะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5 และ เหล็ก SR24 เป็นวัสดุในการทำขึ้นทดสอบ (Specimen)

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาโครงการการออกแบบเครื่องทดสอบแรงดึงราคาถูกและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. กลึงขึ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E8/E8M-13a รวมทั้งออกแบบแผ่นยึดเซนเซอร์วัดแรง (Load cell) และนำไปสั่งทำ
3. การสอบเทียบเครื่องมือ เซนเซอร์วัดแรง (Load cell) และ เซนเซอร์วัดระยะ (Linear Position sensor)
4. ออกแบบโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ควบคุมและแสดงผล
5. ทำการดึงขึ้นทดสอบเพื่อตรวจสอบการทำงานของระบบไฮดรอลิก และการแสดงผลผ่านโปรแกรม LabVIEW
6. ศึกษาและค้นหาอุปกรณ์ที่จะนำมาติดตั้งเพิ่มเติมเพื่อให้เครื่องทดสอบแรงดึงสามารถควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ได้ทั้งหมด
7. ทดสอบเครื่องทดสอบแรงดึงหลังจากติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดอีกครั้ง และตรวจสอบความถูกต้อง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบแรงดึงมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมากมายไม่ว่าจะเป็นในส่วนของระบบไฮดรอลิก มาตรฐานชิ้นทดสอบ มาตรฐานการทดสอบแรงดึง รวมถึงทฤษฎีการควบคุมต่างๆ ซึ่งจำเป็นต่อการออกแบบการทดลองเพื่อให้การทำงานของเครื่องเป็นไปตามขอบเขตการศึกษาและวัตถุประสงค์ที่กำหนด อีกทั้งยังสามารถช่วยให้เข้าใจและสามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการทดลองได้

เนื่องจากโครงการเครื่องทดสอบแรงดึงเป็นโครงการที่ทางผู้จัดทำได้ศึกษาและดำเนินงานต่อจากนักศึกษาคณะวิศวกรรมเครื่องกล ปีการศึกษา 2560 ทำให้ยังมีทฤษฎีบางส่วนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องทดสอบแรงดึง แต่ไม่ได้กล่าวถึงในปริญญาานิพนธ์เล่มนี้ ซึ่งสามารถดูข้อมูลในส่วนนั้นได้ที่ปริญญาานิพนธ์ของโครงการ การออกแบบเครื่องทดสอบแรงดึงราคาถูก [1]

2.1 ระบบไฮดรอลิก

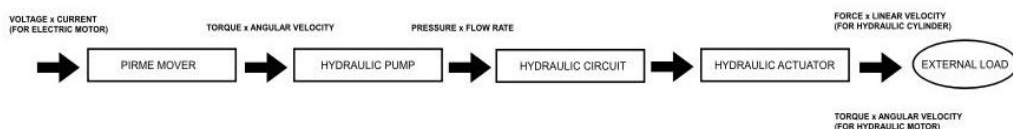
ระบบไฮดรอลิกเป็นระบบส่งกำลังโดยใช้ของเหลวเป็นตัวกลาง ระบบไฮดรอลิกสามารถส่งกำลังได้สูงกว่าระบบส่งกำลังแบบอื่นเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดและน้ำหนักของอุปกรณ์ในระบบ ระบบไฮดรอลิกส่วนใหญ่จึงถูกออกแบบมาให้ใช้กับงานที่ต้องการกำลังเป็นหลัก เคลื่องมือหลายชนิดในอุตสาหกรรมปัจจุบันใช้ระบบไฮดรอลิกเป็นส่วนประกอบ ไม่ว่าจะเป็น ระบบเบรก พวงมาลัยรถยนต์ รถแบคโฮ (Backhoe) เป็นต้น

2.1.1 อุปกรณ์พื้นฐานของระบบไฮดรอลิก

1. ถังเก็บน้ำมันไฮดรอลิก (Reservoir or Tank) ทำหน้าที่เก็บและพักน้ำมัน ขจัดสิ่งสกปรกต่างๆที่ติดมากับน้ำมัน แยกฟองอากาศออกจากน้ำมัน รวมทั้งระบายความร้อนออกจากน้ำมัน
2. ปั๊ม (Pump) ทำหน้าที่สร้างกระแสการไหลของน้ำมัน (Generate flow)
3. ต้นกำลัง (Prime mover) เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า หรือ แหล่งพลังงานอื่นที่ใช้ในการขับปั๊ม
4. วาล์ว (Valve) ทำหน้าที่ควบคุมทิศทาง, ความดัน และอัตราการไหล
5. อุปกรณ์ทำงาน (Actuator) ทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังจากของไหลเป็นกำลังทางกล
6. ท่อ (Pipe) ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำมันในระบบ

2.1.2 การส่งกำลังของระบบไฮดรอลิก

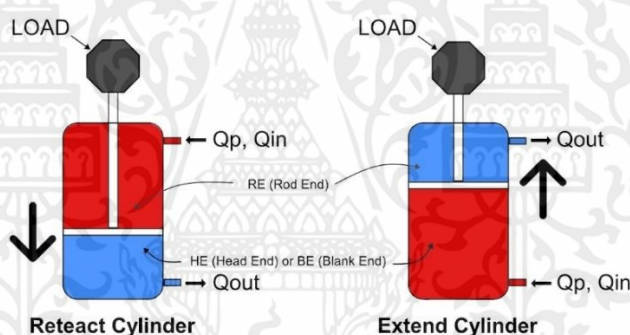
ระบบไฮดรอลิกต้องอาศัยต้นกำลังจากภายนอก เนื่องจากระบบไฮดรอลิกเป็นเพียงระบบส่งกำลังเท่านั้น ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งแสดงการส่งกำลังผ่านระบบไฮดรอลิก



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการส่งกำลังของระบบไฮดรอลิก

ต้นกำลังส่งกำลังเข้าไปให้ปั๊มของระบบไฮดรอลิกผ่านทางเพลา จากนั้นปั๊มนำพลังงานทางกลที่ได้รับไปสร้างอัตราการไหลของของเหลว ต่อไปของเหลวไหลเข้าสู่ตัวทำงานผ่านท่อ, วาล์ว และส่วนประกอบอื่นๆของวงจรไฮดรอลิก ตัวทำงานอย่างกระบอกสูบหรือมอเตอร์เปลี่ยนพลังงานจากของไหลไปเป็นพลังงานทางกลเพื่อใช้งานต่อไป จากรูปที่ 2.1 และหากระบบไม่มีการสูญเสียหรือมีประสิทธิภาพ 100% กำลังที่ออกจากระบบไฮดรอลิก (Power out) จะมีค่าเท่ากับกำลังที่ต้นกำลัง (Prime mover) จ่ายให้กับระบบไฮดรอลิก (Power in)

2.1.3 การทำงานของกระบอกสูบไฮดรอลิก

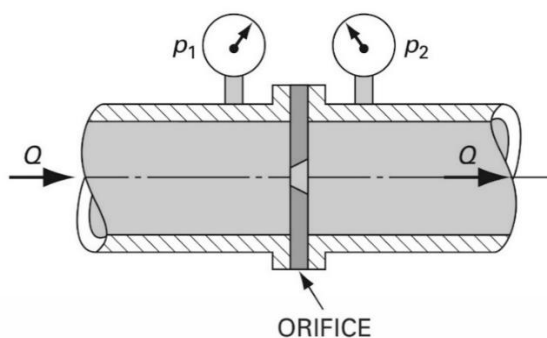


รูปที่ 2.2 การทำงานของกระบอกสูบไฮดรอลิก

จากรูปที่ 2.2 พื้นที่สีแดงแสดงถึงฝั่งที่มีความดันสูง พื้นที่สีฟ้าแสดงถึงฝั่งที่มีความดันต่ำ การทำงานของกระบอกสูบไฮดรอลิกในช่วงที่กระบอกสูบชักกลับ ปั๊มจ่ายน้ำมันผ่านวาล์วควบคุมทิศทาง การไหล (Directional control valve) เข้าทางก้านสูบ (Rod end, RE) ในขณะเดียวกันน้ำมันจากทางด้านหัว (Head end, HE) ถูกดันไหลกลับลงถึง ในทางตรงกันข้ามขณะลูกสูบชักออกน้ำมันจะไหลเข้าทางด้านหัวและไหลกลับลงถึงทางด้านก้านสูบ

2.1.4 วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Flow control valve)

วาล์วควบคุมอัตราการไหลถูกใช้เพื่อเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วของลูกสูบ, มอเตอร์หรือตัวทำงานอื่นๆ โดยการควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก ซึ่งสามารถอธิบายหลักการทำงานและการหาอัตราการไหลได้จากการศึกษาอุปกรณ์วัดอัตราการไหลด้วยแผ่นออริฟิส (Orifice flowmeter)



รูปที่ 2.3 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลด้วยแผ่นออริฟิส [5]

จากรูปที่ 2.3 แสดงแผ่นออริฟิสที่ถูกติดตั้งไว้ภายในท่อที่มีของไหลไหลผ่าน สามารถคำนวณหาอัตราการไหล (Q) ได้จากการวัดความดันตก (Pressure drop, Δp) ระหว่างแผ่นออริฟิส ความสัมพันธ์ของ Δp กับ Q ในหน่วยเมตริก (Metric units) เป็นไปตามสมการที่ 2.1

$$Q = 0.0851CA \sqrt{\frac{\Delta p}{SG}} \quad (2.1)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหล (LPM)

C คือ สัมประสิทธิ์การไหล (Flow coefficient)

A คือ พื้นที่รูที่อยู่บนแผ่นออริฟิส (mm^2)

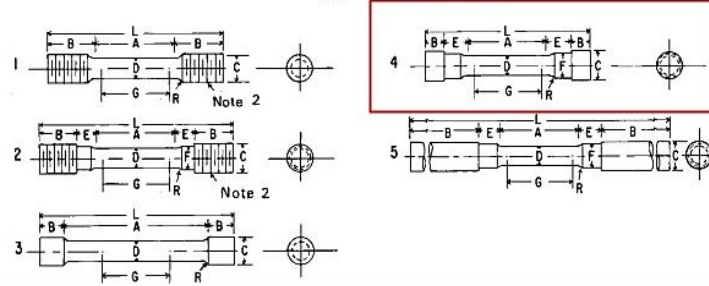
$\Delta p = p_1 - p_2$ คือ ความดันตกระหว่างแผ่นออริฟิส (kPa)

SG คือ ค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลว

2.2 การเตรียมวัสดุเพื่อให้เหมาะสมต่อการทดสอบการดึง

วิธีทดสอบมาตรฐานสำหรับการทดสอบแรงดึง ASTM E8/E8M-13a เป็นกระบวนการทดสอบที่พบมากที่สุดโดยตัวอย่างโลหะ โดยรูปทรงของชิ้นทดสอบ ดังรูปที่ 2.4 และขนาดชิ้นทดสอบดังรูปที่ 2.5 และสามารถดูเพิ่มเติมในภาคผนวกได้

E8/E8M - 13a



Dimensions, mm [in.]
For Test Specimens with Gauge Length Four times the Diameter [E8]

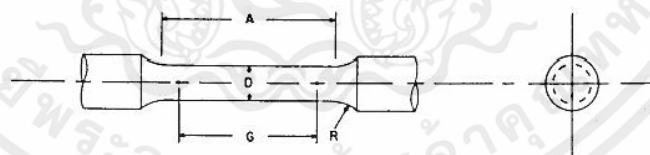
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gauge length	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	10 [0.375]	2 [0.0625]	10 [0.375]	10 [0.375]
A—Length of reduced section	56 [2.25] min	56 [2.25] min	100 [4] approximate	56 [2.25] min	56 [2.25] min
L—Overall length, approximate	145 [5]	155 [5.5]	155 [5.5]	140 [4.75]	255 [9.5]
B—Length of end section (Note 3)	35 [1.375] approximate	25 [1] approximate	20 [0.75] approximate	15 [0.5] approximate	75 [3] min
C—Diameter of end section	20 [0.75]	20 [0.75]	20 [0.75]	22 [0.875]	20 [0.75]
E—Length of shoulder and fillet section, approximate		15 [0.625]	15 [0.625]	20 [0.75]	15 [0.625]
F—Diameter of shoulder		15 [0.625]	15 [0.625]	15 [0.625]	15 [0.625]

Dimensions, mm [in.]
For Test Specimens with Gauge Length Five times the Diameter [E8M]

	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gauge length	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	10 [0.375]	2 [0.0625]	10 [0.375]	10 [0.375]
A—Length of reduced section	75 [3] min	75 [3] min	75 [3] approximate	75 [3] min	75 [3] min
L—Overall length, approximate	145 [5]	155 [5.5]	155 [5.5]	140 [4.75]	255 [9.5]
B—Length of end section (Note 3)	35 [1.375] approximate	25 [1] approximate	20 [0.75] approximate	15 [0.5] approximate	75 [3] min
C—Diameter of end section	20 [0.75]	20 [0.75]	20 [0.75]	22 [0.875]	20 [0.75]
E—Length of shoulder and fillet section, approximate		15 [0.625]	15 [0.625]	20 [0.75]	15 [0.625]
F—Diameter of shoulder		15 [0.625]	15 [0.625]	15 [0.625]	15 [0.625]

รูปที่ 2.4 รูปทรงของชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E8/E8M-13a [9]

E8/E8M - 13a



Dimensions, mm [in.]
For Test Specimens with Gauge Length Four times the Diameter [E8]

	Standard Specimen		Small-Size Specimens Proportional to Standard		
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gauge length	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	36.0 ± 0.1 [1.400 ± 0.005]	24.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.005]	16.0 ± 0.1 [0.640 ± 0.005]	10.0 ± 0.1 [0.450 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	9.0 ± 0.1 [0.350 ± 0.007]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]	4.0 ± 0.1 [0.160 ± 0.003]	2.5 ± 0.1 [0.113 ± 0.002]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]	4 [0.156]	2 [0.094]
A—Length of reduced section, min (Note 2)	56 [2.25]	45 [1.75]	30 [1.25]	20 [0.75]	16 [0.625]

Dimensions, mm [in.]
For Test Specimens with Gauge Length Five times the Diameter [E8M]

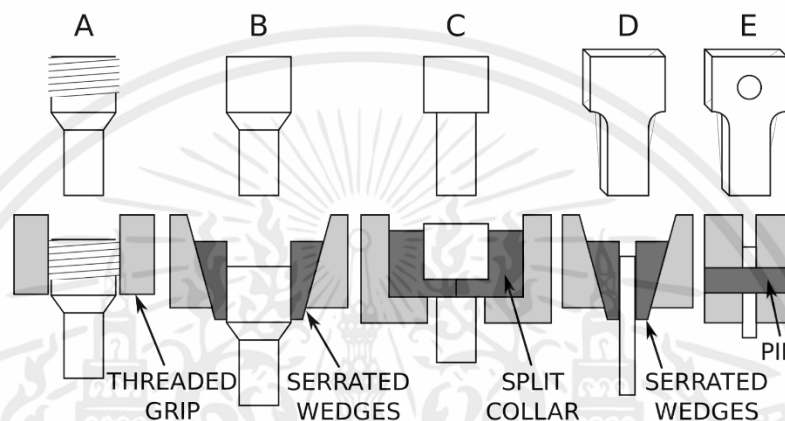
	Standard Specimen		Small-Size Specimens Proportional to Standard		
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gauge length	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	45.0 ± 0.1 [1.750 ± 0.005]	30.0 ± 0.1 [1.250 ± 0.005]	20.0 ± 0.1 [0.800 ± 0.005]	12.5 ± 0.1 [0.565 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	9.0 ± 0.1 [0.350 ± 0.007]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]	4.0 ± 0.1 [0.160 ± 0.003]	2.5 ± 0.1 [0.113 ± 0.002]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]	4 [0.156]	2 [0.094]
A—Length of reduced section, min (Note 2)	75 [3.0]	54 [2.0]	36 [1.4]	24 [1.0]	20 [0.75]

รูปที่ 2.5 ขนาดของชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E8/E8M-13a [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

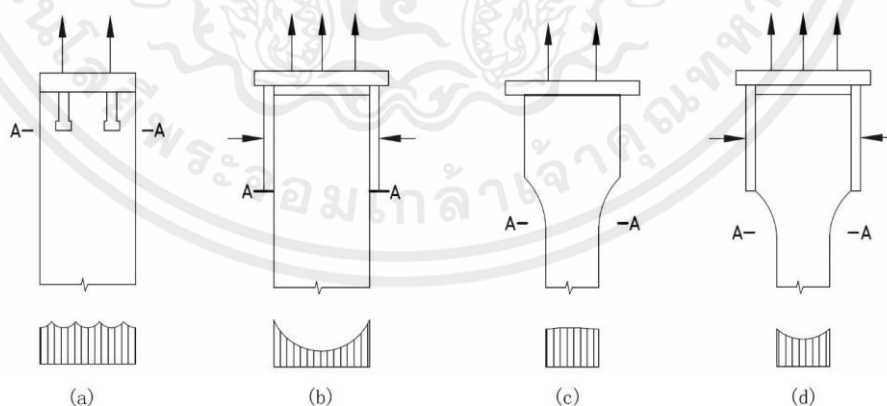
ในการสร้างชิ้นทดสอบขนาดเล็กสามารถทำได้โดยการเทียบอัตราส่วนของขนาดชิ้นทดสอบกับขนาดมาตรฐานของชิ้นทดสอบ เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E8/E8M-13a ดังนั้นจึงเลือกรูปทรงชิ้นทดสอบ ดังรูปที่ 2.4 เพื่อนำมาสร้างชิ้นทดสอบให้มีขนาด ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งขนาดชิ้นทดสอบจะอยู่ในบดัดไป ปัจจัยในการเลือกรูปทรงและขนาดของชิ้นทดสอบ ประกอบไปด้วย 2 ปัจจัย ดังนี้

1. ตำแหน่งที่จับชิ้นทดสอบรวมถึงหัวจับชิ้นทดสอบ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อความเค้นในการทดสอบ อุปกรณ์จับยึดชิ้นทดสอบในลักษณะต่างๆ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างตำแหน่งที่จับชิ้นทดสอบและหัวจับชิ้นทดสอบในลักษณะต่างๆ [10]

โดยในแต่ละหัวจับชิ้นทดสอบและตำแหน่งในการจับชิ้นทดสอบ จะทำให้มีการเกิดความเค้นที่เพิ่มขึ้นมากหรือน้อยแตกต่างกัน ซึ่งตำแหน่งในการจับชิ้นทดสอบ บางตำแหน่งอาจจะทำให้เพิ่มความเค้นในชิ้นทดสอบซึ่งทำให้ส่งผลต่อการทดสอบ ดังรูปที่ 2.7

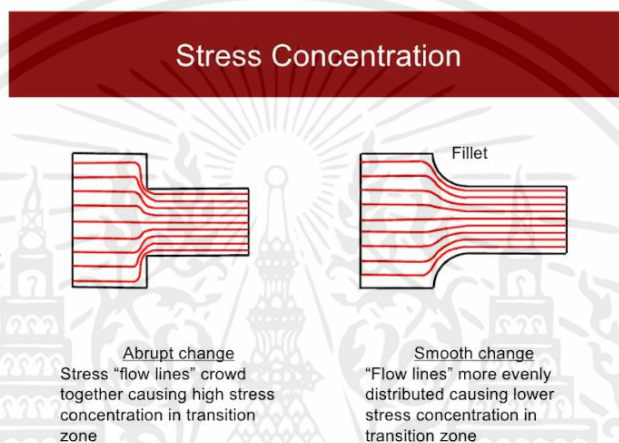


รูปที่ 2.7 ความเข้มข้นของความเค้น ที่เกิดขึ้นในรูปแบบต่างๆ [11]

ในรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่าเส้นความเข้มข้นของความเค้น (Stress flow) ในแต่ละหัวจับชิ้นทดสอบและตำแหน่งในการจับชิ้นทดสอบแตกต่างกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าการจับยึดชิ้นทดสอบแบบ b,d จะเกิดความเค้นที่สูงบริเวณขอบของชิ้นทดสอบ ในขณะที่การจับยึดชิ้นส่วนแบบ a,c เส้นความเค้นจะเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้นของความเค้นที่เกิดขึ้น มีขนาดเท่ากันเกือบทุกจุดในชั้นทดสอบซึ่งเหมาะสมต่อการทดสอบมากกว่า

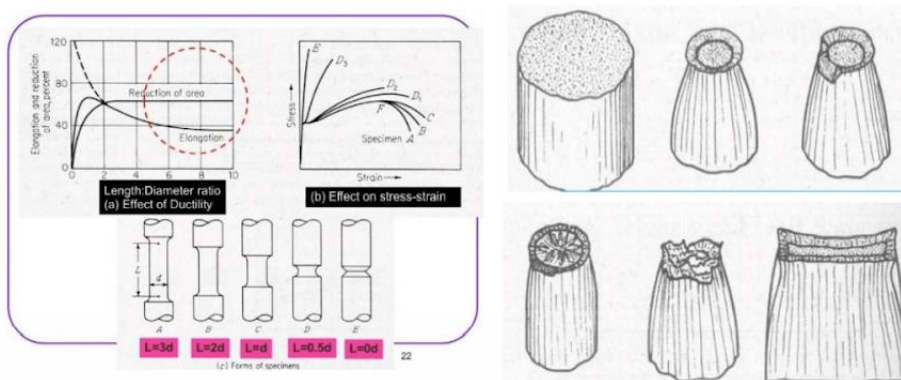
นอกจากนี้การลบมุมแหลม (Fillet) เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบทันทีทันใด สามารถช่วยลดความเข้มข้นของความเค้น (Stress Concentration) เพื่อไม่ให้ชั้นทดสอบเกิดความเค้นที่สูงเฉพาะจุดในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างกะทันหัน ซึ่งควรจะเป็นส่วนที่จะทำการทดสอบในบริเวณที่ต้องการให้เกิดความเสียหายดังแสดงในรูปที่ 2.8 และในรูปที่ 2.9 จะแสดงให้เห็นถึงการไหลของเส้นความเข้มข้นของความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อชั้นทดสอบมีการลบมุมแหลมและไม่มี การลบมุมแหลม



รูปที่ 2.8 ความเข้มข้นของความเค้นที่เกิดขึ้น [12]

จากรูปที่ 2.8 จะเห็นได้ว่าเมื่อไม่มี การลบมุมแหลมความเค้นเฉพาะจุดจะสูงในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างกะทันหัน ซึ่งชั้นทดสอบไม่ควรมีความเค้นสูงเฉพาะจุดใดจุดหนึ่ง

2. บริเวณที่ต้องการให้เกิดความเสียหาย เมื่อชั้นทดสอบได้รับแรงกระทำในแนวแกน ชั้นทดสอบ จะเกิดการยืดและขาดออกจากกัน ดังนั้นจึงต้องการออกแบบชั้นทดสอบให้มีขนาดที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดความเสียหายในบริเวณที่ต้องการ อีกทั้งต้องการให้เห็นความเสียหายที่ชัดเจน โดยทั่วไปขนาดของชั้นทดสอบเป็นไปตามอัตราส่วน L / d เท่ากับ 5 ถ้าน้อยกว่านี้จะส่งผลต่อระยะยืดตัวและการลดลงของพื้นที่หน้าตัดของชั้นทดสอบ



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง L กับ d และลักษณะความเสียหายของวัสดุ [2]

2.3 อัตราเร็วในการดึงสำหรับการทดสอบ

ค่าความแรงคราก (Yield strength), การยืดตัวของจุดคราก (Yield point elongation), และจุดคราก (Yield point) ค่าเหล่านี้เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของวัสดุจากอีลาสติก (Elastic Behavior) เป็นพลาสติก (Plastic Behavior) ในการหาค่าที่กล่าวมาข้างต้น จำเป็นที่จะต้องเลือกวิธีการควบคุมอัตราเร็วของการทดสอบแรงดึงให้เหมาะสม เนื่องจากในกรณีของวัสดุที่เป็นโลหะ ค่าเหล่านี้อาจขึ้นอยู่กับอัตราเร็วในการทดสอบ

อ้างอิงจากมาตรฐาน ASTM E8/ASTM E8M สามารถแบ่งวิธีการควบคุมออกเป็น 3 วิธี ได้แก่ วิธีการ A, B และ C

1. วิธีการ A ขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้นของความเค้นดึง (Tensile stress) วิธีนี้เป็นวิธีการควบคุมเริ่มต้นในวิธีทดสอบ E8/E8M มาหลายปี ระหว่างการทดสอบในช่วงพฤติกรรมแบบอีลาสติกของการทดสอบแรงดึง ซึ่งเป็นช่วงเริ่มต้นของการทดสอบ อัตราการเพิ่มขึ้นของความเค้นต้องอยู่ระหว่าง 1.15 ถึง 11.5 MPa/s

2. วิธีการ B ขึ้นอยู่กับความเครียดที่เพิ่มขึ้นระหว่างการทดสอบ สำหรับวิธีนี้เครื่องทดสอบต้องรักษาอัตราความเครียด (Strain rates) ให้คงที่ โดยใช้การวัดความเครียดของเครื่องวัดการยืด (Extensometer) การเพิ่มขึ้นของอัตราความเครียดต้องได้รับการตั้งค่าให้คงที่และมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.015 ± 0.006 mm/mm/min (หรือ in/in/min *)

3. วิธีการ C ขึ้นอยู่กับอัตราเร็วคงที่ของตัวหัวจับขึ้นทดสอบทั้งสองด้าน (the rate of grip separation) หรือเรียกอีกอย่างว่า อัตราเร็วครอสเฮด (Crosshead speed) อัตราเร็วของครอสเฮดจะต้องตั้งค่าให้คงที่เพื่อให้ความยาวเริ่มต้นของชิ้นทดสอบยืดออก 0.015 ± 0.003 mm/mm/min (หรือ in/in/min *) ของความยาวส่วนที่ลดขนาด (length of the reduced section) หรือระยะห่างระหว่างหัวจับขึ้นงานทดสอบที่ไม่มีส่วนที่ลดขนาด แนะนำให้ใช้วิธีนี้หากวัสดุไม่เสียรูปอย่างต่อเนื่อง

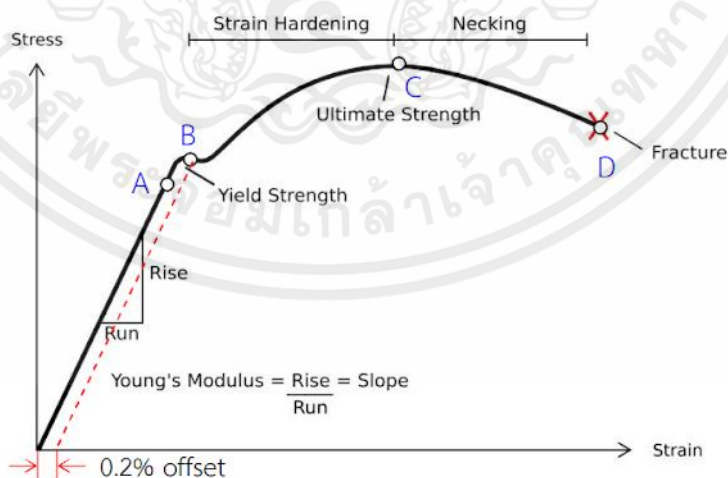
ในช่วงพฤติกรรมแบบพลาสติกหากคาดว่าจะมีการยืดตัวของชิ้นงานทดสอบ (Elongation) มากกว่า 5 % อัตราเร็วในการทดสอบสามารถเพิ่มขึ้นเป็น 0.05 จนถึง 0.5 mm/mm/min (หรือ

in/in/min *) ของความยาวส่วนที่ลดขนาด (length of the reduced section) หรือระยะห่างระหว่างหัวจับชิ้นงานทดสอบที่ไม่มีส่วนที่ลดขนาด

ในโครงการนี้เลือกใช้วิธีการ A ควบคุมอัตราเร็วของการทดสอบแรงดึงในช่วงพฤติกรรมอีลาสติก (Elastic Behavior) จนถึงจุดคราก (Yield point) ส่วนในช่วงพฤติกรรมแบบพลาสติก (Plastic Behavior) เนื่องจากความยาวส่วนที่ลดขนาด (Length of the reduced section) ของชิ้นทดสอบในโครงการนี้มีค่าเท่ากับ 30 mm จึงกำหนดอัตราเร็วในการทดสอบให้ไม่เกิน 1.5–15 mm/min ตามมาตรฐานที่กล่าวไปข้างต้น

2.4 ความเค้นและความเครียดของวัสดุ

วัสดุแต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติทางกลเป็นของตัวเอง ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะแสดงออกมาเมื่อวัสดุมีแรงกระทำจนทำให้เกิดความเสียหายหรือเกิดการเสียรูปถาวร เช่น ความแข็งแรง (Strength) ความเหนียว ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด เป็นต้น วิธีหนึ่งที่สามารถวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุได้ คือการนำวัสดุไปทดสอบกับเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) ซึ่งในการทดสอบของวัสดุแต่ละประเภทนั้นก็แตกต่างกันออกไป เช่น การใช้แรงดึง การใช้แรงกด การตัด เป็นต้น แต่ในวัสดุเหนียวทั่วไปส่วนมากจะทดสอบโดยการใช้แรงดึง เพื่อวัดค่าความเค้นและความเครียด ผลที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 2.10 ซึ่งจะเห็นได้ว่าวัสดุจะมีค่าความแรงคราก (Yield strength), ความทนแรงดึง (Tensile strength) และมอดุลัสของยัง (Young's modulus) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด มีค่าเท่ากับความชันในช่วงก่อนจุดคราก (Yield point)



รูปที่ 2.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด และค่ามอดุลัสของยังของวัสดุเหนียว [3]

จากรูปที่ 2.10 เมื่อทำการทดสอบผ่านเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) โดยวิธีการดึง แรงที่ใช้ดึงจะทำให้เกิดแรงภายในชิ้นส่วนซึ่งจะถูกแปรเปลี่ยนไปเป็นค่าความเค้น และระยะยืดจากการเสียรูปของวัสดุจะถูกแปรเปลี่ยนไปเป็นค่าความเครียด โดยมีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 2.3 , 2.4 และ 2.5

ความเค้น (Stress, σ) คือ ค่าที่เกิดจากแรงกระทำต่อวัสดุ โดยทำให้วัสดุเกิดการเสียรูปหรือเกิดความเสียหาย

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.3)$$

เมื่อ F คือ แรงที่กระทำตั้งฉากกับผิววัสดุ

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่ถูกแรงกระทำ

ความเครียด (Strain, ϵ) คือ ค่าที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุเทียบกับขนาดตั้งต้น

$$\epsilon = \frac{l-L}{L} \quad (2.4)$$

เมื่อ l คือ ความยาวสุดท้าย

L คือ ความยาวเริ่มต้น

มอดูลัสของยัง (Young's modulus) คือ ค่าที่บ่งบอกความยืดหยุ่นของวัสดุในช่วงก่อนที่จะเกิดการเสียรูปอย่างถาวร หรือในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2.5)$$

เมื่อ E คือ มอดูลัสสภาพยืดหยุ่น

2.5 ระบบดาต้าแอกควิซิชัน (Data acquisition)

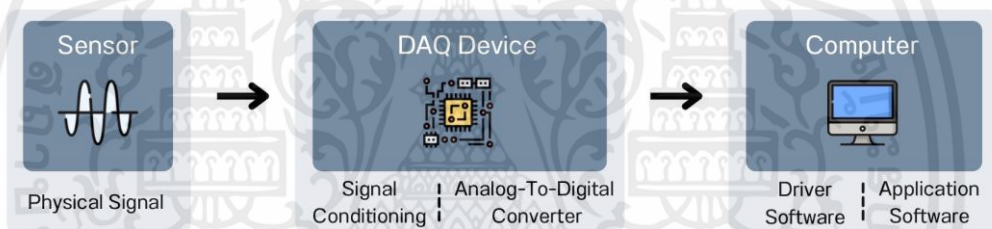
ระบบดาต้าแอกควิซิชัน (Data acquisition หรือ DAQ) เป็นกระบวนการแปลงข้อมูลต่างๆ เช่น ความดัน ระยะทาง และอุณหภูมิ เป็นต้น ไปยังข้อมูลดิจิทัล เพื่อให้สามารถแสดงวิเคราะห์และเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ได้ ตัวอย่างเช่น กระบวนการวัดอุณหภูมิในห้องเป็นค่าดิจิทัลโดยใช้เซนเซอร์ เช่น เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) เป็นต้น โดยแสดงดังแผนภาพในรูปที่ 2.11

ระบบดาต้าแอกควิซิชัน แบ่งองค์ประกอบได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. เซนเซอร์ (Sensors) เป็นอุปกรณ์ตรวจจับ, รับรู้ หรือบ่งบอกสถานะการเปลี่ยนแปลงปริมาณทางกายภาพของตัวแปรต่างๆ เช่น ค่าอุณหภูมิ (Temperature), ความชื้น (Humidity), ปริมาณอัตราการไหล (Flow Rates), ตำแหน่ง (Linear Displacement), ความดัน (Pressure) เป็นต้น

2. วงจรปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning) ในการวัดคุณภาพบนตัวแปลงสัญญาณมักจำเป็นต้องใช้วงจรเพิ่มเติมระหว่างตัวแปลงสัญญาณ และวงจรนี้โดยทั่วไปเรียกว่าการปรับสภาพสัญญาณ และอาจรวมถึงการขยาย การลดทอน หรือการกรอง เป็นต้น เซนเซอร์แต่ละตัวอาจมีความต้องการการปรับสภาพสัญญาณที่แตกต่างกัน

3. ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (Analog-to-Digital Converter หรือ ADC) จะเป็นการนำข้อมูลจากเซนเซอร์ มาแปลงเป็นระดับที่สามารถตีความได้โดยหน่วยประมวลผล ระดับการเปลี่ยนแปลงที่ในสัญญาณที่กำลังวัด สามารถบอกเป็นจำนวน "บิต" ถ้าหากว่าจำนวนบิตมาก จำนวนระดับที่สามารถแสดงสัญญาณอนาล็อกก็จะมากขึ้น ตัวแปลงสัญญาณนี้มักถูกใช้เพื่อนำข้อมูลนั้นมาวิเคราะห์ และควบคุมโดยซอฟต์แวร์ เช่น LabVIEW, Lutron เป็นต้น



รูปที่ 2.11 Block diagram ของระบบระบบดาต้าแอกควิซิชัน

2.5.1 ข้อมูลดิจิตอล (Digital Data)

ในทฤษฎีข้อมูล และระบบสารสนเทศเป็นข้อมูลที่แสดงถึงสตริงของสัญลักษณ์ที่ไม่ต่อเนื่องซึ่งแต่ละอันสามารถใช้ค่าได้เพียงจำนวนจำกัดจากตัวอักษรบางตัวเช่นตัวอักษรหรือตัวเลข ตัวอย่างเช่นเอกสารข้อความ ซึ่งประกอบด้วยสตริงของอักขระตัวอักษรและตัวเลข รูปแบบที่พบมากที่สุดของข้อมูลดิจิตอลในระบบสารสนเทศที่ทันสมัยคือข้อมูลไบนารีซึ่งแสดงด้วยสตริงของตัวเลขไบนารี (บิต) แต่ละค่าสามารถมีค่าหนึ่งในสองค่าไม่ว่าจะเป็น 0 หรือ 1 โดยข้อมูลบิตสามารถแสดงค่าได้ ดังนี้

$$1 \text{ bit} = 0, 1 = 2 \text{ ชุดข้อมูล}$$

$$2 \text{ bit} = 00, 01, 10, 11 = 4 \text{ ชุดข้อมูล}$$

$$3 \text{ bit} = 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111 = 8 \text{ ชุดข้อมูล}$$

...

$$n \text{ bit} = 2^n \text{ ชุดข้อมูล}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ความละเอียด (Resolution)

การใช้การแปลงข้อมูลอนาล็อกไปเป็นดิจิทัล ค่า Input มักจะถูกจัดเก็บทางอิเล็กทรอนิกส์ในรูปแบบเลขฐานสอง ความละเอียดมักจะแสดงเป็นความลึกของบิต (bits) ผลที่ตามมาจำนวนค่าที่ไม่ต่อเนื่องที่มีอยู่มักจะเป็นสองยกกำลัง ตัวอย่างเช่น ADC ที่มีความละเอียด 8 bit สามารถเข้ารหัสอินพุตอนาล็อกเป็นหนึ่งใน 256 ระดับที่แตกต่างกัน

ความละเอียดยังสามารถกำหนดด้วยไฟฟ้าและแสดงเป็นโวลต์ การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่จำเป็นเพื่อรับประกันการเปลี่ยนแปลงในระดับรหัสเอาต์พุตเรียกว่า แรงดันไฟฟ้าบิต (LSB) และความละเอียด (Q) ของ ADC เท่ากับแรงดันไฟฟ้า LSB ความละเอียดแรงดันไฟฟ้าของ ADC เท่ากับช่วงการวัดแรงดันไฟฟ้าโดยรวมหารด้วยจำนวนช่วง โดยคำนวณได้จากสมการที่ 2.6 และ 2.7 ดังนี้

$$Q = \frac{E_{FSR}}{2^M} \quad (2.6)$$

เมื่อ M คือ ความละเอียดของตัวแปลงสัญญาณ ADC ในหน่วย bit

E_{FSR} คือ ค่าความแตกต่างระหว่างค่าต่ำสุดกับค่าสูงสุดที่เครื่องซึ่งสามารถวัด

Q คือ ความละเอียดของตัวแปลงสัญญาณ ADC

$$E_{FSR} = V_{RefHi} - V_{RefLow} \quad (2.7)$$

เมื่อ V_{RefHi} คือ แรงดันไฟฟ้าที่สูงที่สุดที่สามารถวัดได้

V_{RefLow} คือ แรงดันไฟฟ้าที่ต่ำที่สุดที่สามารถวัดได้

2.5.3 อัตราการสุ่มตัวอย่าง

อัตราการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Rate) เป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุดของระบบอินพุตหรือเอาต์พุตแบบอนาล็อกคืออัตราที่อุปกรณ์วัดข้อมูล สัญญาณขาเข้าหรือสร้างสัญญาณเอาต์พุต อัตราการสุ่มตัวอย่างซึ่งเรียกว่าอัตราการสแกนใน NI-DAQ แบบดั้งเดิม คือ อัตราเร็วที่อุปกรณ์ได้รับหรือสร้างตัวอย่างในแต่ละช่องสัญญาณ อัตราการสุ่มตัวอย่างอินพุตที่รวดเร็วจะมีอัตราเร็วการรับข้อมูลมากขึ้นในเวลาที่กำหนด และสามารถสร้างสัญญาณได้ดีกว่าอัตราการสุ่มตัวอย่างที่ช้า การสร้างสัญญาณ 1 Hz โดยใช้ 1000 จุดต่อรอบที่ 1000 S/s ให้การแสดงที่ละเอียดกว่าการใช้ 10 จุดต่อรอบในอัตราตัวอย่าง หรือ 10 S/s

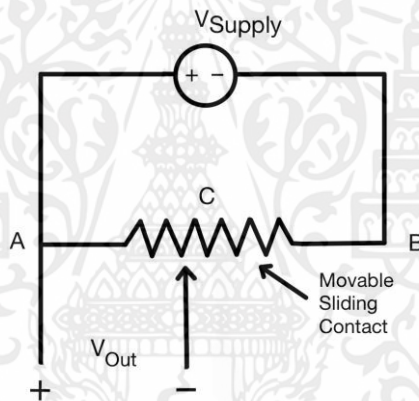
2.6 เซนเซอร์ (Sensor)

ในโครงงานนี้ใช้เซนเซอร์ 2 แบบ คือ

1. เซนเซอร์วัดระยะแบบ Potentiometer
2. เซนเซอร์วัดแรงแบบ Strain gauges

2.6.1 เซนเซอร์วัดระยะแบบ Potentiometer

ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนความต้านทาน (Resistive Transducer) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบมาเพื่อวัดปริมาณที่แตกต่างกัน เช่น แรง ความดัน อุณหภูมิและอื่นๆ ตัวแปลงสัญญาณเหล่านี้ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม โดยแสดงการเปลี่ยนแปลงในความต้านทานของพวกเขา การเปลี่ยนแปลงนี้สามารถวัดได้โดยการคำนวณทั้งแรงดันไฟฟ้าและกระแส การเปลี่ยนแปลงในปริมาณทางกายภาพส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของตัวแปลงสัญญาณต้านทาน โดยวงจรแสดงได้ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แผนภาพวงจรของเซนเซอร์วัดระยะแบบ Potentiometer

วงจรข้างต้นประกอบด้วยทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนความต้านทานและแรงดันไฟฟ้าที่จ่าย หรือ V_{Supply} หรือ V_S สามารถพูดได้ว่าทั้งสองนี้เชื่อมต่อกันควบคู่ไปกับจุด A และ B ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนความต้านทาน มีหน้าสัมผัสแบบเลื่อนซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ จุด C คือตัวแปรหนึ่งในวงจร ด้านบนแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต V_{Out} หรือ V_O จะถูกวัดข้ามจุด A และ C โดยคิดได้สมการที่ 2.8 ดังนี้

$$\frac{V_O}{V_S} = \frac{R_{AC}}{R_{AB}} = \frac{AC}{AB} \quad (2.8)$$

จากสมการที่ 2.8 ดังนั้นหากเลื่อนเป็นเส้นตรงจุด C ก็แตกต่างกันไปเช่นกัน ด้วยเหตุนี้แรงดันไฟฟ้าขาออก V_O จึงเปลี่ยนไปตามนั้น ในกรณีนี้สามารถหาการกระจัดโดยการวัดแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต หรือ V_O

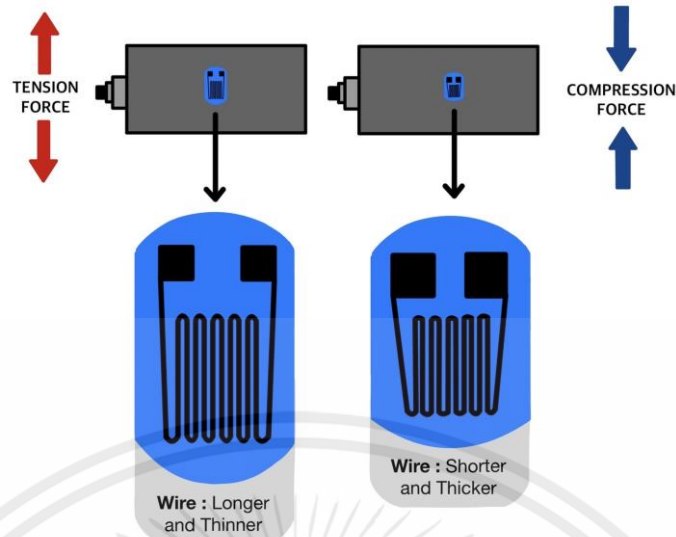
2.6.2 เซนเซอร์วัดแรงแบบ Strain gauges

เซนเซอร์วัดแรงแบบ Strain gauges มีหลากหลายชนิด โดยในโครงการนี้ได้เลือกใช้ชนิด Pancake เพราะ สามารถนำมาใช้ได้กับแรงกด และแรงดึง โดยค่าที่ออกมายังมีความแม่นยำสูง เนื่องจากมันมีจำนวนของ Stain Gauge ที่มากกว่าเซนเซอร์ประเภทอื่น ๆ โดยค่า Linearity และ Hysteresis จะอยู่ในระดับ 0.05 % จึงทำให้ Load Cell ประเภทนี้นิยมนำมาใช้กับงานเครื่องทดสอบแรงกดหรือแรงดึง ที่มีขนาดตั้งแต่ 500 กิโลกรัม ถึง 500 ตัน มีลักษณะดังรูปที่ 2.13



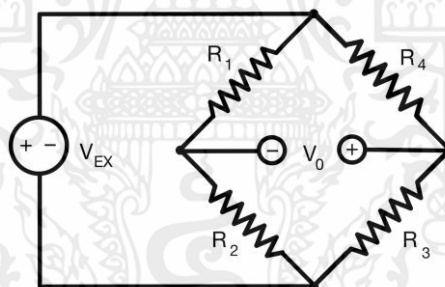
รูปที่ 2.13 เซนเซอร์วัดแรงแบบ Strain gauges ชนิด Pancake

มาตรวัดความเครียด (Strain gauges) มีหลักการทำงานคือเมื่อถูกแรงกระทำ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป (ยืด หด บิด งอ) จะเกิดการเสียรูปจากความเค้น โดยมาตรวัดความเครียด จะถูกติดตั้งใน เนื้อวัสดุของเซนเซอร์ ซึ่งจะตรวจจับการยืดหรือหดตัว ที่มีค่าน้อยมากของวัสดุ ทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้า กับแรงดึงที่ทำให้มาตรวัดความเครียด โดยเมื่ออยู่ภายใต้แรงดึง ทำให้มาตรวัดความเครียดบางลงและยาวขึ้น ความต้านทานจึงลดลง และเมื่ออยู่ภายใต้แรงอัด ทำให้มาตรวัดความเครียดหนาขึ้นและสั้นลง ความต้านทานจึงลดลง ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การทำงานของมาตรวัดความเครียด ที่ติดตั้งอยู่ในเซนเซอร์วัดแรง ขณะมีแรงดึงและแรงบีบอัด

วงจร Wheatstone Bridge เป็นการกำหนดค่าของตัวต้านทานที่สมดุลสี่ตัวที่มีแรงดันไฟฟ้าเข้า ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 วงจร Wheatstone Bridge

หากตัวต้านทานทั้งหมดมีความสมดุล คือ $R_1/R_2 = R_3/R_4$ ถ้าหากว่า V_0 เป็นศูนย์ หากมีการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวต้านทานตัวหนึ่งที่ V_0 จะมีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นซึ่งสามารถวัด และตีความได้โดยใช้กฎของโอห์มแสดงในสมการ $I = V/R$ จะได้ความสัมพันธ์เป็นดังสมการที่ 2.9

$$V_0 = \left[\frac{R_3}{R_3+R_4} - \frac{R_2}{R_1+R_2} \right] \times V_{EX} \quad (2.9)$$

เมื่อ V_{EX} คือ แรงดันไฟฟ้าคงที่

V_0 คือ แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโหนดเซลล์ ตัวต้านทานเหล่านี้จะถูกแทนที่ด้วยมาตรวัดความเครียด (Strain gauges) ในการวัดความตึงเครียดและการบีบอัดสลับกัน เมื่อแรงถูกนำไปใช้กับโหนดเซลล์ความต้านทานในแต่ละโหนด ความเครียดจะเปลี่ยนแปลงและวัดค่า V_0 ได้

2.7 การสอบเทียบเครื่องมือวัด (Calibrate)

การสอบเทียบเครื่องมือวัด (Calibrate) คือกระบวนการในการตรวจสอบและสอบเทียบเครื่องมือวัดให้มีความถูกต้องตามขอบข่ายความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้และกำหนดไว้ เพื่อให้ได้มาตรฐานรวมถึงความแม่นยำในการอ่านค่าก่อนนำไปใช้งาน ดังนั้นจึงควรสอบเทียบเซ็นเซอร์ในระบบที่จะใช้งานจริง และสามารถจำแนกเงื่อนไขในการสอบเทียบออกเป็น 2 ข้อ ดังนี้

1. ไม่มีเซ็นเซอร์ที่สมบูรณ์แบบ

- การผลิตหมายความว่าแม้แต่เซ็นเซอร์สองตัวจากการผลิตของผู้ผลิตรายเดียวกันอาจแตกต่างกันเล็กน้อย

- การวัดค่าที่แตกต่างกัน เนื่องมาจากความร้อน, ความชื้น ฯลฯ ของในระหว่างการเก็บรักษา, การจัดส่ง หรือการประกอบ

- เซ็นเซอร์บางอย่างเมื่ออายุการใช้งานมากขึ้น การตอบสนองจะเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป จึงจำเป็นต้องสอบเทียบเครื่องมือเป็นระยะ

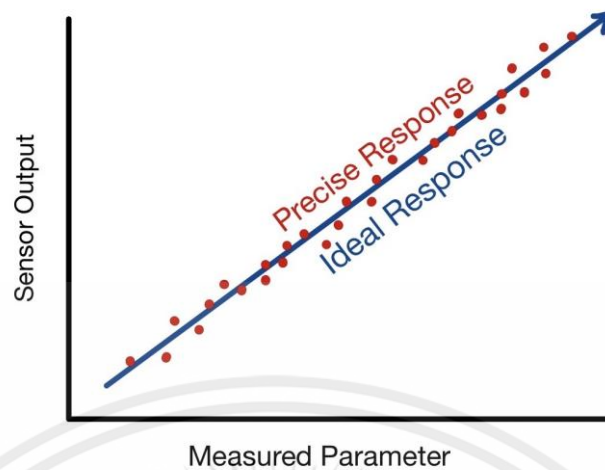
2. เซ็นเซอร์เป็นเพียงส่วนประกอบเดียวในระบบการวัด

- เซ็นเซอร์อนาล็อก ADC เป็นส่วนหนึ่งของระบบการวัดและขึ้นอยู่กับความแปรปรวนเช่นการวัดอุณหภูมิขึ้นอยู่กับการไล่ระดับความร้อนระหว่างเซ็นเซอร์และจุดวัด

- เซ็นเซอร์วัดแสงและสีอาจได้รับผลกระทบจากการกระจายสเปกตรัมโดยรอบแสงการสะท้อนแบบสเปกตรัมและปรากฏการณ์ทางแสงอื่นๆ

- เซ็นเซอร์เฉื่อยมักจะมีข้อผิดพลาด 'ออฟเซตศูนย์' และไวต่อการจัดตำแหน่งกับระบบที่กำลังวัด

โดยวิธีการทดสอบการสอบเทียบมีวิธีที่แตกต่างกันไปหลายวิธี ซึ่งในการทดสอบจริงอาจจะมีค่าข้อมูลเข้าและออกที่คลาดเคลื่อน ผลการทดสอบการสอบเทียบจะเห็นได้จากรูปที่ 2.16

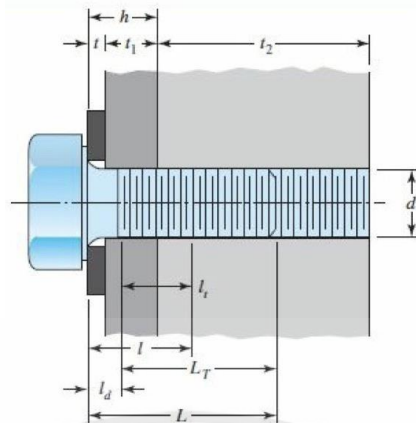


รูปที่ 2.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากเซนเซอร์ กับตัวแปรที่วัดค่า

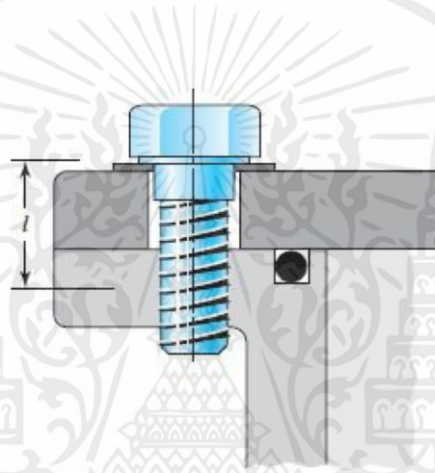
จากรูปที่ 2.16 จะเห็นได้ว่าวิธีการสอบเทียบจะเป็นความสัมพันธ์ของตัวแปรหรือสิ่งที่กำลังสนใจ การอ่านค่าข้อมูลเข้าและออกหลายๆข้อมูลทำให้ข้อมูลเกิดความคลาดเคลื่อน ดังนั้นเพื่อหาความสัมพันธ์หรือทำนายข้อมูลต่าง ๆ จำเป็นต้องหาสมการของการสอบเทียบโดยใช้สมการเส้นตรง (Linear Regression) ซึ่งจะถูกใช้ในการคำนวณค่าที่เป็นตัวเลข

2.8 ความลึกของเกลียว

อุปกรณ์ยึดเซนเซอร์วัดแรงจำเป็นต้องมีการเจาะรูและทำเกลียวเพื่อยึดตัวเซนเซอร์วัดแรง ดังนั้นเมื่อต้องการเชื่อมต่อชิ้นส่วน 2 ชิ้นเข้าด้วยกันโดยที่สามารถถอดประกอบได้โดยไม่ต้องทำลายชิ้นส่วนนั้น และมีความแข็งแรงมากพอที่จะต้านทานแรงดึงภายนอก (External tensile loads) ภาระโมเมนต์ (Moment loads) และ ความเค้นเฉือน (Shear stress) มีวิธีที่สามารถทำได้ คือ การสร้างเกลียวยึดโดยใช้สกรูในการยึดเข้าด้วยกัน โดยแสดงภาพหน้าตัดแสดงลักษณะการยึดกันของชิ้นงานดังรูปที่ 2.17 และ 2.18



รูปที่ 2.17 ภาพหน้าตัดแสดงลักษณะการยึดกันของชิ้นงานด้วยสกรู [6]



รูปที่ 2.18 ภาพหน้าตัดแสดงระยะทั้งหมดในการจับยึดที่มีประสิทธิภาพ [6]

โดย Grip length (l) คือ ระยะทั้งหมดในการจับยึดที่มีประสิทธิภาพ มีวิธีการคำนวณหาค่า ดังสมการที่ 2.10

$$l = \begin{cases} h + t_2/2, & t_2 < d \\ h + d/2, & t_2 \geq d \end{cases} \quad (2.10)$$

2.9 ค่าสัดส่วนความปลอดภัย

ค่าสัดส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) คือ ส่วนหนึ่งของการออกแบบทางวิศวกรรมและให้เห็นว่าสามารถจะรับภาระมากกว่าที่ออกแบบไว้เพียงใด เช่น การออกแบบสะพานและอาคาร จะเลือกใช้วัสดุที่สามารถรับแรงได้มากกว่าที่ออกแบบไว้ตอนแรก เนื่องจากอาจจะมีปัจจัยอื่นๆ ที่จะส่งผลต่อด้านความปลอดภัย ที่ต้องพิจารณาขีดความสามารถของโครงสร้างที่จะนำไปใช้งานจริง โดยสามารถกำหนดค่าสัดส่วนความปลอดภัย สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.11

$$FS = FS_{\text{material}} \times FS_{\text{stress}} \times FS_{\text{geometry}} \times FS_{\text{failure theory}} \times FS_{\text{reliability}} \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Estimating the Contribution for the Material

$FS_{\text{material}} = 1.0$	If the properties for the material are well known, if they have been experimentally obtained from tests on a specimen known to be identical to the component being designed and from tests representing the loading to be applied
$FS_{\text{material}} = 1.1$	If the material properties are known from a handbook or are manufacturer's values
$FS_{\text{material}} = 1.2-1.4$	If the material properties are not well known

Estimating the Contribution for the Load Stress

$FS_{\text{stress}} = 1.0-1.1$	If the load is well defined as static or fluctuating, if there are no anticipated overloads or shock loads, and if an accurate method of analyzing the stress has been used
$FS_{\text{stress}} = 1.2-1.3$	If the nature of the load is defined in an average manner, with overloads of 20–50%, and the stress analysis method may result in errors less than 50%
$FS_{\text{stress}} = 1.4-1.7$	If the load is not well known or the stress analysis method is of doubtful accuracy

Estimating the Contribution for Geometry (Unit-to-Unit)

$FS_{\text{geometry}} = 1.0$	If the manufacturing tolerances are tight and held well
$FS_{\text{geometry}} = 1.0$	If the manufacturing tolerances are average
$FS_{\text{geometry}} = 1.1-1.2$	If the dimensions are not closely held

Estimating the Contribution for Failure Analysis

$FS_{\text{failure theory}} = 1.0-1.1$	If the failure analysis to be used is derived for the state of stress, as for uniaxial or multiaxial static stresses, or fully reversed uniaxial fatigue stresses
$FS_{\text{failure theory}} = 1.2$	If the failure analysis to be used is a simple extension of the preceding theories, such as for multiaxial, fully reversed fatigue stresses or uniaxial nonzero mean fatigue stresses
$FS_{\text{failure theory}} = 1.3-1.5$	If the failure analysis is not well developed, as with cumulative damage or multiaxial nonzero mean fatigue stresses

Estimating the Contribution for Reliability

$FS_{\text{reliability}} = 1.1$	If the reliability for the part need not be high, for instance, less than 90%
$FS_{\text{reliability}} = 1.2-1.3$	If the reliability is an average of 92–98%
$FS_{\text{reliability}} = 1.4-1.6$	If the reliability must be high, say, greater than 99%

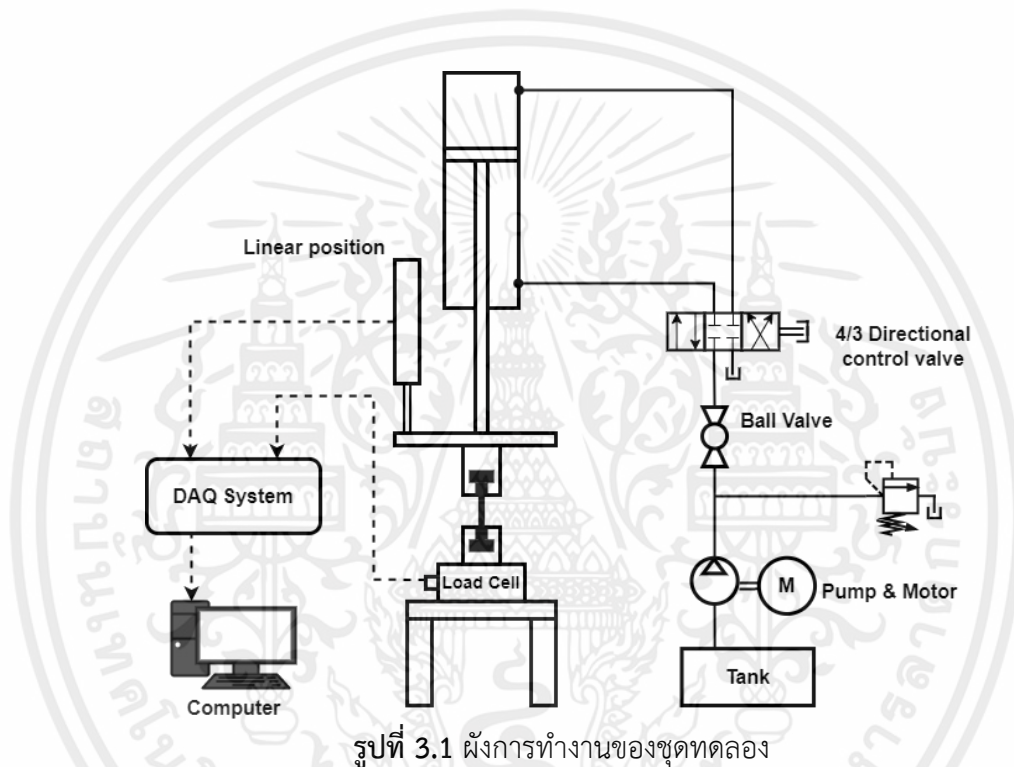
รูปที่ 2.19 สัดส่วนความปลอดภัยในเงื่อนไขต่างๆ [8]

จากรูปที่ 2.19 สามารถหาได้ FS_{material} , FS_{stress} , FS_{geometry} , $FS_{\text{failure theory}}$ และ $FS_{\text{reliability}}$ เพื่อไปกำหนดค่าสัดส่วนความปลอดภัยในการออกแบบต่อไป

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง อุปกรณ์วัดค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องในการทดลอง และวิธีการทดลองเพื่อทดสอบแรงดึงของชิ้นทดสอบ ซึ่งรายละเอียดมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 ผังการทำงานของชุดทดลอง

จากรูปที่ 3.1 เป็นผังการทำงานของชุดทดลองโดยแรงที่ใช้ดึงของเครื่องทดสอบแรงดึงมาจากการส่งกำลังของระบบไฮดรอลิก การควบคุมอัตราเร็วในการดึงด้วยการควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกผ่านการปรับวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบ Ball valve การปรับวาล์วควบคุมอัตราการไหลจะปรับเพียงครั้งเดียวในช่วงก่อนเริ่มการทดสอบ ควบคุมการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบผ่านวาล์วควบคุมทิศทางการไหลโดยใช้คันโยกที่ติดอยู่กับตัววาล์ว ขณะที่ทำการทดสอบแรงดึง DAQ system จะทำการเก็บข้อมูลในรูปแบบสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากเซนเซอร์วัดแรง และเซนเซอร์วัดระยะยืด จากนั้นแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิทัล แล้วแสดงผลและบันทึกผลผ่านโปรแกรม LabVIEW ในรูปแบบกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดกับเวลา กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะยืด นำข้อมูลแรงและระยะยืดไปคำนวณเพื่อแสดงเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

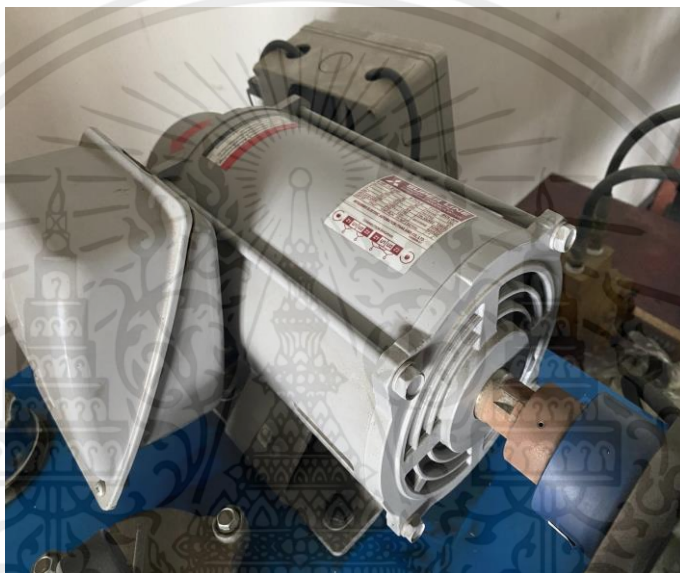
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 อุปกรณ์

3.1.1 Hydraulic Power Unit

เป็นอุปกรณ์หลักของระบบไฮดรอลิกเนื่องจากเป็นตัวสร้างแรงดันให้กับน้ำมันในระบบ และทำหน้าที่ในการส่งจ่ายน้ำมันไฮดรอลิกไปยังอุปกรณ์ไฮดรอลิกในระบบ ประกอบด้วย

3.1.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ในรูปที่ 3.2 ทำหน้าที่ส่งกำลังให้ระบบไฮดรอลิก ด้วยการเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น SCL-KR ขนาด 1.5 kW 50 Hz ความเร็วรอบสูงสุด 1450 rpm



รูปที่ 3.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น SCL-KR

กำลังสูงสุดที่ต้องการใช้ในการทดสอบ เมื่ออัตราเร็วในการทดสอบสูงสุดอยู่ที่ 15 mm/min และแรงดึงสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบของโครงการนี้คิดจากสมการ 2.3 นำค่าความทนแรงดึง (Tensile strength) ของเหล็ก SR24 ทารด้วยพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ เท่ากับ 10885.62 N

$$P = F \times v \quad (3.1)$$

เมื่อ P คือ กำลังของมอเตอร์

F คือ แรง

v คือ อัตราเร็วในการทดสอบสูงสุด

จากสมการ 3.1 จะได้กำลังสูงสุดที่ต้องการเท่ากับ 2.72 W ซึ่งน้อยกว่าขนาดมอเตอร์หลายเท่า

3.1.1.2 ปัมประเภท External gear pump ในรูปที่ 3.3 ทำหน้าที่สร้างอัตราการไหลของน้ำมัน ยี่ห้อ Marzocchi รุ่น ALP2A-D-10 ความดันใช้งานต่อเนื่องสูงสุดที่ 250 bar การกระจัดเชิงปริมาตร 7 cc/rev (Pump volumetric displacement, cm^3/rev) ความเร็วสูงสุด 4000 rpm



รูปที่ 3.3 ปัมประเภท External gear pump ยี่ห้อ Marzocchi รุ่น ALP2A-D-10

3.1.1.3 วาล์วปลดความดัน (Pressure relief valve) ในรูปที่ 3.4 ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันในระบบไม่ให้เกินค่าที่ตั้งไว้ ยี่ห้อ HydroTechnic รุ่น RV-04T-3-30 รับความดันได้สูงสุด 250 bar และอัตราการไหลสูงสุด 50 LPM



รูปที่ 3.4 วาล์วปลดความดัน ยี่ห้อ HydroTechnic รุ่น RV-04T-3-30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.4 วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Ball valve) ในรูปที่ 3.5 รุ่น TL-KHB-G1/4 สามารถรับความดันได้สูงสุด 500 bar ใช้การหมุนมือจับเพื่อปรับอัตราการไหล



รูปที่ 3.5 วาล์วควบคุมอัตราการไหล รุ่น TL-KHB-G1/4

3.1.1.5 วาล์วควบคุมทิศทางการไหล (Directional control valve) 4/3 (วาล์ว 4 ทาง / 3 ตำแหน่ง) แบบปกติปิด (Normally close, NC) ในรูปที่ 3.6 ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของลูกสูบ โดยใช้คันโยกในการเปลี่ยนตำแหน่งของวาล์วเพื่อควบคุมลูกสูบ



รูปที่ 3.6 วาล์วควบคุมทิศทางการไหล 4/3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.6 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flowmeter) ในรูปที่ 3.7 ทำหน้าที่วัดอัตราการไหลของระบบไฮดรอลิก ยี่ห้อ Hedland รุ่น H601A-005 ช่วงการไหลที่สามารถวัดได้ 0.5 ถึง 5 GPM ความดันสูงสุดที่สามารถรับได้คือ 241 bar



รูปที่ 3.7 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล ยี่ห้อ Hedland รุ่น H601A-005

3.1.1.7 ตัวกรองน้ำมันขากลับ (Return Line Filter) ในรูปที่ 3.8 ทำหน้าที่กรองสิ่งสกปรกในน้ำมันไฮดรอลิกก่อนกลับลงถัง ยี่ห้อ UFI รุ่น FRA31B06BNFD32WX รหัสไส้กรอง (Filter element) ERA31NFD ความดันสูงสุดที่สามารถรับได้คือ 3 bar



รูปที่ 3.8 ตัวกรองน้ำมันขากลับ ยี่ห้อ UFI รุ่น FRA31B06BNFD32WX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.8 ระบายสูบแบบแกนเพลลาเดี่ยวเคลื่อนที่ 2 ทาง (เข้า-ออก) ในรูปที่ 3.9 ทำหน้าที่เป็นตัวทำงาน (Actuator) สามารถรับความดันได้สูงสุด 200 bar ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 90 mm เส้นผ่านศูนย์กลางใน 70 mm ระยะชัก 220 mm เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ 45 mm



รูปที่ 3.9 ระบายสูบแบบแกนเพลลาเดี่ยวเคลื่อนที่ 2 ทาง

3.1.2 โครงสร้างยึดและฐาน

ส่วนบนของโครงสร้างจะเป็นระบายสูบไฮดรอลิกที่ติดตั้งในลักษณะตั้งฉากกับพื้นโลก โดยให้ด้านก้านสูบคว่ำลง ดังรูปที่ 3.10 โครงสร้างมีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 300 x 500 x 540 mm เสารับแรง 4 ต้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm



รูปที่ 3.10 โครงสร้างยึดและฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 อุปกรณ์ยึดเซนเซอร์วัดแรง

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการยึดเซนเซอร์วัดแรงเข้ากับตัวฐานในรูปที่ 3.10 โดยจะวางเซนเซอร์วัดแรงไว้ที่ตำแหน่งตรงกลางของแผ่นเหล็กยึดในรูปที่ 3.11 แล้วยึดด้วยสกรู M6 จำนวน 8 ตัว จากนั้นใช้อุปกรณ์ยึดแผ่นเหล็กในรูปที่ 3.12 ยึดแผ่นเหล็กเข้ากับฐานของเครื่องทดสอบแรงดึงด้วยสกรู M12 จำนวน 2 ตัว

3.1.3.1 แผ่นเหล็กยึดเซนเซอร์วัดแรง ในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แผ่นเหล็กยึดเซนเซอร์วัดแรง

3.1.3.2 ตัวยึดแผ่นเหล็กจำนวน 2 อัน ใช้ในการยึดแผ่นเหล็กเข้ากับฐาน ในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ตัวยึดแผ่นเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 หัวจับขึ้นทดสอบ

มีอยู่ด้วยกัน 2 ส่วน คือ ส่วนที่ติดตั้งกับก้านสูบด้านบน และส่วนที่ติดกับเซนเซอร์วัดแรงด้านล่าง ดังรูปที่ 3.13 หัวจับขึ้นงานทั้ง 2 ส่วนผ่านการชุบแข็งเพื่อเพิ่มค่าความแรงคราก (Yield strength) ของวัสดุ และทำขึ้นมาเพื่อใช้กับขึ้นทดสอบที่มีขนาดตามหัวข้อที่ 3.2.2 เท่านั้น



รูปที่ 3.13 หัวจับขึ้นทดสอบ

3.1.5 ชิ้นทดสอบ

ชิ้นทดสอบ (Specimen) ออกแบบตามมาตรฐาน ASTM E8/E8M-13a ดังรูปที่ 3.14 ซึ่งเป็นมาตรฐานการทดสอบแรงดึงของวัสดุที่เป็นโลหะ ในโครงการนี้จะใช้วัสดุอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5 (Aluminium alloy 6063-T5, AA6063-T5) และเหล็ก SR24 ในการทำชิ้นทดสอบ



รูปที่ 3.14 ชิ้นทดสอบ โดยด้านซ้ายเป็นอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5 และด้านขวาเป็นเหล็ก SR24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 Ni USB-6008

ในรูปที่ 3.15 คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณที่รับค่ามาจากอุปกรณ์ที่ทำการวัดค่าต่างๆ โดยสามารถแปลงสัญญาณจากดิจิตอลเป็นอนาล็อกและจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลข้อมูลที่ได้รับมาจากอุปกรณ์วัดค่าต่างๆได้ ซึ่ง Ni USB-6008 จะเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โดยพอร์ต USB



รูปที่ 3.15 Ni USB-6008

คุณสมบัติของ Ni USB-6008

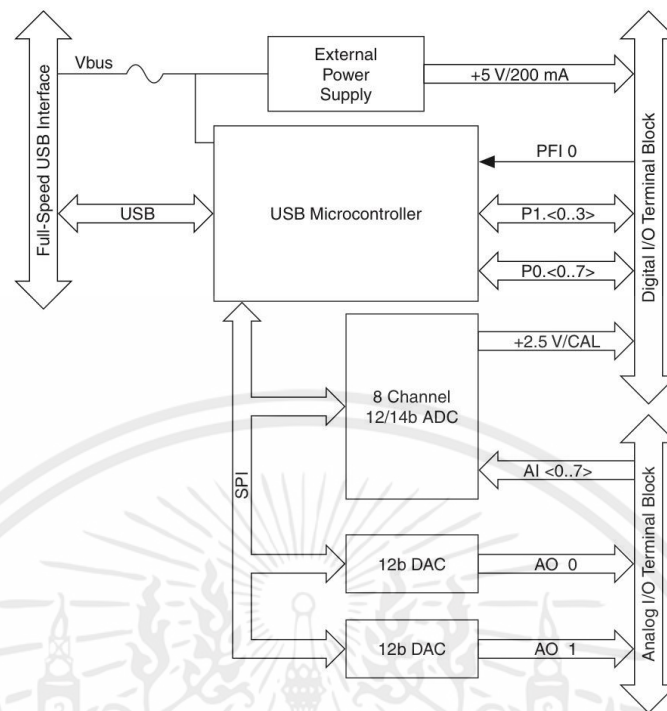
- ความละเอียดอนาล็อกอินพุต ขนาด 12 bit
- อนาล็อกอินพุต 8 ช่อง
- อนาล็อกเอาต์พุต 2 ช่อง
- ดิจิตอลอินพุต/เอาต์พุต 12 ช่อง
- counter ขนาด 32 bit

พอร์ตแบบ USB รับส่งข้อมูลแบบ Full speed โครงสร้างองค์ประกอบฟังก์ชันการใช้งานของ Ni USB-6008 มีส่วนประกอบหลัก ดังนี้

- USB ไมโครคอนโทรลเลอร์
- หน่วยรับและส่งออกข้อมูลอนาล็อก I/O (input/output)
- หน่วยส่งออกข้อมูลดิจิตอล
- แหล่งจ่ายไฟภายนอก +5V, 200 mA

โดยมีโครงสร้างองค์ประกอบของฟังก์ชันการใช้ของ Ni USB-6008 ดังรูปที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

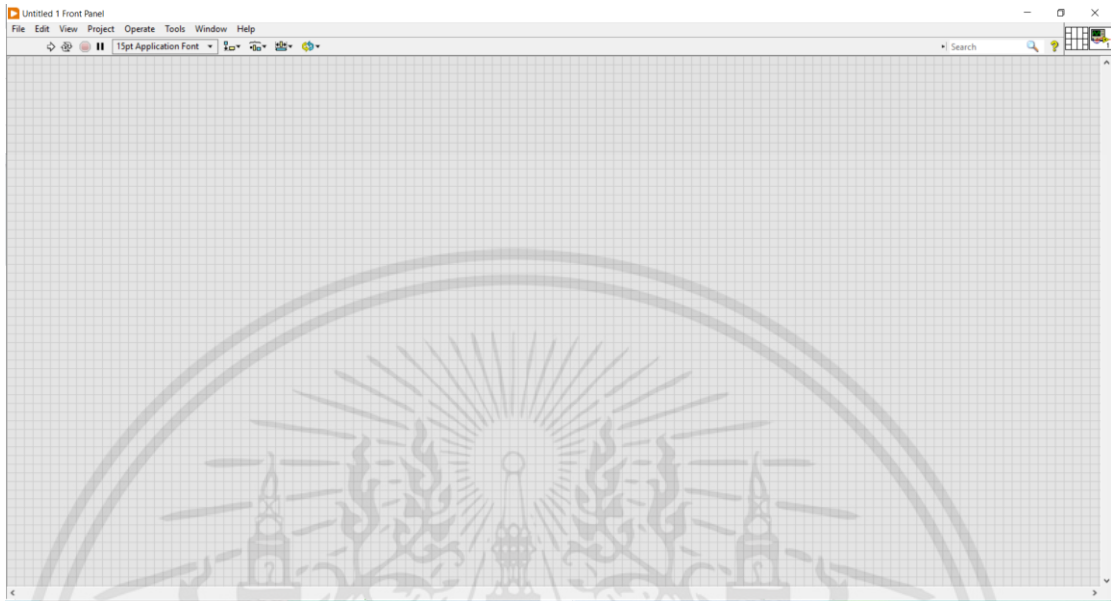


รูปที่ 3.16 โครงสร้างองค์ประกอบฟังก์ชันการใช้งานของ Ni USB-6008 [17]

3.1.7 โปรแกรม LabVIEW

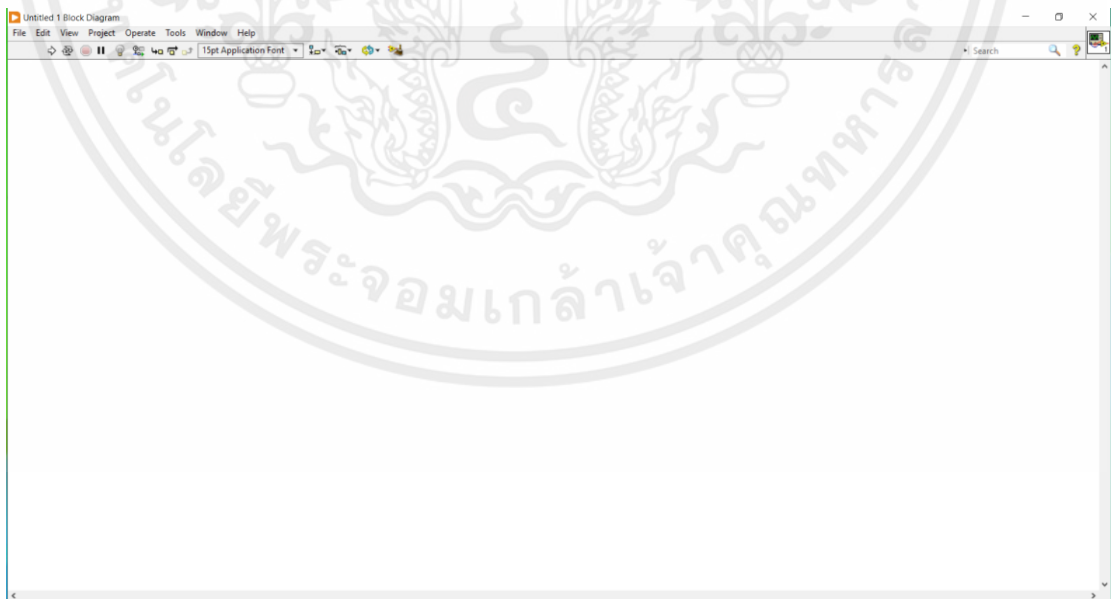
โปรแกรม LabVIEW คือ โปรแกรมประยุกต์ที่ใช้การเขียนโปรแกรมแบบกราฟิกหรือภาษารูปภาพ (Graphic language) ลักษณะการทำงานแบบ Data flow เป็นโปรแกรมที่ถูกนำมาใช้กับเครื่องมือวัดและการวัดในทางวิศวกรรม การทำงานหลักของโปรแกรมนี้นี้เพื่อการจัดการในด้านการวัดและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาอย่างมีประสิทธิภาพ โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาจะเรียกว่า Virtual Instrument (VI) หรือเครื่องมือวัดเสมือนจริงเพราะตัวโปรแกรมที่เขียนขึ้นสามารถทำให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการทำงานอุปกรณ์ต่างๆได้ Virtual Instrument หนึ่งแบบ จะประกอบด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ

1. Front panel ใช้ในการควบคุมการทำงานและการป้อนค่าอินพุต เอาต์พุตและแสดงผล ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 หน้าต่าง Front panel

2. Block diagram เป็นคำสั่ง ที่เขียนใน LabVIEW ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยค่าตัวแปร ฟังก์ชัน และการควบคุมการทำงานต่างๆ ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 หน้าต่าง Block diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.8 เซนเซอร์วัดแรง

เซนเซอร์วัดแรง (Load cell) รุ่น ZNL.BU-3T ในรูปที่ 3.19 คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการมีความสามารถในการรับแรงสูงสุด 3 ตัน ความไวของสัญญาณ (Sensitivity) คือ 2 mV/V ทำหน้าวัดแรงโดยอุปกรณ์จะแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดกับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอยู่ในช่วง 5-15 V



รูปที่ 3.19 เซนเซอร์วัดแรง รุ่น ZNL.BU-3T

3.1.9 เซนเซอร์วัดระยะ

เซนเซอร์วัดระยะ (Linear Position sensor) ยี่ห้อ Accuiacy รุ่น KTC-200 ในรูปที่ 3.20 คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการมีช่วงระยะยืดสูงสุด 20.5 cm ทำหน้าที่วัดระยะทางโดยอุปกรณ์จะทำการวัดระยะทางโดยใช้การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน ซึ่งอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงระยะการเคลื่อนที่และตำแหน่งให้อยู่ในรูปของค่าความต้านทานทางไฟฟ้า ที่มีค่าความต้านทานสูงสุด 5000 Ω



รูปที่ 3.20 เซนเซอร์วัดระยะ ยี่ห้อ Accuacy รุ่น KTC-200

3.1.10 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ

อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Amplifier) ยี่ห้อ KYOWA รุ่น WGA-100B ในรูปที่ 3.21 คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการมีอัตราการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตอยู่ที่ ± 10 V กระแสไฟฟ้า 4 ถึง 20 mA ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์วงจรไฟฟ้าแบบหนึ่งที่ใช้ในการขยายสัญญาณไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น



รูปที่ 3.21 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ ยี่ห้อ KYOWA รุ่น WGA-100B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.11 พาวเวอร์ซัพพลาย (DC power supply)

พาวเวอร์ซัพพลาย (DC power supply) ยี่ห้อ UNI-T รุ่น UTP3315TFL-II ในรูปที่ 3.22 คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการมีแรงดันขาออก 0 ถึง 30 V และมีกระแสไฟฟ้าขาออก 0 ถึง 5 A ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์และเซนเซอร์วัดค่าต่างๆ



รูปที่ 3.22 พาวเวอร์ซัพพลาย ยี่ห้อ UNI-T รุ่น UTP3315TFL-II

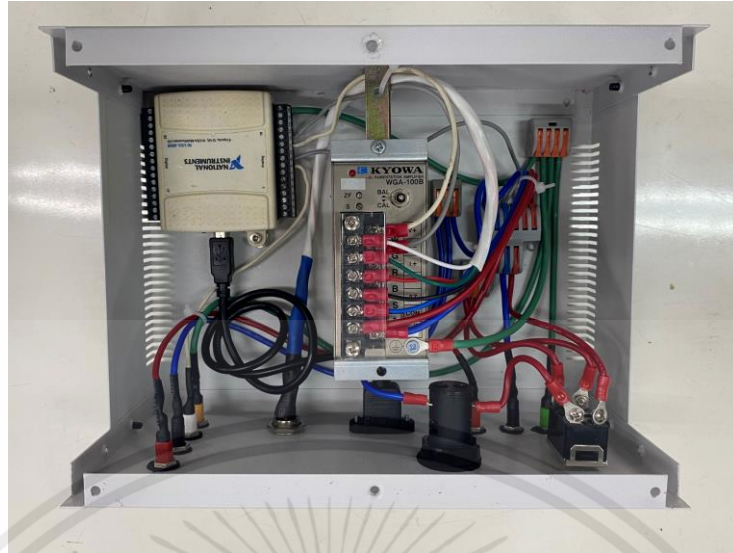
3.1.12 กล่องควบคุม

กล่องควบคุม ในรูปที่ 3.23 คือ กล่องที่ใช้ในการเปิด-ปิด ไฟเลี้ยงในส่วนของเซนเซอร์ทั้ง 2 ตัว และภายในกล่องจะประกอบไปด้วย อุปกรณ์ขยายสัญญาณ และ Ni USB-6008 ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.23 ภายนอกของกล่องควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



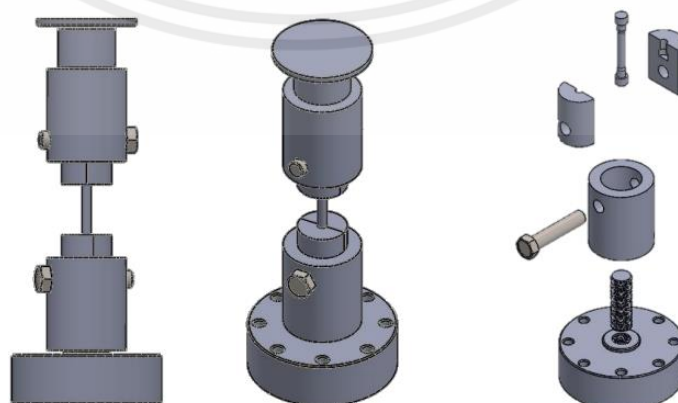
รูปที่ 3.24 ภายในของกล่องควบคุม

3.2 ขั้นตอนการทดสอบ

หัวข้อนี้ประกอบด้วยการออกแบบอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทดสอบแรงดึง ขั้นตอนการทำงาน ของอุปกรณ์แต่ละตัว รวมถึงขั้นตอนการใช้งานเครื่องทดสอบแรงดึง

3.2.1 หัวจับขึ้นทดสอบ

หัวจับขึ้นทดสอบหรือกริป (Split collar grip) เป็นแบบปลอกสวมแยก หัวจับขึ้นทดสอบ ประเภทนี้จะใช้ได้กับขึ้นทดสอบประเภทที่มีการทำบ่าเพลลาเท่า ซึ่งข้อดีของหัวจับขึ้นทดสอบประเภท นี้ นอกจากง่ายต่อการผลิตแล้ว หัวจับไม่มีการกดไปที่ขึ้นทดสอบเพื่อเพิ่มแรงเสียดทานไม่ให้ขึ้น ทดสอบหลุดระหว่างการดึงเหมือนกับหัวจับขึ้นทดสอบทั่วไป ดังนั้นหัวจับขึ้นทดสอบนี้จึงไม่มีแรง ภายนอกมากระทบซึ่งก่อให้เกิดความเค้นมากขึ้นในตัวขึ้นทดสอบและกำหนดค่าสัดส่วนความ ปลอดภัยเท่ากับ 1.6 โดยการประมาณค่าสัดส่วนความปลอดภัยได้ $FS = 1.573$ โดย $FS_{material} = 1.1$, $FS_{stress} = 1.1$, $FS_{geometry} = 1$, $FS_{failure\ theory} = 1.1$, $FS_{reliability} = 1.3$ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง สูงสุดโดยประมาณ 55 mm และความยาวรวม 2 ด้าน (บน - ล่าง) 160 mm ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 หัวจับขึ้นทดสอบที่ได้ทำการออกแบบ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ในการสร้างหัวจับขึ้นทดสอบเกิดปัญหาในส่วนของ การตัดแบ่งครึ่งขึ้นทดสอบจะส่งผลให้หัวจับขึ้นทดสอบไม่สามารถประกบกันสนิทและเกิดการบีบอัดกับขึ้นทดสอบมีผลให้ค่าในการทดสอบเกิดความผิดพลาด จึงได้ดำเนินการปรับปรุงรูปแบบของหัวจับขึ้นทดสอบให้มีความคล้ายคลึงกับที่จำลองและสามารถติดตั้งขึ้นทดสอบในขณะที่ทำการทดลองง่ายขึ้นดังรูปที่ 3.26 และทำการชุบแข็งหัวจับขึ้นทดสอบเพื่อเพิ่มค่าความแรงคราก (Yield strength) ของวัสดุ และได้ทำการคำนวณค่าสัดส่วนความปลอดภัยได้เท่ากับ 1.97 ซึ่งมากกว่า 1.6 ที่ได้กำหนดไว้

โดยลักษณะของหัวจับขึ้นทดสอบใหม่ออกแบบให้เหลือเป็นเพียงชิ้นเดียว พื้นที่บริเวณบ่ารับแรงมีขนาดเล็กลงเนื่องจากทำร่องเพื่อให้ขึ้นทดสอบสามารถใส่เข้ามาได้ง่ายดังรูปที่ 3.26 วิธีประกอบเข้ากับขึ้นทดสอบ สามารถทำได้โดยให้ระยะของหัวจับด้านบนเลื่อนลงมาถึงระยะที่กำหนดไว้ จากนั้นใส่ขึ้นทดสอบเข้าไปสุดด้านในของหัวจับ

จากข้อมูลข้างต้นเป็นส่วนหนึ่งของปริญญาานิพนธ์นักศึกษาวิศวกรรมเครื่องกลปีการศึกษา 2560 หากต้องการศึกษาเพิ่มเติมถึงรายละเอียดในการออกแบบและสร้างหัวจับขึ้นทดสอบสามารถศึกษาต่อได้ที่ปริญญาานิพนธ์ของนักศึกษาวิศวกรรมเครื่องกลปีการศึกษา 2560 [1]



รูปที่ 3.26 หัวจับขึ้นทดสอบที่ได้ทำการปรับปรุง [1]

3.2.2 การออกแบบอุปกรณ์ยึดเซนเซอร์วัดแรง

โดยลักษณะของอุปกรณ์ยึดเซนเซอร์วัดแรง ออกแบบให้เหมาะสมต่อการรับแรง และออกแบบขนาดให้สามารถถอดประกอบได้สะดวก โดยคำนึงถึงการใช้วัสดุไม่ให้เกิดความจำเป็น โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดค่าสัดส่วนความปลอดภัย

ค่าสัดส่วนความปลอดภัยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.11

$$FS = FS_{\text{material}} \times FS_{\text{stress}} \times FS_{\text{geometry}} \times FS_{\text{failure theory}} \times FS_{\text{reliability}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย $FS_{\text{material}} = 1.1$

$FS_{\text{stress}} = 1.1$

$FS_{\text{geometry}} = 1$

$FS_{\text{failure theory}} = 1$

$FS_{\text{reliability}} = 1.2$

สามารถคำนวณค่าสัดส่วนความปลอดภัยได้เท่ากับ 1.45

2. การคำนวณระยะในการทำเกลียวยึด

เงื่อนไขเนื่องจาก รูของเซนเซอร์วัดแรงที่ไว้ใช้ในการยึด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 6.5 mm และความหนาของเซนเซอร์ที่ 34 mm จึงเลือกสกรูที่ขนาด M6 และคำนวณหา Grip length จากสมการที่ 2.10

$$l = h + d/2 \\ = 34 + 6/2 = 38 \text{ mm}$$

ดังนั้น ควรเลือกความลึกเกลียวที่มากกว่า $38 - 34 = 4$ mm และได้เลือกไว้ที่ 16 mm

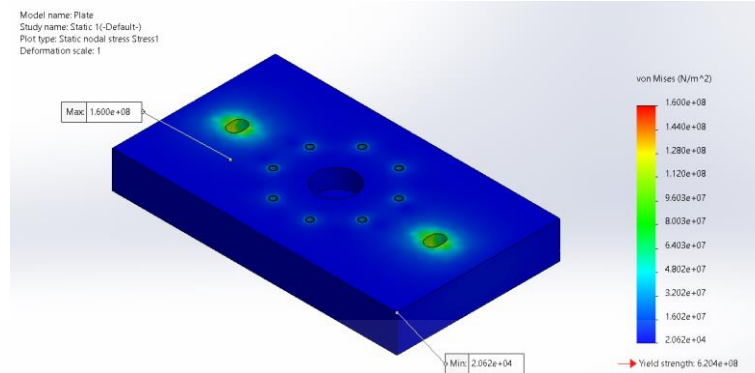
3. การคำนวณหาความแรงสูงสุดที่รับได้ของสกรูแต่ละตัว

กำหนดรับแรงดึงที่ 3 ตัน ประมาณ 29430 N ที่เป็นค่ามากที่สุดที่เซนเซอร์วัดแรงรับได้ จะได้แรงดึงประมาณ 3678 N ต่อสกรู M6 หนึ่งตัว และประมาณ 14715 N ต่อสกรู M12 หนึ่งตัว ในการยึดเซนเซอร์วัดแรงใช้สกรู M6 ทั้งหมด 8 ตัว และ M12 ทั้งหมด 2 ตัว

จากสกรู โดย M6 Property class 8.8 มีค่า Proof load (แรงดึงสูงสุดที่สามารถนำไปใช้กับสลักเกลียว ที่จะไม่ส่งผลให้เกิดการเสียรูป) เท่ากับ 11600 N สามารถคำนวณค่า FS ได้เท่ากับ 3.16 และจากสกรู โดย M12 Property class 8.8 มีค่า Proof load เท่ากับ 73700 N สามารถคำนวณค่า FS ได้เท่ากับ 5.00 ซึ่ง FS มีค่ามากกว่า 1.5 ทั้ง 2 ขนาด

4. การคำนวณหาความหนาของอุปกรณ์ยึดเซนเซอร์วัดแรงที่เหมาะสม

จากการจำลองด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS โดยกำหนดแรงสูงสุดตามที่สกรูแต่ละตัวได้รับ และเลือกวัสดุเหล็ก ASTM A36 ที่มีค่าค่าความแรงคราก (Yield strength) เท่ากับ 250 MPa จากการจำลอง แผ่นเหล็กที่มีความหนา 32 mm ที่รับแรง 3 ตัน ได้ค่า Von Mises Stress เท่ากับ 165 MPa และ สามารถคำนวณค่า FS ได้เท่ากับ 1.52 ซึ่งได้มากกว่า FS ที่กำหนดไว้ ดังรูปที่ 3.27

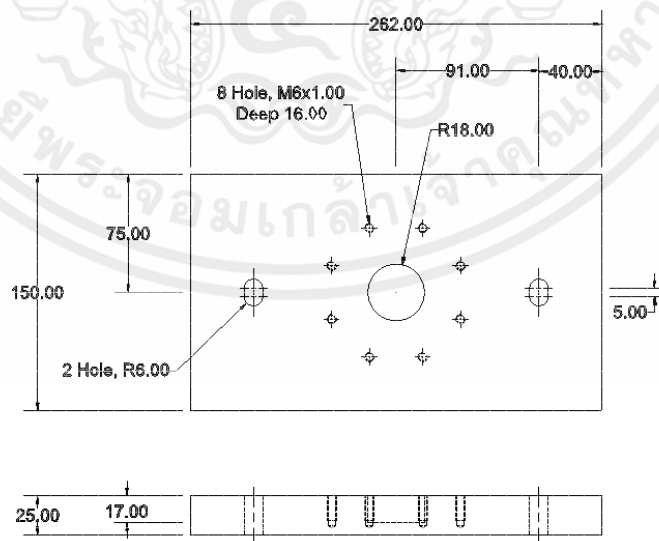


รูปที่ 3.27 ผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ผ่านโปรแกรม SOLIDWORKS

แต่เนื่องจากเหล็ก ASTM A36 ความหนา 32 mm มีราคาที่สูง และน้ำหนักที่มาก จึงเลือกแผ่นเหล็กที่มีความหนา 25 mm ไปจำลองการรับแรง โดยคำนวณจากแรงดึงสูงสุดที่ได้จากการทดสอบแรงดึงของชิ้นทดสอบวัสดุเหล็ก SR24 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm ความแรงคราก (Tensile Strength) เท่ากับ 525.08 MPa ได้แรงดึงสูงสุดเท่ากับ 14838.76 N จากการจำลองแผ่นเหล็กที่มีความหนา 25 mm ได้ค่า Von Mises Stress เท่ากับ 98.65 MPa สามารถคำนวณค่า FS ได้เท่ากับ 2.77 ซึ่งได้มากกว่า FS ที่กำหนดไว้

เมื่อรับแรงมากที่สุด 3 ตัน แผ่นเหล็กที่มีความหนา 25 mm จะมีค่า Von Mises Stress เท่ากับ 196 MPa สามารถคำนวณค่า FS ได้เท่ากับ 1.25 ซึ่งได้น้อยกว่า FS ที่กำหนดไว้ แต่จากการจำลองวัสดุยังไม่เกิดการเสียรูปและสามารถทนแรงดึงสูงสุดได้ ดังนั้นจึงเลือกใช้ที่มีความหนา 25 mm

5. ออกแบบขนาดให้เหมาะสมกับขนาดของฐานเครื่อง และสามารถถอดประกอบได้สะดวก ดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 ภาพเขียนแบบของอุปกรณ์ยึดเซนเซอร์วัดแรง

6. จัดหาวัสดุในการทำชิ้นงาน

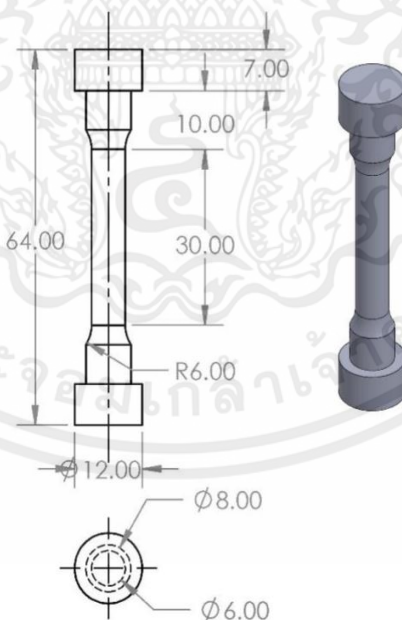
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. สั่งผลิตชิ้นงาน จากแบบและวัสดุข้างต้น
8. นำไปทดสอบประกอบกับเครื่อง
9. แก้ไขและปรับปรุง

3.2.3 การออกแบบชิ้นทดสอบ

วัสดุที่ใช้ในการกลึง คือ แท่งอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5 และเหล็ก SR24 โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 และ 12 mm ตามลำดับ ชิ้นทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM E8/E8M-13a โดยมีขนาดและรูปร่าง ดังรูปที่ 3.29

เหตุผลในการเลือกใช้ชิ้นทดสอบขนาดเล็ก เพราะยิ่งพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบมีขนาดเล็ก แรงที่ใช้ในการดึงชิ้นทดสอบสูงสุดจะยิ่งน้อยลง จากสมการ 2.3 นำค่าความทนแรงดึง (Tensile Strength) ของอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5 และเหล็ก SR24 มาคูณกับพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบในช่วงความยาวระยะพิกัด (Gauge length) เพื่อหาแรงสูงสุดที่ใช้ในการดึง สำหรับชิ้นทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วงความยาวระยะพิกัด (Gauge length) เท่ากับ 6 mm จะใช้แรงในการดึงสูงสุด 5259.03 N และ 10885.62 N ตามลำดับ แต่สำหรับชิ้นทดสอบที่ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 8 mm จะใช้แรงในการดึงสูงสุด 9349.38 N และ 19352.21 N จะเห็นได้ว่าแรงที่ใช้ในการดึงสูงสุดเพิ่มมาถึง 1.77 เท่า

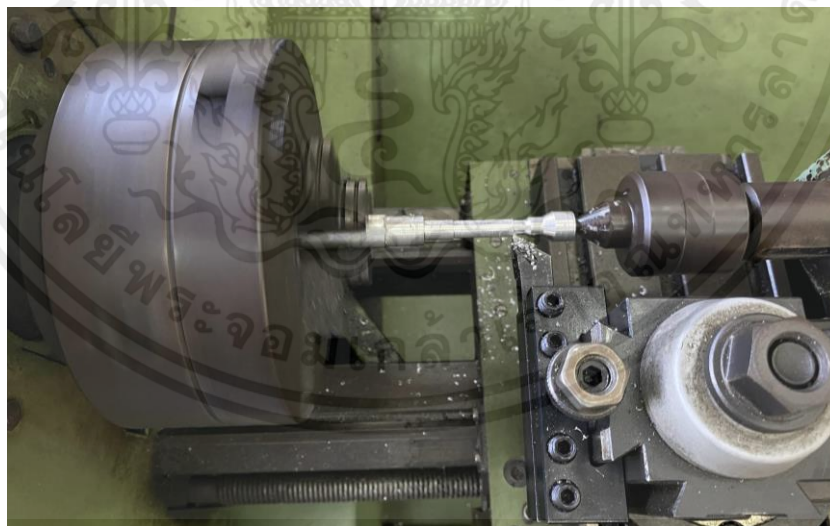


รูปที่ 3.29 ขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบ [1]

ขั้นตอนการกลึงขั้นทดสอบ

1. ตัดแท่งอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5 หรือเหล็ก SR24 ให้เหลือความยาวประมาณ 40 - 50 cm หรือขนาดที่ใส่เครื่องกลึงแล้วไม่ทำให้แท่งอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5 หรือเหล็ก SR24 เกิดการเหวี่ยงมากจนเกินไป
2. วัดความยาวประมาณ 70 mm และทำการกลึงจนเหลือเส้นผ่านศูนย์กลาง 11.9 mm
3. วัดความยาว 7 mm และทำเครื่องหมายไว้ ทำการกลึงลดขนาดจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 mm จนเหลือ 7.9 mm ตั้งแต่จุดที่ทำเครื่องหมายเป็นระยะทางทั้งหมด 50 mm
4. วัดจากที่จุดทำเครื่องหมายไว้ในขั้นตอนที่ 3 เป็นระยะทั้งหมด 10 mm และทำการกลึงลดขนาดจากเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.9 mm จนเหลือ 6 mm เป็นความยาวทั้งหมด 30 mm
5. ทำการลบมุมแหลมจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดจากผ่านศูนย์กลาง 7.9 mm เป็น 6 mm ขนาดรัศมีในการลบมุมคือ 6 mm ตามแบบ
6. นำชิ้นงานไปตัดให้ได้ความยาวมากกว่าความยาวตามแบบเล็กน้อยด้วยเลื่อยตัดเหล็ก
7. กลึงปาดหน้าในส่วนที่ทำการตัดให้ได้ความยาวตามแบบ

ในการกลึงขั้นทดสอบควรกลึงส่วนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm ให้เรียบที่สุดเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องที่สุดเมื่อนำชิ้นทดสอบไปดึงให้ขาด และในการเดินมีดกลึงแต่ละครั้งไม่ควรกินเนื้อวัสดุมากเกินไปป้องกันวัสดุเกิดความเสียหาย โดยมีการใช้งานเครื่องกลึงของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 การกลึงขั้นทดสอบ

3.2.4 การสอบเทียบเซนเซอร์วัดแรงและเซนเซอร์วัดระยะ

การสอบเทียบเครื่องมือวัด คือกระบวนการในการตรวจสอบและสอบเทียบเครื่องมือวัดให้มีความถูกต้องตามขอบข่ายความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้และกำหนดไว้ เพื่อให้ได้มาตรฐานรวมถึงความแม่นยำในการอ่านค่าก่อนนำใช้งาน โดยเซนเซอร์ที่ต้องทำการสอบเทียบในโครงการนี้มีด้วยกัน 2 ตัว คือเซนเซอร์วัดแรงกับเซนเซอร์วัดระยะ

3.2.4.1 ขั้นตอนการสอบเทียบเซนเซอร์วัดระยะ

สอบเทียบเซนเซอร์วัดระยะโดยการดึงเซนเซอร์วัดระยะเทียบกับตลับเมตรที่ระยะต่างๆ

1. ต่อเซนเซอร์เซนเซอร์วัดระยะ ผ่าน Ni เพื่อเชื่อมเข้ากับโปรแกรม LabVIEW ในคอมพิวเตอร์
2. เปิดโปรแกรม LabVIEW เก็บค่าแรงดันไฟฟ้า เทียบกับโวลต์มิเตอร์
3. ทำการดึงเซนเซอร์วัดระยะที่ระยะ 0, 5, 10, 15 และ 20 cm โดยในแต่ละระยะจะเก็บค่าแรงดันไฟฟ้า จำนวน 3 ครั้ง
4. นำค่าแรงดันไฟฟ้าของแต่ละระยะ หาค่าเฉลี่ย แล้วนำไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับระยะทาง
5. หาสมการ Linear regression เพื่อใช้ในการคำนวณค่าที่เป็นตัวเลขต่อไป
6. ทำการตรวจสอบสมการที่ได้ด้วยการดึงไปที่ระยะต่างๆ โดยเทียบค่าที่แสดงในโปรแกรมกับตลับเมตร ดังรูปที่ 3.31



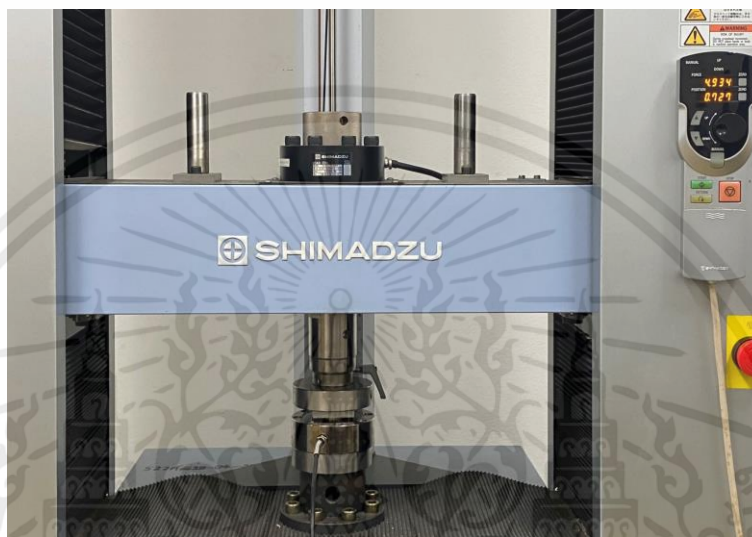
รูปที่ 3.31 วิธีการสอบเทียบเซนเซอร์วัดระยะที่เกิดจากการดึงเซนเซอร์วัดระยะเทียบกับตลับเมตร

3.2.4.2 ขั้นตอนการสอบเทียบเซนเซอร์วัดแรง

ทำการสอบเทียบเซนเซอร์วัดแรงด้วยเครื่องทดสอบเนกประสงค์ (UTM) จากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการรูปที่ 3.32 โดยการกดลงบนตัวเซนเซอร์ด้วยแรงกดค่าต่างๆ

1. ต่อเซนเซอร์เซนเซอร์วัดแรง ผ่าน Ni เพื่อเชื่อมเข้ากับโปรแกรม LabVIEW ในคอมพิวเตอร์
2. เปิดโปรแกรม LabVIEW เก็บค่าแรงดันไฟฟ้า เทียบกับโวลต์มิเตอร์
3. ทำการกดเซนเซอร์วัดแรงด้วยเครื่องกด ด้วยแรง 2500, 5000, 7500 และ 10000 N และขณะไม่มีแรงกด โดยในแต่ละแรงกดจะเก็บค่าแรงดันไฟฟ้า จำนวน 3 ครั้ง

4. นำค่าแรงดันไฟฟ้าของแต่ละน้ำหนัก หาค่าเฉลี่ย แล้วนำไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับแรงที่เกิด
5. หาสมการ Linear regression เพื่อใช้ในการคำนวณค่าที่เป็นตัวเลขต่อไป
6. ทำการตรวจสอบสมการที่ได้ด้วยชั่งมวลที่น้ำหนักต่างๆ โดยเทียบค่าที่แสดงในโปรแกรมกับแรงที่เกิด



รูปที่ 3.32 วิธีการสอบเทียบเซนเซอร์วัดแรงที่เกิดจากแรงที่เกิดเซนเซอร์วัดแรงจากเครื่องทดสอบเนกประสงค์ Shimadzu AG-100kN

3.2.5 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องทดสอบแรงดึง

อธิบายขั้นตอนการใช้งานเครื่องทดสอบแรงดึงโดยละเอียด โดยมีทั้งหมด 9 ขั้นตอน

1. เริ่มการทำงานของระบบไฮดรอลิกโดยการเปิดสวิทช์มอเตอร์
2. ปรับวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Ball valve) ให้อยู่ในตำแหน่งปิด และตรวจสอบความดันที่กำหนดไว้กับวาล์วปลดแรงดัน ในการทดลองต่อไปนี้กำหนดไว้ที่ 40 bar
3. ปรับวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Ball valve) แล้วทำการวัดอัตราเร็วให้อยู่ระหว่าง 1.2 ถึง 15 mm/min แนะนำในช่วงที่ง่ายต่อการปรับอยู่ระหว่าง 10 ถึง 15 mm/min
4. ปรับระยะหัวจับขึ้นทดสอบให้อยู่ในระยะที่พอดีต่อการใส่ชิ้นทดสอบ และนำชิ้นทดสอบใส่ไปในอุปกรณ์จับขึ้นทดสอบให้สุดระยะล็อก
5. เปิดโปรแกรม LabVIEW แล้วกดเริ่มการทำงานของโปรแกรมเพื่อให้บันทึกค่าของเซนเซอร์
6. เริ่มการทดสอบด้วยการบังคับคั้นโยกวาล์วควบคุมทิศทางการไหล (Directional control valve) ค้างไว้ เพื่อให้ปั๊มจ่ายน้ำมันผ่านวาล์วควบคุมทิศทางการไหลทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ หัวจับขึ้นทดสอบจะเริ่มดึงชิ้นทดสอบให้ยืดอย่างช้าๆ จนกระทั่งขาดออกจากกันแล้วจึงหยุดทำการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ระหว่างที่ดึงขึ้นทดสอบค่าที่ได้จากเซนเซอร์วัดแรงและเซนเซอร์วัดระยะทางจะถูกนำไปวิเคราะห์ในโปรแกรม LabVIEW ที่เขียนไว้อัตโนมัติ และแสดงผลเป็นกราฟทางหน้าจอในความสัมพันธ์ของแรงที่กระทำกับระยะยืด ความสัมพันธ์ของระยะยืดกับเวลา และนำข้อมูลไปคำนวณ แสดงความสัมพันธ์ของความเค้นกับความเครียด นอกจากนี้ข้อมูลเหล่านี้ ณ เวลาต่างๆจะถูกบันทึกลงในรูปแบบของไฟล์ Text

8. เมื่อได้ข้อมูลจากการดึงขึ้นทดสอบทั้งหมดมา แล้วจึงนำมาศึกษาความสัมพันธ์ของความเค้นกับความเครียดที่เกิดขึ้นเพื่อหาค่า คุณสมบัติทางกลที่สำคัญ ได้แก่ ค่าความแรงคราก (Yield strength), ความทนแรงดึง (Tensile strength), โมดูลัสของยัง (Young's modulus) และค่าร้อยละการยืด (% Elongation)

9. สรุปผลการทดลอง



บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

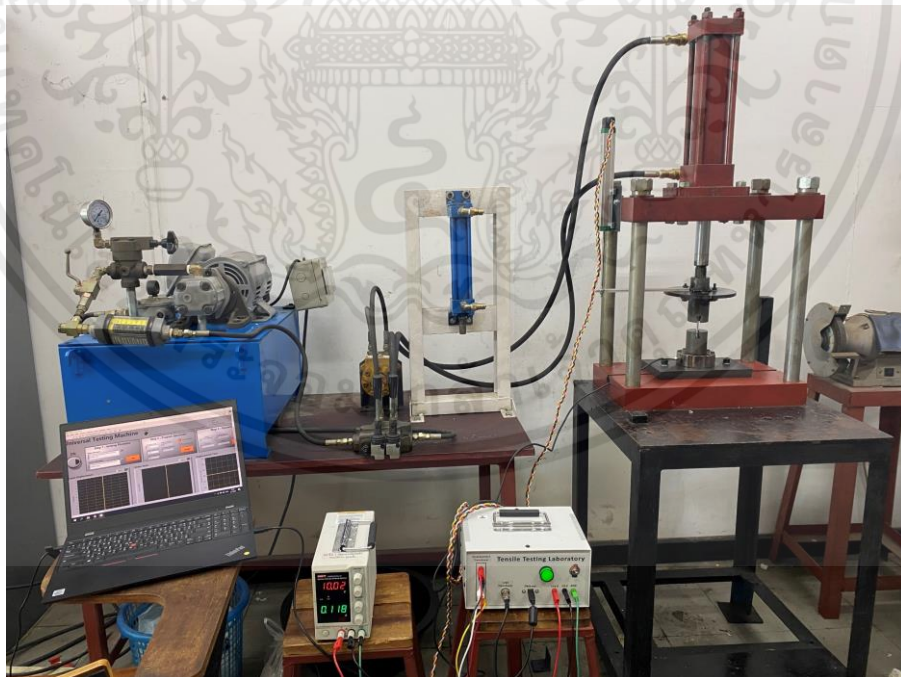
ในบทนี้จะประกอบด้วย ผลการออกแบบเครื่องทดสอบแรงดึง, ผลการสอบเทียบเซนเซอร์, ผลการทดสอบเครื่องทดสอบแรงดึง, ตัวอย่างใบบันทึกผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการออกแบบเครื่องทดสอบแรงดึง

ผลของการออกแบบการทำงานของเครื่องทดสอบแรงดึง แบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือเครื่องทดสอบแรงดึง ส่วนที่สองคือโปรแกรม LabVIEW ของเครื่องทดสอบแรงดึง

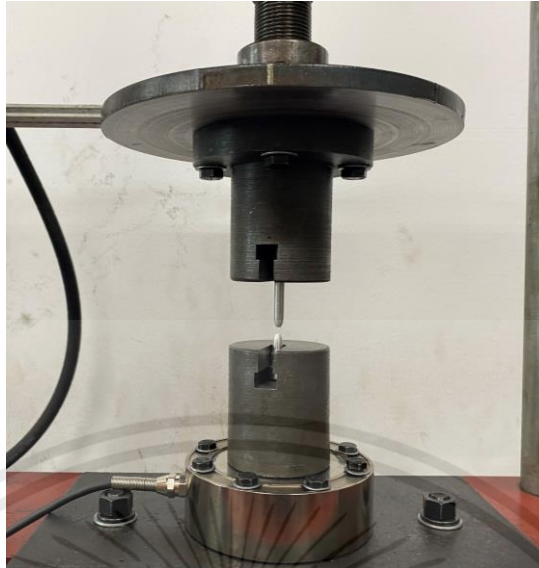
4.1.1 เครื่องทดสอบแรงดึง

เครื่องทดสอบแรงดึงได้มีการติดตั้ง ที่ยึดจับเซนเซอร์วัดแรง ติดตั้งเซนเซอร์วัดระยะตัวใหม่ เพิ่มกล่องควบคุมซึ่งเป็นตัวเก็บอุปกรณ์ขยายสัญญาณ และ Ni USB-6008 เครื่องทดสอบแรงดึงสามารถใส่ชิ้นทดสอบ และดึงชิ้นทดสอบจนขาด ดังรูปที่ 4.2 และแสดงผลผ่านโปรแกรม LabVIEW ได้ ชุดต้นกำลังของเครื่องทดสอบแรงดึงยังสามารถใช้ร่วมกับชุดทดลองไฮดรอลิกเบื้องต้นในรูปที่ 4.1 ที่มีอุปกรณ์ทำงาน ประกอบด้วย กระจบอกสูบและมอเตอร์ไฮดรอลิก



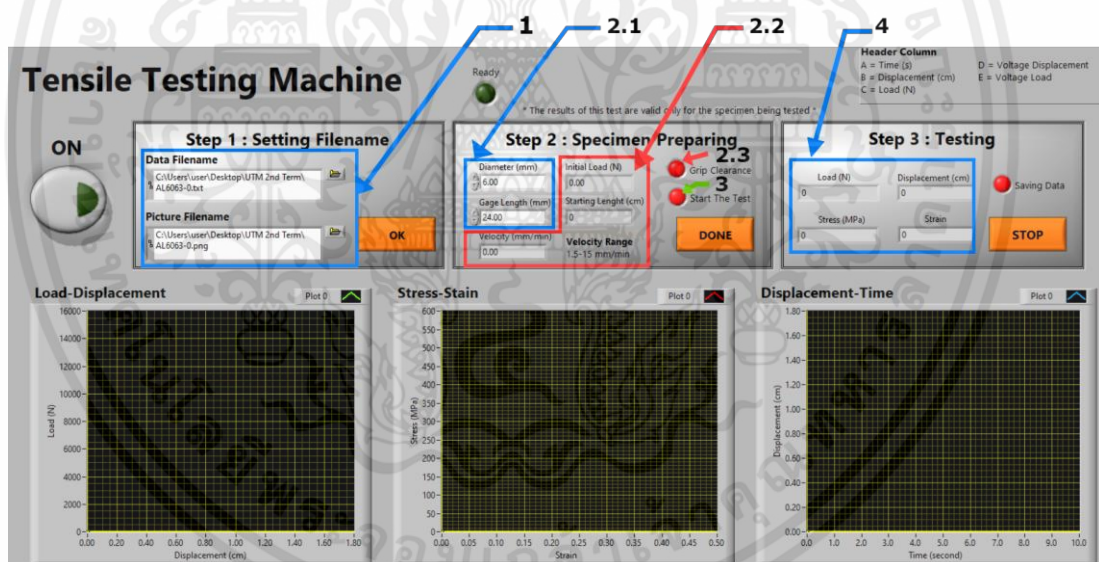
รูปที่ 4.1 ชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ชิ้นทดสอบขณะที่ถูกดึงจนขาด

4.1.2 โปรแกรม LabVIEW สำหรับเครื่องทดสอบแรงดึง



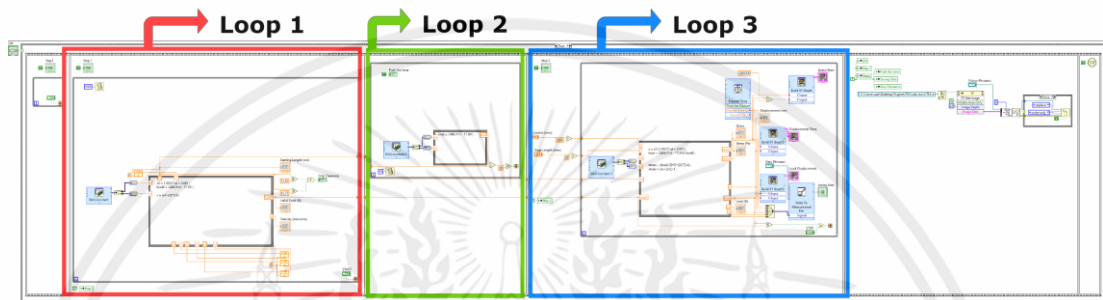
รูปที่ 4.3 Front Panel ของโปรแกรม LabVIEW ที่ออกแบบไว้

จากรูป 4.3 การทำงานของโปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน (Step) ดังนี้
 ขั้นตอนที่ 1 เป็นการใส่ที่ตั้งไฟล์ที่จะบันทึกรูปและผลการทดลอง
 ขั้นตอนที่ 2 เป็นการใส่ค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง และความยาวระยะพิกัด (Gauge length) รวมถึง
 แสดงค่าแรงเริ่มต้น, ระยะเริ่มต้น และอัตราเร็วปัจจุบันของหัวจับชิ้นทดสอบ

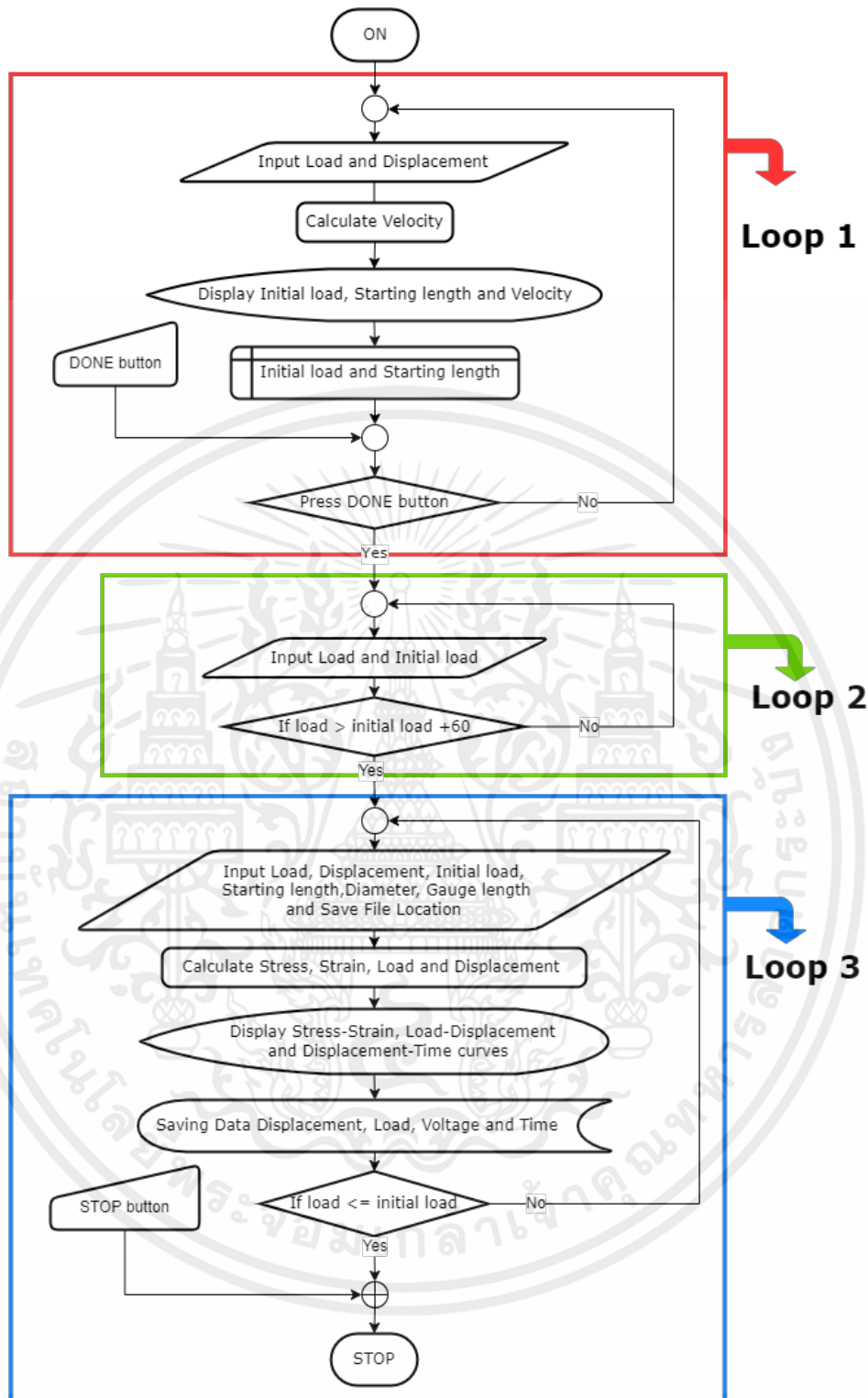
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการแสดงข้อมูลของแรง ระยะยืด ความเค้น และความเครียด ขณะดึงขึ้น ทดสอบ และแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะยืด, ความเค้นกับความเครียด และ ระยะทางกับเวลา

โดยมีการออกแบบ Block diagram ของโปรแกรม LabVIEW ดังรูปที่ 4.4 และสามารถดูเพิ่มเติมในภาคผนวกได้



รูปที่ 4.4 Block diagram ของโปรแกรม LabVIEW ที่ออกแบบไว้



รูปที่ 4.5 Flow chart การทำงานของโปรแกรม LabVIEW ที่ออกแบบไว้

โปรแกรม LabVIEW ที่ออกแบบไว้ประกอบด้วย 3 ลูป (Loop) ด้วยกันดังที่แสดงรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 หลังจากกดปุ่มเริ่มต้นโปรแกรม จะให้ใส่ตำแหน่งที่ตั้งของไฟล์ Text และรูปภาพ จุดที่ 1 ในรูปที่ 4.3 ที่ต้องการจะบันทึก จากนั้นกดปุ่ม OK เพื่อเข้าสู่ลูปแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในลูปที่ 1 จุดประสงค์ของลูปนี้ เพื่อเก็บค่าข้อมูลแรงเริ่มต้น (Initial load), ระยะเริ่มต้น (Starting length) และอัตราเร็วเพื่อใช้ในการตั้งขึ้นทดสอบ โดยนำข้อมูลแรง และระยะยืดจาก เซนเซอร์เข้ามา ได้กำหนดค่า Sample size อยู่ที่ 1 Sample/sec เพื่อให้สามารถที่จะอ่านค่าจาก สายตาได้เบื้องต้นจากตัวบ่งชี้ (Indicator) ที่แสดงในหน้า Front panel จุดที่ 2.2 ในรูปที่ 4.3 ที่แสดง แรงเริ่มต้น ระยะเริ่มต้น และอัตราเร็วปัจจุบันของหัวจับขึ้นทดสอบ และเมื่อปรับระยะของลูกสูบไป อยู่ในระยะที่สามารถใส่ขึ้นทดสอบได้ สัญญาณไฟสีแดงจะเปลี่ยนไปเป็นไฟสีฟ้าจุดที่ 2.3 ในรูปที่ 4.3 หลังจากใส่ขึ้นทดสอบ และกดปุ่ม DONE โปรแกรมเก็บค่าแรงเริ่มต้น และระยะเริ่มต้น เพื่อไปใช้ใน ลูปต่อไป และจะเข้าสู่ลูปที่ 2

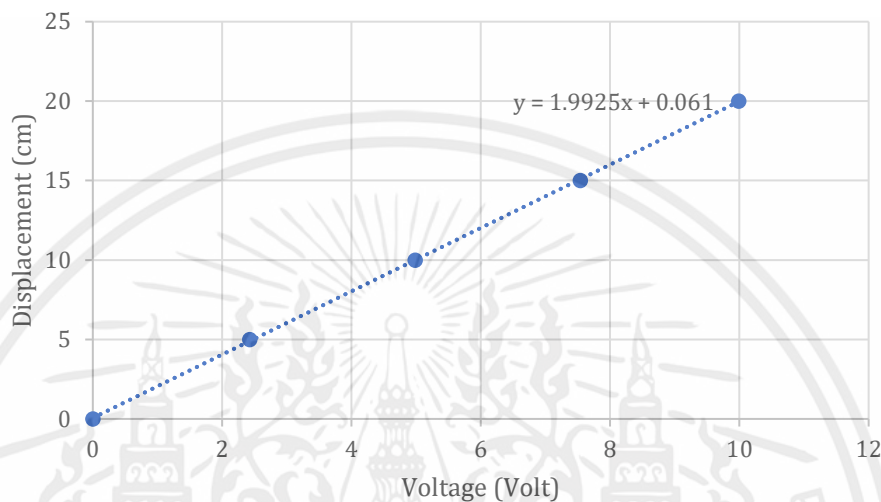
ในลูปที่ 2 จุดประสงค์ของลูปนี้ เพื่อไม่ให้โปรแกรมบันทึกค่าตอนที่ยังเกิดช่องว่างระหว่างขึ้น ทดสอบกับหัวจับขึ้นทดสอบ โดยการเก็บค่าข้อมูลแรงจากเซนเซอร์ ได้กำหนดค่า Sample size อยู่ที่ 100 Sample/sec โดยสัญญาณไฟสีแดงจะเปลี่ยนไปเป็นไฟสีเขียว ที่จุดที่ 3 ในรูปที่ 4.3 เพื่อแสดง ว่าให้เริ่มต้นตั้งขึ้นทดสอบได้ หากมีแรงตั้งที่มีค่ามากกว่าโหลดเริ่มต้น 60 N โปรแกรมจะเข้าสู่ลูปที่ 3

ในลูปที่ 3 จุดประสงค์ของลูปนี้ เพื่อคำนวณค่า, แสดงกราฟ และบันทึกข้อมูล โดยเริ่มจากใส่ ตำแหน่งที่ตั้งของไฟล์ที่ต้องการบันทึกในขั้นตอนที่ 1 ที่จุดที่ 1 ในรูปที่ 4.3 จากนั้นใส่ค่าเส้นผ่าน ศูนย์กลางของขึ้นทดสอบ และค่าความยาวระยะพิคัด (Gauge length) ในขั้นตอนที่ 2 ที่จุดที่ 2.1 ใน รูปที่ 4.3 ให้ครบเพื่อนำไปใช้ในลูปที่ 3 กำหนดค่า Sample size อยู่ที่ 100 Sample/sec เพื่อให้ได้ ข้อมูลที่ละเอียดเพียงพอต่อการนำข้อมูลไปใช้ โดยจะเป็นการวัดแรง และระยะทางที่เปลี่ยนแปลง ระหว่างตั้งขึ้นทดสอบนำไปหักลบกับค่าแรงเริ่มต้น และระยะเริ่มต้น เพื่อให้ได้แรงและระยะยืดของ ขึ้นทดสอบที่ถูกต้อง จากนั้นแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นกับความเครียด, แรงกับระยะ ยืด, ระยะยืดกับเวลา และแสดงข้อมูลเป็นตัวเลขในตัวบ่งชี้ ในหน้าของ Front Pannel จุดที่ 4 ในรูป ที่ 4.3 รวมถึงบันทึกข้อมูลค่าที่คำนวณได้ลงในไฟล์ Text และรูปหน้าจอ Front Panel ที่ตั้งชื่อไว้ก่อน หน้า จากนั้นหากขึ้นทดสอบมีการขาดออกจากกันเกิดขึ้น หรือมีกดปุ่ม STOP ตัวโปรแกรมจะหยุด การทำงานในลูปที่ 3 และส่งออกไฟล์ที่บันทึกได้ไปยังตำแหน่งที่ตั้งที่กำหนดไว้ และโปรแกรมจะหยุด การทำงานลง

4.2 ผลการสอบเทียบ

แสดงผลการสอบเทียบเซนเซอร์ทั้งสองตัวของเครื่องทดสอบแรงดึง ประกอบด้วย เซนเซอร์วัดระยะ และเซนเซอร์วัดแรง

4.2.1 เซนเซอร์วัดระยะ (Linear Position sensor)



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับระยะทาง

จากการสอบเทียบโดยใช้วิธีการดึงเซนเซอร์วัดระยะเทียบกับตลับเมตรที่ระยะ 0, 5, 10, 15 และ 20 cm โดยในแต่ละระยะจะเก็บค่าแรงดันไฟฟ้า จำนวน 3 ครั้ง นำค่าแรงดันไฟฟ้าของแต่ละระยะไปหาค่าเฉลี่ย แล้วนำไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับระยะทางแล้วหาสมการ Linear regression เพื่อใช้ในการคำนวณค่าที่เป็นตัวเลขต่อไป

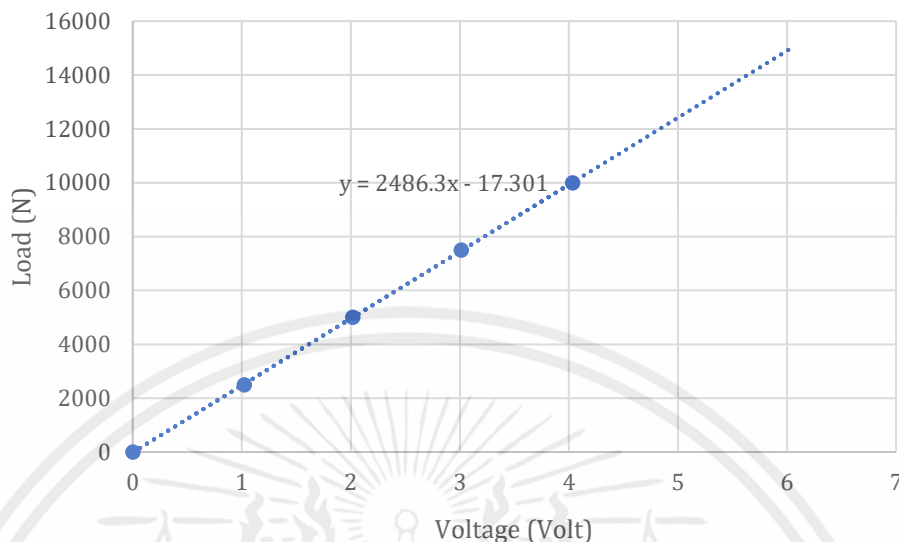
จากรูปที่ 4.6 สามารถหาสมการ Linear regression ได้ดังนี้

$$y = 1.9925x + 0.061$$

เมื่อ y คือ ระยะทาง ในหน่วย cm

x คือ ค่าแรงดันไฟฟ้า ในหน่วย Volt

4.2.2 เซนเซอร์วัดแรง (Load cell)



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับน้ำหนัก

จากการสอบเทียบโดยใช้แรงกดจากเครื่องทดสอบเนกประสงค์ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ทำการกดเซนเซอร์วัดแรงด้วยด้วยแรง 2500, 5000, 7500 และ 10000 N และขณะไม่มีการกด โดยในแต่ละแรงกดจะเก็บค่าแรงดันไฟฟ้าจำนวน 3 ครั้ง นำค่าแรงดันไฟฟ้าของแต่ละน้ำหนักไปหาค่าเฉลี่ย แล้วนำไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับแรงที่กดแล้วหาสมการ Linear regression เพื่อใช้ในการคำนวณค่าที่เป็นตัวเลขต่อไป

จากรูปที่ 4.7 สามารถหาสมการ Linear regression ได้ดังนี้

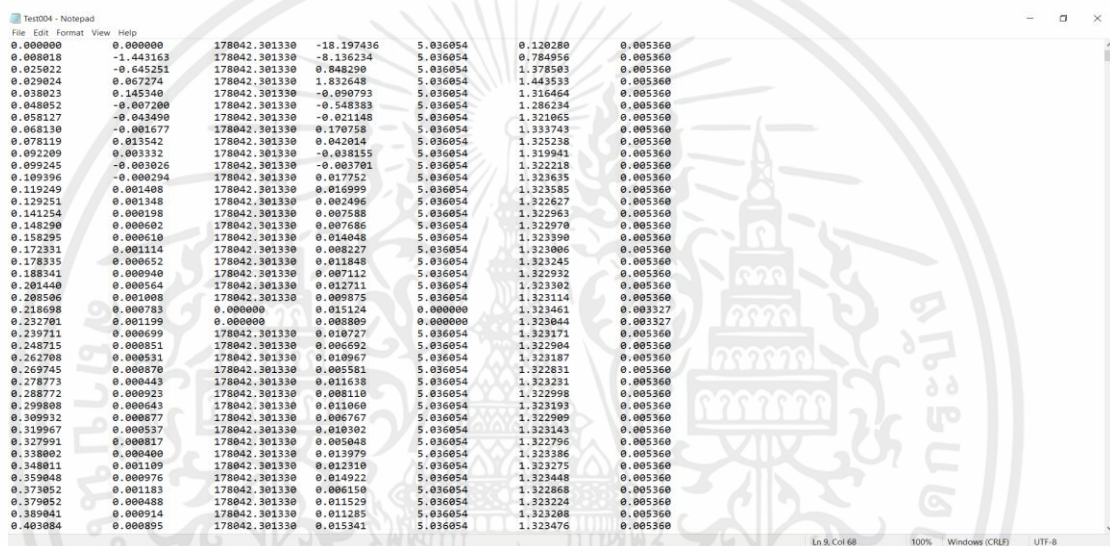
$$y = 2486.3x - 17.301$$

เมื่อ y คือ น้ำหนัก ในหน่วย N

x คือ ค่าแรงดันไฟฟ้า ในหน่วย Volt

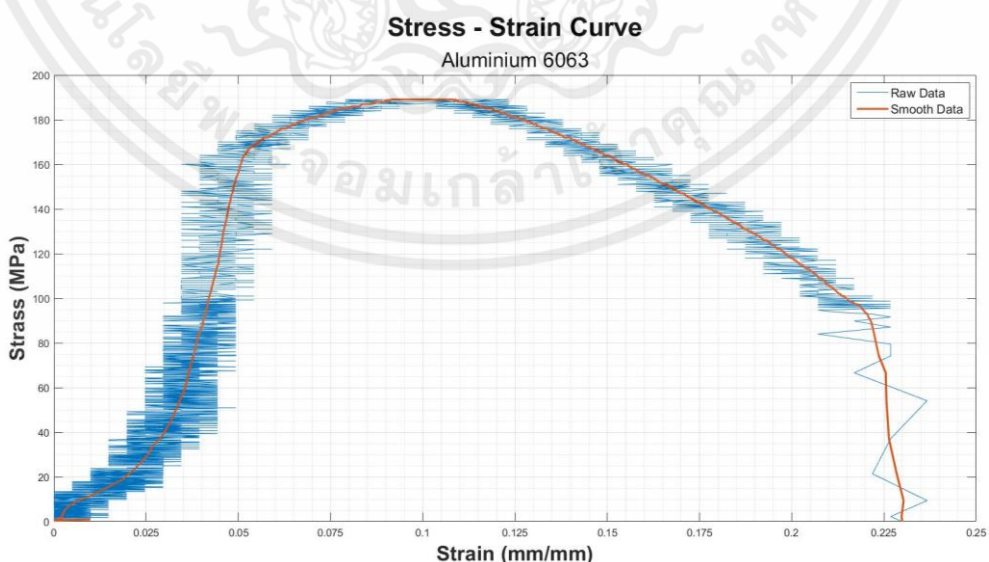
4.3 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องทดสอบแรงดึง

ผลการทดสอบจากการใช้อะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5 และเหล็ก SR24 เป็นวัสดุในการทดสอบ และเลือกวิธีการ A จากมาตรฐาน ASTM E8/E8M-13a อัตราการใช้ความเค้นต้องอยู่ระหว่าง 1.15 ถึง 11.5 MPa/s ในการควบคุมอัตราเร็วของเครื่องทดสอบแรงดึงในช่วงพฤติกรรมแบบอีลาสติก หลังจากนั้นในช่วงพฤติกรรมแบบพลาสติกอัตราเร็วของเครื่องทดสอบแรงดึงจะอยู่ที่ระหว่าง 1.5 ถึง 15 mm/min เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบนำข้อมูลผลการทดสอบที่ถูกบันทึกอยู่ในรูปแบบของไฟล์ Text ดังรูปที่ 4.8 และไปพล็อตกราฟในโปรแกรม MATLAB และใช้คำสั่ง smooth ในการกรองสัญญาณรบกวน ดังรูปที่ 4.9



Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)
0.000000	0.000000	178042.301330	-0.197436	5.036054	0.120280
0.000018	-1.443163	178042.301330	-0.136234	5.036054	0.078495
0.025022	-0.645251	178042.301330	0.848290	5.036054	1.378503
0.029024	0.067274	178042.301330	1.832648	5.036054	1.443533
0.038023	0.145340	178042.301330	-0.890793	5.036054	1.316464
0.048052	-0.007200	178042.301330	-0.548383	5.036054	1.286234
0.058127	-0.043490	178042.301330	-0.021148	5.036054	1.321065
0.068130	-0.001677	178042.301330	0.170758	5.036054	1.333743
0.078119	0.013542	178042.301330	0.042014	5.036054	1.325388
0.092209	0.003332	178042.301330	-0.038155	5.036054	1.319941
0.099245	-0.003026	178042.301330	-0.003701	5.036054	1.322218
0.109396	-0.000294	178042.301330	0.017752	5.036054	1.323635
0.119249	0.001498	178042.301330	0.016999	5.036054	1.323385
0.129251	0.001348	178042.301330	0.002496	5.036054	1.322627
0.141254	0.000198	178042.301330	0.007588	5.036054	1.322963
0.148290	0.000092	178042.301330	0.007686	5.036054	1.322978
0.158295	0.000010	178042.301330	0.014048	5.036054	1.323390
0.172331	0.001114	178042.301330	0.008227	5.036054	1.323006
0.178335	0.000052	178042.301330	0.011848	5.036054	1.323245
0.188341	0.000940	178042.301330	0.007112	5.036054	1.322932
0.201440	0.000564	178042.301330	0.022711	5.036054	1.323302
0.208506	0.001008	178042.301330	0.009875	5.036054	1.323114
0.218698	0.000783	0.000000	0.015124	0.000000	1.323461
0.227891	0.001199	0.000000	0.000809	0.000000	1.323044
0.230711	0.000699	178042.301330	0.038727	5.036054	1.323171
0.242715	0.000851	178042.301330	0.006692	5.036054	1.322904
0.262708	0.000331	178042.301330	0.010967	5.036054	1.323187
0.269745	0.000870	178042.301330	0.005561	5.036054	1.322831
0.278773	0.000443	178042.301330	0.016188	5.036054	1.323231
0.288772	0.000923	178042.301330	0.008110	5.036054	1.322998
0.298808	0.000643	178042.301330	0.011060	5.036054	1.323193
0.308932	0.000877	178042.301330	0.006767	5.036054	1.322909
0.319067	0.000837	178042.301330	0.009302	5.036054	1.323143
0.327991	0.000817	178042.301330	0.005048	5.036054	1.322796
0.338002	0.000400	178042.301330	0.013979	5.036054	1.323386
0.348011	0.001109	178042.301330	0.012310	5.036054	1.323275
0.358048	0.000976	178042.301330	0.014022	5.036054	1.323468
0.37052	0.001183	178042.301330	0.006150	5.036054	1.322868
0.379052	0.000488	178042.301330	0.011529	5.036054	1.323224
0.389041	0.000914	178042.301330	0.011285	5.036054	1.323208
0.403084	0.000895	178042.301330	0.015341	5.036054	1.323476

รูปที่ 4.8 ข้อมูลผลการทดลองที่ถูกบันทึกอยู่ในรูปแบบของไฟล์ Text

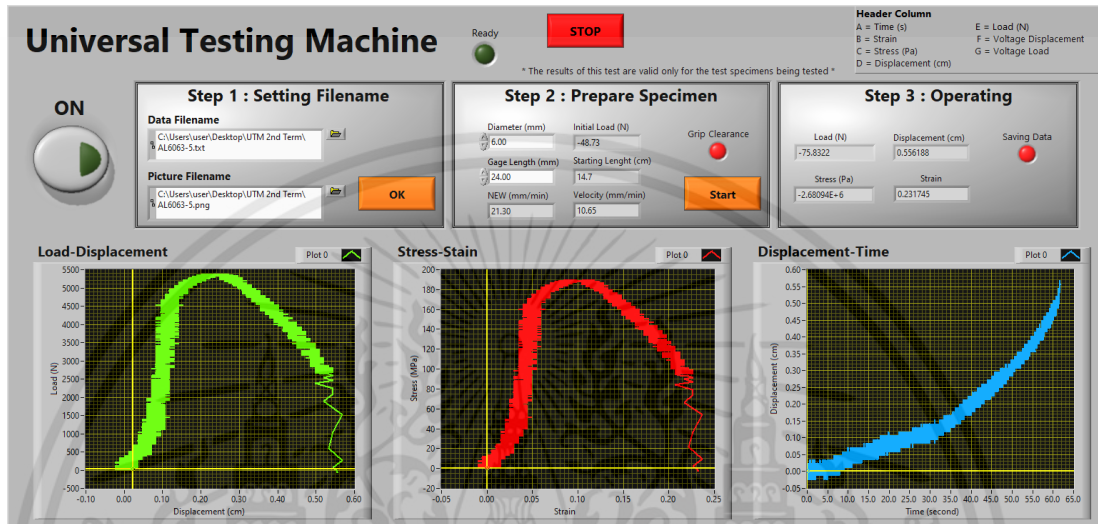


รูปที่ 4.9 รูปเปรียบเทียบก่อนและหลังกรองสัญญาณรบกวนหลังจากการกรองสัญญาณผ่านโปรแกรม MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 อะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5

จากการทดลองการทดสอบแรงดึง เมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง Front Panel ของโปรแกรม LabVIEW จะแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด, กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะยืด และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดกับเวลา ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 Front panel หลังเสร็จสิ้นการทดลองวัสดุอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5

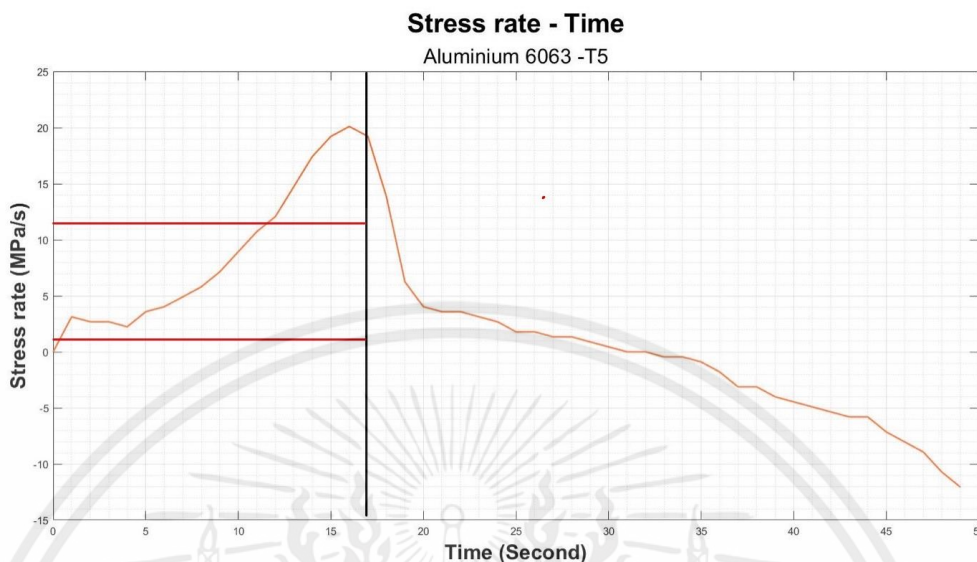


รูปที่ 4.11 ลักษณะการเสียหายของชิ้นทดสอบของวัสดุอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5

จากรูป 4.11 คือ ชิ้นทดสอบที่ทำจากวัสดุอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5 หลังจากถูกดึงจนขาด หลังจากเสร็จสิ้นการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

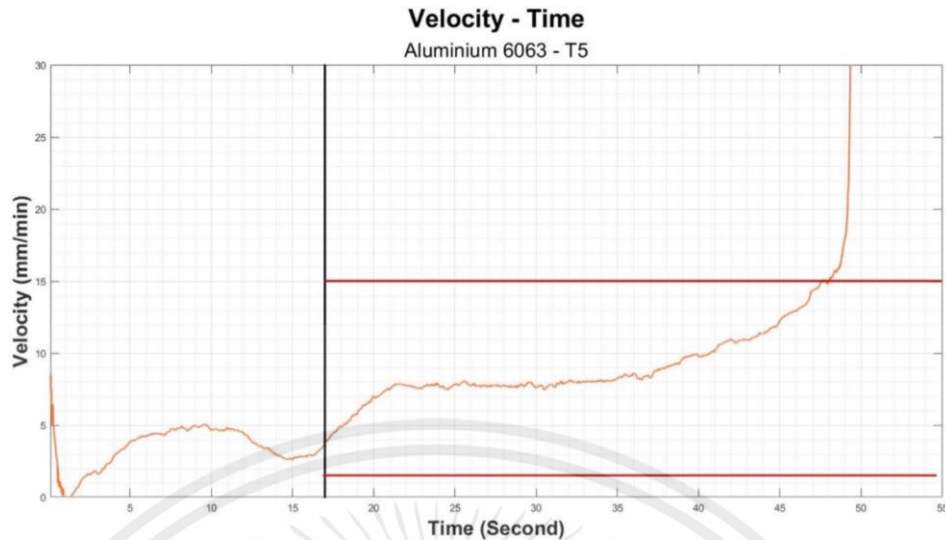
4.3.1.1 อัตราเร็วขณะดึงขึ้นทดสอบ



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเค้น ในหน่วยปาสคาลต่อวินาที กับเวลา ในหน่วยวินาที ของวัสดุอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5

จากรูปที่ 4.12 อัตราการเพิ่มขึ้นของความเค้นในช่วงอีลาสติก (ก่อนเส้นสีดำ วินาทีที่ 0-17 ในรูปที่ 4.12) ไม่ตรงตามมาตรฐานการทดสอบที่เลือกไว้คือวิธีการ A จากมาตรฐาน ASTM E8/E8M-13a อัตราการเพิ่มขึ้นของความเค้นต้องอยู่ระหว่าง 1.15 ถึง 11.5 MPa/s (ช่วงระหว่างเส้นสีแดงในรูปที่ 4.12) จะมีช่วงที่ตรงตามมาตรฐานแค่ในช่วง 11 วินาทีแรกของการทดสอบ แต่ในช่วง 11-17 วินาที อัตราการเพิ่มขึ้นของความเค้นเกินมาตรฐานการทดสอบที่เลือกไว้ไปเล็กน้อย

จากสมการที่ 2.5 เมื่อนำค่าอัตราการเพิ่มขึ้นของความเค้นในช่วงมาตรฐานระหว่าง 1.1-11.5 MPa/s หาค่าด้วยค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) ของอะลูมิเนียม 6063-T5 ซึ่งเท่ากับ 68.9 GPa จะได้ค่าอัตราการเพิ่มขึ้นของความเครียดในช่วงมาตรฐานระหว่าง 0.0000167-0.000167 mm/mm/s และนำไปคูณกับค่าความยาวระยะพิกัด (Gauge length) ที่ 24 mm จะได้อัตราเร็วมาตรฐานในช่วงอีลาสติกของการทดสอบอยู่ที่ 0.0004-0.004 mm/s หรือ 0.024-0.24 mm/min จากรูปที่ 4.13 อัตราเร็วในช่วงอีลาสติกของเครื่องทดสอบแรงดึง สำหรับอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5 จะเร็วกว่ามาตรฐานทั้งหมด

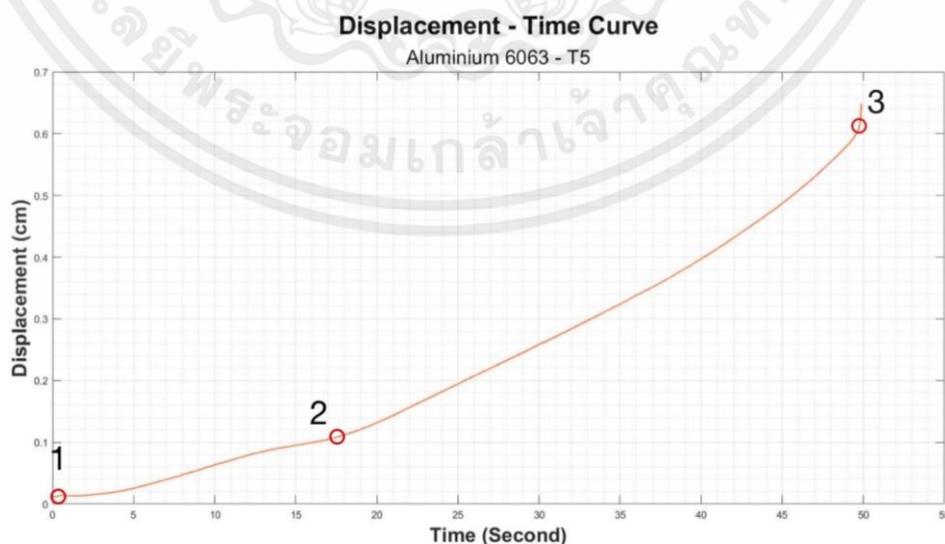


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็ว ในหน่วยมิลลิเมตรต่อนาที

จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าอัตราเร็วในช่วงหลังจากจุดครากของการทดสอบ (หลังเส้นสีดำ ประมาณหลังจากวินาทีที่ 17 ในรูปที่ 4.13) ไม่เกินค่าอัตราเร็วตามมาตรฐานการทดสอบที่เลือกไว้ที่ 1.5–15 mm/min (ช่วงระหว่างเส้นสีแดงในรูปที่ 4.13) จะมีในช่วงที่วัสดุใกล้ที่จะขาดออกจากกันที่ อัตราเร็วเพิ่มขึ้นจนเกิน 15 mm/min ไปเล็กน้อยก่อนที่วัสดุจะขาดออกจากกัน และส่งผลให้อัตราเร็ว ของกระบอกสูบเพิ่มขึ้นอย่างมาก

อัตราเร็วของการทดสอบและอัตราการเพิ่มขึ้นของความเค้นบางช่วงไม่อยู่ในช่วงค่ามาตรฐานที่ เลือกไว้เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมระบบควบคุมอัตราเร็วอัตโนมัติ ทำให้ไม่สามารถ ควบคุมอัตราการเพิ่มขึ้นของความเค้นและอัตราเร็วได้

4.3.1.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะยึดกับเวลา



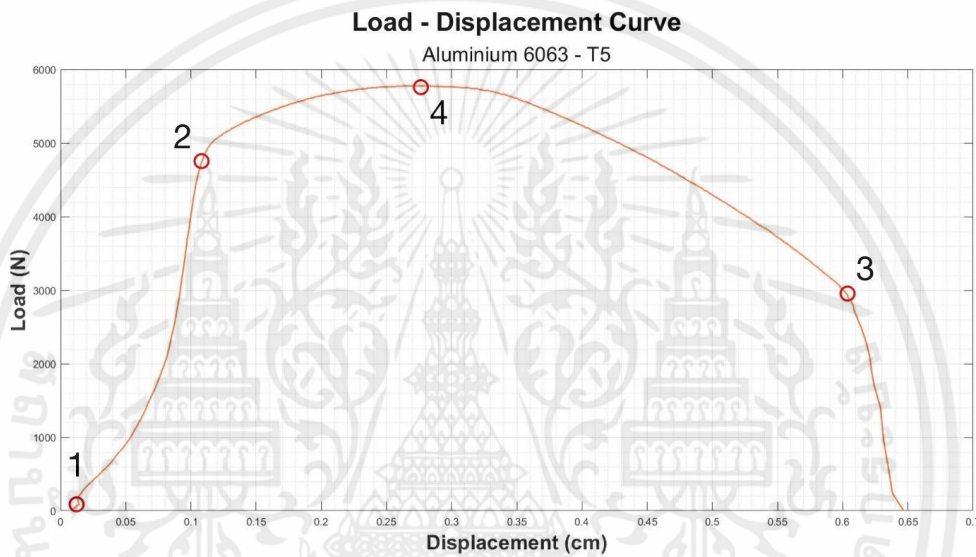
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างระยะยึด ในหน่วยเซนติเมตร

กับเวลา ในหน่วยวินาที ของวัสดุอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นถึงอัตราเร็วในการดึงขึ้นทดสอบขณะทำการทดลอง ช่วงแรกที่อัตราเร็วช้า (จุดที่ 1 - 2) วัสดุจะอยู่ในช่วงพฤติกรรมแบบอีลาสติก (Elastic Behavior) หลังผ่านช่วงดังกล่าวอัตราเร็วเพิ่มสูงขึ้น (จุดที่ 2 - 3) อย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากวัสดุเกิดการเสียรูปอย่างถาวรหรือแบบพลาสติก (Plastic Deformation) จนขึ้นทดสอบขาดออกจากกันที่ระยะ 0.603 cm (จุดที่ 3) ใช้เวลาการดึงทั้งหมด 49 วินาที

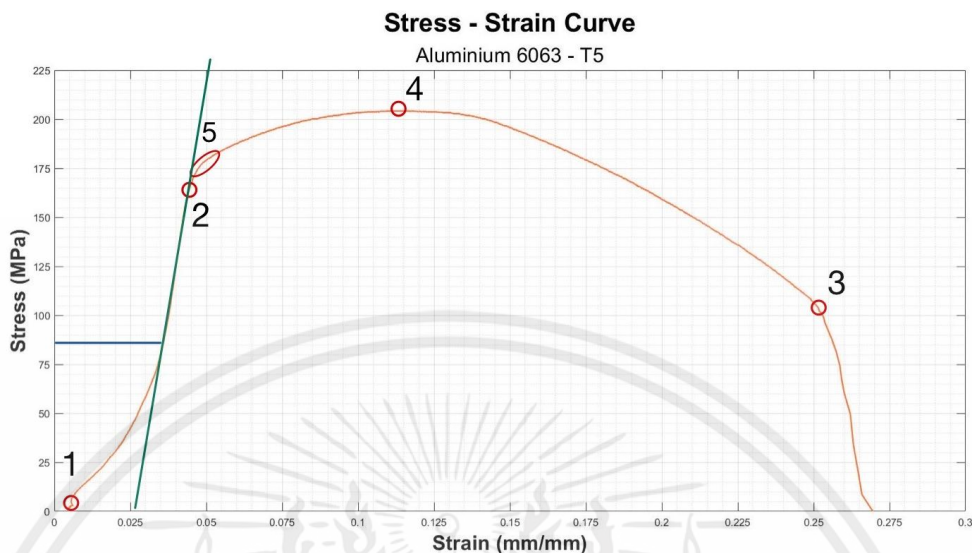
4.3.1.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะยืด



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างแรงใน หน่วยนิวตัน กับระยะยืด ในหน่วยเซนติเมตร ของวัสดุอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5

ในรูปที่ 4.15 ได้นำจุดหมายเลข 1 , 2 และ 3 จากรูปที่ 4.14 มาแสดงไว้ในกราฟที่ระยะยืดเดียวกันในจุดที่ 4 ขึ้นทดสอบสามารถรับภาระแรงดึงสูงสุดได้เท่ากับ 5776 N

4.3.1.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นในหน่วยปาสคาล กับความเครียด ของวัสดุอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5

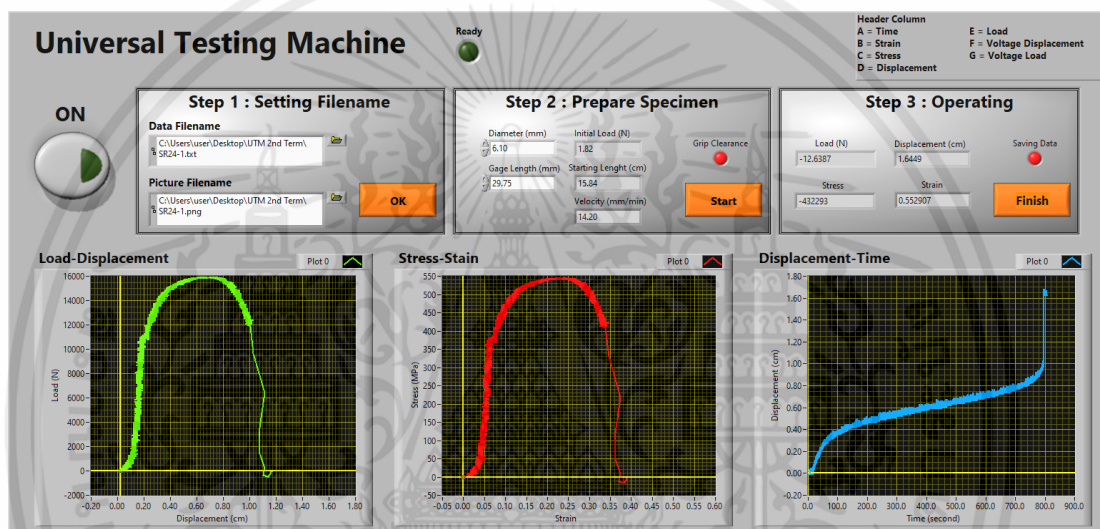
จากรูปที่ 4.16 แสดงความเค้นและความเครียดของวัสดุซึ่งได้จากการนำข้อมูลการกระทำระยะยืดไปคำนวณ โดยจุดที่ 1 2 3 และ 4 ในกราฟคือจุดที่มีภาระและระยะยืดเดียวกันกับจุดในรูปที่ 4.15 โดยจุดที่ 1 คือจุดที่วัสดุเริ่มเกิดการเสียรูป จุดที่ 2 คือช่วงที่คาดว่าวัสดุสิ้นสุดพฤติกรรมแบบอีลาสติก (Elastic limit) เพราะหลังจากนั้นวัสดุมีการเสียรูปมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จุดที่ 3 คือจุดที่ขึ้นทดสอบขาดออกจากกันมีค่าความเค้น ประมาณ 103.6 MPa จุดที่ 4 แสดงค่าความทนแรงดึง (Tensile strength) ประมาณ 204.2 MPa ค่าความแรงคราก (Yield strength) โดยปกติหากไม่สามารถสังเกตจุดครากได้อย่างชัดเจน จะใช้วิธีลากเส้นตรงขนานกับเส้นความชันในช่วงอีลาสติกของกราฟความเค้นและความเครียด โดยมีจุดตัดแกนนอนที่ความเครียดเท่ากับ 0.002 (0.2 % Offset yield) แต่เนื่องจากกราฟในรูปที่ 4.16 ไม่ได้แสดงความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (Linear relation) ในช่วงอีลาสติก ทำให้ไม่สามารถหาค่าความแรงครากที่แน่นอนได้ แต่จะประมาณเป็นช่วงที่กราฟมีการเปลี่ยนแปลงความชันอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมจากอีลาสติก (Elastic Behavior) เป็นพลาสติก (Plastic Behavior) จากจุดที่ 5 จะได้ค่าความแรงครากประมาณ 172–188 MPa การหาค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) ใช้ 2 วิธีด้วยกัน วิธีที่ 1 เลือกช่วงจากจุดเริ่มต้นของกราฟไปจนถึงจุดที่มีค่าความเค้นเป็นครึ่งหนึ่งของค่าความแรงคราก (Yield strength) เท่ากับ 86 MPa ดังเส้นสีน้ำเงินในรูป 4.16 นำมาหาค่าความชันของแต่ละช่วง จากนั้นนำมาความชันทั้งหมดมาเฉลี่ยกัน จะได้ค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) เท่ากับ 4.82 GPa วิธีที่ 2 เลือกช่วงที่กราฟแสดงความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (Linear relation) เส้นสีเขียวในรูปที่ 4.16 และหาค่าความชันของเส้นนั้น จะได้ค่ามอดุลัสของยังเท่ากับ 11.25 GPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟในช่วงเริ่มต้นของการทดลองมีลักษณะโค้งไม่ได้มีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง เนื่องจากชุดทดลองยังไม่สามารถควบคุมอัตราเร็วดึงให้คงที่ได้ รวมถึงในส่วนของ การติดตั้งเซนเซอร์วัดระยะยืดยังไม่ดีพอ ทำให้คานที่ยึดเซนเซอร์วัดระยะอาจมีการโก่งตัวในตอนเริ่มต้นการทดสอบ

4.3.2 เหล็ก SR24

จากการทดลองการทดสอบแรงดึง เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองแล้ว Front Panel ของโปรแกรม LabVIEW จะแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด, กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะยืด และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดกับเวลา ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 Front panel หลังเสร็จสิ้นการทดลองวัสดุเหล็ก SR24

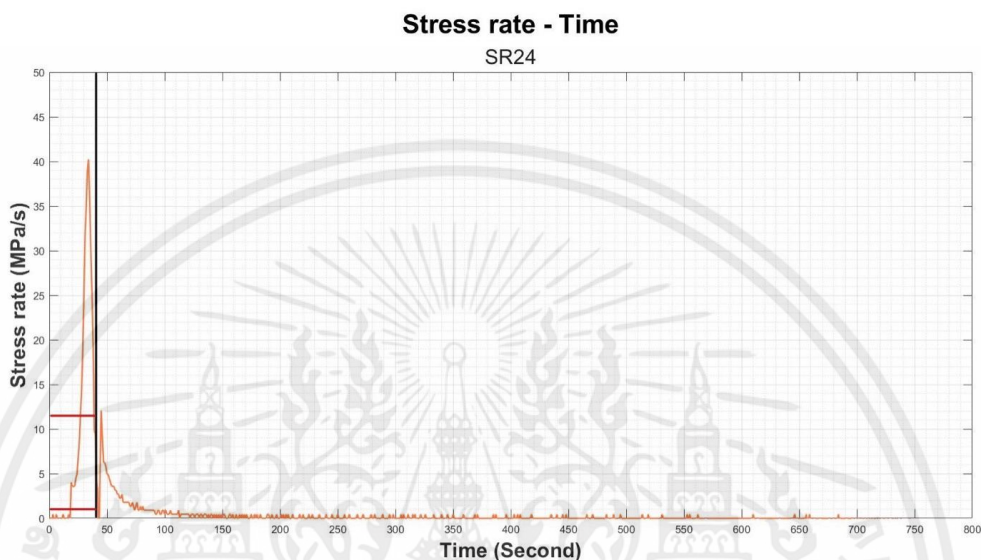


รูปที่ 4.18 ลักษณะการเสียหายของชิ้นทดสอบของวัสดุเหล็ก SR24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.18 คือ ชั้นทดสอบที่ทำจากวัสดุเหล็ก SR24 หลังจากถูกดึงจนขาด หลังจากเสร็จสิ้นการทดลอง

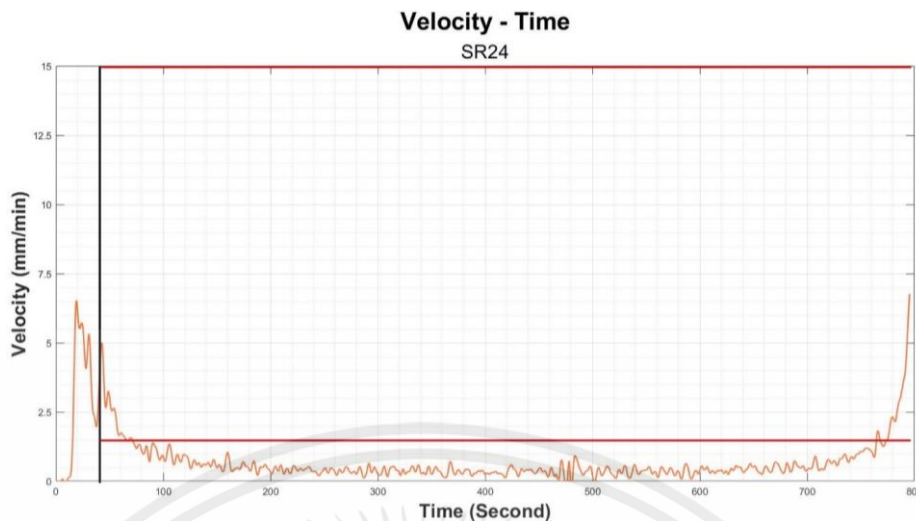
4.3.2.1 อัตราเร็วขณะดึงชั้นทดสอบ



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วในหน่วยมิลลิเมตรต่อวินาทีกับเวลาในหน่วยวินาที ของวัสดุเหล็ก SR24

จากรูปที่ 4.19 อัตราการเพิ่มขึ้นของความเค้นในช่วงก่อนจุดคราก (ก่อนเส้นสีดำ วินาทีที่ 0-40 ในรูปที่ 4.19) ไม่ตรงตามมาตรฐานการทดสอบที่เลือกไว้คือวิธีการ A จากมาตรฐาน ASTM E8/E8M-13a อัตราการใช้ความเค้นต้องอยู่ระหว่าง 1.15 ถึง 11.5 MPa/s (ช่วงระหว่างเส้นสีแดงในรูปที่ 4.19) จะมีช่วงที่ตรงตามมาตรฐานแค่ในช่วง 27 วินาทีแรกของการทดสอบ แต่ในช่วง 27-40 วินาที อัตราการเพิ่มขึ้นของความเค้นเกินมาตรฐานการทดสอบที่เลือกไว้ไปค่อนข้างมาก

จากสมการที่ 2.5 เมื่อนำค่าอัตราการเพิ่มขึ้นของความเค้นในช่วงมาตรฐานระหว่าง 1.15-11.5 MPa/s ทหารด้วยค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) ของเหล็ก SR24 ซึ่งเท่ากับ 210 GPa จะได้ค่าอัตราการเพิ่มขึ้นของความเครียดในช่วงมาตรฐานระหว่าง 0.00000548-0.0000548 mm/mm/s และนำไปคูณกับค่าความยาวระยะพิกัด (Gauge length) ที่ 24 mm จะได้อัตราเร็วมาตรฐานในช่วงอีลาสติกของการทดสอบอยู่ที่ 0.000131-0.00131 mm/s หรือ 0.00789-0.0789 mm/min จากรูปที่ 4.20 อัตราเร็วในช่วงอีลาสติกของเครื่องทดสอบแรงดึง สำหรับเหล็ก SR24 จะเร็วกว่ามาตรฐานทั้งหมด

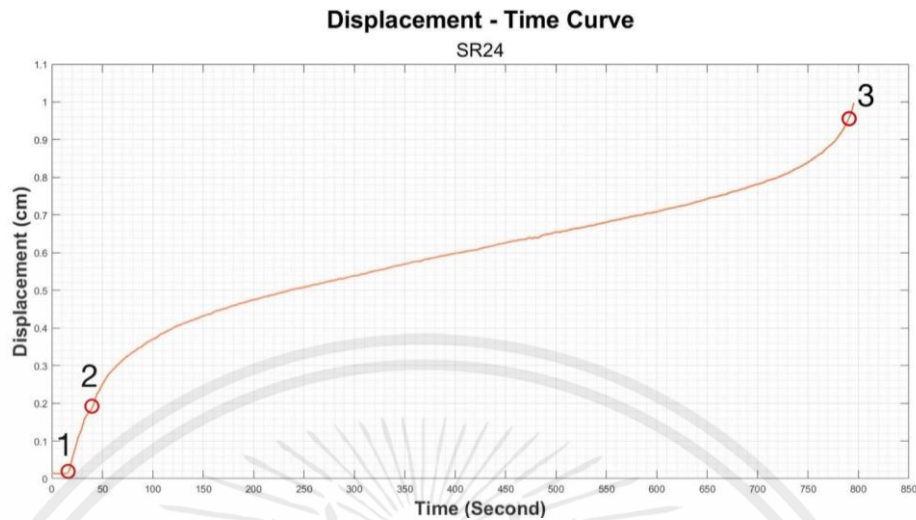


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็ว ในหน่วยมิลลิเมตรต่อนาที กับเวลา ในหน่วยวินาที ของวัสดุเหล็ก SR24

จากรูปที่ 4.20 จะเห็นได้ว่าอัตราเร็วในช่วงหลังจากจุดครากของการทดสอบ (หลังเส้นสีดำ ประมาณหลังจากวินาทีที่ 40 ในรูปที่ 4.20) ไม่ถึงช่วงค่าอัตราเร็วตามมาตรฐานการทดสอบที่เลือกไว้ ที่ 1.5–15 mm/min (ช่วงระหว่างเส้นสีแดงในรูปที่ 4.20) โดยอัตราเร็วส่วนใหญ่ของช่วงพลาสติกจะ อยู่ที่ประมาณ 0.5 mm/min

อัตราเร็วของการทดสอบและอัตราการเพิ่มขึ้นของความเค้นบางช่วงไม่อยู่ในช่วงค่ามาตรฐานคือ เหตุผลเดียวกับ วัสดุอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5 รวมทั้งจากสมการแผ่นอริฟิสในบทที่ 2 สมการที่ 2.1 เมื่อความต้านทานกระบอกสูบสูงขึ้นเนื่องจากวัสดุมีค่าทนแรงดึง (Tensile strength) สูง ส่งผลให้ความดันตกระหว่างแผ่นอริฟิสมีน้อยลง ทำให้อัตราไหลการของน้ำมันมีค่าลดลงตามไปด้วย เมื่อ อัตราไหลของน้ำมันลดลงอัตราเร็วการดึงของกระบอกสูบจึงลดลง จนไม่อยู่ในช่วงมาตรฐาน

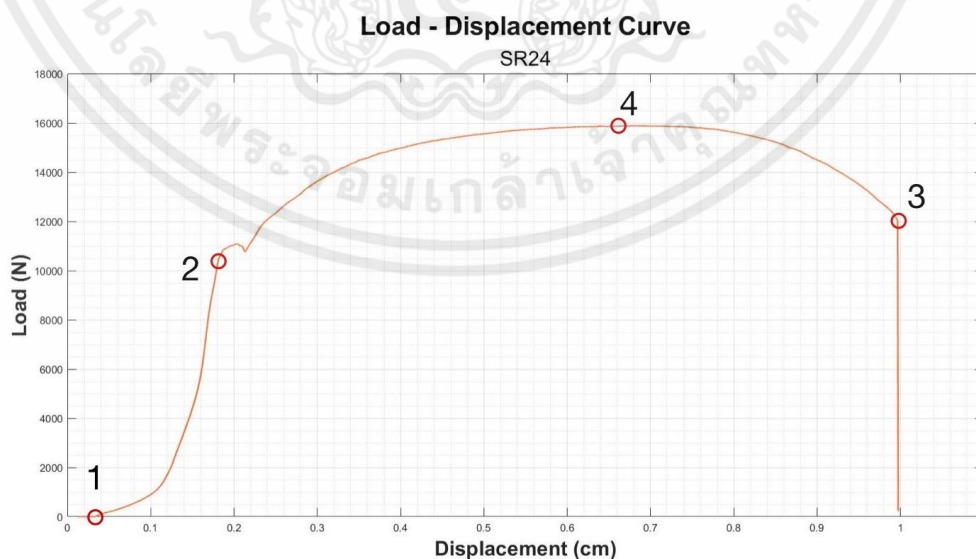
4.3.2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะยึดกับเวลา



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างระยะยึด ในหน่วยเซนติเมตร กับเวลาในหน่วยวินาที ของวัสดุเหล็ก SR24

จากรูปที่ 4.21 แสดงให้เห็นถึงอัตราเร็วในการดึงขึ้นทดสอบขณะทำการทดลอง จากการเทียบกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นหน่วยกับความเครียดจุดที่ 1-2 วัสดุจะอยู่ในช่วงพฤติกรรมแบบอีลาสติก (Elastic Behavior) หลังผ่านช่วงดังกล่าวอัตราเร็วช้าลง (จุดที่ 2-3) เกิดจากอัตราการเพิ่มขึ้นของแรงดึงลดลงอย่างมาก จนขึ้นทดสอบขาดออกจากกันที่ระยะ 0.997 cm (จุดที่ 3) ใช้เวลาการดึงทั้งหมด 796 วินาที

4.3.2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะยึด

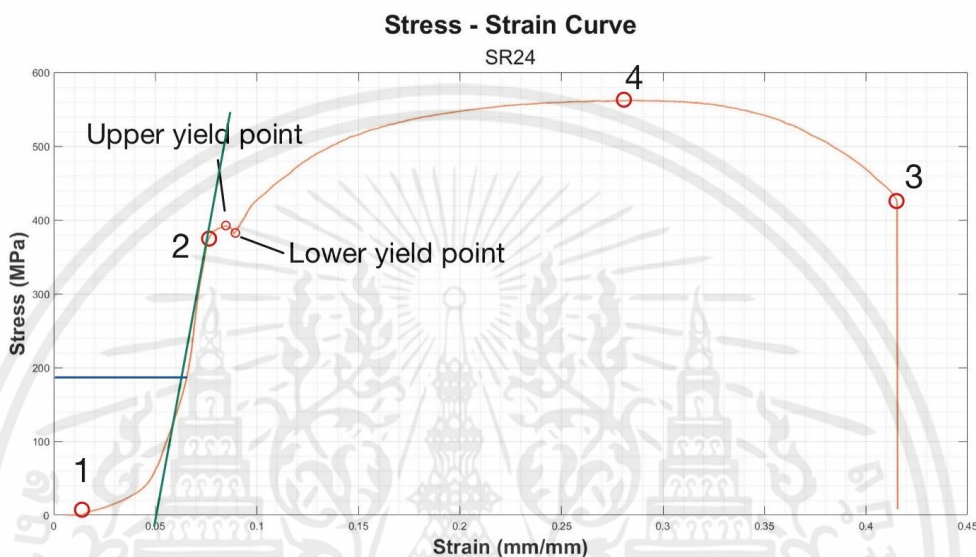


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างแรง ในหน่วยนิวตัน กับระยะยึด ในหน่วยเซนติเมตร ของวัสดุเหล็ก SR24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 4.22 ได้นำจุดหมายเลข 1 2 และ 3 จากรูปที่ 4.21 มาแสดงไว้ในกราฟที่ระยะยืดเดียวกัน ในจุดที่ 4 ขึ้นทดสอบสามารถรับภาระแรงดึงสูงสุดได้เท่ากับ 15874 N

4.3.2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นในหน่วยปาสคาลกับความเครียดของวัสดุเหล็ก SR24

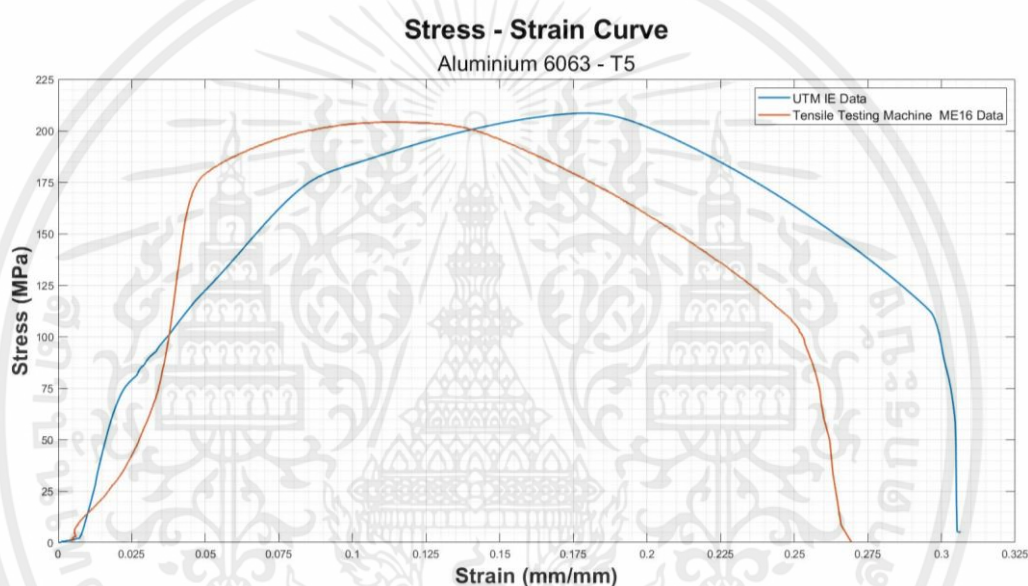
จากรูปที่ 4.23 แสดงความเค้นและความเครียดของวัสดุซึ่งได้จากการนำข้อมูลภาระกับระยะยืดไปคำนวณ โดยจุดที่ 1 2 3 และ 4 ในกราฟคือจุดที่มีภาระและระยะยืดเดียวกันกับจุดในรูปที่ 4.22 โดยจุดที่ 1 คือจุดที่วัสดุเริ่มเกิดการเสียรูป จุดที่ 2 คือช่วงที่คาดว่าวัสดุสิ้นสุดพฤติกรรมแบบอีลาสติก (Elastic limit) เพราะหลังจากนั้นวัสดุมีการเสียรูปมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จุดที่ 3 คือจุดที่ขึ้นทดสอบขาดออกจากกันมีค่าความเค้น ประมาณ 425.53 MPa จุดที่ 4 แสดงค่าความทนแรงดึง (Tensile strength) ประมาณ 562.33 MPa ในกราฟนี้สามารถสังเกตจุดครากบน (Upper yield point) ที่ 390.68 MPa และจุดครากล่าง (Lower yield point) ที่ 380.81 MPa การหาค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) ทำเช่นเดียวกับรูปที่ 4.16 จะได้มอดุลัสของยังโดยใช้วิธีที่ 1 เท่ากับ 11.56 GPa วิธีที่ 2 เท่ากับ 16.67 GPa

กราฟในช่วงเริ่มต้นของการทดลองมีลักษณะโค้งไม่ได้มีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง เนื่องจากชุดทดลองยังไม่สามารถควบคุมอัตราเร็วดึงให้คงที่ได้ รวมถึงในส่วนของ การติดตั้งเซนเซอร์วัดระยะยืดยังไม่ดีพอ ทำให้คานที่ยึดเซนเซอร์วัดระยะอาจมีการโก่งตัวในตอนเริ่มต้นการทดสอบ

4.4 เปรียบเทียบผลการทดลองกับเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ของภาควิชาวิศวกรรม อุตสาหการ

เปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นหน่วยพลาสติกกับความเครียดโดยใช้ค่าข้อมูลระหว่างเครื่องทดสอบแรงดึงในโรงงานนี้กับเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ นำข้อมูลดังกล่าวมาแสดงกราฟผ่านโปรแกรม MATLAB ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการอีกครั้ง ที่ได้อนุเคราะห์ให้ใช้เครื่อง Shimazu ในการทดสอบวัสดุทั้ง 2 ชนิด

4.4.1 อะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5



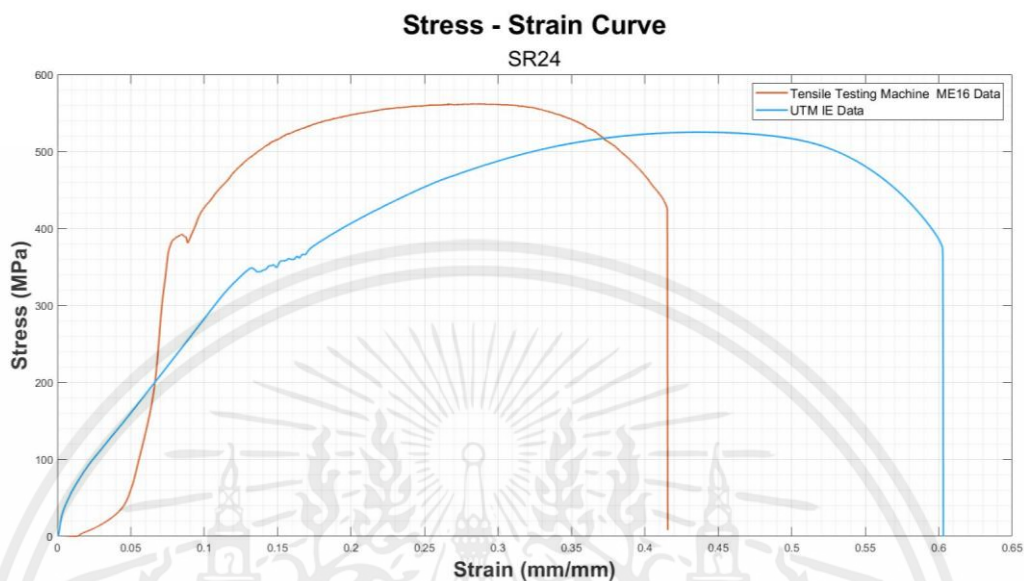
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของวัสดุอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5 โดยเส้นสีส้ม คือ เครื่องทดสอบแรงดึงในโรงงานนี้ และเส้นสีฟ้า คือ เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องทดสอบแรงดึงในโครงการนี้กับเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ โดยใช้ชิ้นทดสอบเป็นอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5

Mechanical Properties	TENSILE TESTING MACHINE ME16	UTM IE	Aluminium alloy 6063-T5	% Error (IE)	% Error (Aluminium alloy 6063-T5)
Tensile strength (MPa)	204.20	208.55	186	2.09	9.78
Yield strength (MPa)	172–188	75.94	145	126.61–147.56	18.62–29.65
Young's modulus (GPa) วิธีที่ 1	4.82	3.30	68.9	46.06	93
Young's modulus (GPa) วิธีที่ 2	11.25	3.30	68.9	240.91	83.67
% Elongation	25.2	30.49	18	17.35	40

จากตารางที่ 4.1 ซึ่งจะได้ค่าความคลาดเคลื่อนของ ค่าความทนแรงดึง (Tensile strength), ค่าความแรงคราก (Yield strength), ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) และค่าร้อยละการยืด (% Elongation) ระหว่างเครื่องทดสอบแรงดึงในโครงการนี้กับเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ พบว่าร้อยละค่าความคลาดเคลื่อนค่าความทนแรงดึง (Tensile strength) เท่ากับ 2.08 %, ค่าความคลาดเคลื่อนค่าความแรงคราก (Yield strength) เท่ากับ 126.61–147.56 %, ค่าความคลาดเคลื่อนค่าร้อยละการยืด (% Elongation) เท่ากับ 34.24 % ค่าคลาดเคลื่อนมอดูลัสของยัง (Young's modulus) วิธีที่ 1 เท่ากับ 46.06 % และค่าความคลาดเคลื่อนมอดูลัสของยัง (Young's modulus) วิธีที่ 2 เท่ากับ 240.91 % ระหว่างเครื่องทดสอบแรงดึงในโครงการนี้กับค่าคุณสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5 พบว่าร้อยละค่าความคลาดเคลื่อนค่าความทนแรงดึง (Tensile strength) เท่ากับ 9.78 %, ค่าความคลาดเคลื่อนค่าความแรงคราก (Yield strength) เท่ากับ 18.62–29.65 %, ค่าความคลาดเคลื่อนค่าร้อยละการยืด (% Elongation) เท่ากับ 40 % ค่าคลาดเคลื่อนมอดูลัสของยัง (Young's modulus) วิธีที่ 1 เท่ากับ 93 % และค่าความคลาดเคลื่อนมอดูลัสของยัง (Young's modulus) วิธีที่ 2 เท่ากับ 83.67 %

4.4.2 เหล็ก SR24



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของวัสดุเหล็ก SR24 โดยเส้นสีส้ม คือ เครื่องทดสอบแรงดึงในโรงงานนี้ และเส้นสีฟ้า คือ เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องทดสอบแรงดึงในโรงงานนี้กับเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ โดยใช้ชิ้นทดสอบเป็นเหล็ก SR24

Mechanical Properties	TENSILE TESTING MACHINE ME16	UTM IE	SR24 (minimum)	% Error (IE)	% Error (SR24)*
Tensile strength (MPa)	562.33	525.08	385	7.09	46.06
Yield strength (MPa)	390.68	348.68	235	12.05	66.25
Young's modulus (GPa) วิธีที่ 1	11.56	2.63	195-210	339.54	- (94.45-94.49)
Young's modulus (GPa) วิธีที่ 2	16.67	2.63	195-210	533.84	- (91.45-92.06)
% Elongation	40.93	60.30	21	32.12	94.9

* % Error (SR24) คือ ร้อยละความแตกต่างจากค่าขั้นต่ำถ้ามีค่าเป็นบวกคือมากกว่าค่าขั้นต่ำ ถ้ามีค่าเป็นลบคือมีค่าน้อยกว่าค่าขั้นต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 ซึ่งจะได้ค่าความคลาดเคลื่อนของ ค่าความทนแรงดึง (Tensile strength), ค่าความแรงคราก (Yield strength), ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) และค่าร้อยละการยืด (% Elongation) ระหว่างเครื่องทดสอบแรงดึงในโครงการนี้กับเครื่องทดสอบแรงดึงของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ พบว่าค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนค่าความทนแรงดึง (Tensile strength) เท่ากับ 7.09 %, ค่าความคลาดเคลื่อนค่าความแรงคราก (Yield strength) เท่ากับ 12.05 %, ค่าความคลาดเคลื่อนค่าร้อยละการยืด (% Elongation) เท่ากับ 32.12 %, ค่าคลาดเคลื่อนมอดูลัสของยัง (Young's modulus) วิธีที่ 1 เท่ากับ 339.54 % และค่าความคลาดเคลื่อนมอดูลัสของยัง (Young's modulus) วิธีที่ 2 เท่ากับ 533.84 % ระหว่างเครื่องทดสอบแรงดึงในโครงการนี้กับค่าคุณสมบัติทางกลขั้นต่ำของ SR24 พบว่าร้อยละค่าความคลาดเคลื่อนค่าความทนแรงดึง (Tensile strength) มีค่ามากกว่าค่าขั้นต่ำ 46.06 %, ค่าความคลาดเคลื่อนค่าความแรงคราก (Yield strength) มีค่ามากกว่าค่าขั้นต่ำ 66.25 %, ค่าความคลาดเคลื่อนค่าร้อยละการยืด (% Elongation) มีค่ามากกว่าค่าขั้นต่ำ 94.9 %, ค่าความคลาดเคลื่อนมอดูลัสของยัง (Young's modulus) วิธีที่ 1 น้อยกว่าค่าขั้นต่ำ 94.45-94.49 % และค่าความคลาดเคลื่อนมอดูลัสของยัง (Young's modulus) วิธีที่ 2 เท่ากับ น้อยกว่าค่าขั้นต่ำ 91.45-92.06 %

4.5 วิจารณ์ผลการทดลอง

1. กราฟในช่วงเริ่มต้นของการทดลองมีลักษณะโค้งแบบเอกซ์โพเนนเชียลไม่ได้มีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง เนื่องจากชุดทดลองยังไม่สามารถควบคุมอัตราเร็วดึงให้คงที่ได้ รวมถึงในส่วนของ การติดตั้งเซนเซอร์วัดระยะยืดยังไม่ดีพอ ทำให้คานที่ยึดเซนเซอร์วัดระยะอาจมีการโก่งตัวในตอนเริ่มต้น การทดสอบ

2. อัตราเร็วของการทดสอบบางช่วงไม่อยู่ในช่วงค่ามาตรฐานที่เลือกไว้เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมระบบควบคุมอัตราเร็วอัตโนมัติ ทำให้ไม่สามารถควบคุมอัตราเร็วการเพิ่มขึ้นของความเค้นและอัตราเร็วดึงได้ คานที่ยึดเซนเซอร์วัดระยะอาจมีการโก่งตัวในตอนเริ่มต้นการทดสอบ อาจส่งผลให้ค่าคุณสมบัติของวัสดุเกิดความคลาดเคลื่อน

3. เปรียบเทียบกราฟแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของวัสดุ อะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5 และเหล็ก SR24 ระหว่างเครื่องทดสอบแรงดึงในโครงการนี้กับเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ พบว่าค่าความทนแรงดึง (Tensile strength) มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ค่าคุณสมบัติทางกลอื่นๆไม่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากการทดสอบไม่ได้ใช้วิธีการควบคุมอัตราเร็ววิธีเดียวกัน ขนาดชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นต่างกันเล็กน้อย และผิวชิ้นทดสอบไม่เรียบซึ่งเกิดขึ้นในขั้นตอนการกลึง ส่งผลให้ชิ้นทดสอบต่างกันจะทำให้ค่าคุณสมบัติทางกลที่ต่างกัน

4. การกลึงชิ้นทดสอบ จำเป็นต้องกลึงขนาดในส่วนที่ใส่ลงในหัวจับชิ้นทดสอบให้เล็กกว่าในแบบเล็กน้อยเพื่อให้สามารถใส่ได้ และการลบมุมแหลมแบบสันร่องเว้า (Concave Fillet) ตามมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ASTM E8/E8M-13a ไม่สามารถทำได้ เนื่องจากต้องใช้มีดกลึงในลักษณะเฉพาะ จึงได้ทำการใช้แบบ
ลบมุม (Chamfer) แทน ซึ่งอาจส่งผลต่อค่าต่างๆได้

5. เซนเซอร์วัดแรงและเซนเซอร์วัดระยะยืดหลังจากที่ทำการสอบเทียบแล้วนำไปติดตั้งเข้ากับ
เครื่องทดสอบแรงดึงและทำการทดลองสามารถแสดงผลได้ถูกต้อง แต่อย่างไรก็ตามจะต้องมีการสอบ
เทียบเครื่องมือวัดซ้ำเมื่อใช้งานไปสักระยะเพื่อให้เซนเซอร์แสดงผลได้ถูกต้องและแม่นยำ

6. สามารถใช้โปรแกรม LabVIEW ในการควบคุมการทำงานของเครื่องทดสอบแรงดึงได้รวมถึง
โปรแกรม LabVIEW สามารถอ่านค่าจากเซนเซอร์ทุกตัวและแสดงค่าเป็นกราฟได้ตามที่ต้องการ



4.6 ตัวอย่างใบบันทึกผลการทดลอง

การทดลอง

เรื่อง การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

1. วัตถุประสงค์

- 1.1 เพื่อให้นักศึกษาได้เรียนรู้คุณสมบัติทางกลที่สำคัญต่างๆ ของวัสดุจำพวกโลหะ
- 1.2 เพื่อให้นักศึกษาได้เรียนรู้หลักการทดสอบแรงดึง
- 1.3 เพื่อศึกษาลักษณะการเสียรูปของโลหะเมื่อได้รับแรงดึง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

2.1 ความเค้นและความเครียดของวัสดุ

วัสดุแต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติทางกลเป็นของตัวเอง ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะแสดงออกมาเมื่อวัสดุมีแรงมากระทำจนทำให้เกิดความเสียหายหรือเกิดการเสียรูปถาวร เช่น ความแข็งแรง (Strength) ความเหนียว ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด เป็นต้น วิธีหนึ่งที่สามารถวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุได้ คือ การนำวัสดุไปทดสอบกับเครื่องทดสอบแรงดึงสากล (Universal Testing Machine) ซึ่งในการทดสอบของวัสดุแต่ละประเภทนั้นก็แตกต่างกันออกไป เช่น การใช้แรงดึง การใช้แรงกด การดัด เป็นต้น แต่ในวัสดุเหนียวทั่วไปส่วนมากจะทดสอบโดยการใช้แรงดึง เพื่อวัดค่าความเค้นและความเครียด ผลที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 2.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าวัสดุจะมีค่าความความแข็งแรงคราก (Yield strength), ความทนแรงดึง (Tensile/Ultimate strength) และค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่น (Young's modulus) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด มีค่าเท่ากับความชันในช่วงก่อนจุดคราก (Yield point)

รูปที่ 2.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด และค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.1 เมื่อทำการทดสอบผ่านเครื่องทดสอบแรงดึงสากล (Universal Testing Machine) โดยวิธีการดึง แรงที่ใช้ดึงจะทำให้เกิดแรงภายในชิ้นส่วนซึ่งจะถูกแปรเปลี่ยนไปเป็นค่าความเค้น และระยะยืดจากการเสียรูปของวัสดุจะถูกแปรเปลี่ยนไปเป็นค่าความเครียด โดยมีความสัมพันธ์กันดังสมการต่อไปนี้

ความเค้น (Stress, σ) คือ ค่าที่เกิดจากแรงกระทำต่อวัสดุ โดยทำให้วัสดุเกิดการเสียรูปหรือเกิดความเสียหาย

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

เมื่อ F คือ แรงที่กระทำตั้งฉากกับผิววัสดุ

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่ถูกแรงกระทำ

ความเครียด (Strain, ϵ) คือ ค่าที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุเทียบกับขนาดตั้งต้น

$$\epsilon = \frac{l-L}{L} \quad (2.2)$$

เมื่อ l คือ ความยาวสุดท้าย

L คือ ความยาวเริ่มต้น

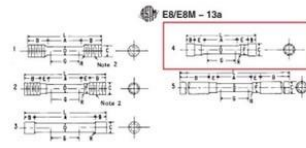
ค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่น (Young's modulus) คือ ค่าที่บ่งบอกความยืดหยุ่นของวัสดุในช่วงก่อนที่จะเกิดการเสียรูปอย่างถาวร หรือในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2.3)$$

เมื่อ E คือ มอดูลัสสภาพยืดหยุ่น

2.2 การเตรียมวัสดุเพื่อให้เหมาะสมต่อการทดสอบการดึง

วิธีทดสอบมาตรฐานสำหรับการทดสอบแรงดึง ASTM E8 / E8M-13a เป็นกระบวนการทดสอบที่พบมากที่สุดในตัวอย่างโลหะ โดยรูปทรงของชิ้นทดสอบ ดังรูปที่ 2.2 และขนาดชิ้นทดสอบดังรูปที่ 2.3



Dimensions, mm [in.]

For Test Specimens with Gauge Length Four times the Diameter [E8]

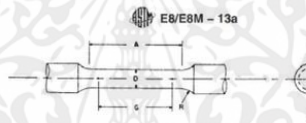
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G-Gauge length	50.0 ± 0.1	50.0 ± 0.1	50.0 ± 0.1	50.0 ± 0.1	50.0 ± 0.1
D-Diameter (Note 1)	(2.000 ± 0.005)	(2.000 ± 0.005)	(2.000 ± 0.005)	(2.000 ± 0.005)	(2.000 ± 0.005)
R-Radius of fillet, min	(0.500 ± 0.010)	(0.500 ± 0.010)	(0.500 ± 0.010)	(0.500 ± 0.010)	(0.500 ± 0.010)
A-Length of reduced section, min	56 [2.21]	56 [2.21]	56 [2.21]	56 [2.21]	56 [2.21]
L-Overall length, approximate	143 [5]	143 [5]	143 [5]	143 [5]	143 [5]
B-Length of end section (Note 2)	38 [1.50]	38 [1.50]	38 [1.50]	38 [1.50]	38 [1.50]
C-Diameter of end section, approximate	20 [0.75]	20 [0.75]	20 [0.75]	20 [0.75]	20 [0.75]
D-Length of shoulder and fillet section, approximate	59 [2.32]	59 [2.32]	59 [2.32]	59 [2.32]	59 [2.32]
F-Diameter of shoulder	15 [0.625]	15 [0.625]	15 [0.625]	15 [0.625]	15 [0.625]

Dimensions, mm [in.]

For Test Specimens with Gauge Length Five times the Diameter [E8M]

	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G-Gauge length	62.5 ± 0.1	62.5 ± 0.1	62.5 ± 0.1	62.5 ± 0.1	62.5 ± 0.1
D-Diameter (Note 1)	(2.460 ± 0.005)	(2.460 ± 0.005)	(2.460 ± 0.005)	(2.460 ± 0.005)	(2.460 ± 0.005)
R-Radius of fillet, min	(0.610 ± 0.010)	(0.610 ± 0.010)	(0.610 ± 0.010)	(0.610 ± 0.010)	(0.610 ± 0.010)
A-Length of reduced section, min	75 [3]	75 [3]	75 [3]	75 [3]	75 [3]
L-Overall length, approximate	188 [7.4]	188 [7.4]	188 [7.4]	188 [7.4]	188 [7.4]
B-Length of end section (Note 2)	47 [1.85]	47 [1.85]	47 [1.85]	47 [1.85]	47 [1.85]
C-Diameter of end section, approximate	25 [0.98]	25 [0.98]	25 [0.98]	25 [0.98]	25 [0.98]
D-Length of shoulder and fillet section, approximate	71 [2.79]	71 [2.79]	71 [2.79]	71 [2.79]	71 [2.79]
F-Diameter of shoulder	19 [0.75]	19 [0.75]	19 [0.75]	19 [0.75]	19 [0.75]

รูปที่ 2.2 รูปทรงของชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E8 / E8M-13a



Dimensions, mm [in.]

For Test Specimens with Gauge Length Four times the Diameter [E8]

	Standard Specimen	Small-Size Specimens Proportional to Standard				
		Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G-Gauge length	50.0 ± 0.1	26.0 ± 0.1	26.0 ± 0.1	26.0 ± 0.1	16.0 ± 0.1	10.0 ± 0.1
D-Diameter (Note 1)	(2.000 ± 0.005)	(1.040 ± 0.005)	0.9 ± 0.1	0.8 ± 0.1	(0.640 ± 0.005)	(0.430 ± 0.005)
R-Radius of fillet, min	(0.500 ± 0.010)	(0.260 ± 0.007)	0.25	0.25	(0.160 ± 0.005)	(0.113 ± 0.002)
A-Length of reduced section, min (Note 2)	56 [2.25]	45 [1.75]	45	32 [1.25]	20 [0.75]	16 [0.625]

Dimensions, mm [in.]

For Test Specimens with Gauge Length Five times the Diameter [E8M]

	Standard Specimen	Small-Size Specimens Proportional to Standard				
		Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G-Gauge length	62.5 ± 0.1	45.0 ± 0.1	45.0 ± 0.1	30.0 ± 0.1	20.0 ± 0.1	12.5 ± 0.1
D-Diameter (Note 1)	(2.500 ± 0.005)	(1.750 ± 0.005)	1.6 ± 0.1	(1.250 ± 0.005)	(0.800 ± 0.005)	(0.565 ± 0.005)
R-Radius of fillet, min	(0.610 ± 0.010)	(0.330 ± 0.007)	0.3 ± 0.1	(0.250 ± 0.005)	(0.160 ± 0.005)	(0.113 ± 0.002)
A-Length of reduced section, min (Note 2)	75 [3.0]	54 [2.0]	54	36 [1.4]	24 [1.0]	20 [0.75]

รูปที่ 2.3 ขนาดของชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E8 / E8M-13a

ในการสร้างชิ้นทดสอบขนาดเล็กสามารถทำได้โดยการเทียบอัตราส่วนของขนาดชิ้นทดสอบกับขนาดมาตรฐานของชิ้นทดสอบ เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E8 / E8M-13a ดังนั้นจึงเลือกรูปทรงชิ้นทดสอบ ดังรูปที่ 2.2 เพื่อนำมาสร้างชิ้นทดสอบให้มีขนาด ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งขนาดชิ้นทดสอบจะอยู่ในบทถัดไป

ปัจจัยในการเลือกรูปทรงและขนาดของชิ้นทดสอบ ประกอบไปด้วย 2 ปัจจัย ดังนี้

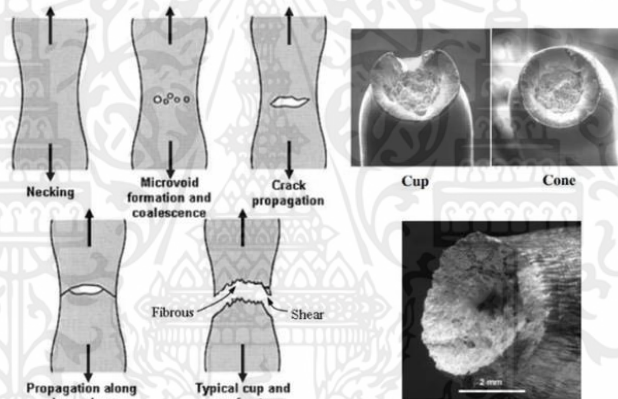
- ตำแหน่งที่จับชิ้นทดสอบรวมถึงหัวจับชิ้นทดสอบ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อความเค้นในการทดสอบ
- บริเวณที่ต้องการให้เกิดความเสียหาย เพื่อให้เกิดความเสียหายในบริเวณที่ต้องการ อีกทั้งต้องการให้เห็นความเสียหายที่ชัดเจน โดยทั่วไปขนาดของชิ้นทดสอบเป็นไปตามอัตราส่วน L / D เท่ากับ 5 ถ้าน้อยกว่านี้ จะส่งผลต่อระยะยืดตัวและการลดลงของพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้การลบมุมแหลม (Fillet) สามารถช่วยให้ไม่เกิดความเค้นที่สูงเฉพาะจุดในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างกะทันหัน

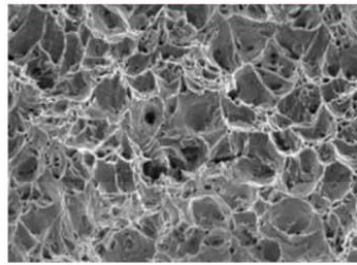
2.3 ลักษณะการเสียรูปของชิ้นทดสอบ

สำหรับโลหะที่มีความยืดหยุ่นสูง (Ductile metal) โดยทั่วไปจะแสดงการแตกหักแบบถ้วยและกรวย (Cup and cone) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เมื่อพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบเกิดการคอดลง (Necking) ภายหลังจากกราฟ Stress-strain ผ่านจุดสูงสุด ภายในบริเวณพื้นที่หน้าตัดดังกล่าวจะเกิดช่องว่างเล็กๆที่เรียกว่า Microvoid จำนวนมาก และ Microvoid ต่างๆเหล่านี้จะมีขนาดใหญ่ขึ้นจนมาเชื่อมกันเกิดเป็นรอยแตกขนาดใหญ่บริเวณตรงกลางโดยมีระนาบของรอยแตกตั้งฉากกับทิศทางแรงดึง ก่อนชิ้นทดสอบเกิดการแตกหักจะมีการฟอร์มตัวของรอยแตกตามระนาบแรงเฉือน (Shear plane) ขึ้นที่ขอบของชิ้นทดสอบและเกิดการเชื่อมโยงของรอยแตกทั้งสองเกิดเป็นลักษณะการแตกหักแบบ Cup and cone ดังกล่าว เมื่อเราสังเกตพื้นผิวการแตกหักด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสีเทาเนื่องจากเป็นพื้นผิวที่ขรุขระ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 การแตกหักแบบ Ductile fracture นี้จะมีการดูดซับพลังงานระหว่างการแตกหักค่อนข้างมากเพราะระหว่างการแตกหักจะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกอย่างเห็นได้ชัด

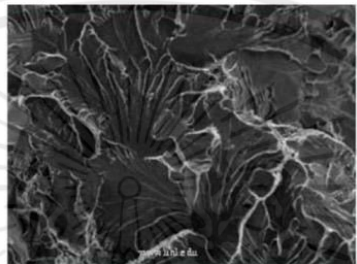


รูปที่ 2.4 ลักษณะการแตกหักแบบถ้วยและกรวย (Cup and cone fracture)

สำหรับโลหะที่มีความเปราะ (Brittle metals) จะมีลักษณะพื้นผิวการแตกหักที่เรียบและแวววาว ในบางกรณีอาจมองเห็นเป็นกลุ่มของ Brittle facets ได้หากชิ้นงานมีขนาดของเกรน (Grain) ที่หยาบมาก หรือหากเกรนของโลหะมีขนาดเล็ก เราสามารถตรวจสอบ Brittle facets ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 การแตกหักแบบ Brittle fracture นี้จะมีการดูดซับพลังงานระหว่างการแตกหักค่อนข้างน้อย โดยส่วนใหญ่วัสดุนั้นจะมีค่า Yield strength ที่ค่อนข้างสูง



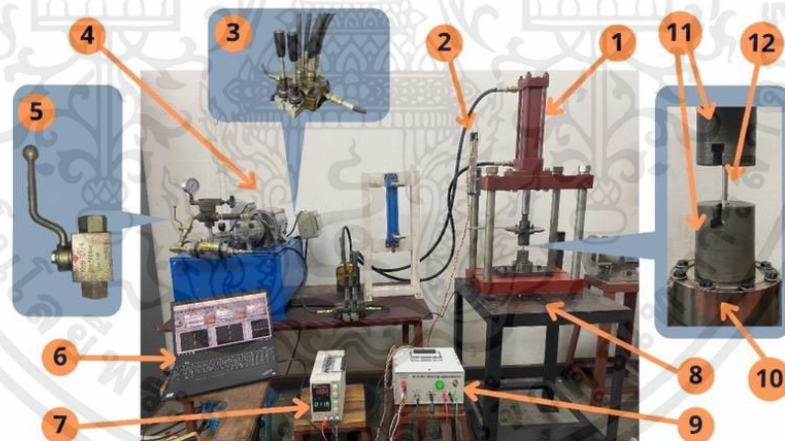
รูปที่ 2.5 Ductile Surface fracture



รูปที่ 2.6 Brittle Surface fracture

3. อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

3.1 เครื่องทดสอบแรงดึง



รูปที่ 3.1 เครื่องทดสอบแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบของเครื่องทดสอบแรงดึง

1. กระบอกลูกสูบ
2. เซนเซอร์วัดระยะยืด
3. วาล์วควบคุมทิศทางการไหล (Directional control valve) 4/3
4. ชุดต้นกำลัง
5. วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Ball valve)
6. คอมพิวเตอร์
7. พาวเวอร์ซัพพลาย
8. แท่นวางเครื่อง
9. กล้องควบคุม
10. เซนเซอร์วัดแรง
11. หัวจับชิ้นทดสอบ
12. ชิ้นทดสอบ

3.2 กล้องควบคุม



รูปที่ 3.2 กล้องควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 วิธีการต่อสายล่อลวงควบคุม

ทำการต่อไฟแรงดัน 10 โวลต์ จากพาวเวอร์ซัพพลาย เข้าที่หมายเลข 1 หลังจากนั้นให้ทำการต่อสายไฟจากเซนเซอร์วัดระยะที่หมายเลข 4 และเซนเซอร์วัดแรงที่หมายเลข 5 ถัดมาให้ทำการต่อสายเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ที่หมายเลข 5 สุดท้ายทำการโยกสวิตช์จากตำแหน่ง OFF ไปยัง ON ที่หมายเลข 2 และหลอดไฟที่หมายเลข 3 จะสว่างขึ้น

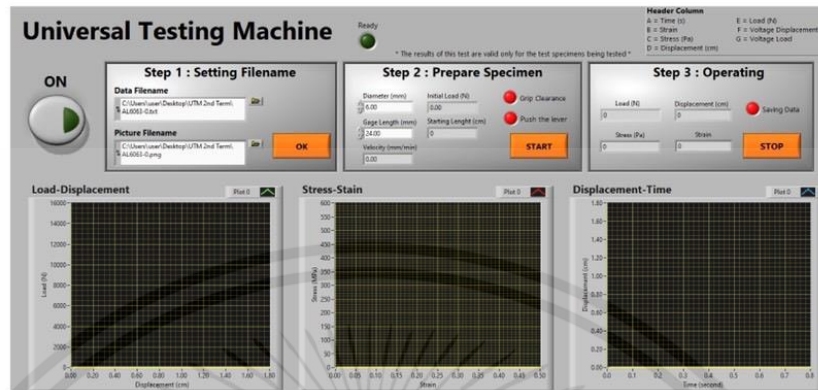
3.3 พาวเวอร์ซัพพลาย (DC power supply)



รูปที่ 3.3 พาวเวอร์ซัพพลาย (DC power supply) ยี่ห้อ UNI-T รุ่น UTP3315TFL-II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

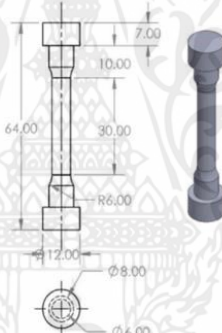
3.4 โปรแกรม LabVIEW



รูปที่ 3.4 Front Panel โปรแกรม LabVIEW ของเครื่องทดสอบแรงดึง

3.5 ชิ้นทดสอบ

ชิ้นทดสอบที่ใช้ในการทดลองนี้ถูกสร้างขึ้นตามมาตรฐาน ASTM E8 / E8M-13a ขนาดและรูปทรงของชิ้นทดสอบดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบ

4. วิธีการทดลอง

- 4.1 เชื่อมต่อกล่องควบคุมกับแหล่งจ่ายไฟ 10 โวลต์, เซนเซอร์ และคอมพิวเตอร์
- 4.2 เริ่มการทำงานของระบบไฮดรอลิกโดยการเปิดสวิตช์มอเตอร์
- 4.3 ปรับวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Ball valve) ให้อยู่ในตำแหน่งปิด และตรวจสอบความดันที่กำหนดไว้กับวาล์วปลดแรงดัน ในการทดลองต่อไปนี้จะกำหนดไว้ที่ 40 bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.4 เปิดโปรแกรม LabVIEW กดปุ่มเริ่มต้นโปรแกรม
- 4.5 ในช่อง Step 1 ให้กำหนดตำแหน่งที่ตั้งของไฟล์ Text และรูปภาพ ที่ต้องการจะบันทึก จากนั้นกดปุ่ม OK
- 4.6 ทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบ และในช่อง Step 2 ให้กรอกขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดได้ และกรอกค่า Gauge length เท่ากับ 24 mm ลงในโปรแกรม
- 4.7 ปรับความเร็วของกระบอบสูบให้อยู่ในช่วง 1.25-15 mm/min แนะนำในช่วงที่ง่ายต่อการปรับ คือ 10-15 mm/min
- 4.8 ปรับระยะของลูกสูบไปอยู่ในระยะที่สามารถใส่ชิ้นทดสอบได้ สัญญาณไฟ Clearance จะเปลี่ยนจากสีแดงไปเป็นไฟสีฟ้า จึงทำการใส่ชิ้นทดสอบ และกดปุ่ม Start
- 4.9 หากสัญญาณไฟ Push the lever เปลี่ยนจากสีแดงจะเปลี่ยนไปเป็นไฟสีฟ้า ให้ทำการเริ่มต้นต้นคั้นโยกควาล์วควบคุมทิศทางการไหล (Directional control valve) ค้างไว้
- 4.10 อ่านค่า กราฟและบันทึกผล ใน Step 3
- 4.11 หากชิ้นทดสอบขาดออกจากกันโปรแกรมจะหยุดการทำงานทันที หรือหากไม่หยุดทำการ ให้กดปุ่ม STOP
- 4.12 เปิดไฟล์ข้อมูลที่ได้ตั้งไว้ในตอนแรก นำข้อมูลจากการดึงชิ้นทดสอบทั้งหมด มาศึกษาความสัมพันธ์ของความเค้นกับความเครียดที่เกิดขึ้น เพื่อหาค่า คุณสมบัติทางกลที่สำคัญ ได้แก่ ค่าความแรงคราก (Yield strength), ความทนแรงดึง (Tensile/Ultimate strength), ค่าความแรงคราก (Yield strength), ค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่น (Young's modulus) และค่าร้อยละการยืด (% Elongation)
- 4.13 สรุปผลการทดลอง

ตารางบันทึกผลการทดลอง

เครื่องทดสอบแรงดึง

Tensile Testing Machine

ผู้ทำการทดลอง.....วันที่.....

หมายเลขชิ้น ทดสอบ	วัสดุของชิ้นทดสอบ	ความเร็วการดึง (mm/min)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	Gauge length (mm)	ระยะเริ่มต้น (mm)	ระยะสุดท้าย (mm)

ตารางสรุปผล

	สูตรคำนวณ	ชิ้นทดสอบ	
Cross Section Area (mm ²)			
Young's modulus (GPa)			
Load at yield point (N)			
Yield strength (MPa)			
Maximum load (N)			
Ultimate strength (MPa)			
% Elongation at fracture			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

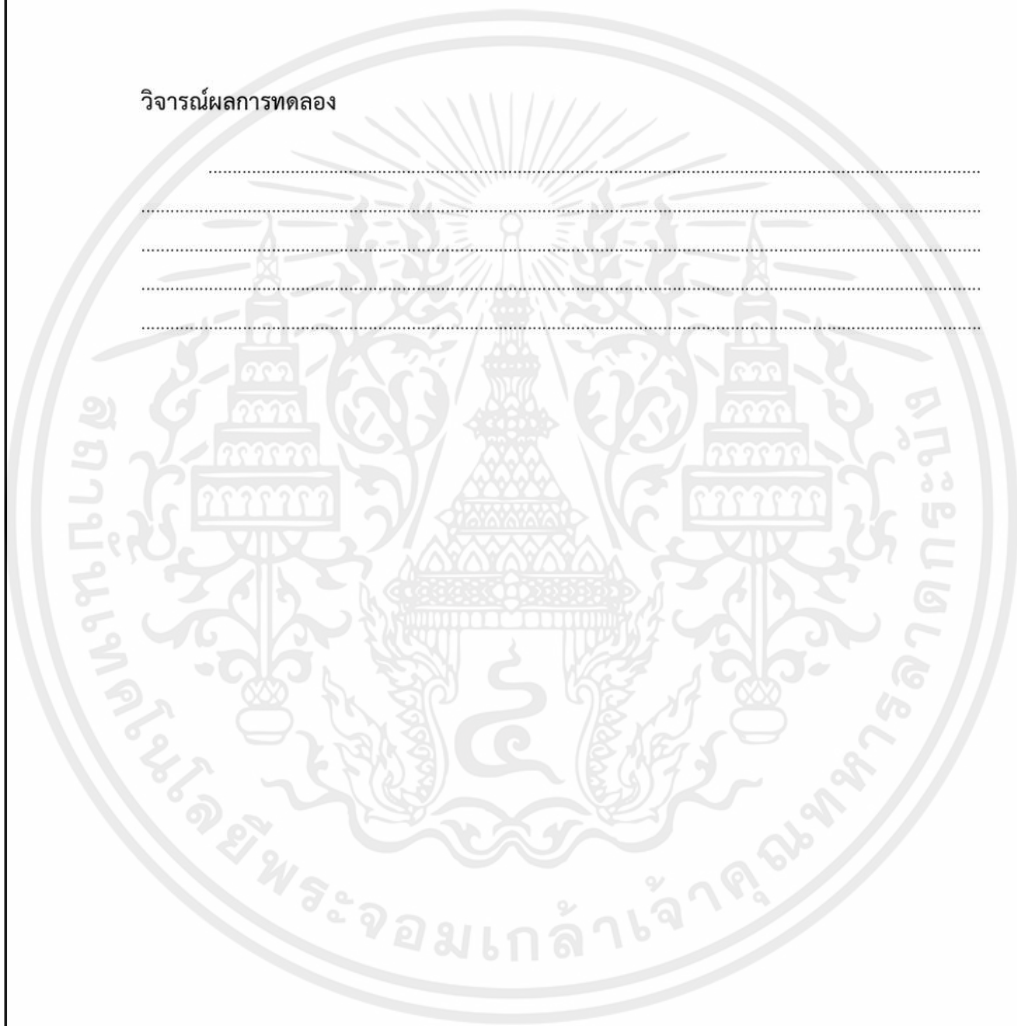
วิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบแรงดึงสำหรับใช้ในวิชาการทดลองวิศวกรรมเครื่องกล รวมถึงทดสอบเครื่องให้สามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์ เพื่อให้ให้นักศึกษารุ่นต่อไปได้ลงมือปฏิบัติการทดสอบด้วยตนเอง และเรียนรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติทางกลของวัสดุจากผลการทดลองที่ได้ อีกทั้งศึกษาและออกแบบระบบควบคุมการทำงานของระบบไฮดรอลิกผ่านโปรแกรม LabVIEW จากการทดสอบการทำงานของเครื่องทดสอบแรงดึง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบแรงดึงสำหรับใช้ในวิชาการทดลองวิศวกรรมเครื่องกล ผลการสร้างเครื่องทดสอบแรงดึงโดยได้นำอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วและอุปกรณ์เพิ่มเติมที่จำเป็นเข้าไปติดตั้งกับเครื่องทดสอบแรงดึงเพื่อให้เครื่องทดสอบแรงดึงสามารถทำงานได้ ซึ่งได้ลงมือทำจนสำเร็จและนำไปสู่การทดสอบของเครื่องตามวิธีทดสอบมาตรฐานสำหรับการทดสอบแรงดึง ASTM E8/E8M-13a จนสามารถขึ้นทดสอบจนขาด และแสดงผลผ่านโปรแกรม LabVIEW ได้

2. เรียนรู้คุณสมบัติทางกลของวัสดุ จากการทดลองด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงโดยใช้อะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5 และเหล็ก SR24 เป็นวัสดุในการทดลอง จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติทางกลได้ดังนี้ ค่าความทนแรงดึง (Tensile strength), ค่าความแรงคราก (Yield strength), ค่าร้อยละการยืด (% Elongation) และค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) จากนั้นนำค่าคุณสมบัติของวัสดุที่ได้จากการทดสอบเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบแรงดึงของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และค่าคุณสมบัติทางกลของวัสดุทั้งสองตัว จะได้ค่าความคลาดเคลื่อนของความทนแรงดึง (Tensile strength), ค่าความแรงคราก (Yield strength), ค่าร้อยละการยืด (% Elongation), ค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) วิธีที่ 1 และค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) วิธีที่ 2 ของอะลูมิเนียมอัลลอย 6063-T5 เมื่อเทียบกับภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ เท่ากับ 2.09 %, 126.61-147.56 %, 17.35 %, 46.06 % และ 240.91 % ตามลำดับ เมื่อเทียบกับคุณสมบัติทางกลของวัสดุเท่ากับ 9.78 %, 18.62-29.65 %, 40 %, 93 % และ 83.67 % ตามลำดับ ของเหล็ก SR24 เมื่อเทียบกับภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ เท่ากับ 7.09 %, 12.05 %, 32.12%, 339.54 % และ 533.84 %ตามลำดับ เมื่อเทียบกับคุณสมบัติทางกลขั้นต่ำของวัสดุ เท่ากับ 46.06 %, 66.25 %, 94.9 %, 94.45-94.49 % และ 91.45-92.06 % ตามลำดับ

3. ออกแบบโปรแกรม LabVIEW ที่สามารถแสดงค่าแรงดึง, ระยะเวลายืด, ความเค้น, ความเครียด และอัตราเร็วการดึง รวมถึงสามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะยืด, ความเค้นกับ

ความเครียด และระยะยืดกับเวลา และบันทึกข้อมูลต่างๆออกมาได้ ตรงตามที่จุดประสงค์และขอบเขตที่ได้ออกแบบไว้ รวมทั้งสามารถนำไปใช้ได้จริง

4. ได้มีการออกแบบการทดลอง และจัดทำในรูปแบบของเอกสารการทดลอง ภายในเอกสารจะประกอบด้วย ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง วิธีการทดลอง ตารางบันทึกผล สรุปผล เพื่อให้ นักศึกษารุ่นต่อไปได้เรียนรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติทางกลของวัสดุ รวมถึงลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง

5. ในส่วนของอัตราเร็วเครื่องทดสอบแรงดึงไม่สามารถควบคุมอัตราการเพิ่มขึ้นของความเค้น ในช่วงอีลาสติก ตามมาตรฐานสำหรับการทดสอบแรงดึง ASTM E8/E8M-13a แต่ยังคงอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ของมาตรฐาน DIN EN ISO 6892-1 ซึ่งเป็นมาตรฐานการทดสอบแรงดึงของวัสดุที่เป็น โลหะ ที่กำหนดไว้ว่าวัสดุที่เป็นอะลูมิเนียมต้องไม่เกิน 2–20 MPa/s และเหล็กต้องไม่เกิน 6–60 MPa/s ส่วนในช่วงหลังจากจุดคราก (Yield point) หากขึ้นทดสอบไม่เป็นวัสดุที่มีค่าความทนแรงดึง (Tensile strength) สูงจนเกินไป เครื่องทดสอบแรงดึงในโครงการนี้สามารถปรับอัตราเร็วให้อยู่ใน มาตรฐาน ASTM E8/E8M-13a ที่ไม่เกิน 1.5–15 mm/min ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

เครื่องทดสอบแรงดึงยังมีข้อเสียในเรื่องที่ไม่สามารถควบคุมอัตราเร็วในการทดสอบให้คงที่ได้ ทำให้ข้อมูลบางช่วงไม่ถูกต้อง และใช้งานได้ลำบาก เนื่องจากจำเป็นต้องปรับวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบ Ball valve ให้อยู่ในลักษณะเกือบปิดเพื่อให้ได้อัตราเร็วที่ต้องการ อีกทั้งยังทำให้ระบบไฮดรอลิกส่งกำลังไปที่กระบอกสูบได้ช้าลง ส่งผลให้ใช้เวลาในการทดลองมากขึ้นด้วย การแก้ไขในส่วนนี้สามารถทำได้โดยติดตั้งวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Flow control valve) ที่สามารถปรับอัตราการไหลแบบอัตโนมัติ เพื่อให้สามารถควบคุมอัตราเร็วในการดึงของเครื่องทดสอบแรงดึงให้อยู่ในช่วง มาตรฐานที่กำหนดตลอดการทดสอบ

บรรณานุกรม

- [1] วรุตม์ แซ่จั้ง, อภินิษฐ์ วงษ์เที่ยง และอภิสิทธิ์ สิวสวรรค์. 2564. การออกแบบเครื่องทดสอบแรงดึงราคาถูก. ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม เครื่องกล. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ
- [2] Dr. Sukangkana Lee. **Tension Test**. <http://202.28.49.89/f20090909sukangkanal28.pdf>
- [3] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. **การทดสอบแรงดึง**. http://eng.sut.ac.th/me/2014/laboratory/document/Tensile_Test.pdf
- [4] The Bangkok iron and steel works Co.,Ltd. **เหล็กเส้นกลม SR-24**. <https://www.biswsteel.com/15695232/%E0%B9%80%E0%B8%AB%E0%B8%A5%E0%B9%87%E0%B8%81%E0%B9%80%E0%B8%AA%E0%B9%89%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8%A5%E0%B8%A1-sr-24>
- [5] Anthony Esposito. **Fluid power with applications**. Seventh Edition. Peason, Inc. 2014.
- [6] Joseph E. Shigley, J. Keith Budynas, Richard G. Budynas. **Mechanical engineering design**. Eleventh Edition. McGrawHill. 2019.
- [7] Alan S Morris. **Measurement & Instrumentation principles**. Third Edition. Butterworth-Heinemann. 2001.
- [8] David G. Ullman. **The Mechanical Design Process**. Fourth edition. McGraw-Hill. 2010.
- [9] Zainab Raheem. **Standard test methods for tension testing of metallic materials**, Researchgate. https://www.researchgate.net/profile/Zainab-Raheem-2/publication/332383202_Designation_E8E8M13a_Standard_Test_Methods_for_Tension_Testing_of_Metallic_Materials_1/links/5cb0e474299bf12097623491/Designation-E8-E8M-13a-Standard-Test-Methods-for-Tension-Testing-of-Metallic-Materials-1.pdf
- [10] Wikipedia. **Tensile testing**. https://en.wikipedia.org/wiki/Tensile_testing
- [11] Shu Zhang and Yubin Lu. **Experimental and numerical investigation on the dumbbell-shaped specimen of concrete-like materials under tension**. <http://www.scielo.br/j/lajss/a/JyTS6CJtrKdLbwXD3P9rJyp/?lang=en>
- [12] Loughborough University. **Stress concentration**. <https://www.slideshare.net/engCETL/tta104-section-7>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] Measurement Computing. **Data acquisition – A guide to DAQ systems.** <https://www.mccdaq.com/data-acquisition>
- [14] Tutorials point simply easy learning. **Measurement of displacement.** https://www.tutorialspoint.com/electronic_measuring_instruments/electronic_measurement_of_displacement.
- [15] Load Cell Central. **Strain gauge load cell basics.** <https://www.800loadcell.com/load-cell-and-strain-gauge-basics.html>
- [16] Bill Earl. **Calibrating sensors.** <https://cdnlearn.adafruit.com/downloads/pdf/calibrating-sensors.pdf>
- [17] National Instruments. **User guide NI USB-6008/6009.** <https://www.ni.com/pdf/manuals/371303n.pdf>
- [18] MatWeb. **Aluminum 6063-T5.** <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=79875d1b30c94af39029470988004fb6&ckck=1>
- [19] Engineering ToolBox. **Metric bolts - Minimum ultimate tensile and proof loads.** https://www.engineeringtoolbox.com/metric-bolts-minimum-ultimate-tensile-proof-loads-d_2026.html
- [20] Instron. **Update to metals standards 2017 .** <https://www.slideshare.net/Instron/updatesto-metalsstandards-iso68921-astme8straincontrol>

ภาคผนวก



Designation: E8/E8M – 13a

American Association State
Highway and Transportation Officials Standard
AASHTO No.: T68
An American National Standard

Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E8/E8M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 These test methods cover the tension testing of metallic materials in any form at room temperature, specifically, the methods of determination of yield strength, yield point elongation, tensile strength, elongation, and reduction of area.

1.2 The gauge lengths for most round specimens are required to be 4D for E8 and 5D for E8M. The gauge length is the most significant difference between E8 and E8M test specimens. Test specimens made from powder metallurgy (P/M) materials are exempt from this requirement by industry-wide agreement to keep the pressing of the material to a specific projected area and density.

1.3 Exceptions to the provisions of these test methods may need to be made in individual specifications or test methods for a particular material. For examples, see Test Methods and Definitions A370 and Test Methods B557, and B557M.

1.4 Room temperature shall be considered to be 10 to 38°C [50 to 100°F] unless otherwise specified.

1.5 The values stated in SI units are to be regarded as separate from inch/pound units. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in non-conformance with the standard.

1.6 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28.04 on Uniaxial Testing.

Current edition approved July 1, 2013. Published August 2013. Originally approved in 1924. Last previous edition approved 2013 as E8/E8M – 13. DOI: 10.1520/E0008_E0008M-13A.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

A356/A356M Specification for Steel Castings, Carbon, Low Alloy, and Stainless Steel, Heavy-Walled for Steam Turbines

A370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products

B557 Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products

B557M Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products (Metric)

E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

E29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications

E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems

E345 Test Methods of Tension Testing of Metallic Foil

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

E1012 Practice for Verification of Testing Frame and Specimen Alignment Under Tensile and Compressive Axial Force Application

D1566 Terminology Relating to Rubber

E1856 Guide for Evaluating Computerized Data Acquisition Systems Used to Acquire Data from Universal Testing Machines

3. Terminology

3.1 Definitions of Terms Common to Mechanical Testing—

3.1.1 The definitions of mechanical testing terms that appear in the Terminology E6 apply to this test method.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959. United States

Copyright ASTM International
Provided by IHS under license with ASTM
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Sold to: NW PA Reg Plann and Dev Co, 811794
Not for Resale, 09/25/2013 09:03:44 MDT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

 E8/E8M – 13a

3.1.1.1 These terms include bending strain, constraint, elongation, extensometer, force, gauge length, necking, reduced section, stress-strain diagram, testing machine, and modulus of elasticity.

3.1.2 In addition, the following common terms from Terminology E6 are defined:

3.1.3 *discontinuous yielding, n*—in a uniaxial test, a hesitation or fluctuation of force observed at the onset of plastic deformation, due to localized yielding.

3.1.3.1 *Discussion*—The stress-strain curve need not appear to be discontinuous.

3.1.4 *elongation after fracture, n*—the elongation measured by fitting the two halves of the broken specimen together.

3.1.5 *elongation at fracture, n*—the elongation measured just prior to the sudden decrease in force associated with fracture.

3.1.6 *lower yield strength, LYS [FL⁻²]*—in a uniaxial test, the minimum stress recorded during discontinuous yielding, ignoring transient effects.

3.1.7 *reduction of area, n*—the difference between the original cross-sectional area of a tension test specimen and the area of its smallest cross section.

3.1.7.1 *Discussion*—The reduction of area is usually expressed as a percentage of the original cross-sectional area of the specimen.

3.1.7.2 *Discussion*—The smallest cross section may be measured at or after fracture as specified for the material under test.

3.1.7.3 *Discussion*—The term reduction of area when applied to metals generally means measurement after fracture; when applied to plastics and elastomers, measurement at fracture. Such interpretation is usually applicable to values for reduction of area reported in the literature when no further qualification is given. **(E28.04)**

3.1.8 *tensile strength, S_u [FL⁻²]*, *n*—the maximum tensile stress that a material is capable of sustaining.

3.1.8.1 *Discussion*—Tensile strength is calculated from the maximum force during a tension test carried to rupture and the original cross-sectional area of the specimen.

3.1.9 *uniform elongation, El_u [%]*—the elongation determined at the maximum force sustained by the test piece just prior to necking or fracture, or both.

3.1.9.1 *Discussion*—Uniform elongation includes both elastic and plastic elongation.

3.1.10 *upper yield strength, UYS [FL⁻²]*—in a uniaxial test, the first stress maximum (stress at first zero slope) associated with discontinuous yielding at or near the onset of plastic deformation.

3.1.11 *yield point elongation, YPE, n*—in a uniaxial test, the strain (expressed in percent) separating the stress-strain curve's first point of zero slope from the point of transition from discontinuous yielding to uniform strain hardening.

3.1.11.1 *Discussion*—If the transition occurs over a range of strain, the YPE end point is the intersection between (a) a horizontal line drawn tangent to the curve at the last zero slope and (b) a line drawn tangent to the strain hardening portion of the stress-strain curve at the point of inflection. If there is no

point at or near the onset of yielding at which the slope reaches zero, the material has 0 % YPE.

3.1.12 *yield strength, YS or S_y [FL⁻²]*, *n*—the engineering stress at which, by convention, it is considered that plastic elongation of the material has commenced.

3.1.12.1 *Discussion*—This stress may be specified in terms of (a) a specified deviation from a linear stress-strain relationship, (b) a specified total extension attained, or (c) maximum or minimum engineering stresses measured during discontinuous yielding.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *referee test, n*—test made to settle a disagreement as to the conformance to specified requirements, or conducted by a third party to arbitrate between conflicting results. **D1566, D11.08**

4. Significance and Use

4.1 Tension tests provide information on the strength and ductility of materials under uniaxial tensile stresses. This information may be useful in comparisons of materials, alloy development, quality control, and design under certain circumstances.

4.2 The results of tension tests of specimens machined to standardized dimensions from selected portions of a part or material may not totally represent the strength and ductility properties of the entire end product or its in-service behavior in different environments.

4.3 These test methods are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments. The test methods have been used extensively in the trade for this purpose.

5. Apparatus

5.1 *Testing Machines*—Machines used for tension testing shall conform to the requirements of Practices E4. The forces used in determining tensile strength and yield strength shall be within the verified force application range of the testing machine as defined in Practices E4.

5.2 Gripping Devices:

5.2.1 *General*—Various types of gripping devices may be used to transmit the measured force applied by the testing machine to the test specimens. To ensure axial tensile stress within the gauge length, the axis of the test specimen should coincide with the center line of the heads of the testing machine. Any departure from this requirement may introduce bending stresses that are not included in the usual stress computation (force divided by cross-sectional area).

NOTE 1—The effect of this eccentric force application may be illustrated by calculating the bending moment and stress thus added. For a standard 12.5-mm [0.500-in.] diameter specimen, the stress increase is 1.5 percentage points for each 0.025 mm [0.001 in.] of eccentricity. This error increases to 2.5 percentage points/ 0.025 mm [0.001 in.] for a 9 mm [0.350-in.] diameter specimen and to 3.2 percentage points/ 0.025 mm [0.001 in.] for a 6-mm [0.250-in.] diameter specimen.

NOTE 2—Alignment methods are given in Practice E1012.

5.2.2 *Wedge Grips*—Testing machines usually are equipped with wedge grips. These wedge grips generally furnish a satisfactory means of gripping long specimens of ductile metal


E8/E8M – 13a

and flat plate test specimens such as those shown in Fig. 1. If, however, for any reason, one grip of a pair advances farther than the other as the grips tighten, an undesirable bending stress may be introduced. When liners are used behind the wedges, they must be of the same thickness and their faces must be flat and parallel. For best results, the wedges should be supported over their entire lengths by the heads of the testing machine. This requires that liners of several thicknesses be available to cover the range of specimen thickness. For proper gripping, it is desirable that the entire length of the serrated face of each wedge be in contact with the specimen. Proper alignment of wedge grips and liners is illustrated in Fig. 2. For short specimens and for specimens of many materials it is generally necessary to use machined test specimens and to use a special means of gripping to ensure that the specimens, when under load, shall be as nearly as possible in uniformly distributed pure axial tension (see 5.2.3, 5.2.4, and 5.2.5).

5.2.3 Grips for Threaded and Shouldered Specimens and Brittle Materials—A schematic diagram of a gripping device for threaded-end specimens is shown in Fig. 3, while Fig. 4 shows a device for gripping specimens with shouldered ends. Both of these gripping devices should be attached to the heads of the testing machine through properly lubricated spherical-seated bearings. The distance between spherical bearings should be as great as feasible.

5.2.4 Grips for Sheet Materials—The self-adjusting grips shown in Fig. 5 have proven satisfactory for testing sheet materials that cannot be tested satisfactorily in the usual type of wedge grips.

5.2.5 Grips for Wire—Grips of either the wedge or snubbing types as shown in Fig. 5 and Fig. 6 or flat wedge grips may be used.

5.3 Dimension-Measuring Devices—Micrometers and other devices used for measuring linear dimensions shall be accurate and precise to at least one half the smallest unit to which the individual dimension is required to be measured.

5.4 Extensometers—Extensometers used in tension testing shall conform to the requirements of Practice E83 for the classifications specified by the procedure section of this test method. Extensometers shall be used and verified to include the strains corresponding to the yield strength and elongation at fracture (if determined).

5.4.1 Extensometers with gauge lengths equal to or shorter than the nominal gauge length of the specimen (dimension shown as “G-Gauge Length” in the accompanying figures) may be used to determine the yield behavior. For specimens without a reduced section (for example, full cross sectional area specimens of wire, rod, or bar), the extensometer gauge length for the determination of yield behavior shall not exceed 80 % of the distance between grips. For measuring elongation at fracture with an appropriate extensometer, the gauge length of the extensometer shall be equal to the nominal gauge length required for the specimen being tested.

6. Test Specimens

6.1 General:

6.1.1 Specimen Size—Test specimens shall be either substantially full size or machined, as prescribed in the product specifications for the material being tested.

6.1.2 Location—Unless otherwise specified, the axis of the test specimen shall be located within the parent material as follows:

6.1.2.1 At the center for products 40 mm [1.500 in.] or less in thickness, diameter, or distance between flats.

6.1.2.2 Midway from the center to the surface for products over 40 mm [1.500 in.] in thickness, diameter, or distance between flats.

6.1.3 Specimen Machining—Improperly prepared test specimens often are the reason for unsatisfactory and incorrect test results. It is important, therefore, that care be exercised in the preparation of specimens, particularly in the machining, to maximize precision and minimize bias in test results.

6.1.3.1 The reduced sections of prepared specimens should be free of cold work, notches, chatter marks, grooves, gouges, burrs, rough surfaces or edges, overheating, or any other condition which can deleteriously affect the properties to be measured.

NOTE 3—Punching or blanking of the reduced section may produce significant cold work or shear burrs, or both, along the edges which should be removed by machining.

6.1.3.2 Within the reduced section of rectangular specimens, edges or corners should not be ground or abraded in a manner which could cause the actual cross-sectional area of the specimen to be significantly different from the calculated area.

6.1.3.3 For brittle materials, large radius fillets at the ends of the gauge length should be used.

6.1.3.4 The cross-sectional area of the specimen should be smallest at the center of the reduced section to ensure fracture within the gauge length. For this reason, a small taper is permitted in the reduced section of each of the specimens described in the following sections.

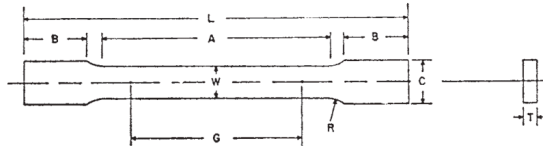
6.1.4 Specimen Surface Finish—When materials are tested with surface conditions other than as manufactured, the surface finish of the test specimens should be as provided in the applicable product specifications.

NOTE 4—Particular attention should be given to the uniformity and quality of surface finish of specimens for high strength and very low ductility materials since this has been shown to be a factor in the variability of test results.

6.2 Plate-Type Specimens—The standard plate-type test specimen is shown in Fig. 1. This specimen is used for testing metallic materials in the form of plate, shapes, and flat material having a nominal thickness of 5 mm [0.188 in.] or over. When product specifications so permit, other types of specimens may be used, as provided in 6.3, 6.4, and 6.5.

6.3 Sheet-Type Specimens:

6.3.1 The standard sheet-type test specimen is shown in Fig. 1. This specimen is used for testing metallic materials in the form of sheet, plate, flat wire, strip, band, hoop, rectangles, and shapes ranging in nominal thickness from 0.13 to 19 mm [0.005 to 0.750 in.]. When product specifications so permit, other types of specimens may be used, as provided in 6.2, 6.4, and 6.5.


E8/E8M - 13a


	Dimensions		
	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type, 40 mm [1.500 in.] Wide	Sheet-Type, 12.5 mm [0.500 in.] Wide	6 mm [0.250 in.] Wide
	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]
G—Gauge length (Note 1 and Note 2)	200.0 ± 0.2 [8.00 ± 0.01]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	25.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.003]
W—Width (Note 3 and Note 4)	40.0 ± 2.0 [1.500 ± 0.125, -0.250]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]
T—Thickness (Note 5)		thickness of material	
R—Radius of fillet, min (Note 6)	25 [1]	12.5 [0.500]	6 [0.250]
L—Overall length, min (Note 2, Note 7, and Note 8)	450 [18]	200 [8]	100 [4]
A—Length of reduced section, min	225 [9]	57 [2.25]	32 [1.25]
B—Length of grip section, min (Note 9)	75 [3]	50 [2]	30 [1.25]
C—Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	50 [2]	20 [0.750]	10 [0.375]

Note 1—For the 40 mm [1.500 in.] wide specimen, punch marks for measuring elongation after fracture shall be made on the flat or on the edge of the specimen and within the reduced section. Either a set of nine or more punch marks 25 mm [1 in.] apart, or one or more pairs of punch marks 200 mm [8 in.] apart may be used.

Note 2—When elongation measurements of 40 mm [1.500 in.] wide specimens are not required, a minimum length of reduced section (A) of 75 mm [2.25 in.] may be used with all other dimensions similar to those of the plate-type specimen.

Note 3—For the three sizes of specimens, the ends of the reduced section shall not differ in width by more than 0.10, 0.05 or 0.02 mm [0.004, 0.002 or 0.001 in.], respectively. Also, there may be a gradual decrease in width from the ends to the center, but the width at each end shall not be more than 1 % larger than the width at the center.

Note 4—For each of the three sizes of specimens, narrower widths (W and C) may be used when necessary. In such cases the width of the reduced section should be as large as the width of the material being tested permits; however, unless stated specifically, the requirements for elongation in a product specification shall not apply when these narrower specimens are used.

Note 5—The dimension T is the thickness of the test specimen as provided for in the applicable material specifications. Minimum thickness of 40 mm [1.500 in.] wide specimens shall be 5 mm [0.188 in.]. Maximum thickness of 12.5 and 6 mm [0.500 and 0.250 in.] wide specimens shall be 19 and 6 mm [0.750 and 0.250 in.], respectively.

Note 6—For the 40 mm [1.500 in.] wide specimen, a 13 mm [0.500 in.] minimum radius at the ends of the reduced section is permitted for steel specimens under 690 MPa [100 000 psi] in tensile strength when a profile cutter is used to machine the reduced section.

Note 7—The dimension shown is suggested as a minimum. In determining the minimum length, the grips must not extend in to the transition section between Dimensions A and B, see Note 9.

Note 8—To aid in obtaining axial force application during testing of 6-mm [0.250-in.] wide specimens, the overall length should be as large as the material will permit, up to 200 mm [8.00 in.].

Note 9—It is desirable, if possible, to make the length of the grip section large enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips. If the thickness of 12.5 mm [0.500-in.] wide specimens is over 10 mm [0.375 in.], longer grips and correspondingly longer grip sections of the specimen may be necessary to prevent failure in the grip section.

Note 10—For the three sizes of specimens, the ends of the specimen shall be symmetrical in width with the center line of the reduced section within 2.5, 1.25 and 0.13 mm [0.10, 0.05 and 0.005 in.], respectively. However, for referee testing and when required by product specifications, the ends of the 12.5 mm [0.500 in.] wide specimen shall be symmetrical within 0.2 mm [0.01 in.].

Note 11—For each specimen type, the radii of all fillets shall be equal to each other within a tolerance of 1.25 mm [0.05 in.], and the centers of curvature of the two fillets at a particular end shall be located across from each other (on a line perpendicular to the centerline) within a tolerance of 2.5 mm [0.10 in.].

Note 12—Specimens with sides parallel throughout their length are permitted, except for referee testing, provided: (a) the above tolerances are used; (b) an adequate number of marks are provided for determination of elongation; and (c) when yield strength is determined, a suitable extensometer is used. If the fracture occurs at a distance of less than 2 W from the edge of the gripping device, the tensile properties determined may not be representative of the material. In acceptance testing, if the properties meet the minimum requirements specified, no further testing is required, but if they are less than the minimum requirements, discard the test and retest.

FIG. 1 Rectangular Tension Test Specimens

E8/E8M – 13a

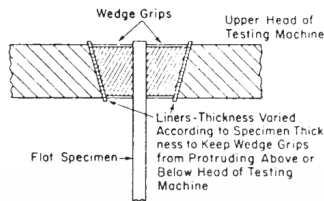


FIG. 2 Wedge Grips with Liners for Flat Specimens

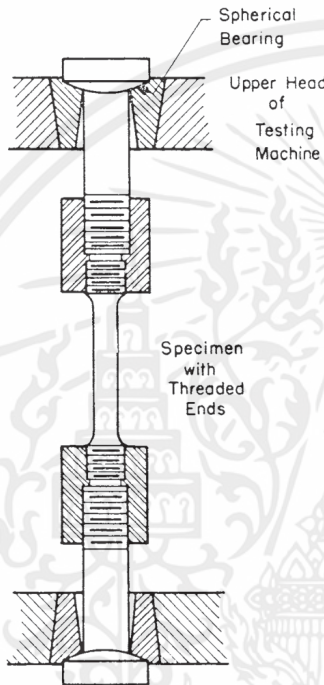


FIG. 3 Gripping Device for Threaded-End Specimens

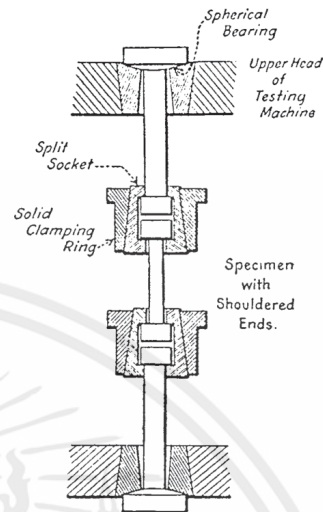


FIG. 4 Gripping Device for Shouldered-End Specimens

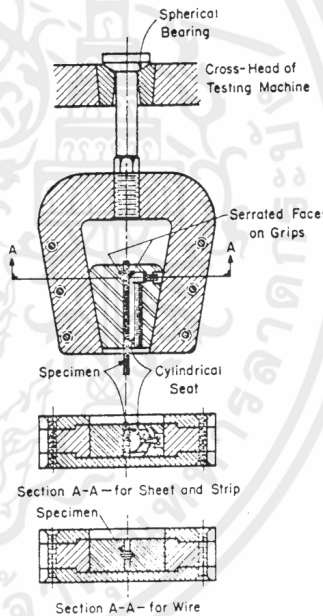


FIG. 5 Gripping Devices for Sheet and Wire Specimens

NOTE 5—Test Methods E345 may be used for tension testing of materials in thicknesses up to 0.15 mm [0.0059 in.].

6.3.2 Pin ends as shown in Fig. 7 may be used. In order to avoid buckling in tests of thin and high-strength materials, it may be necessary to use stiffening plates at the grip ends.

6.4 Round Specimens:

6.4.1 The standard 12.5-mm [0.500-in.] diameter round test specimen shown in Fig. 8 is used quite generally for testing metallic materials, both cast and wrought.

6.4.2 Fig. 8 also shows small-size specimens proportional to the standard specimen. These may be used when it is necessary to test material from which the standard specimen or specimens shown in Fig. 1 cannot be prepared. Other sizes of small round

specimens may be used. In any such small-size specimen it is important that the gauge length for measurement of elongation

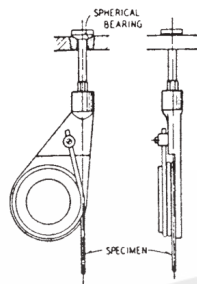
 E8/E8M – 13a


FIG. 6 Snubbing Device for Testing Wire

be four times the diameter of the specimen when following E8 and five times the diameter of the specimen when following E8M.

6.4.3 The shape of the ends of the specimen outside of the gauge length shall be suitable to the material and of a shape to fit the holders or grips of the testing machine so that the forces may be applied axially. Fig. 9 shows specimens with various types of ends that have given satisfactory results.

6.5 *Specimens for Sheet, Strip, Flat Wire, and Plate*—In testing sheet, strip, flat wire, and plate, use a specimen type appropriate for the nominal thickness of the material, as described in the following:

6.5.1 For material with a nominal thickness of 0.13 to 5 mm [0.005 to 0.1875 in.], use the sheet-type specimen described in 6.3.

6.5.2 For material with a nominal thickness of 5 to 12.5 mm [0.1875 to 0.500 in.], use either the sheet-type specimen of 6.3 or the plate-type specimen of 6.2.

6.5.3 For material with a nominal thickness of 12.5 to 19 mm [0.500 to 0.750 in.], use either the sheet-type specimen of 6.3, the plate-type specimen of 6.2, or the largest practical size of round specimen described in 6.4.

6.5.4 For material with a nominal thickness of 19 mm [0.750 in.], or greater, use the plate-type specimen of 6.2 or the largest practical size of round specimen described in 6.4.

6.5.4.1 If the product specifications permit, material of a thickness of 19 mm [0.750 in.], or greater may be tested using a modified sheet-type specimen conforming to the configuration shown by Fig. 1. The thickness of this modified specimen must be machined to 10 ± 0.5 mm [0.400 ± 0.020 in.], and must be uniform within 0.1 mm [0.004 in.] throughout the reduced section. In the event of disagreement, a round specimen shall be used as the referee test (comparison) specimen.

6.6 *Specimens for Wire, Rod, and Bar*:

6.6.1 For round wire, rod, and bar, test specimens having the full cross-sectional area of the wire, rod, or bar shall be used wherever practicable. The gauge length for the measurement of elongation of wire less than 4 mm [0.125 in.] in diameter shall be as prescribed in product specifications. When testing wire, rod, or bar having a diameter of 4 mm [0.125 in.] or larger, a gauge length equal to four times the diameter shall be used when following E8 and a gauge length equal to five times the

diameter shall be used when following E8M unless otherwise specified. The total length of the specimens shall be at least equal to the gauge length plus the length of material required for the full use of the grips employed.

6.6.2 For wire of octagonal, hexagonal, or square cross section, for rod or bar of round cross section where the specimen required in 6.6.1 is not practicable, and for rod or bar of octagonal, hexagonal, or square cross section, one of the following types of specimens shall be used:

6.6.2.1 *Full Cross Section* (Note 6)—It is permissible to reduce the test section slightly with abrasive cloth or paper, or machine it sufficiently to ensure fracture within the gauge marks. For material not exceeding 5 mm [0.188 in.] in diameter or distance between flats, the cross-sectional area may be reduced to not less than 90 % of the original area without changing the shape of the cross section. For material over 5 mm [0.188 in.] in diameter or distance between flats, the diameter or distance between flats may be reduced by not more than 0.25 mm [0.010 in.] without changing the shape of the cross section. Square, hexagonal, or octagonal wire or rod not exceeding 5 mm [0.188 in.] between flats may be turned to a round having a cross-sectional area not smaller than 90 % of the area of the maximum inscribed circle. Fillets, preferably with a radius of 10 mm [0.375 in.], but not less than 3 mm [0.125 in.], shall be used at the ends of the reduced sections. Square, hexagonal, or octagonal rod over 5 mm [0.188 in.] between flats may be turned to a round having a diameter no smaller than 0.25 mm [0.010 in.] less than the original distance between flats.

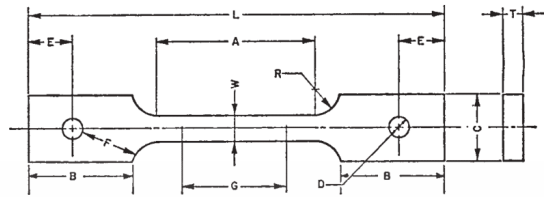
NOTE 6—The ends of copper or copper alloy specimens may be flattened 10 to 50 % from the original dimension in a jig similar to that shown in Fig. 10, to facilitate fracture within the gauge marks. In flattening the opposite ends of the test specimen, care shall be taken to ensure that the four flattened surfaces are parallel and that the two parallel surfaces on the same side of the axis of the test specimen lie in the same plane.

6.6.2.2 For rod and bar, the largest practical size of round specimen as described in 6.4 may be used in place of a test specimen of full cross section. Unless otherwise specified in the product specification, specimens shall be parallel to the direction of rolling or extrusion.

6.7 *Specimens for Rectangular Bar*—In testing rectangular bar one of the following types of specimens shall be used:

6.7.1 *Full Cross Section*—It is permissible to reduce the width of the specimen throughout the test section with abrasive cloth or paper, or by machining sufficiently to facilitate fracture within the gauge marks, but in no case shall the reduced width be less than 90 % of the original. The edges of the midlength of the reduced section not less than 20 mm [$\frac{3}{4}$ in.] in length shall be parallel to each other and to the longitudinal axis of the specimen within 0.05 mm [0.002 in.]. Fillets, preferably with a radius of 10 mm [$\frac{3}{8}$ in.] but not less than 3 mm [$\frac{1}{8}$ in.] shall be used at the ends of the reduced sections.

6.7.2 Rectangular bar of thickness small enough to fit the grips of the testing machine but of too great width may be reduced in width by cutting to fit the grips, after which the cut surfaces shall be machined or cut and smoothed to ensure failure within the desired section. The reduced width shall not


E8/E8M - 13a


Dimensions, mm [in.]

G—Gauge length	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]
W—Width (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]
T—Thickness, max (Note 2)	16 [0.625]
R—Radius of fillet, min (Note 3)	13 [0.5]
L—Overall length, min	200 [8]
A—Length of reduced section, min	57 [2.25]
B—Length of grip section, min	50 [2]
C—Width of grip section, approximate	50 [2]
D—Diameter of hole for pin, min (Note 4)	13 [0.5]
E—Edge distance from pin, approximate	40 [1.5]
F—Distance from hole to fillet, min	13 [0.5]

NOTE 1—The ends of the reduced section shall differ in width by not more than 0.1 mm [0.002 in.]. There may be a gradual taper in width from the ends to the center, but the width at each end shall be not more than 1 % greater than the width at the center.

NOTE 2—The dimension T is the thickness of the test specimen as stated in the applicable product specifications.

NOTE 3—For some materials, a fillet radius R larger than 13 mm [0.500 in.] may be needed.

NOTE 4—Holes must be on center line of reduced section within ± 0.05mm [0.002 in.].

NOTE 5—Variations of dimensions C , D , E , F , and L may be used that will permit failure within the gauge length.

FIG. 7 Pin-Loaded Tension Test Specimen with 50-mm [2-in.] Gauge Length

be less than the original bar thickness. Also, one of the types of specimens described in 6.2, 6.3, and 6.4 may be used.

6.8 *Shapes, Structural and Other*—In testing shapes other than those covered by the preceding sections, one of the types of specimens described in 6.2, 6.3, and 6.4 shall be used.

6.9 *Specimens for Pipe and Tube* (Note 7):

6.9.1 For all small tube (Note 7), particularly sizes 25 mm [1 in.] and under in nominal outside diameter, and frequently for larger sizes, except as limited by the testing equipment, it is standard practice to use tension test specimens of full-size tubular sections. Snug-fitting metal plugs shall be inserted far enough into the ends of such tubular specimens to permit the testing machine jaws to grip the specimens properly. The plugs shall not extend into that part of the specimen on which the elongation is measured. Elongation is measured over a length of four times the diameter when following E8 or five times the diameter when following E8M unless otherwise stated in the product specification. Fig. 11 shows a suitable form of plug, the location of the plugs in the specimen, and the location of the specimen in the grips of the testing machine.

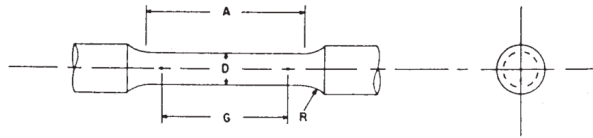
NOTE 7—The term “tube” is used to indicate tubular products in general, and includes pipe, tube, and tubing.

6.9.2 For large-diameter tube that cannot be tested in full section, longitudinal tension test specimens shall be cut as indicated in Fig. 12. Specimens from welded tube shall be located approximately 90° from the weld. If the tube-wall thickness is under 20 mm [0.750 in.], either a specimen of the form and dimensions shown in Fig. 13 or one of the small-size

specimens proportional to the standard 12.5-mm [0.500-in.] specimen, as mentioned in 6.4.2 and shown in Fig. 8, shall be used. Specimens of the type shown in Fig. 13 may be tested with grips having a surface contour corresponding to the curvature of the tube. When grips with curved faces are not available, the ends of the specimens may be flattened without heating. If the tube-wall thickness is 20 mm [0.750 in.] or over, the standard specimen shown in Fig. 8 shall be used.

NOTE 8—In clamping of specimens from pipe and tube (as may be done during machining) or in flattening specimen ends (for gripping), care must be taken so as not to subject the reduced section to any deformation or cold work, as this would alter the mechanical properties.

6.9.3 Transverse tension test specimens for tube may be taken from rings cut from the ends of the tube as shown in Fig. 14. Flattening of the specimen may be either after separating as in A , or before separating as in B . Transverse tension test specimens for large tube under 20 mm [0.750 in.] in wall thickness shall be either of the small-size specimens shown in Fig. 8 or of the form and dimensions shown for Specimen 2 in Fig. 13. When using the latter specimen, either or both surfaces of the specimen may be machined to secure a uniform thickness, provided not more than 15 % of the normal wall thickness is removed from each surface. For large tube 20 mm [0.750 in.] and over in wall thickness, the standard specimen shown in Fig. 8 shall be used for transverse tension tests. Specimens for transverse tension tests on large welded tube to determine the strength of welds shall be located perpendicular to the welded seams, with the welds at about the middle of their lengths.


E8/E8M – 13a


Dimensions, mm [in.]

For Test Specimens with Gauge Length Four times the Diameter [E8]

	Small-Size Specimens Proportional to Standard					
	Standard Specimen	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gauge length		50.0 ± 0.1	36.0 ± 0.1	24.0 ± 0.1	16.0 ± 0.1	10.0 ± 0.1
		[2.000 ± 0.005]	[1.400 ± 0.005]	[1.000 ± 0.005]	[0.640 ± 0.005]	[0.450 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)		12.5 ± 0.2	9.0 ± 0.1	6.0 ± 0.1	4.0 ± 0.1	2.5 ± 0.1
		[0.500 ± 0.010]	[0.350 ± 0.007]	[0.250 ± 0.005]	[0.160 ± 0.003]	[0.113 ± 0.002]
R—Radius of fillet, min		10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]	4 [0.156]	2 [0.094]
A—Length of reduced section, min (Note 2)		56 [2.25]	45 [1.75]	30 [1.25]	20 [0.75]	16 [0.625]

Dimensions, mm [in.]

For Test Specimens with Gauge Length Five times the Diameter [E8M]

	Small-Size Specimens Proportional to Standard					
	Standard Specimen	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gauge length		62.5 ± 0.1	45.0 ± 0.1	30.0 ± 0.1	20.0 ± 0.1	12.5 ± 0.1
		[2.500 ± 0.005]	[1.750 ± 0.005]	[1.250 ± 0.005]	[0.800 ± 0.005]	[0.565 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)		12.5 ± 0.2	9.0 ± 0.1	6.0 ± 0.1	4.0 ± 0.1	2.5 ± 0.1
		[0.500 ± 0.010]	[0.350 ± 0.007]	[0.250 ± 0.005]	[0.160 ± 0.003]	[0.113 ± 0.002]
R—Radius of fillet, min		10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]	4 [0.156]	2 [0.094]
A—Length of reduced section, min (Note 2)		75 [3.0]	54 [2.0]	36 [1.4]	24 [1.0]	20 [0.75]

Note 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center, with the ends not more than 1 % larger in diameter than the center (controlling dimension).

Note 2—If desired, the length of the reduced section may be increased to accommodate an extensometer of any convenient gauge length. Reference marks for the measurement of elongation should, nevertheless, be spaced at the indicated gauge length.

Note 3—The gauge length and fillets may be as shown, but the ends may be of any form to fit the holders of the testing machine in such a way that the force shall be axial (see Fig. 9). If the ends are to be held in wedge grips it is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

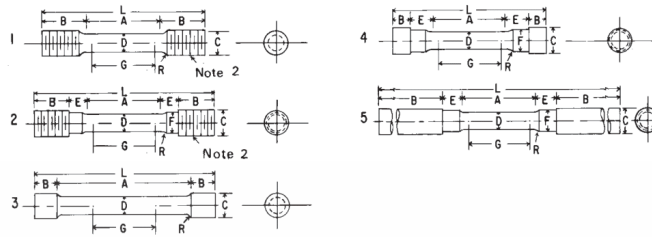
Note 4—On the round specimens in Figs. 8 and 9, the gauge lengths are equal to four [E8] or five times [E8M] the nominal diameter. In some product specifications other specimens may be provided for, but unless the 4-to-1 [E8] or 5-to-1 [E8M] ratio is maintained within dimensional tolerances, the elongation values may not be comparable with those obtained from the standard test specimen.

Note 5—The use of specimens smaller than 6-mm [0.250-in.] diameter shall be restricted to cases when the material to be tested is of insufficient size to obtain larger specimens or when all parties agree to their use for acceptance testing. Smaller specimens require suitable equipment and greater skill in both machining and testing.

Note 6—For inch/pound units only: Five sizes of specimens often used have diameters of approximately 0.505, 0.357, 0.252, 0.160, and 0.113 in., the reason being to permit easy calculations of stress from loads, since the corresponding cross-sectional areas are equal or close to 0.200, 0.100, 0.0500, 0.0200, and 0.0100 in.², respectively. Thus, when the actual diameters agree with these values, the stresses (or strengths) may be computed using the simple multiplying factors 5, 10, 20, 50, and 100, respectively. (The metric equivalents of these five diameters do not result in correspondingly convenient cross-sectional areas and multiplying factors.)

FIG. 8 Standard 12.5-mm [0.500-in.] Round Tension Test Specimen and Examples of Small-Size Specimens Proportional to the Standard Specimen

ASTM E8/E8M - 13a



Dimensions, mm [in.]

For Test Specimens with Gauge Length Four times the Diameter [E8]

	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gauge length	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	10 [0.375]	2 [0.0625]	10 [0.375]	10 [0.375]
A—Length of reduced section	56 [2.25]	56 [2.25]	100 [4]	56 [2.25]	56 [2.25]
L—Overall length, approximate	145 [5]	155 [5.5]	approximate min	140 [4.75]	255 [9.5]
B—Length of end section (Note 3)	35 [1.375]	25 [1]	20 [0.75]	15 [0.5]	approximate min
C—Diameter of end section	approximate	approximate	approximate	approximate	20 [0.75]
E—Length of shoulder and fillet section, approximate	20 [0.75]	15 [0.625]	20 [0.75]	20 [0.75]	15 [0.625]
F—Diameter of shoulder		15 [0.625]		15 [0.625]	15 [0.625]

Dimensions, mm [in.]

For Test Specimens with Gauge Length Five times the Diameter [E8M]

	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gauge length	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	10 [0.375]	2 [0.0625]	10 [0.375]	10 [0.375]
A—Length of reduced section	75 [3]	75 [3]	75 [3]	75 [3]	75 [3]
L—Overall length, approximate	145 [5]	155 [5.5]	approximate min	140 [4.75]	255 [9.5]
B—Length of end section (Note 3)	35 [1.375]	25 [1]	20 [0.75]	15 [0.5]	approximate min
C—Diameter of end section	approximate	approximate	approximate	approximate	20 [0.75]
E—Length of shoulder and fillet section, approximate	20 [0.75]	15 [0.625]	20 [0.75]	22 [0.875]	15 [0.625]
F—Diameter of shoulder		15 [0.625]		15 [0.625]	15 [0.625]

NOTE 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center with the ends not more than 1 % larger in diameter than the center.

NOTE 2—On Specimens 1 and 2, any standard thread is permissible that provides for proper alignment and aids in assuring that the specimen will break within the reduced section.

NOTE 3—On Specimen 5 it is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

NOTE 4—The values stated in SI units in the table for Fig. 9 are to be regarded as separate from the inch/pound units. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore each system must be used independently of the other.

FIG. 9 Various Types of Ends for Standard Round Tension Test Specimens

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

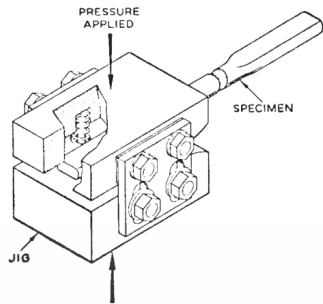
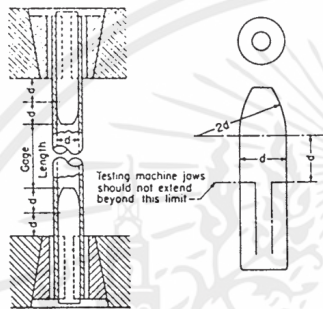
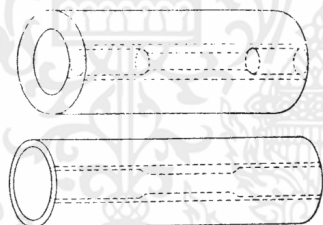


FIG. 10 Squeezing Jig for Flattening Ends of Full-Size Tension Test Specimens



NOTE 1—The diameter of the plug shall have a slight taper from the line limiting the test machine jaws to the curved section.

FIG. 11 Metal Plugs for Testing Tubular Specimens, Proper Location of Plugs in Specimen and of Specimen in Heads of Testing Machine



NOTE 1—The edges of the blank for the specimen shall be cut parallel to each other.

FIG. 12 Location from Which Longitudinal Tension Test Specimens Are to be Cut from Large-Diameter Tube

6.10 *Specimens for Forgings*—For testing forgings, the largest round specimen described in 6.4 shall be used. If round specimens are not feasible, then the largest specimen described in 6.5 shall be used.

6.10.1 For forgings, specimens shall be taken as provided in the applicable product specifications, either from the predominant or thickest part of the forging from which a coupon can be

obtained, or from a prolongation of the forging, or from separately forged coupons representative of the forging. When not otherwise specified, the axis of the specimen shall be parallel to the direction of grain flow.

6.11 *Specimens for Castings*—In testing castings either the standard specimen shown in Fig. 8 or the specimen shown in Fig. 15 shall be used unless otherwise provided in the product specifications.

6.11.1 Test coupons for castings shall be made as shown in Fig. 16 and Table 1.

6.12 *Specimen for Malleable Iron*—For testing malleable iron the test specimen shown in Fig. 17 shall be used, unless otherwise provided in the product specifications.

6.13 *Specimen for Die Castings*—For testing die castings the test specimen shown in Fig. 18 shall be used unless otherwise provided in the product specifications.

6.14 *Specimens for Powder Metallurgy (P/M) Materials*—For testing powder metallurgy (P/M) materials the test specimens shown in Figs. 19 and 20 shall be used, unless otherwise provided in the product specifications. When making test specimens in accordance with Fig. 19, shallow transverse grooves, or ridges, may be pressed in the ends to allow gripping by jaws machined to fit the grooves or ridges. Because of shape and other factors, the flat unmachined tensile test specimen (Fig. 19) in the heat treated condition will have an ultimate tensile strength of 50 % to 85 % of that determined in a machined round tensile test specimen (Fig. 20) of like composition and processing.

7. Procedures

7.1 *Preparation of the Test Machine*—Upon startup, or following a prolonged period of machine inactivity, the test machine should be exercised or warmed up to normal operating temperatures to minimize errors that may result from transient conditions.

7.2 *Measurement of Dimensions of Test Specimens:*

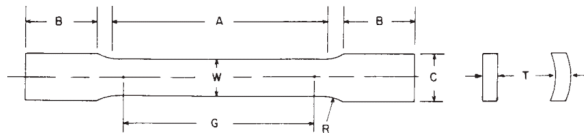
7.2.1 To determine the cross-sectional area of a test specimen, measure the dimensions of the cross section at the center of the reduced section. For referee testing of specimens less than 5 mm [0.188 in.] in their least dimension, measure the dimensions where the least cross-sectional area is found. Measure and record the cross-sectional dimensions of tension test specimens as follows:

- (1) Specimen dimension ≥ 5 mm [0.200 in.] to the nearest 0.02 mm [0.001 in.].
- (2) 2.5 mm [0.100 in.] \leq Specimen dimension < 5 mm [0.200 in.] to the nearest 0.01 mm [0.0005 in.].
- (3) 0.5 mm [0.020 in.] \leq specimen dimension < 2.5 mm [0.100 in.] to the nearest 0.002 mm [0.0001 in.].
- (4) Specimen dimensions < 0.5 mm [0.020 in.], to at least the nearest 1 % when practical but in all cases to at least the nearest 0.002 mm [0.0001 in.].

NOTE 9—Accurate and precise measurement of specimen dimensions can be one of the most critical aspects of tension testing, depending on specimen geometry. See Appendix X2 for additional information.

NOTE 10—Rough surfaces due to the manufacturing process such as hot rolling, metallic coating, etc., may lead to inaccuracy of the computed

E8/E8M - 13a



	Dimensions						
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5	Specimen 6	Specimen 7
G—Gauge length	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	200.0 ± 0.2 [8.00 ± 0.01]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	100.0 ± 0.1 [4.000 ± 0.005]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	100.0 ± 0.1 [4.000 ± 0.005]
W—Width (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	40.0 ± 2.0 [1.5 ± 0.125-0.25]	40.0 ± 0.2 [1.5 ± 0.125-0.25]	20.0 ± 0.7 [0.750 ± 0.031]	20.0 ± 0.7 [0.750 ± 0.031]	25.0 ± 1.5 [1.000 ± 0.062]	25.0 ± 1.5 [1.000 ± 0.062]
T—Thickness	measured thickness of specimen						
R—Radius of fillet, min	12.5 [0.5]	25 [1]	25 [1]	25 [1]	25 [1]	25 [1]	25 [1]
A—Length of reduced section, min	60 [2.25]	60 [2.25]	230 [9]	60 [2.25]	120 [4.5]	60 [2.25]	120 [4.5]
B—Length of grip section, min (Note 2)	75 [3]	75 [3]	75 [3]	75 [3]	75 [3]	75 [3]	75 [3]
C—Width of grip section, approximate (Note 3)	20 [0.75]	50 [2]	50 [2]	25 [1]	25 [1]	40 [1.5]	40 [1.5]

Note 1—The ends of the reduced section shall differ from each other in width by not more than 0.5 %. There may be a gradual taper in width from the ends to the center, but the width at each end shall be not more than 1 % greater than the width at the center.

Note 2—It is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

Note 3—The ends of the specimen shall be symmetrical with the center line of the reduced section within 1 mm [0.05 in.] for specimens 1, 4, and 5, and 2.5 mm [0.10 in.] for specimens 2, 3, 6, and 7.

Note 4—For each specimen type, the radii of all fillets shall be equal to each other within a tolerance of 1.25 mm [0.05 in.], and the centers of curvature of the two fillets at a particular end shall be located across from each other (on a line perpendicular to the centerline) within a tolerance of 2.5 mm [0.10 in.].

Note 5—For circular segments, the cross-sectional area may be calculated by multiplying *W* and *T*. If the ratio of the dimension *W* to the diameter of the tubular section is larger than about 1/4, the error in using this method to calculate the cross-sectional area may be appreciable. In this case, the exact equation (see 7.2.3) must be used to determine the area.

Note 6—Specimens with *G/W* less than 4 should not be used for determination of elongation.

Note 7—Specimens with sides parallel throughout their length are permitted, except for referee testing, provided: (a) the above tolerances are used; (b) an adequate number of marks are provided for determination of elongation; and (c) when yield strength is determined, a suitable extensometer is used. If the fracture occurs at a distance of less than 2 *W* from the edge of the gripping device, the tensile properties determined may not be representative of the material. If the properties meet the minimum requirements specified, no further testing is required, but if they are less than the minimum requirements, discard the test and retest.

FIG. 13 Tension Test Specimens for Large-Diameter Tubular Products

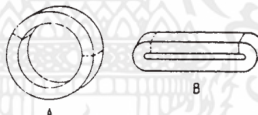


FIG. 14 Location of Transverse Tension Test Specimen in Ring Cut from Tubular Products

areas greater than the measured dimensions would indicate. Therefore, cross-sectional dimensions of test specimens with rough surfaces due to processing may be measured and recorded to the nearest 0.02 mm [0.001 in.].

Note 11—See X2.9 for cautionary information on measurements taken from coated metal products.

7.2.2 Determine the cross-sectional area of a full-size test specimen of uniform but nonsymmetrical cross section by determining the mass of a length not less than 20 times longer than the largest cross-sectional dimension.

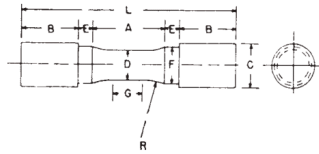
7.2.2.1 Determine the weight to the nearest 0.5 % or less.

7.2.2.2 The cross-sectional area is equal to the mass of the specimen divided by the length and divided by the density of the material.

7.2.3 When using specimens of the type shown in Fig. 13 taken from tubes, the cross-sectional area shall be determined as follows:

If $D/W \leq 6$:

E8/E8M – 13a



	Dimensions		
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3
	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]
G—Length of parallel section	Shall be equal to or greater than diameter <i>D</i>		
D—Diameter	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	20 ± 0.4 [0.750 ± 0.015]	36.0 ± 0.6 [1.25 ± 0.02]
F—Radius of fillet, min	25 [1]	25 [1]	50 [2]
A—Length of reduced section, min	32 [1.25]	38 [1.5]	60 [2.25]
L—Overall length, min	95 [3.75]	100 [4]	160 [6.375]
B—Length of end section, approximate	25 [1]	25 [1]	45 [1.75]
C—Diameter of end section, approximate	20 [0.75]	30 [1.125]	48 [1.875]
E—Length of shoulder, min	6 [0.25]	6 [0.25]	8 [0.312]
F—Diameter of shoulder	16.0 ± 0.4 [0.625 ± 0.016]	24.0 ± 0.4 [0.94 ± 0.016]	36.5 ± 0.4 [1.438 ± 0.016]

Note 1—The reduced section and shoulders (dimensions *A*, *D*, *E*, *F*, *G*, and *R*) shall be as shown, but the ends may be of any form to fit the holders of the testing machine in such a way that the force can be axial. Commonly the ends are threaded and have the dimensions *B* and *C* given above.

FIG. 15 Standard Tension Test Specimen for Cast Iron

$$A = \left[\left(\frac{W}{4} \right) \times \sqrt{(D^2 - W^2)} \right] + \left[\left(\frac{D^2}{4} \right) \times \arcsin \left(\frac{W}{D} \right) \right] - \left[\left(\frac{W}{4} \right) \times \sqrt{(D - 2T)^2 - W^2} \right] - \left[\left(\frac{D - 2T}{2} \right)^2 \times \arcsin \left(\frac{W}{D - 2T} \right) \right] \quad (1)$$

where:

A = exact cross-sectional area, mm² [in.²],
W = width of the specimen in the reduced section, mm [in.],
D = measured outside diameter of the tube, mm [in.], and
T = measured wall thickness of the specimen, mm [in.].

arcsin values to be in radians

If *D/W* > 6, the exact equation or the following equation may be used:

$$A = W \times T \quad (2)$$

where:

A = approximate cross-sectional area, mm² [in.²],
W = width of the specimen in the reduced section, mm [in.], and
T = measured wall thickness of the specimen, mm [in.].

Note 12—See X2.8 for cautionary information on measurements and calculations for specimens taken from large-diameter tubing.

7.3 Gauge Length Marking of Test Specimens:

7.3.1 The gauge length for the determination of elongation shall be in accordance with the product specifications for the

material being tested. Gauge marks shall be stamped lightly with a punch, scribed lightly with dividers or drawn with ink as preferred. For material that is sensitive to the effect of slight notches and for small specimens, the use of layout ink will aid in locating the original gauge marks after fracture.

7.3.2 For materials where the specified elongation is 3 % or less, measure the original gauge length to the nearest 0.05 mm [0.002 in.] prior to testing.

7.4 Zeroing of the Testing Machine:

7.4.1 The testing machine shall be set up in such a manner that zero force indication signifies a state of zero force on the specimen. Any force (or preload) imparted by the gripping of the specimen (see Note 13) must be indicated by the force measuring system unless the preload is physically removed prior to testing. Artificial methods of removing the preload on the specimen, such as taring it out by a zero adjust pot or removing it mathematically by software, are prohibited because these would affect the accuracy of the test results.

Note 13—Preloads generated by gripping of specimens may be either tensile or compressive in nature and may be the result of such things as:

- grip design
- malfunction of gripping apparatus (sticking, binding, etc.)
- excessive gripping force
- sensitivity of the control loop

Note 14—It is the operator's responsibility to verify that an observed preload is acceptable and to ensure that grips operate in a smooth manner. Unless otherwise specified, it is recommended that momentary (dynamic) forces due to gripping not exceed 20 % of the material's nominal yield strength and that static preloads not exceed 10 % of the material's nominal yield strength.

7.5 Gripping of the Test Specimen:

7.5.1 For specimens with reduced sections, gripping of the specimen shall be restricted to the grip section, because gripping in the reduced section or in the fillet can significantly affect test results.

7.6 Speed of Testing:

7.6.1 Speed of testing may be defined in terms of (a) rate of straining of the specimen, (b) rate of stressing of the specimen, (c) crosshead speed, (d) the elapsed time for completing part or all of the test, or (e) free-running crosshead speed (rate of movement of the crosshead of the testing machine when not under load).

7.6.2 Specifying suitable numerical limits for speed and selection of the method are the responsibilities of the product committees. Suitable limits for speed of testing should be specified for materials for which the differences resulting from the use of different speeds are of such magnitude that the test results are unsatisfactory for determining the acceptability of the material. In such instances, depending upon the material and the use for which the test results are intended, one or more of the methods described in the following paragraphs is recommended for specifying speed of testing.

Note 15—Speed of testing can affect test values because of the rate sensitivity of materials and the temperature-time effects.

7.6.2.1 Rate of Straining—The allowable limits for rate of straining shall be specified in mm/mm/min [in./in./min]. Some testing machines are equipped with pacing or indicating devices for the measurement and control of rate of straining,

E8/E8M – 13a

TABLE 1 Details of Test Coupon Design for Castings (see Fig. 16)

NOTE 1—Test Coupons for Large and Heavy Steel Castings: The test coupons in Fig. 16A and B are to be used for large and heavy steel castings. However, at the option of the foundry the cross-sectional area and length of the standard coupon may be increased as desired. This provision does not apply to Specification A356/A356M.

NOTE 2—Bend Bar: If a bend bar is required, an alternate design (as shown by dotted lines in Fig. 16) is indicated.

	Leg Design, 125 mm [5 in.]		Riser Design
1. L (length)	A 125mm [5-in.] minimum length will be used. This length may be increased at the option of the foundry to accommodate additional test bars (see Note 1).	1. L (length)	The length of the riser at the base will be the same as the top length of the leg. The length of the riser at the top therefore depends on the amount of taper added to the riser. The width of the riser at the base of a multiple-leg coupon shall be $n(57\text{ mm}) - 16\text{ mm}$ [$n(2.25\text{ in.}) - 0.625\text{ in.}$] where n equals the number of legs attached to the coupon. The width of the riser at the top is therefore dependent on the amount of taper added to the riser.
2. End taper	Use of and size of end taper is at the option of the foundry.	2. Width	
3. Height	32 mm [1.25 in.]		
4. Width (at top)	32 mm [1.25 in.] (see Note 1)		
5. Radius (at bottom)	13 mm [0.5 in.] max		
6. Spacing between legs	A 13 mm [0.5 in.] radius will be used between the legs.		
7. Location of test bars	The tensile, bend, and impact bars will be taken from the lower portion of the leg (see Note 2).		
8. Number of legs	The number of legs attached to the coupon is at the option of the foundry providing they are equispaced according to Item 6.	3. T (riser taper) Height	Use of and size is at the option of the foundry. The minimum height of the riser shall be 51 mm [2 in.]. The maximum height is at the option of the foundry for the following reasons: (a) many risers are cast open, (b) different compositions may require variation in risering for soundness, or (c) different pouring temperatures may require variation in risering for soundness.
9. R_r	Radius from 0 to approximately 2 mm [0.062 in.]		

but in the absence of such a device the average rate of straining can be determined with a timing device by observing the time required to effect a known increment of strain.

7.6.2.2 Rate of Stressing—The allowable limits for rate of stressing shall be specified in megapascals per second [pounds per square inch per minute]. Many testing machines are equipped with pacing or indicating devices for the measurement and control of the rate of stressing, but in the absence of such a device the average rate of stressing can be determined with a timing device by observing the time required to apply a known increment of stress.

7.6.2.3 Crosshead Speed—The allowable limits for crosshead speed, during a test, may be specified in mm/min [in./min]; in this case, the limits for the crosshead speed should be further qualified by specifying different limits for various types and sizes of specimens. In cases where different length specimens may be used, it is often more practical to specify the crosshead speed in terms of mm [in.] per mm [in.] of length of the original reduced section of the specimen (or distance between grips for specimens not having reduced sections) per minute. Many testing machines are equipped with pacing or indicating devices for the measurement and control of the crosshead speed during a test, but in the absence of such devices the average crosshead speed can be experimentally determined by using suitable length-measuring and timing devices.

NOTE 16—This method of specifying speed of testing, “Crosshead Speed”, was previously called “Rate of Separation of Heads During Tests.”

NOTE 17—For machines not having crossheads or having stationary

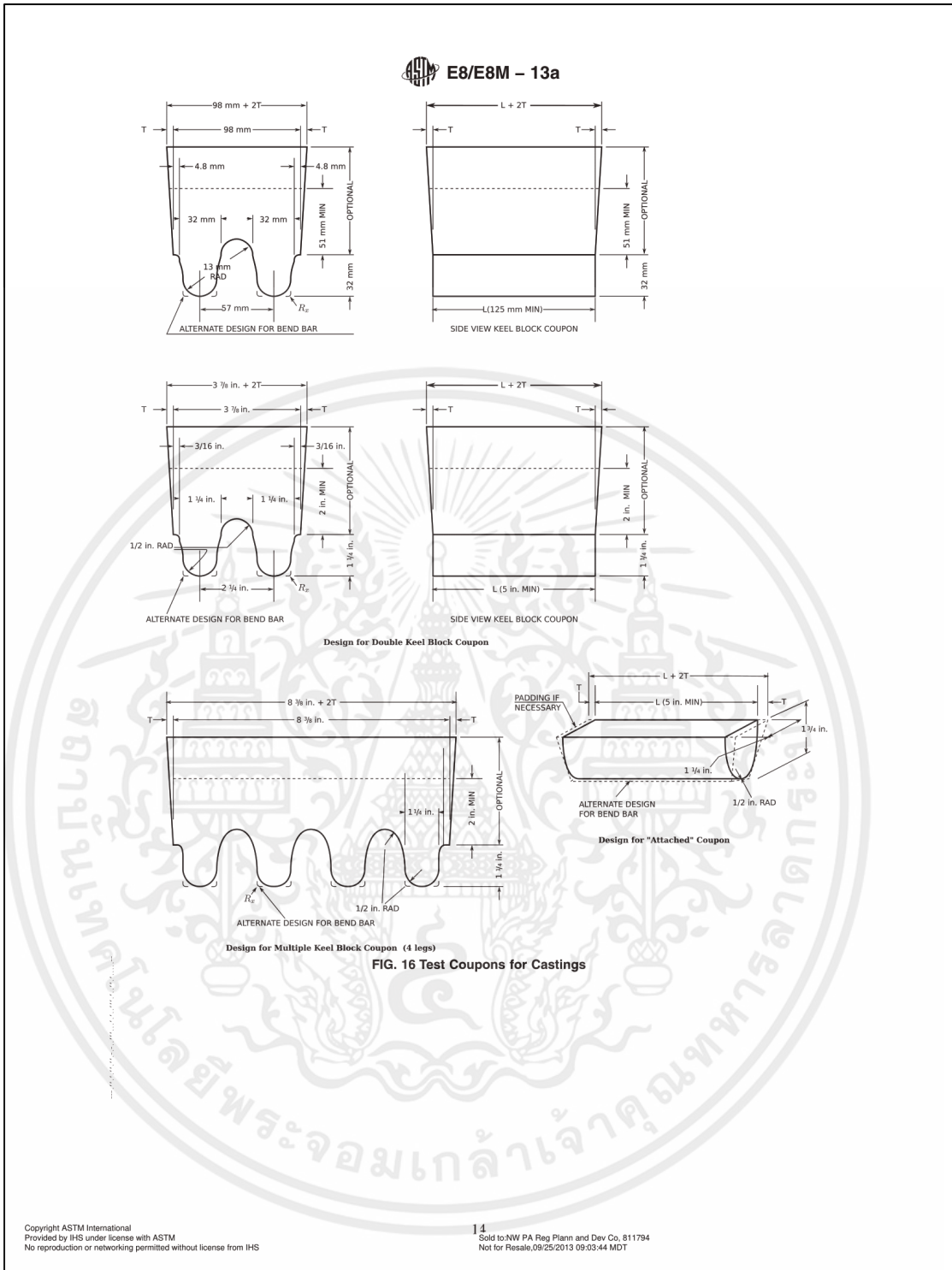
crossheads, the phrase “crosshead speed” may be interpreted to mean the rate of grip separation.

7.6.2.4 Elapsed Time—The allowable limits for the elapsed time from the beginning of force application (or from some specified stress) to the instant of fracture, to the maximum force, or to some other stated stress, shall be specified in minutes or seconds. The elapsed time can be determined with a timing device.

7.6.2.5 Free-Running Crosshead Speed—The allowable limits for the rate of movement of the crosshead of the testing machine, with no force applied by the testing machine, shall be specified in mm per mm [inches per inch] of length of reduced section (or distance between grips for specimens not having reduced sections) per second [minute]. The limits for the crosshead speed may be further qualified by specifying different limits for various types and sizes of specimens. The average crosshead speed can be experimentally determined by using suitable length-measuring and timing devices.

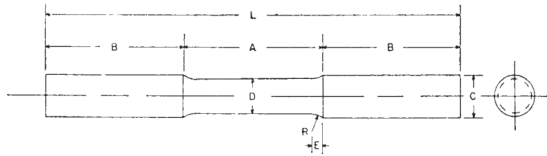
NOTE 18—For machines not having crossheads or having stationary crossheads, the phrase “free-running crosshead speed” may be interpreted to mean the free-running rate of grip separation.

7.6.3 Speed of Testing When Determining Yield Properties—Unless otherwise specified, any convenient speed of testing may be used up to one half the specified minimum yield strength or up to one quarter of the specified minimum tensile strength, whichever is smaller. The speed above this point shall be within the specified limits. If different speed limitations are required for use in determining yield strength, yield point elongation, tensile strength, elongation, and reduction of area,



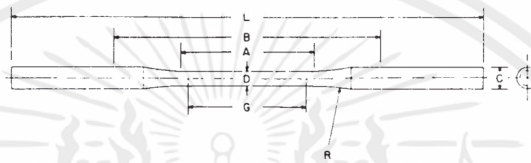
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E8/E8M - 13a



Dimensions, mm [in.]	
D—Diameter	16 [0.625]
R—Radius of fillet	8 [0.312]
A—Length of reduced section	64 [2.5]
L—Overall length	190 [7.5]
B—Length of end section	64 [2.5]
C—Diameter of end section	20 [0.75]
E—Length of fillet	5 [0.188]

FIG. 17 Standard Tension Test Specimen for Malleable Iron



Dimensions, mm [in.]	
G—Gauge length	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]
D—Diameter (see Note)	6.4 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]
R—Radius of fillet, min	75 [3]
A—Length of reduced section, min	60 [2.25]
L—Overall length, min	230 [9]
B—Distance between grips, min	115 [4.5]
C—Diameter of end section, approximate	10 [0.375]

Note 1—The reduced section may have a gradual taper from the end toward the center, with the ends not more than 0.1 mm [0.005 in.] larger in diameter than the center.

FIG. 18 Standard Tension Test Specimens for Die Castings

they should be stated in the product specifications. In all cases, the speed of testing shall be such that the forces and strains used in obtaining the test results are accurately indicated. Determination of mechanical properties for comparison of product properties against a specification value should be run using the same control method and rate used to determine the specification value unless it can be shown that another method yields equivalent or conservative results. In the absence of any specified limitations, one of the following control methods shall be used. Appendix X4 provides additional guidance on selecting the control method.

Note 19—In the previous and following paragraphs, the yield properties referred to include yield strength, yield point, and yield point elongation.

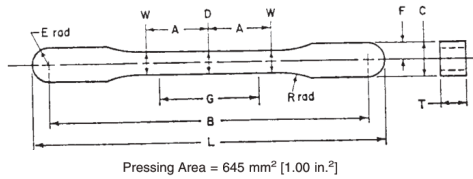
7.6.3.1 Control Method A—Rate of Stressing Method for Determining Yield Properties - In this method, the testing machine shall be operated such that the rate of stress application in the linear elastic region is between 1.15 and 11.5 MPa/s [10 000 and 100 000 psi/min]. The speed of the testing machine shall not be increased in order to maintain a stressing rate when the specimen begins to yield. It is not recommended that the

testing machine be operated in closed-loop control using the force signal through yield; however closed-loop control of the force signal can be used in the linear-elastic portion of the test.

Note 20—It is not the intent of this method to maintain constant stress rate or to control stress rate with closed loop force control while determining yield properties, but only to set the crosshead speed to achieve the target stress rate in the elastic region. When a specimen being tested begins to yield, the stressing rate decreases and may even become negative in the case of a specimen with discontinuous yielding. To maintain a constant stressing rate through the yielding process requires the testing machine to operate at extremely high speeds and, in most cases, this is neither practical nor desirable. In practice, it is simpler to use either a strain rate, crosshead speed, or a free-running crosshead speed that approximates the desired stressing rate in the linear-elastic portion of the test. As an example, use a strain rate that is between 1.15 and 11.5 MPa/s divided by the nominal Young's Modulus of the material being tested. As another example, find a crosshead speed through experimentation that approximates the desired stressing rate prior to the onset of yielding, and maintain that crosshead speed through the region that yield properties are determined. While both of these methods will provide similar rates of stressing and straining prior to the onset of yielding, the rates of stressing and straining are generally quite different in the region where yield properties are determined.

Note 21—This method has been the default method for many years for

E8/E8M - 13a



Dimensions, mm [in.]	
G—Gauge length	25.4 ± 0.08 [1.000 ± 0.003]
D—Width at center	5.72 ± 0.03 [0.225 ± 0.001]
W—Width at end of reduced section	5.97 ± 0.03 [0.235 ± 0.001]
T—Compact to this thickness	3.56 to 6.35 [0.140 to 0.250]
R—Radius of fillet	25.4 [1]
A—Half-length of reduced section	15.9 [0.625]
B—Grip length	80.95 ± 0.03 [3.187 ± 0.001]
L—Overall length	89.64 ± 0.03 [3.529 ± 0.001]
C—Width of grip section	8.71 ± 0.03 [0.343 ± 0.001]
F—Half-width of grip section	4.34 ± 0.03 [0.171 ± 0.001]
E—End radius	4.34 ± 0.03 [0.171 ± 0.001]

NOTE 1—Dimensions Specified, except G and T, are those of the die.
FIG. 19 Standard Flat Unmachined Tension Test Specimens for Powder Metallurgy (P/M) Products

testing materials that exhibit low strain rate sensitivity such as some steels and aluminum.

7.6.3.2 Control Method B - Rate of Straining Control Method for Determining Yield Properties—In this method, the testing machine shall be operated in closed-loop control using the extensometer signal. The rate of straining shall be set and maintained at 0.015 ± 0.006 mm/mm/min [in./in./min].

NOTE 22—Proper precautions must be observed when operating a machine in closed-loop strain control because unexpected crosshead movement may occur if the control parameters are not set properly, if proper safety limits are not set, or if the extensometer slips.

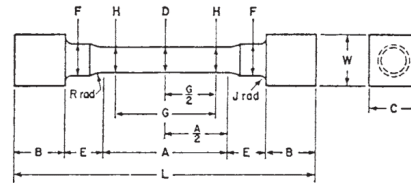
NOTE 23—A Rate of Straining at 0.005 mm/mm/min [in./in./min] is often required for aerospace, high-temperature alloys, and titanium applications and when specified, must be followed rather than the requirement above.

7.6.3.3 Control Method C—Crosshead Speed Control Method for Determining Yield Properties—The testing machine shall be set to a crosshead speed equal to 0.015 ± 0.003 mm/mm/min [in./in./min] of the original reduced section (dimension A in Fig. 1, Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9, Fig. 13, Fig. 15, Fig. 17, Fig. 18, and Fig. 20, and 2 times dimension A in Fig. 19) or distance between grips for specimens without reduced sections.

NOTE 24—It is recommended that crosshead speed be used for control in regions of discontinuous yielding.

NOTE 25—Using different Control Methods may produce different yield results especially if the material being tested is strain-rate sensitive. To achieve the best reproducibility in cases where the material may be strain-rate sensitive, the same control method should be used. Methods described in 7.6.3.2 or 7.6.3.3 will tend to give similar results in the case of a strain-rate sensitive material. The control method described in 7.6.3.1 should be avoided for strain rate sensitive materials if it is desirable to reproduce similar test results on other testing machines or in other laboratories.

7.6.4 Speed of Testing When Determining Tensile Strength—In the absence of any specified limitations on speed



Approximate Pressing Area of Unmachined Compact = 752 mm² [1.166 in.²] Machining Recommendations

1. Rough machine reduced section to 6.35-mm [0.25-in.] diameter
2. Finish turn 4.75/4.85-mm [0.187/0.191-in.] diameter with radii and taper
3. Polish with 00 emery cloth
4. Lap with crocus cloth

Dimensions, mm [in.]	
G—Gauge length	25.4 ± 0.08 [1.000 ± 0.003]
D—Diameter at center of reduced section	4.75 ± 0.03 [0.187 ± 0.001]
H—Diameter at ends of gauge length	4.85 ± 0.03 [0.191 ± 0.001]
R—Radius of gauge fillet	6.35 ± 0.13 [0.250 ± 0.005]
A—Length of reduced section	47.63 ± 0.13 [1.875 ± 0.003]
L—Overall length (die cavity length)	75 [3], nominal
B—Length of end section	7.88 ± 0.13 [0.310 ± 0.005]
C—Compact to this end thickness	10.03 ± 0.13 [0.395 ± 0.005]
W—Die cavity width	10.03 ± 0.08 [0.395 ± 0.003]
E—Length of shoulder	6.35 ± 0.13 [0.250 ± 0.005]
F—Diameter of shoulder	7.88 ± 0.03 [0.310 ± 0.001]
J—End fillet radius	1.27 ± 0.13 [0.050 ± 0.005]

NOTE 1—The gauge length and fillets of the specimen shall be as shown. The ends as shown are designed to provide a practical minimum pressing area. Other end designs are acceptable, and in some cases are required for high-strength sintered materials.

NOTE 2—It is recommended that the test specimen be gripped with a split collet and supported under the shoulders. The radius of the collet support circular edge is to be not less than the end fillet radius of the test specimen.

NOTE 3—Diameters D and H are to be concentric within 0.03 mm [0.001 in.] total indicator runout (T.I.R.), and free of scratches and tool marks.

FIG. 20 Standard Round Machined Tension Test Specimen for Powder Metallurgy (P/M) Products

of testing, the following general rules shall apply for materials with expected elongations greater than 5%. When determining only the tensile strength, or after the yield behavior has been recorded, the speed of the testing machine shall be set between 0.05 and 0.5 mm/mm [or in./in.] of the length of the reduced section (or distance between the grips for specimens not having a reduced section) per minute. Alternatively, an extensometer and strain rate indicator may be used to set the strain rate between 0.05 and 0.5 mm/mm/min [or in./in./min].

NOTE 26—For materials with expected elongations less than or equal to 5%, the speed of the testing machine may be maintained throughout the test at the speed used to determine yield properties.

NOTE 27—Tensile strength and elongation are sensitive to test speed for many materials (see Appendix X1) to the extent that variations within the range of test speeds given above can significantly affect results.

7.7 Determination of Yield Strength—Determine yield strength by any of the methods described in 7.7.1 to 7.7.4.

E8/E8M – 13a

Where extensometers are employed, use only those that are verified over a strain range in which the yield strength will be determined (see 5.4).

NOTE 28—For example, a verified strain range of 0.2 % to 2.0 % is appropriate for use in determining the yield strengths of many metals.

NOTE 29—Determination of yield behavior on materials which cannot support an appropriate extensometer (thin wire, for example) is problematic and outside the scope of this standard.

7.7.1 *Offset Method*—To determine the yield strength by the offset method, it is necessary to secure data (autographic or numerical) from which a stress-strain diagram may be drawn. Then on the stress-strain diagram (Fig. 21) lay off O_m equal to the specified value of the offset, draw mn parallel to OA , and thus locate r , the intersection of mn with the stress-strain diagram (Note 36). In reporting values of yield strength obtained by this method, the specified value of offset used should be stated in parentheses after the term yield strength. Thus:

$$\text{Yield strength (offset = 0.2\%)} = 360 \text{ MPa [52 000 psi]} \quad (3)$$

In using this method, a Class B2 or better extensometer (see Practice E83) shall be used.

NOTE 30—There are two general types of extensometers, averaging and non-averaging, the use of which is dependent on the product tested. For most machined specimens, there are minimal differences. However, for some forgings and tube sections, significant differences in measured yield strength can occur. For these cases, it is recommended that the averaging type be used.

NOTE 31—When there is a disagreement over yield properties, the offset method for determining yield strength is recommended as the referee test method.

NOTE 32—In practice, for a number of reasons, the straight-line portion of the stress-strain curve (line OA shown in Fig. 21) may not go through the origin of the stress-strain diagram. In these cases, Point O in Figs. 21-27 is not the origin of the stress-strain diagram, but rather where the straight-line portion of the stress-strain curve, OA , intersects the strain axis, see Fig. 26 and Fig. 27. All offsets and extensions are calculated from the intersection of the straight-line portion of the stress-strain curve, OA , with the strain axis, and not necessarily from the origin of the stress-strain diagram.

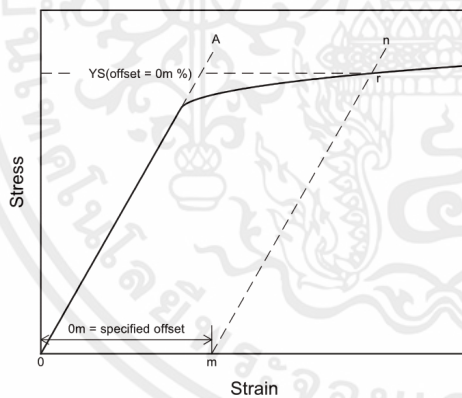


FIG. 21 Stress-Strain Diagram for Determination of Yield Strength by the Offset Method

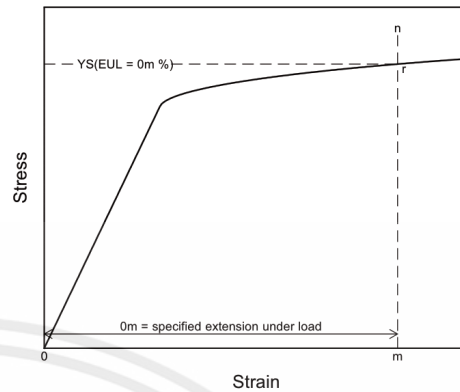


FIG. 22 Stress-Strain Diagram for Determination of Yield Strength by the Extension-Under-Load Method

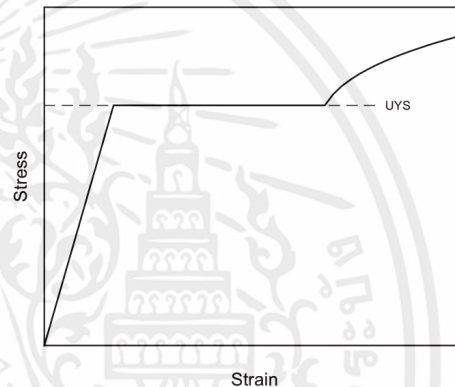


FIG. 23 Stress-Strain Diagram Showing Upper Yield Strength Corresponding with Top of Knee

7.7.2 *Extension-Under-Load (EUL) Method*—Yield strength by the extension-under-load method may be determined by: (1) using autographic or numerical devices to secure stress-strain data, and then analyzing this data (graphically or using automated methods) to determine the stress value at the specified value of extension, or (2) using devices that indicate when the specified extension occurs, so that the stress then occurring may be ascertained (Note 34). Any of these devices may be automatic. This method is illustrated in Fig. 22. The stress at the specified extension shall be reported as follows:

$$\text{Yield strength (EUL = 0.5\%)} = 52\,000 \text{ psi} \quad (4)$$

Extensometers and other devices used in determination of the extension shall meet or exceed Class B2 requirements (see Practice E83) at the strain of interest, except where use of low-magnification Class C devices is helpful, such as in

E8/E8M - 13a

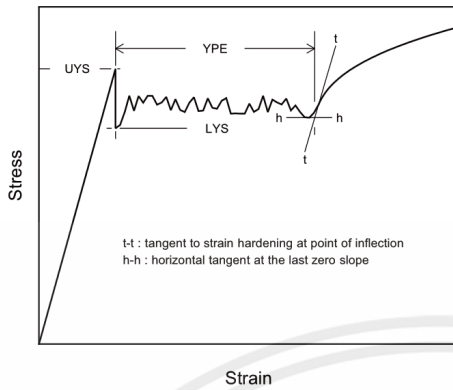


FIG. 24 Stress-Strain Diagram Showing Yield Point Elongation (YPE) and Upper (UYS) and Lower (LYS) Yield Strengths

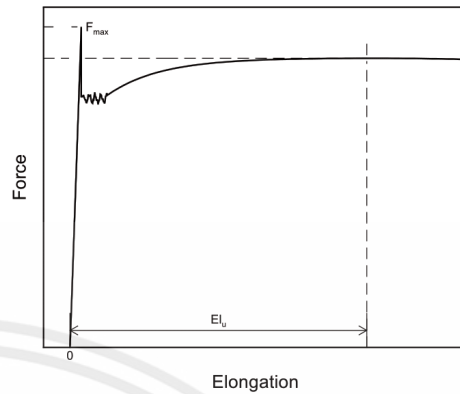


FIG. 26 Stress-Strain Diagram in Which the Upper Yield Strength is the Maximum Stress Recorded Method

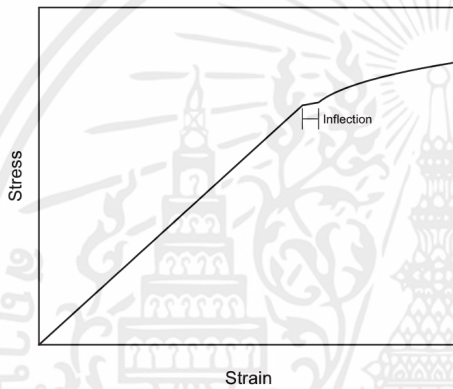


FIG. 25 Stress-Strain Diagram With an Inflection, But No YPE

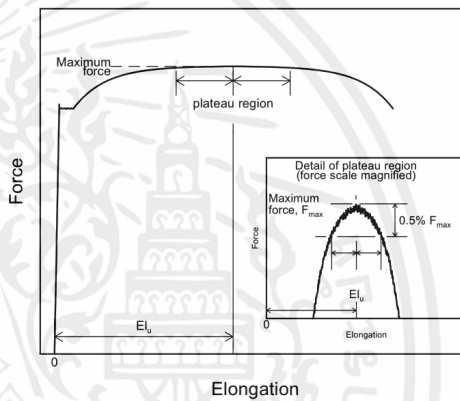


FIG. 27 Force-Elongation Diagram for Determination of Uniform Elongation of Steel Sheet Materials Exhibiting a Plateau at Maximum Force

facilitating measurement of YPE, if observed. If Class C devices are used, this must be reported along with the results.

NOTE 33—The appropriate value of the total extension must be specified. For steels with nominal yield strengths of less than 550 MPa [80 000 psi], an appropriate value is 0.005 mm/mm [or in./in.] (0.5 %) of the gauge length. For higher strength steels, a greater extension or the offset method should be used.

NOTE 34—When no other means of measuring elongation are available, a pair of dividers or similar device can be used to determine a point of detectable elongation between two gauge marks on the specimen. The gauge length shall be 50 mm [2 in.]. The stress corresponding to the load at the instant of detectable elongation may be recorded as the approximate extension-under-load yield strength.

7.7.3 Autographic Diagram Method (for materials exhibiting discontinuous yielding)—Obtain stress-strain (or force-elongation) data or construct a stress-strain (or force-elongation) diagram using an autographic device. Determine the upper or lower yield strength as follows:

7.7.3.1 Record the stress corresponding to the maximum force at the onset of discontinuous yielding as the upper yield strength. This is illustrated in Figs. 23 and 24.

NOTE 35—If multiple peaks are observed at the onset of discontinuous yielding, the first is considered the upper yield strength. (See Fig. 24.)

7.7.3.2 Record the minimum stress observed during discontinuous yielding (ignoring transient effects) as the lower yield strength. This is illustrated in Fig. 24.

NOTE 36—Yield properties of materials exhibiting yield point elongation are often less repeatable and less reproducible than those of similar materials having no YPE. Offset and EUL yield strengths may be significantly affected by stress fluctuations occurring in the region where the offset or extension intersects the stress-strain curve. Determination of upper or lower yield strengths (or both) may therefore be preferable for such materials, although these properties are dependent on variables such

 E8/E8M – 13a

as test machine stiffness and alignment. Speed of testing may also have a significant effect, regardless of the method employed.

NOTE 37—Where low-magnification autographic recordings are needed to facilitate measurement of yield point elongation for materials which may exhibit discontinuous yielding, Class C extensometers may be employed. When this is done but the material exhibits no discontinuous yielding, the extension-under-load yield strength may be determined instead, using the autographic recording (see Extension-Under-Load Method).

7.7.4 Halt-of-the-Force Method (for materials exhibiting discontinuous yielding)—Apply an increasing force to the specimen at a uniform deformation rate. When the force hesitates, record the corresponding stress as the upper yield strength.

NOTE 38—The Halt-of-the-Force Method was formerly known as the Halt-of-the-Pointer Method, the Drop-of-the-Beam Method, and the Halt-of-the-Load Method.

7.8 Yield Point Elongation—Calculate the yield point elongation from the stress-strain diagram or data by determining the difference in strain between the upper yield strength (first zero slope) and the onset of uniform strain hardening (see definition of YPE in Terminology E6 and Fig. 24).

NOTE 39—The stress-strain curve of a material exhibiting only a hint of the behavior causing YPE may have an inflection at the onset of yielding with no point where the slope reaches zero (Fig. 25). Such a material has no YPE, but may be characterized as exhibiting an inflection. Materials exhibiting inflections, like those with measurable YPE, may in certain applications acquire an unacceptable surface appearance during forming.

7.9 Uniform Elongation (if required):

7.9.1 Uniform elongation shall include both plastic and elastic elongation.

7.9.2 Uniform elongation shall be determined using autographic methods with extensometers conforming to Practice E83. Use a class B2 or better extensometer for materials having a uniform elongation less than 5 %. Use a class C or better extensometer for materials having a uniform elongation greater than or equal to 5 % but less than 50 %. Use a class D or better extensometer for materials having a uniform elongation of 50 % or greater.

7.9.3 Determine the uniform elongation as the elongation at the point of maximum force from the force elongation data collected during a test.

7.9.3.1 Some materials exhibit a yield point followed by considerable elongation where the yield point is the maximum force achieved during the test. In this case, uniform elongation is not determined at the yield point, but instead at the highest force occurring just prior to necking (see Fig. 26).

7.9.3.2 Stress-strain curves for some materials exhibit a lengthy, plateau-like region in the vicinity of the maximum force. For such materials, determine the uniform elongation at the center of the plateau as indicated in Fig. 27 (see also Note 40 below).

NOTE 40—When uniform elongation is being determined digitally, noise in the stress-strain data generally causes many small, local peaks and valleys to be recorded in the plateau region. To accommodate this, the following procedure is recommended:

- Determine the maximum force recorded (after discontinuous yielding).
- Evaluate the sequence of force values recorded before and after the maximum force.

- Digitally define the "plateau" as consisting of all consecutive data points wherein the force value is within 0.5 % of the magnitude of the peak force value.

- Determine the uniform elongation as the strain at the mid-point of the "plateau."

7.9.3.3 Discussion—The 0.5 % value of Note 40 has been selected arbitrarily. In actual practice, the value should be selected so as to be the minimum figure that is large enough to effectively define the force plateau. This may require that the percentage be about five times the amplitude of the force fluctuations occurring due to noise. Values ranging from 0.1 % to 1.0 % may be found to work acceptably.

7.10 Tensile Strength (also known as Ultimate Tensile Strength)—Calculate the tensile strength by dividing the maximum force carried by the specimen during the tension test by the original cross-sectional area of the specimen.

NOTE 41—If the upper yield strength is the maximum stress recorded, and if the stress-strain curve resembles that of Fig. 26, it is recommended that the maximum stress after discontinuous yielding be reported as the tensile strength. Where this may occur, determination of the tensile strength should be in accordance with the agreement between the parties involved.

7.11 Elongation:

7.11.1 In reporting values of elongation, give both the original gauge length and the percentage increase. If any device other than an extensometer is placed in contact with the specimen's reduced section during the test, this also shall be noted.

$$\text{Example: Elongation} = 30\% \text{ increase } (50 - \text{mm} [2 - \text{in.}] \text{ gauge length}) \quad (5)$$

NOTE 42—Elongation results are very sensitive to variables such as: (a) speed of testing, (b) specimen geometry (gauge length, diameter, width, and thickness), (c) heat dissipation (through grips, extensometers, or other devices in contact with the reduced section), (d) surface finish in reduced section (especially burrs or notches), (e) alignment, and (f) fillets and tapers. Parties involved in comparison or conformance testing should standardize the above items, and it is recommended that use of ancillary devices (such as extensometer supports) which may remove heat from specimens be avoided. See Appendix X1 for additional information on the effects of these variables.

7.11.2 When the specified elongation is greater than 3 %, fit ends of the fractured specimen together carefully and measure the distance between the gage marks to the nearest 0.25 mm [0.01 in.] for gauge lengths of 50 mm [2 in.] and under, and to at least the nearest 0.5 % of the gauge length for gauge lengths over 50 mm [2 in.]. A percentage scale reading to 0.5 % of the gauge length may be used.

7.11.3 When the specified elongation is 3 % or less, determine the elongation of the specimen using the following procedure, except that the procedure given in 7.11.2 may be used instead when the measured elongation is greater than 3 %.

7.11.3.1 Prior to testing, measure the original gauge length of the specimen to the nearest 0.05 mm [0.002 in.].

7.11.3.2 Remove partly torn fragments that will interfere with fitting together the ends of the fractured specimen or with making the final measurement.

 E8/E8M – 13a

7.11.3.3 Fit the fractured ends together with matched surfaces and apply a force along the axis of the specimen sufficient to close the fractured ends together. If desired, this force may then be removed carefully, provided the specimen remains intact.

NOTE 43—The use of a force generating a stress of approximately 15 MPa [2000 psi] has been found to give satisfactory results on test specimens of aluminum alloy.

7.11.3.4 Measure the final gauge length to the nearest 0.05 mm [0.002 in.] and report the elongation to the nearest 0.2 %.

7.11.4 Elongation measured per paragraph 7.11.2 or 7.11.3 may be affected by location of the fracture, relative to the marked gauge length. If any part of the fracture occurs outside the gauge marks or is located less than 25 % of the elongated gauge length from either gauge mark, the elongation value obtained using that pair of gauge marks may be abnormally low and non-representative of the material. If such an elongation measure is obtained in acceptance testing involving only a minimum requirement and meets the requirement, no further testing need be done. Otherwise, discard the test and retest the material.

7.11.5 *Elongation at Fracture:*

7.11.5.1 Elongation at fracture shall include elastic and plastic elongation and may be determined with autographic or automated methods using extensometers verified over the strain range of interest (see 5.4). Use a class B2 or better extensometer for materials having less than 5 % elongation, a class C or better extensometer for materials having elongation greater than or equal to 5 % but less than 50 %, and a class D or better extensometer for materials having 50 % or greater elongation. In all cases, the extensometer gauge length shall be the nominal gauge length required for the specimen being tested. Due to the lack of precision in fitting fractured ends together, the elongation after fracture using the manual methods of the preceding paragraphs may differ from the elongation at fracture determined with extensometers.

7.11.5.2 Percent elongation at fracture may be calculated directly from elongation at fracture data and be reported instead of percent elongation as calculated in 7.11.2 to 7.11.3. However, these two parameters are not interchangeable. Use of the elongation at fracture method generally provides more repeatable results.

NOTE 44—When disagreements arise over the percent elongation results, agreement must be reached on which method to use to obtain the results.

7.12 *Reduction of Area:*

7.12.1 The reduced area used to calculate reduction of area (see 7.11.2 and 7.11.3) shall be the minimum cross section at the location of fracture.

7.12.2 *Specimens with Originally Circular Cross Sections*—Fit the ends of the fractured specimen together and measure the reduced diameter to the same accuracy as the original measurement.

NOTE 45—Because of anisotropy, circular cross sections often do not remain circular during straining in tension. The shape is usually elliptical, thus, the area may be calculated by $\pi \cdot d_1 \cdot d_2 / 4$, where d_1 and d_2 are the major and minor diameters, respectively.

7.12.3 *Specimens with Original Rectangular Cross Sections*—Fit the ends of the fractured specimen together and measure the thickness and width at the minimum cross section to the same accuracy as the original measurements.

NOTE 46—Because of the constraint to deformation that occurs at the corners of rectangular specimens, the dimensions at the center of the original flat surfaces are less than those at the corners. The shapes of these surfaces are often assumed to be parabolic. When this assumption is made, an effective thickness, t_e , may be calculated as follows: $(t_1 + 4t_2 + t_3)/6$, where t_1 and t_3 are the thicknesses at the corners, and t_2 is the thickness at mid-width. An effective width may be similarly calculated.

7.12.4 Calculate the reduced area based upon the dimensions determined in 7.12.2 or 7.12.3. The difference between the area thus found and the area of the original cross section expressed as a percentage of the original area is the reduction of area.

7.12.5 If any part of the fracture takes place outside the middle half of the reduced section or in a punched or scribed gauge mark within the reduced section, the reduction of area value obtained may not be representative of the material. In acceptance testing, if the reduction of area so calculated meets the minimum requirements specified, no further testing is required, but if the reduction of area is less than the minimum requirements, discard the test results and retest.

7.12.6 Results of measurements of reduction of area shall be rounded using the procedures of Practice E29 and any specific procedures in the product specifications. In the absence of a specified procedure, it is recommended that reduction of area test values in the range from 0 to 10 % be rounded to the nearest 0.5 % and test values of 10 % and greater to the nearest 1 %.

7.13 *Rounding Reported Test Data for Yield Strength and Tensile Strength*—Test data should be rounded using the procedures of Practice E29 and the specific procedures in the product specifications. In the absence of a specified procedure for rounding the test data, one of the procedures described in the following paragraphs is recommended.

7.13.1 For test values up to 500 MPa [50 000 psi], round to the nearest 1 MPa [100 psi]; for test values of 500 MPa [50 000 psi] and up to 1000 MPa [100 000 psi], round to the nearest 5 MPa [500 psi]; for test values of 1000 MPa [100 000 psi] and greater, round to the nearest 10 MPa [1000 psi].

NOTE 47—For steel products, see Test Methods and Definitions A370.

7.13.2 For all test values, round to the nearest 1 MPa [100 psi].

NOTE 48—For aluminum- and magnesium-alloy products, see Methods B557.

7.13.3 For all test values, round to the nearest 5 MPa [500 psi].

7.14 *Replacement of Specimens*—A test specimen may be discarded and a replacement specimen selected from the same lot of material in the following cases:

7.14.1 The original specimen had a poorly machined surface,

7.14.2 The original specimen had the wrong dimensions,

7.14.3 The specimen's properties were changed because of poor machining practice,


E8/E8M – 13a

- 7.14.4 The test procedure was incorrect,
 7.14.5 The fracture was outside the gauge length,
 7.14.6 For elongation determinations, the fracture was outside the middle half of the gauge length, or
 7.14.7 There was a malfunction of the testing equipment.

NOTE 49—The tension specimen is inappropriate for assessing some types of imperfections in a material. Other methods and specimens employing ultrasonics, dye penetrants, radiography, etc., may be considered when flaws such as cracks, flakes, porosity, etc., are revealed during a test and soundness is a condition of acceptance.

8. Report

8.1 Test information on materials not covered by a product specification should be reported in accordance with 8.2 or both 8.2 and 8.3.

8.2 Test information to be reported shall include the following when applicable:

- 8.2.1 Reference to the standard used, i.e. E8 or E8M.
 8.2.2 Material and sample identification.
 8.2.3 Specimen type (see Section 6).
 8.2.4 Yield strength and the method used to determine yield strength (see 7.7).
 8.2.5 Yield point elongation (see 7.8).
 8.2.6 Tensile Strength (also known as Ultimate Tensile Strength) (see 7.10).
 8.2.7 Elongation (report original gauge length, percentage increase, and method used to determine elongation; i.e. at fracture or after fracture) (see 7.11).
 8.2.8 Uniform Elongation, if required (see 7.9).
 8.2.9 Reduction of area, if required (see 7.12).

8.3 Test information to be available on request shall include:

- 8.3.1 Specimen test section dimension(s).
 8.3.2 Equation used to calculate cross-sectional area of rectangular specimens taken from large-diameter tubular products.
 8.3.3 Speed and method used to determine speed of testing (see 7.6).
 8.3.4 Method used for rounding of test results (see 7.13).
 8.3.5 Reasons for replacement specimens (see 7.14).

9. Precision and Bias

9.1 *Precision*—An interlaboratory test program³ gave the following values for coefficients of variation for the most commonly measured tensile properties:

Tensile Strength	Coefficient of Variation, %			
	Yield Strength Offset = 0.02 %	Yield Strength Offset = 0.2 %	Elongation Gauge Length = 4	Reduction of Area
CV % _r	0.9	2.7	1.4	2.8
CV % _R	1.3	4.5	2.3	5.4

CV %_r = repeatability coefficient of variation in percent within a laboratory
 CV %_R = repeatability coefficient of variation in percent between laboratories

9.1.1 The values shown are the averages from tests on six frequently tested metals, selected to include most of the normal range for each property listed above. When these materials are compared, a large difference in coefficient of variation is found. Therefore, the values above should not be used to judge whether the difference between duplicate tests of a specific material is larger than expected. The values are provided to allow potential users of this test method to assess, in general terms, its usefulness for a proposed application.

9.2 *Bias*—The procedures in Test Methods E8/E8M for measuring tensile properties have no bias because these properties can be defined only in terms of a test method.

10. Keywords

10.1 accuracy; bending stress; discontinuous yielding; drop-of-the-beam; eccentric force application; elastic extension; elongation; extension-under-load; extensometer; force; free-running crosshead speed; gauge length; half-of-the force; percent elongation; plastic extension; preload; rate of stressing; rate of straining; reduced section; reduction of area; sensitivity; strain; stress; taring; tensile strength; tension testing; yield point elongation; yield strength

³ Supporting data can be found in Appendix X1 and additional data are available from ASTM Headquarters. Request RR:E28-1004.

APPENDICES

(Nonmandatory Information)

X1. FACTORS AFFECTING TENSION TEST RESULTS

X1.1 The precision and bias of tension test strength and ductility measurements depend on strict adherence to the stated test procedure and are influenced by instrumental and material factors, specimen preparation, and measurement/testing errors.

X1.2 The consistency of agreement for repeated tests of the same material is dependent on the homogeneity of the material, and the repeatability of specimen preparation, test conditions, and measurements of the tension test parameters.

X1.3 Instrumental factors that can affect test results include: the stiffness, damping capacity, natural frequency, and mass of moving parts of the tensile test machine; accuracy of force indication and use of forces within the verified range of the machine; rate of force application, alignment of the test specimen with the applied force, parallelness of the grips, grip pressure, nature of the force control used, appropriateness and calibration of extensometers, heat dissipation (by grips, extensometers, or ancillary devices), and so forth.

 E8/E8M – 13a

X1.4 Material factors that can affect test results include: representativeness and homogeneity of the test material, sampling scheme, and specimen preparation (surface finish, dimensional accuracy, fillets at the ends of the gauge length, taper in the gauge length, bent specimens, thread quality, and so forth).

X1.4.1 Some materials are very sensitive to the quality of the surface finish of the test specimen (see Note 4) and must be ground to a fine finish, or polished to obtain correct results.

X1.4.2 Test results for specimens with as-cast, as-rolled, as-forged, or other non-machined surface conditions can be affected by the nature of the surface (see Note 10).

X1.4.3 Test specimens taken from appendages to the part or component, such as prolongs or risers, or from separately produced castings (for example, keel blocks) may produce test results that are not representative of the part or component.

X1.4.4 Test specimen dimensions can influence test results. For cylindrical or rectangular specimens, changing the test specimen size generally has a negligible effect on the yield and tensile strength but may influence the upper yield strength, if one is present, and elongation and reduction of area values. Comparison of elongation values determined using different specimens requires that the following ratio be controlled:

$$L_o/(A_o)^{1/2} \quad (X1.1)$$

where:

L_o = original gauge length of specimen, and
 A_o = original cross-sectional area of specimen.

X1.4.4.1 Specimens with smaller $L_o/(A_o)^{1/2}$ ratios generally give greater elongation and reduction in area values. This is the case for example, when the width or thickness of a rectangular tensile test specimen is increased.

X1.4.4.2 Holding the $L_o/(A_o)^{1/2}$ ratio constant minimizes, but does not necessarily eliminate, differences. Depending on material and test conditions, increasing the size of the proportional specimen of Fig. 8 may be found to increase or decrease elongation and reduction in area values somewhat.

X1.4.5 Use of a taper in the gauge length, up to the allowed 1 % limit, can result in lower elongation values. Reductions of as much as 15 % have been reported for a 1 % taper.

X1.4.6 Changes in the strain rate can affect the yield strength, tensile strength, and elongation values, especially for materials which are highly strain rate sensitive. In general, the yield strength and tensile strength will increase with increasing strain rate, although the effect on tensile strength is generally less pronounced. Elongation values generally decrease as the strain rate increases.

X1.4.7 Brittle materials require careful specimen preparation, high quality surface finishes, large fillets at the ends of the gauge length, oversize threaded grip sections, and cannot tolerate punch or scribe marks as gauge length indicators.

X1.4.8 Flattening of tubular products to permit testing does alter the material properties, generally nonuniformly, in the flattened region which may affect test results.

X1.5 Measurement errors that can affect test results include: verification of the test force, extensometers, micrometers,

dividers, and other measurement devices, alignment and zeroing of chart recording devices, and so forth.

X1.5.1 Measurement of the dimensions of as-cast, as-rolled, as-forged, and other test specimens with non-machined surfaces may be imprecise due to the irregularity of the surface flatness.

X1.5.2 Materials with anisotropic flow characteristics may exhibit non-circular cross sections after fracture and measurement precision may be affected, as a result (see Note 41).

X1.5.3 The corners of rectangular test specimens are subject to constraint during deformation and the originally flat surfaces may be parabolic in shape after testing which will affect the precision of final cross-sectional area measurements (see Note 46).

X1.5.4 If any portion of the fracture occurs outside of the middle of the gauge length, or in a punch or scribe mark within the gauge length, the elongation and reduction of area values may not be representative of the material. Wire specimens that break at or within the grips may not produce test results representative of the material.

X1.5.5 Use of specimens with shouldered ends ("button-head" tensiles) will produce lower 0.02 % offset yield strength values than threaded specimens.

X1.6 Because standard reference materials with certified tensile property values are not available, it is not possible to rigorously define the bias of tension tests. However, by the use of carefully designed and controlled interlaboratory studies, a reasonable definition of the precision of tension test results can be obtained.

X1.6.1 An interlaboratory test program³ was conducted in which six specimens each, of six different materials were prepared and tested by each of six different laboratories. Tables X1.1-X1.6 present the precision statistics, as defined in Practice E691, for: tensile strength, 0.02 % yield strength, 0.2 % yield strength, % elongation in 4D, % elongation in 5D, and % reduction in area. In each table, the first column lists the six materials tested, the second column lists the average of the average results obtained by the laboratories, the third and fifth columns list the repeatability and reproducibility standard deviations, the fourth and sixth columns list the coefficients of variation for these standard deviations, and the seventh and eighth columns list the 95 % repeatability and reproducibility limits.

X1.6.2 The averages (below columns four and six in each table) of the coefficients of variation permit a relative comparison of the repeatability (within-laboratory precision) and reproducibility (between-laboratory precision) of the tension test parameters. This shows that the ductility measurements exhibit less repeatability and reproducibility than the strength measurements. The overall ranking from the least to the most repeatable and reproducible is: % elongation in 4D, % elongation in 5D, % reduction in area, 0.02 % offset yield strength, 0.2 % offset yield strength, and tensile strength. Note that the rankings are in the same order for the repeatability and reproducibility average coefficients of variation and that the

E8/E8M – 13a

reproducibility (between-laboratory precision) is poorer than the repeatability (within-laboratory precision) as would be expected.

showed that one laboratory consistently exhibited higher than average strength values and lower than average ductility values for most of the specimens. One other laboratory had consistently lower than average tensile strength results for all specimens.

X1.6.3 No comments about bias can be made for the interlaboratory study due to the lack of certified test results for these specimens. However, examination of the test results

TABLE X1.1 Precision Statistics—Tensile Strength, MPa [ksi]

Note 1— \bar{X} is the average of the cell averages, that is, the grand mean for the test parameter.
 s_r is the repeatability standard deviation (within-laboratory precision) in MPa [ksi],
 s_r/X is the coefficient of variation in %,
 s_R is the reproducibility standard deviation (between-laboratory precision) in MPa [ksi],
 s_R/X is the coefficient of variation, %,
 r is the 95 % repeatability limits in MPa [ksi],
 R is the 95 % reproducibility limits in MPa [ksi].

Material	\bar{X}	s_r	$s_r/X, \%$	s_R	$s_R/X, \%$	r	R
EC-H19	176.9 [25.66]	4.3 [0.63]	2.45	4.3 [0.63]	2.45	12.1 [1.76]	12.1 [1.76]
2024-T351	491.3 [71.26]	6.1 [0.88]	1.24	6.6 [0.96]	1.34	17.0 [2.47]	18.5 [2.68]
ASTM A105	596.9 [86.57]	4.1 [0.60]	0.69	8.7 [1.27]	1.47	11.6 [1.68]	24.5 [3.55]
AISI 316	694.6 [100.75]	2.7 [0.39]	0.39	8.4 [1.22]	1.21	7.5 [1.09]	23.4 [3.39]
Inconel 600	685.9 [99.48]	2.9 [0.42]	0.43	5.0 [0.72]	0.72	8.2 [1.19]	13.9 [2.02]
SAE 51410	1253.0 [181.73]	0.25 [0.46]	0.25	7.9 [1.14]	0.63	8.9 [1.29]	22.1 [3.20]
Averages:			0.91		1.30		

TABLE X1.2 Precision Statistics—0.02 % Yield Strength, MPa [ksi]

Material	\bar{X}	s_r	$s_r/X, \%$	s_R	$s_R/X, \%$	r	R
EC-H19	111.4 [16.16]	4.5 [0.65]	4.00	8.2 [1.19]	7.37	12.5 [1.81]	23.0 [3.33]
2024-T351	354.2 [51.38]	5.8 [0.84]	1.64	6.1 [0.89]	1.73	16.3 [2.36]	17.2 [2.49]
ASTM A105	411.1 [59.66]	8.3 [1.20]	2.02	13.1 [1.90]	3.18	23.2 [3.37]	36.6 [5.31]
AISI 316	336.1 [48.75]	16.7 [2.42]	4.97	31.9 [4.63]	9.49	46.1 [6.68]	89.0 [12.91]
Inconel 600	267.1 [38.74]	3.2 [0.46]	1.18	5.2 [0.76]	1.96	8.8 [1.28]	14.7 [2.13]
SAE 51410	723.2 [104.90]	16.6 [2.40]	2.29	21.9 [3.17]	3.02	46.4 [6.73]	61.2 [8.88]
Averages:			2.68		4.46		

TABLE X1.3 Precision Statistics—0.2 % Yield Strength, MPa [ksi]

Material	\bar{X}	s_r	$s_r/X, \%$	s_R	$s_R/X, \%$	r	R
EC-H19	158.4 [22.98]	3.3 [0.47]	2.06	3.3 [0.48]	2.07	9.2 [1.33]	9.2 [1.33]
2024-T351	362.9 [52.64]	5.1 [0.74]	1.41	5.4 [0.79]	1.49	14.3 [2.08]	15.2 [2.20]
ASTM A105	402.4 [58.36]	5.7 [0.83]	1.42	9.9 [1.44]	2.47	15.9 [2.31]	27.8 [4.03]
AISI 316	481.1 [69.78]	6.6 [0.95]	1.36	19.5 [2.83]	4.06	18.1 [2.63]	54.7 [7.93]
Inconel 600	268.3 [38.91]	2.5 [0.36]	0.93	5.8 [0.85]	2.17	7.0 [1.01]	16.3 [2.37]
SAE 51410	967.5 [140.33]	8.9 [1.29]	0.92	15.9 [2.30]	1.64	24.8 [3.60]	44.5 [6.45]
Averages:			1.35		2.32		

TABLE X1.4 Precision Statistics—% Elongation in 4D for E8 Specimens

Note 1—Length of reduced section = 6D.

Material	\bar{X}	s_r	$s_r/X, \%$	s_R	$s_R/X, \%$	r	R
EC-H19	17.42	0.64	3.69	0.92	5.30	1.80	2.59
2024-T351	19.76	0.58	2.94	1.58	7.99	1.65	4.43
ASTM A105	29.10	0.76	2.62	0.98	3.38	2.13	2.76
AISI 316	40.07	1.10	2.75	2.14	5.35	3.09	6.00
Inconel 600	44.28	0.66	1.50	1.54	3.48	1.86	4.31
SAE 51410	14.48	0.48	3.29	0.99	6.83	1.34	2.77
Averages:			2.80		5.39		

Copyright ASTM International
 Provided by IHS under license with ASTM
 No reproduction or networking permitted without license from IHS

23
 Sold to: NW PA Reg Plans and Dev Co, 811784
 Not for Resale, 09/25/2013 09:03:44 MDT

 E8/E8M - 13a

TABLE X1.5 Precision Statistics—% Elongation in 5D for E8M Specimens

Note 1—Length of reduced section = 6D.

Material	\bar{X}	s_r	$s_r/\bar{X}, \%$	s_R	$s_R/\bar{X}, \%$	r	R
EC-H19	14.60	0.59	4.07	0.66	4.54	1.65	1.85
2024-T351	17.99	0.63	3.48	1.71	9.51	1.81	4.81
ASTM A105	25.63	0.77	2.99	1.30	5.06	2.15	3.63
AISI 316	35.93	0.71	1.98	2.68	7.45	2.00	7.49
Inconel 600	41.58	0.67	1.61	1.60	3.86	1.88	4.49
SAE 51410	13.39	0.45	3.61	0.96	7.75	1.25	2.89
		Averages:	2.96		6.36		

X2. MEASUREMENT OF SPECIMEN DIMENSIONS

TABLE X1.6 Precision Statistics—% Reduction in Area

Material	\bar{X}	s_r	$s_r/\bar{X}, \%$	s_R	$s_R/\bar{X}, \%$	r	R
EC-H19	79.15	1.93	2.43	2.01	2.54	5.44	5.67
2024-T351	30.41	2.09	6.87	3.59	11.79	5.79	10.01
ASTM A105	65.59	0.84	1.28	1.26	1.92	2.35	3.53
AISI 316	71.49	0.99	1.39	1.60	2.25	2.78	4.50
Inconel 600	59.34	0.67	1.14	0.70	1.18	1.89	1.97
SAE 51410	50.49	1.86	3.69	3.95	7.81	5.21	11.05
		Averages:	2.80		4.58		

X2.1 Measurement of specimen dimensions is critical in tension testing, and it becomes more critical with decreasing specimen size, as a given absolute error becomes a larger relative (percent) error. Measuring devices and procedures should be selected carefully, so as to minimize measurement error and provide good repeatability and reproducibility.

X2.2 Relative measurement error should be kept at or below 1 %, where possible. Ideally, this 1 % error should include not only the resolution of the measuring device but also the variability commonly referred to as repeatability and reproducibility. (Repeatability is the ability of any operator to obtain similar measurements in repeated trials. Reproducibility is the ability of multiple operators to obtain similar measurements.)

X2.3 Formal evaluation of gage repeatability and reproducibility (GR and R) by way of a GR and R study is highly recommended. A GR and R study involves having multiple operators each take two or three measurements of a number of parts—in this case, test specimens. Analysis, usually done by computer, involves comparing the observed measurement variations to a tolerance the procedure is to determine conformance to. High GR and R percentages (more than 20 %) indicate much variability relative to the tolerance, whereas low percentages (10 % or lower) indicate the opposite. The analysis also estimates, independently, the repeatability and reproducibility.

X2.4 GR and R studies in which nontechnical personnel used different brands and models of hand-held micrometers have given results varying from about 10 % (excellent) to nearly 100 % (essentially useless), relative to a dimensional tolerance of 0.075 mm [0.003 in.]. The user is therefore advised to be very careful in selecting devices, setting up

measurement procedures, and training personnel.

X2.5 With a 0.075 mm [0.003 in.] tolerance, a 10 % GR and R result (exceptionally good, even for digital hand-held micrometers reading to 0.001 mm [0.00005 in.]) indicates that the total variation due to repeatability and reproducibility is around 0.0075 [0.0003 in.]. This is less than or equal to 1 % only if all dimensions to be measured are greater than or equal to 0.75 mm [0.03 in.]. The relative error in using this device to measure thickness of a 0.25 mm [0.01 in.] flat tensile specimen would be 3 %—which is considerably more than that allowed for force or strain measurement.

X2.6 Dimensional measurement errors can be identified as the cause of many *out-of-control* signals, as indicated by statistical process control (SPC) charts used to monitor tension testing procedures. This has been the experience of a production laboratory employing SPC methodology and the best hand-held micrometers available (from a GR and R standpoint) in testing of 0.45 to 6.35 mm [0.018 to 0.25 in.] flat rolled steel products.

X2.7 Factors which affect GR and R, sometimes dramatically, and which should be considered in the selection and evaluation of hardware and procedures include:

- X2.7.1 Resolution,
- X2.7.2 Verification,
- X2.7.3 Zeroing,
- X2.7.4 Type of anvil (flat, rounded, or pointed),
- X2.7.5 Cleanliness of part and anvil surfaces,
- X2.7.6 User-friendliness of measuring device,

 E8/E8M – 13a

- X2.7.7 Stability/temperature variations,
- X2.7.8 Coating removal,
- X2.7.9 Operator technique, and
- X2.7.10 Ratchets or other features used to regulate the clamping force.

X2.8 Flat anvils are generally preferred for measuring the dimensions of round or flat specimens which have relatively smooth surfaces. One exception is that rounded or pointed anvils must be used in measuring the thickness of curved specimens taken from large-diameter tubing (see Fig. 13), to prevent overstating the thickness. (Another concern for these curved specimens is the error that can be introduced through use of the equation $A = W \times T$; see 7.2.3.)

X2.9 Heavy coatings should generally be removed from at least one grip end of flat specimens taken from coated products to permit accurate measurement of base metal thickness, assuming (a) the base metal properties are what are desired, (b) the coating does not contribute significantly to the strength of the product, and (c) coating removal can be easily accomplished (some coatings may be easily removed by chemical

stripping). Otherwise, it may be advisable to leave the coating intact and determine the base metal thickness by an alternate method. Where this issue may arise, all parties involved in comparison or conformance testing should agree as to whether or not coatings are to be removed before measurement.

X2.10 As an example of how the considerations identified above affect dimensional measurement procedures, consider the case of measuring the thickness of 0.40 mm [0.015 in.] painted, flat rolled steel specimens. The paint should be removed prior to measurement, if possible. The measurement device used should have flat anvils, must read to 0.0025 mm [0.0001 in.] or better, and must have excellent repeatability and reproducibility. Since GR and R is a significant concern, it will be best to use a device which has a feature for regulating the clamping force used, and devices without digital displays should be avoided to prevent reading errors. Before use of the device, and periodically during use, the anvils should be cleaned, and the device should be verified or zeroed (if an electronic display is used) or both. Finally, personnel should be trained and audited periodically to ensure that the measuring device is being used correctly and consistently by all.

X3. SUGGESTED ACCREDITATION CRITERIA FOR LABORATORIES PERFORMING TENSILE TESTS

X3.1 Scope

X3.1.1 The following are specific features that an assessor may check to assess a laboratory's technical competence, if the laboratory is performing tests in accordance with Test Methods E8/E8M.

X3.2 Preparation

X3.2.1 The laboratory should follow documented procedures to ensure that machining or other preparation generates specimens conforming to applicable tolerances and requirements of Test Methods E8/E8M. Particularly important are those requirements that pertain to the dimensions and finish of reduced sections, as found in the text and in applicable figures.

X3.2.2 Where gauge marks are used, the laboratory should employ documented gauge marking procedures to ensure that the marks and gauge lengths comply with the tolerances and guidelines of Test Methods E8/E8M.

X3.2.2.1 The gauge marking procedure used should not deleteriously affect the test results.

Note X3.1.—Frequent occurrence of fracturing at the gauge marks may indicate that gauge marks have excessive depth or sharpness and may be affecting test results.

X3.3 Test Equipment

X3.3.1 As specified in the Apparatus sections of Test Methods E8/E8M, the axis of the test specimen should coincide with the center line of the heads of the testing machine, in order to minimize bending stresses which could affect the results.

X3.3.2 Equipment verification requirements of Practices E4 and E83 shall be met. Documentation showing the verification work to have been thorough and technically correct should be available.

X3.3.2.1 Verification reports shall demonstrate that force and extension readings have been taken at the prescribed intervals and that the prescribed runs have been completed.

X3.3.3 Extensometers used shall meet all requirements of Test Methods E8/E8M as to the classification of device to be used for the results determined. For example, an extensometer not meeting the Class B2 requirements of Practice E83 may not be used in determination of offset yield strengths.

X3.3.4 Before computerized or automated test equipment is put into routine service, or following a software revision, it is recommended that measures be taken to verify proper operation and result interpretation. Guide E1856 addresses this concern.

X3.3.5 Micrometers and other devices used in measurement of specimen dimensions should be selected, maintained and used in such a manner as to comply with the appendixes of Test Methods E8/E8M on measurement. Traceability to national standards should be established for these devices, and reasonable effort should be employed to prevent errors greater than 1% from being generated as a result of measurement error, resolution, and rounding practice.

X3.4 Procedures

X3.4.1 The test machine shall be set up and zeroed in such a manner that zero force indication signifies a state of zero force on the specimen, as indicated in the Zeroing of the Test Machine sections of Test Methods E8/E8M.


E8/E8M – 13a

Note X3.2—Provisions should be made to ensure that zero readings are properly maintained, from test to test. These may include, for example, zeroing after a predetermined number of tests or each time, under zero force conditions, the indicator exceeds a predetermined value.

X3.4.2 Upon request, the laboratory should be capable of demonstrating (perhaps through time, force, displacement or extensometer measurements, or both) that the test speeds used conform to the requirements of Test Methods E8/E8M, or other standards which take precedence.

X3.4.3 Upon request, the laboratory should be capable of demonstrating that the offsets and extensions used in determining yield strengths conform to the requirements of Test Methods E8/E8M and are constructed so as to indicate the forces corresponding to the desired offset strain or total strain.

Note X3.3—Use caution when performing calculations with extensometer magnification, because the manufacturer may report strain magnification, which relates the strain (not the elongation) to the x-axis displacement on the stress strain diagram. A user or assessor interested in an extensometer's magnification may use calibration equipment to determine the ratio between elongation and chart travel or may verify a reported magnification by calculating the Young's modulus from tests of specimens of a known nominal modulus.

X3.4.4 Measurement of elongation shall conform to requirements of Test Methods E8/E8M.

Note X3.4—Test Methods E8/E8M permit the measurement and reporting of elongation at fracture in place of elongation, as is often done in automated testing.

X3.4.5 Reduction of area, when required, shall be determined in accordance with the requirements of Test Methods E8/E8M.

X3.4.6 Procedures for recording, calculating, and reporting data and test results shall conform to all applicable requirements of Test Methods E8/E8M. In addition, wherever practical, the procedures should also be in accordance with widely accepted provisions of good laboratory practice, such as those detailed below.

X3.4.6.1 When recording data, personnel should record all figures that are definite, plus the best estimate of the first figure which is uncertain. (If a result is known to be approximately midway between 26 and 27, 26.5 should be the result recorded (not 26, 27, or 26.475).

X3.4.6.2 When performing calculations, personnel should avoid compounding of rounding errors. This may be accomplished by performing one large calculation, rather than several calculations using individual results. Alternatively, if multi-step calculations are done, intermediate results should not be rounded before use in subsequent calculations.

X3.4.6.3 In rounding, no final result should retain more significant figures than the least-significant-figure measurement or data point used in the calculation.

X3.5 Retention

X3.5.1 A retention program appropriate for the nature and frequency of testing done in the laboratory should be maintained. Items that may warrant retention for defined time periods include:

- X3.5.1.1 Raw data and forms,
- X3.5.1.2 Force-elongation or stress-strain charts,
- X3.5.1.3 Computer printouts of curves and test results,
- X3.5.1.4 Data and results stored on computer discs or hard drives,
- X3.5.1.5 Broken specimens,
- X3.5.1.6 Excess material,
- X3.5.1.7 Test reports, and
- X3.5.1.8 Verification reports and certifications.

X3.6 Environment

X3.6.1 All test equipment should be located and connected to power sources in such a manner as to minimize the effects of vibrations and electrical disturbances on raw data collected, stress-strain charts, and operation of equipment.

X3.7 Controls

X3.7.1 Controlled procedures and work instructions should cover all aspects of specimen preparation, tensile testing, and result reporting. These documents should be readily available to all involved in the documented tasks.

X3.7.2 Clear, concise, operating instructions should be maintained for equipment used in specimen preparation and tensile testing. These instructions should be readily available to all qualified operators.

X3.7.3 All applicable verification requirements shall be met, as detailed in X3.3.2.

X3.7.4 It is recommended that special studies and programs be employed to monitor and control tensile testing, because tensile test results are easily affected by operators, measuring devices, and test equipment. Examples of such programs include but are not limited to:

- X3.7.4.1 Round-robin studies, proficiency tests, or other cross-checks,
- X3.7.4.2 Repeatability and reproducibility (R and R) studies,
- X3.7.4.3 Control charting, and
- X3.7.4.4 Determination of typical lab uncertainties for each result typically reported.

Note X3.5—For nondestructive testing, repeatability and reproducibility are often measured by conducting gage R and R studies, as discussed in Appendix X2 of Test Methods E8/E8M. These studies involve repeated determination of a test result, using a single part or specimen, so gage R and Rs are not directly applicable to mechanical properties, which are obtained through destructive testing. (True differences between even the best duplicate specimens manifest themselves in the form of poorer R and R results than would be obtained for perfect duplicates.) Nevertheless, quasi-R and R studies conducted with these limitations taken into consideration may be helpful in analyzing sources of error and improving reliability of test results.



X4. ADDITIONAL INFORMATION ON SPEED OF TESTING AND EXAMPLES

X4.1 Many materials are strain-rate sensitive that is, the yield strength or tensile strength of the material is a function of the rate at which the material is being deformed. The yield strength of some materials can change by more than ten percent when tested with the slowest and then the highest speeds permitted by Test Methods E8/E8M. In order to reproduce yield test results, for strain-rate sensitive materials, it is important that strain rates during the determination of yield are similar.

X4.2 The following paragraphs further explain the various Control Methods required to be used by Test Methods E8/E8M when other guidance is not given. When other test speed requirements are specified, those speeds must be followed to comply with this test method. For example, aerospace specifications often require a test speed when determining yield strength to be a strain rate equal to 0.005 ± 0.002 mm/mm/min [in./in./min]; when specified, that speed must be followed in order to comply with this standard.

X4.2.1 *Control Method A - Rate of Stressing Method for Determining Yield Properties*—This method has been the default method of control in Test Methods E8/E8M for many years. In this method, the crosshead speed of the machine is adjusted during the linear elastic portion of the curve to achieve the desired stress rate (or the speed is set to a predetermined value known to achieve the desired stress rate). The crosshead speed is not adjusted when the material begins to yield. The advantage of this control method is that it does not require any transducers other than the load indicator itself, although, load pacers and stress-rate indicators can be helpful. This method of control has a limitation in that the strain rate of the specimen at yield depends on the slope of the stress-strain curve (tangent modulus) and the testing machine stiffness. Because of this, the strain rate of the specimen when yield is determined can be different for different specimen sizes, different specimen configurations, different gripping configurations, and different testing machines. This difference in strain rate can affect the reproducibility of yield strength in strain-rate-sensitive materials.

X4.2.1.1 It is not the intent of this method to run the testing machine in closed-loop force control, because as the material begins to yield the testing machine will speed up, possibly to its maximum speed. However, using closed-loop force control during the elastic region of the test and switching to an equivalent crosshead speed prior to yield is an acceptable method.

X4.2.2 *Control Method B—Rate of Straining Control Method for Determining Yield Properties* - This method is usually performed with a testing machine that has a closed-loop control system that uses feedback from an extensometer to

automatically adjust the speed of the testing machine. However, some skilled operators can monitor a strain rate indicator attached to the extensometer and adjust the speed of the testing machine manually to maintain the required strain rate test speed. To maintain constant strain rate control during a test, the crosshead speed of the testing machine must slow down drastically when the specimen begins to yield. This method has three advantages. (1) The time to achieve yield results is short (about 20 to 40 s). (2) The reproducibility of yield strength test results from machine to machine and laboratory to laboratory is good. (3) The agreement with the results of Control Method C is good, because the strain rates are similar when the specimen's yield strength is determined. This method has three disadvantages. (1) The testing equipment is generally more expensive. (2) Proper control and safety depend on the control parameters to be properly set and that the extensometer integrity be maintained (accidental slippage of the extensometer can result in unexpected movement of the crosshead). Proper safety limits must be set to ensure safety of personnel and equipment. (3) When materials have yield points or yield discontinuously, a machine under closed-loop strain-rate control can behave erratically. This control method is not recommended for materials that yield discontinuously.

X4.2.3 *Control Method C - Crosshead Speed Control Method for Determining Yield Properties*—This method can be performed on any testing machine that has reasonably good crosshead speed control. This method has three advantages. (1) The reproducibility from machine to machine and laboratory to laboratory is good. (2) The agreement with Control Method B is good, because the strain rates are similar when the specimen's yield strength is determined. (3) This method of controlling a testing machine is excellent for materials that yield discontinuously. The disadvantage of this method of control is that the test time to yield can be more than three minutes, depending on the material being tested and the compliance of the testing machine including its grip assemblies.

X4.2.3.1 *An example using SI metric units of how to apply Control Method C to testing Specimen 1 in Fig. 13* is as follows. The length of the reduced section, that is, dimension A in Fig. 13, is equal to 60 mm. The crosshead speed is determined per Control Method C by multiplying 60 mm by 0.015 mm/mm/min to arrive at a crosshead speed of 0.9 mm/min.

X4.2.3.2 *An example using U.S. customary units of how to apply Control Method C to testing Specimen 1 in Fig. 13* is as follows. The length of the reduced section, that is, dimension A in Fig. 13 is equal to 2.25 in. The crosshead speed is determined per Control Method C by multiplying 2.25 in. by 0.015 in./in./min to arrive at a crosshead speed of 0.034 in./min.



E8/E8M – 13a

SUMMARY OF CHANGES

Committee E28 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (E8/E8M-13) that may impact the use of this standard. (Approved July 1, 2013.)

- (1) 3.1.4 was revised. (2) 3.1.5 was added.

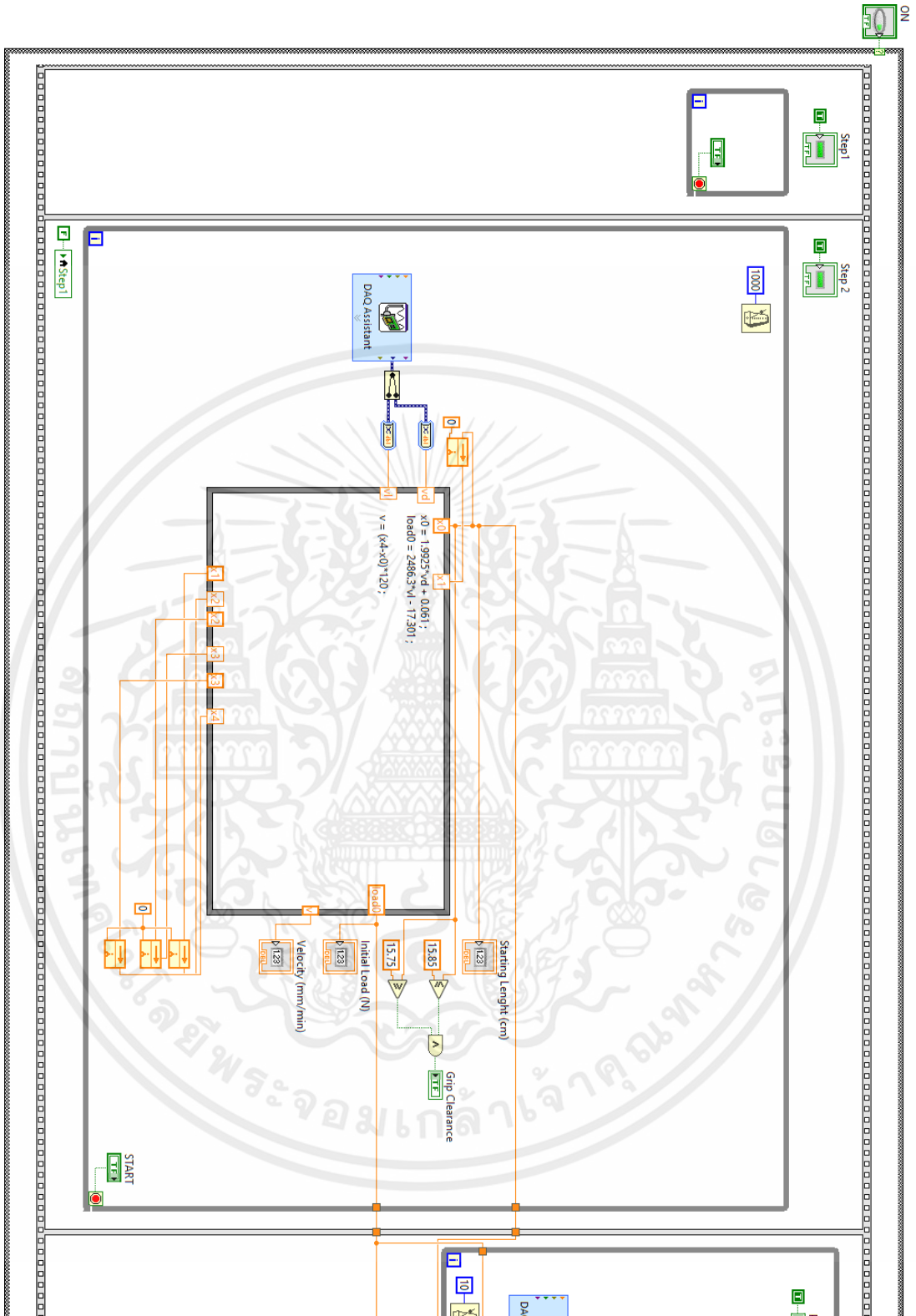
Committee E28 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (E8/E8M-11) that may impact the use of this standard. (Approved June, 1, 2013.)

- (1) Replaced 3.1. (5) Added 3.1.7, 3.1.8, and 3.1.12.
 (2) Added 3.1.2. (6) Reformatted 3.1.11.
 (3) Reformatted 3.1.3. (7) Added 3.2.1.
 (4) Reformatted 3.1.4. (8) Added Note 32.

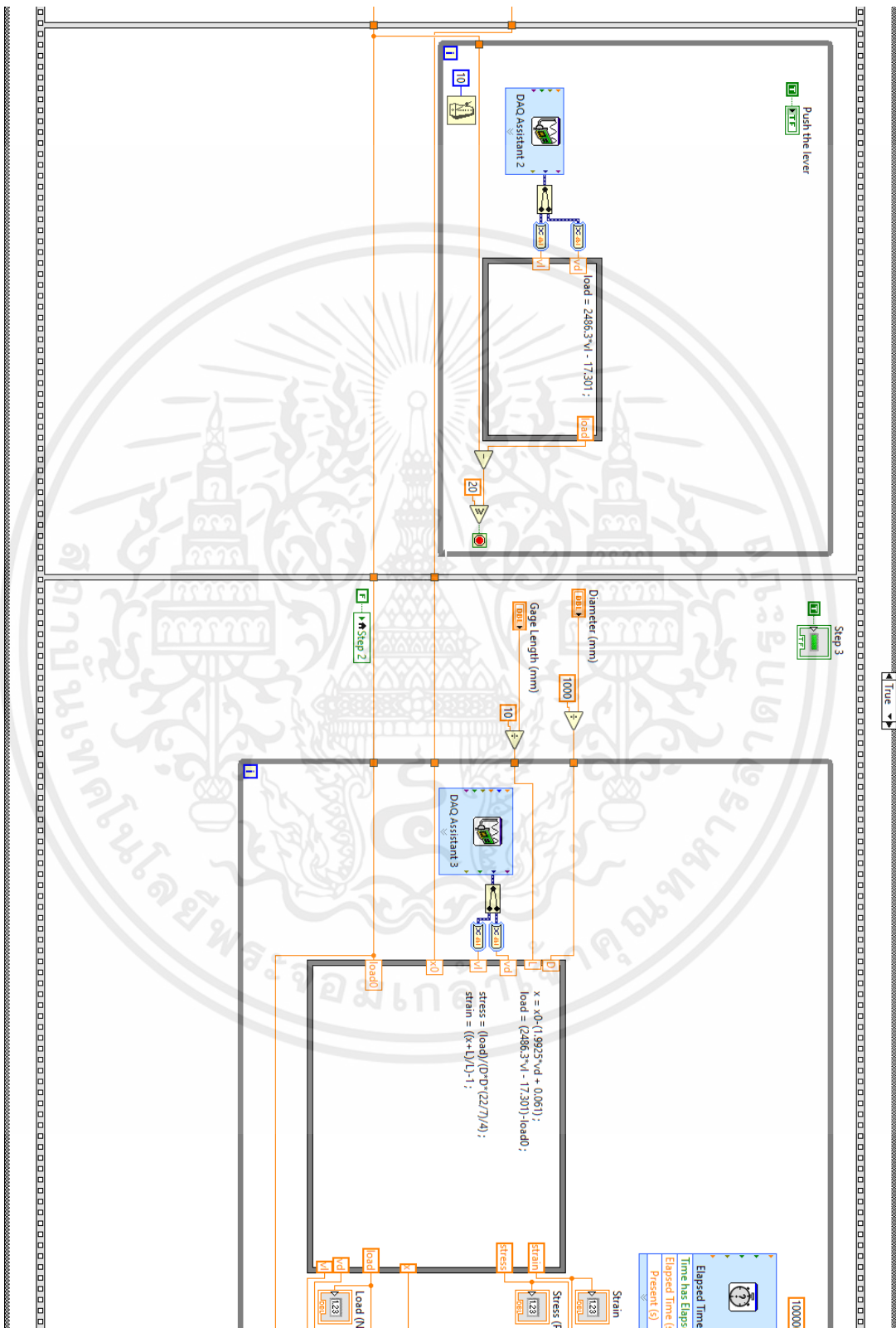
ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

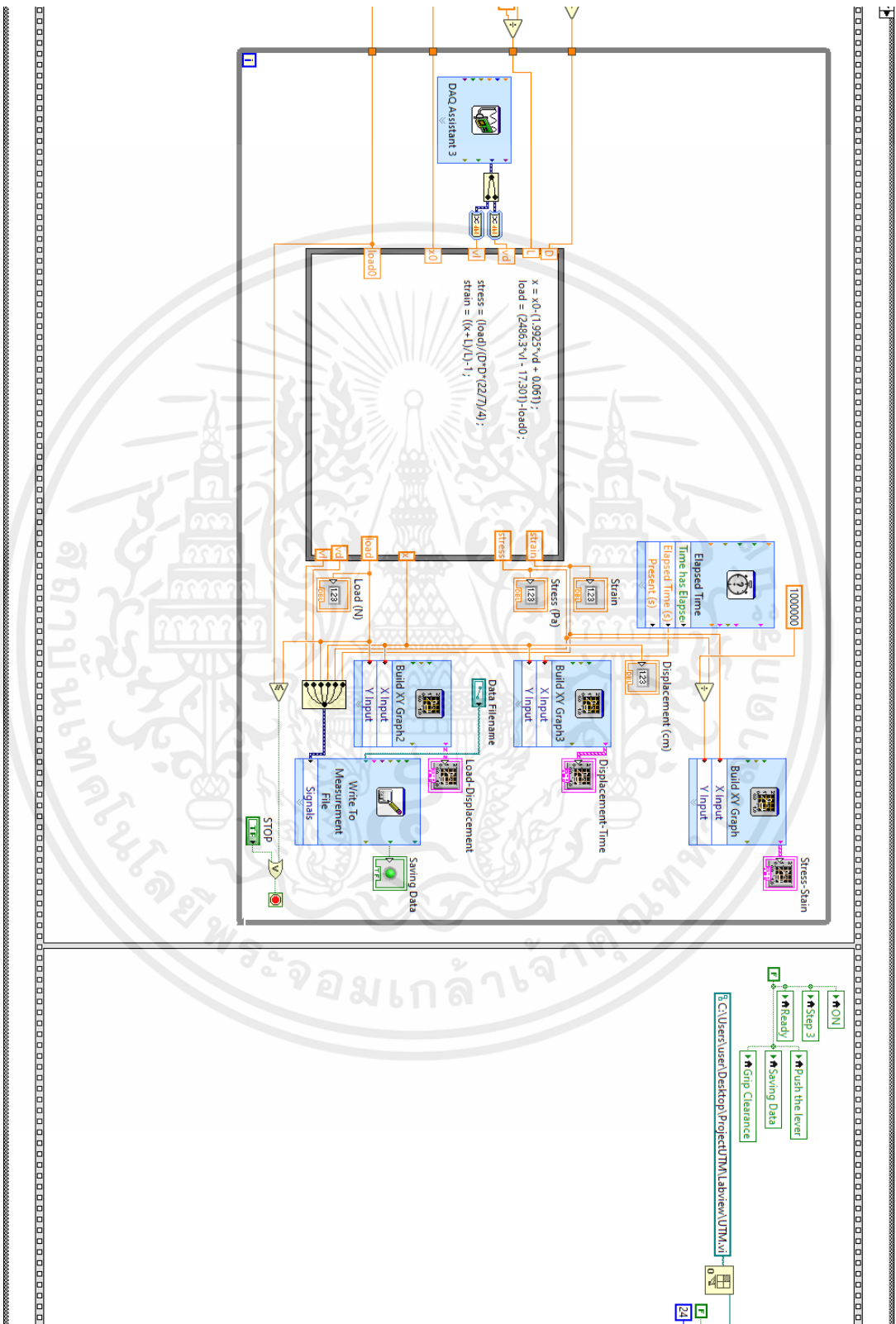
This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the ASTM website (www.astm.org/COPYRIGHT).



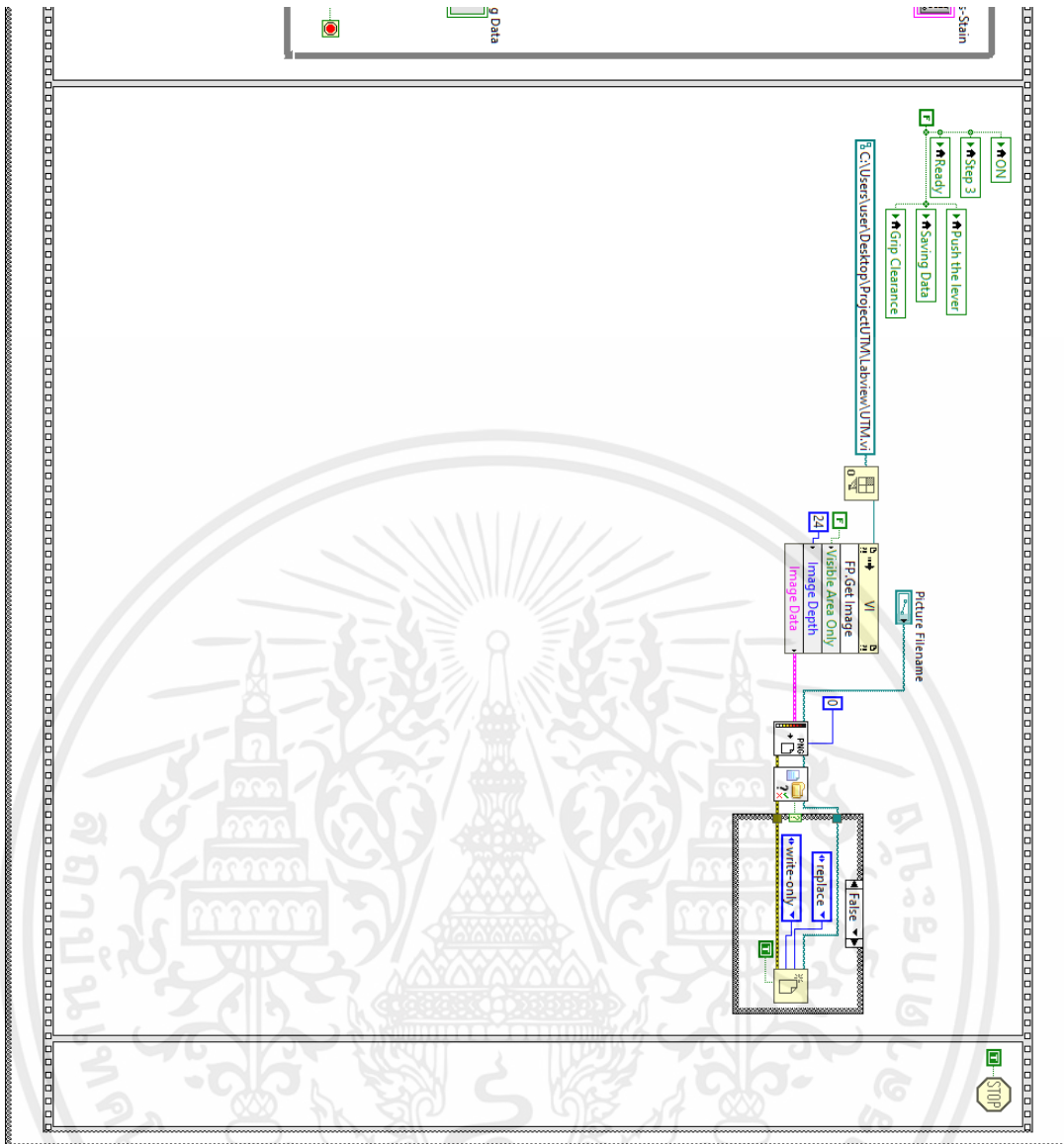
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้