

ผลกระทบของการชุบแข็งและลักษณะของรอยเชื่อมร่องต่อกำลังรับ
แรงดึงของรอยเชื่อมบนเหล็กรีดร้อน

Effects of cooling rate and groove weld types to welded
strength on hot-rolled steel



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2563
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Effects of cooling rate and groove weld types to welded strength on hot-rolled steel



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิยอนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ACADEMIC YEAR 2020

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.







ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ ผลกระทบของการชุบแข็งและลักษณะของรอยเชื่อมร่องต่อกำลังรับแรงดึงของรอยเชื่อมบนเหล็กตีร้อน
Effects of cooling rate and groove weld type to welded strength on hot-rolled steel

นักศึกษา นายกฤตวิทย์ สิทธิเวช รหัสประจำตัว 60010027
นายณัฐกุล ทรายา รหัสประจำตัว 60010293
นายदनัย จงชุตินิจ รหัสประจำตัว 60010345

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ทรงกลด แซ่อึ้ง

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
อาจารย์ทรงกลด แซ่อึ้ง	
ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร	
ผศ.ดร.อภินันท์ สุจริตพงศ์	
ผศ.ดร.อำพน จรัสจรวงเกียรติ	
ดร.ณัฐดนัย สิ้นสมุทรผดุง	
รศ.สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 26 พฤษภาคม 2564 เวลา 16.50 - 17.30 น.

สถานที่สอบ ออนไลน์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. วันที่ 31/พ.ค./2564

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลกระทบของการชุบแข็งและลักษณะของรอยเชื่อมร่องต่อกำลังรับ แรงดึงของรอยเชื่อมบนเหล็กกรีดร้อน

นาย กฤตวิทย์ สิทธิเวช รหัสประจำตัว 60010027

นาย ญัฐกุล รายา รหัสประจำตัว 60010293

นาย ดนัย จงชุตินิจ รหัสประจำตัว 60010345

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.ทรงกลด แซ่อึ้ง

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

เนื่องจากปัจจุบันการก่อสร้างในปัจจุบันการก่อสร้างหลายสิ่งหลายอย่างจำเป็นต้องมีโลหะเข้ามาเกี่ยวข้อง การเชื่อมโลหะก็เป็นวิทยาการด้านหนึ่งที่สำคัญ การเชื่อมต่อโครงสร้างเหล็กด้วยการเชื่อมไฟฟ้าอาจเกิดการวิบัติได้โดยง่ายหากรอยเชื่อมไม่ได้มาตรฐานซึ่งมักมีสาเหตุมาจากการขาดความรู้ความเชี่ยวชาญและการเชื่อมที่ไม่ถูกต้อง อย่างเช่น การใช้ลวดเชื่อมที่ไม่เหมาะสมกับชนิดของเหล็ก การเหล่าน้ำลงรอยเชื่อมเพื่อลดอุณหภูมิเพื่อการทำงานรวดเร็ว โดยอาจจะทำให้คุณสมบัติต่างๆของเหล็กบริเวณรอยเชื่อมมีการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งอาจจะส่งผลต่อกำลังของรอยเชื่อม ในโครงการนี้จึงได้ศึกษาผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการเชื่อม ได้แก่ อัตราการเย็นตัวของรอยเชื่อม และการบากร่องในรูปแบบต่างๆ โดยได้ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลระหว่างรอยเชื่อมรูปแบบต่างๆและกับแท่งเหล็กกรีดร้อนซึ่งไม่ได้มีการเชื่อมของรอยเชื่อมมีค่าต่ำกว่าที่ได้คำนวณออกแบบไว้ มักจะเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นที่หน้างาน โดยอาจมีวิธีแก้ไขโดยการเลือกรูปแบบหรือวิธีการเชื่อมที่มีประสิทธิภาพอาจทำให้รอยเชื่อมมีกำลังประลัยอยู่ในเกณฑ์ที่สูง เช่น การเชื่อมแบบต่อชน (Butt weld), การเชื่อมแบบต่อทาบ (Fillet weld) และอาจจะมีการบากร่อง (Groove) เพิ่มเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Effects of cooling rate and groove weld types to welded strength on hot-rolled steel

Mr. Kittawit Sitthiwach Student ID. 60010027

Mr. Natthakul Raya Student ID. 60010293

Mr. Danai Jongchutipinij Student ID. 60010345

Advisor Mr. Songklod Saeung

ABSTRACT

At the present time, steel is increasingly used as a construction material in Thailand. Welding is necessary as one type of steel connection. Normally, welding is done in shop and the quality of welding can be controlled. Sometimes electric field welding is applied and quality of welding may not reach the standard. This project aims to study the parameters that affect the mechanical properties of welding such as different cooling rate, groove patterns. In conclusion, the comparison of mechanical properties between different parameters and typical steel bars is examined.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อ.ทรงกลด แซ่อึ้ง ที่กรุณาให้คำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องคอยแนะนำช่วยเหลือในการแก้ไข ปัญหา คอยให้ความรู้ เอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือจนสำเร็จได้ด้วยดี พวกเราผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอบพระคุณในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้มอบความรู้ความเข้าใจในรายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับการทำปริญญาโทเล่มนี้ โดยคณาจารย์ทุกท่าน ได้ถ่ายทอดความรู้ทั้งทางด้านวิชาการ ความรู้ทั่วไป และประสบการณ์ต่าง ๆ จนสามารถนำมาใช้ในปริญญาโท งานในอนาคต และการดำเนินชีวิตได้อย่างดียิ่ง ตลอดจนขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ร่วมเป็นกรรมการในการสอบปริญญาโทครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่คอยให้คำแนะนำช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการทำปริญญาโทรวมถึงตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้และศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมโยธา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักกำลังใจ และสนับสนุนการศึกษาของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

กฤตวิทย์ สิทธิเวช

ณัฐกุล วิทยา

दनัย จงชุตินิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 คุณสมบัติของเหล็กที่นำมาทดสอบ.....	3
2.2 การต่อโครงสร้างโดยการเชื่อม (Welded Connections).....	5
2.2.1 การเชื่อมแบบที่มีเปลือกหุ้ม (shielded metal arc welding : SMAW).....	5
2.2.2 การเชื่อมใต้ฟลักซ์ (submerged (hidden) arc welding :SAW).....	5
2.2.3 การเชื่อมด้วยก๊าซ.....	5
2.2.4 ท่าทางหรือตำแหน่งในการเชื่อม.....	5
2.2.5 รูปแบบของการเชื่อมต่อโลหะ.....	5
2.2.6 แบบของการเชื่อมต่อ.....	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นกรณีที่ไม่มีเหตุที่บ่งชี้เป็นอย่างอื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and **IV** cite the document when use.

2.2.7 ลวดเชื่อม.....	6
2.3 ขนาดของการเจาะรู.....	7
2.4 การออกแบบรอยต่อเชื่อมแบบต่อชนและบากร่อง – มาตรฐาน AISC.....	7
2.5 หน่วยแรงบนรอยเชื่อม	11
2.6 ตำแหน่งในการเชื่อม (Welding Position).....	12
2.6.1 ท่าราบ (Flat Position).....	12
2.6.2 ท่าขนานนอน (Horizontal Position).....	12
2.8 การเลือกใช้ลวดเชื่อมกับชนิดของเหล็ก.....	13
2.7 กรรมวิธีความร้อนของเหล็ก.....	13
2.7.1 การอบอ่อน (Annealing).....	14
2.7.2 การชุบแข็ง (Hardening).....	14
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	18
3.1 กำลังสูงสุดที่เครื่อง UTM สามารถทำได้.....	18
3.2 ค่ามวลแรงดึงที่ต้องใช้ในการทดสอบด้วยเครื่อง UTM.....	18
3.3 ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	18
3.3.1 การเตรียมเหล็ก.....	18
3.3.2 การบากเพื่อลดหน้าตัด.....	20
3.3.3 การเตรียมรอยบาก.....	21
3.3.4 การเชื่อมชิ้นงาน.....	24
3.3.5 การลดอุณหภูมิหลังจากเชื่อม.....	25
3.3.6 การเจียรรอยเชื่อมส่วนเกินออก.....	26
3.3 ขั้นตอนในการทดสอบแรงดึง.....	27
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1 ตารางแสดงผลการทดสอบ.....	30
4.1.1 ตารางแสดงกำลังของตัวอย่าง.....	30
4.1.2 ตารางแสดงค่า E ของตัวอย่างต่างๆ.....	32
4.2 ภาพของตัวอย่างการทดสอบรูปแบบต่างๆ.....	37
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	42
5.1 สรุปผล.....	42
5.1.1 ผลการทดสอบของตัวอย่างเมื่อเทียบกับรูปแบบการบากร่อง.....	42
5.1.2 ผลการทดสอบของตัวอย่างเมื่อเทียบกับการเย็นตัวในแบบต่างๆ.....	42
5.1.3 ผลการเปรียบเทียบค่าโมดูลัสยืดหยุ่น.....	43
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	44
5.2.1 ข้อเสนอแนะการเชื่อม.....	44
5.2.2 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับโครงการ.....	46
บรรณานุกรม.....	47
ภาคผนวก.....	48



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.4-1	ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
ตารางที่ 2.1-1	ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กรีดร้อน.....	3
ตารางที่ 2.1-2	กำลังรับแรงของเหล็กเกรดต่างๆ.....	4
ตารางที่ 2.1-3	กำลังรับแรงของเหล็กมาตรฐานอื่นๆ.....	4
ตารางที่ 2.2-1	รูปแบบการต่อชนแบบต่างๆ.....	6
ตารางที่ 2.4-1	การออกแบบตามวิธี ASD.....	9
ตารางที่ 2.4-2	การออกแบบตามวิธี LRFD.....	10
ตารางที่ 2.8-1	การเลือกใช้ลวดเชื่อม.....	13
ตารางที่ 3.3-1	ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม KOBE-RB26.....	24
ตารางที่ 3.3-2	ส่วนกำลังรับแรงของลวดเชื่อม KOBE-RB26.....	24
ตารางที่ 4.1-1	ตารางแสดงกำลังรับแรงของเหล็กตัวอย่าง A36.....	30
ตารางที่ 4.1-2	ตารางแสดงกำลังรับแรงของรอยเชื่อมของ square groove.....	30
ตารางที่ 4.1-3	ตารางแสดงกำลังรับแรงของรอยเชื่อมของ bevel groove.....	31
ตารางที่ 4.1-4	ตารางแสดงกำลังรับแรงของรอยเชื่อมของ vee groove.....	32
ตารางที่ 4.1-5	ตารางแสดงค่าEของเหล็ก A36.....	32
ตารางที่ 4.1-6	ตารางแสดงค่าEของรอยเชื่อมของ square groove.....	33
ตารางที่ 4.1-7	ตารางแสดงค่าEของรอยเชื่อมของ bevel groove.....	34
ตารางที่ 4.1-8	ตารางแสดงค่าEของรอยเชื่อมของ single vee groove.....	35
ตารางที่ 5.2-1	ตารางแสดงค่า x และ y	45
ตารางที่ ก-1	ตารางแสดงพื้นที่รับแรงของรอยเชื่อม square groove.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในสถานศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม กรุณาแจ้งที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, or cite the document when use.

ตารางที่ ก-2 ตารางแสดงพื้นที่รับแรงของรอยเชื่อม bevel groove.....49

ตารางที่ ก-3 ตารางแสดงพื้นที่รับแรงของรอยเชื่อม single vee groove.....50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.2-1 ลักษณะการต่อเชื่อม.....	6
รูปที่ 2.4-1 การหาความหนาของประสิทธิผล.....	8
รูปที่ 2.5-1 การหาหน่วยแรงบนรอยเชื่อม.....	11
รูปที่ 2.6-1 ตำแหน่งการเชื่อมในท่าทางต่างๆ.....	12
รูปที่ 2.7-1 อุณหภูมิที่ใช้สำหรับ Heat Treatment ชนิดต่างๆ.....	13
รูปที่ 2.8-1 ภาพตัวอย่างของการทดสอบหาค่าลึงและอัตราส่วนการยึดตัวขณะยังไม่ทำการเชื่อม....	15
รูปที่ 2.8-2 ภาพตัวอย่างของการทดสอบหาค่าลึงและอัตราส่วนการยึดตัวที่ทำการเชื่อมแล้ว.....	16
รูปที่ 2.8-3 ภาพตัวอย่างของการทดสอบหาค่าลึงและอัตราส่วนการยึดตัวที่ทำการเชื่อมแล้ว.....	16
รูปที่ 2.8-4 ภาพตัวอย่างการเปลี่ยนเป็นมาเทนไซด์.....	17
รูปที่ 3.2-1 การหาหน่วยแรงของรอยเชื่อม.....	18
รูปที่ 3.3-1 เหล็กตัวอย่างที่จะใช้ทดสอบ.....	19
รูปที่ 3.3-2 การตัดเหล็กด้วยไฟเบอร์ให้ได้ความยาว 250 มิลลิเมตร.....	19
รูปที่ 3.3-3 รูปด้านต่างๆของตัวอย่างเหล็กที่นำมาตัด.....	20
รูปที่ 3.3-4 รูปของตัวอย่าง.....	20
รูปที่ 3.3-5 รูปด้านต่างๆของตัวอย่างเหล็กก่อนทำการบาก.....	21
รูปที่ 3.3-6 รูปของตัวอย่างเหล็กขณะทำการบาก(1).....	21
รูปที่ 3.3-7 รูปของตัวอย่างเหล็กขณะทำการบาก(2).....	22
รูปที่ 3.3-8 รูปด้านของเหล็กที่บากแบบ BEVEL GROOVE.....	22
รูปที่ 3.3-9 รูปด้านของเหล็กที่บากแบบ SIGLE-V GROOVE.....	23
รูปที่ 3.3-10 รูปด้านของเหล็กที่บากแบบ SQUARE GROOVE.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ล้างหน้ามือให้สะอาดและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.3-11 ภาพขณะทำการเชื่อม.....	24
รูปที่ 3.3-12 ภาพขณะปล่อยให้เย็นตัวตามธรรมชาติ.....	25
รูปที่ 3.3-13 ภาพขณะลดย่างรวดเร็ว.....	25
รูปที่ 3.3-14 ภาพขณะลดอุณหภูมิแบบผสม.....	26
รูปที่ 3.3-15 ภาพตอนเจียรรอยเชื่อมส่วนเกิน.....	26
รูปที่ 3.3-16 หลังจากทำการเจียรรอยเชื่อมส่วนเกินเสร็จสิ้น.....	27
รูปที่ 3.3-17 วัดความยาวของรอยเชื่อม.....	27
รูปที่ 3.3-18 ขัดพื้นที่ผิวให้เรียบพร้อมติดตั้ง Strain gauge.....	28
รูปที่ 3.3-19 หลังติดตั้ง strain gauge.....	28
รูปที่ 3.3-20 ภาพขณะทดสอบรับแรงดึง.....	29
รูปที่ 4.1-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain ของเหล็ก A36.....	33
รูปที่ 4.1-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain ของ square groove.....	34
รูปที่ 4.1-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain ของ bevel groove.....	35
รูปที่ 4.1-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain ของ vee groove.....	36
รูปที่ 4.2-1 ภาพตัวอย่างการทดสอบแบบ square groove เย็นตัวในอากาศ.....	37
รูปที่ 4.2-2 ภาพตัวอย่างการทดสอบแบบ square groove ชุบน้ำทันทีหลังการเชื่อมทันทีทันใด.....	37
รูปที่ 4.2-3 ภาพตัวอย่างการทดสอบแบบ square groove ชุบน้ำหลังจากเชื่อมเสร็จ 2 นาที.....	38
รูปที่ 4.2-4 ภาพตัวอย่างการทดสอบแบบ bevel groove เย็นตัวในอากาศ.....	38
รูปที่ 4.2-5 ภาพตัวอย่างการทดสอบแบบ bevel groove ชุบน้ำทันทีหลังการเชื่อมทันทีทันใด.....	39
รูปที่ 4.2-6 ภาพตัวอย่างการทดสอบแบบ bevel groove ชุบน้ำหลังจากเชื่อมเสร็จ 2 นาที.....	39
รูปที่ 4.2-7 ภาพตัวอย่างการทดสอบแบบ vee groove เย็นตัวในอากาศ.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only; not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and x cite the document when use.

รูปที่ 4.2-8 ภาพตัวอย่างการทดสอบแบบ vee groove ชุบน้ำทันทีหลังการเชื่อมทันทีทันใด.....	40
รูปที่ 4.2-9 ภาพตัวอย่างการทดสอบแบบ bevel groove ชุบน้ำหลังจากเชื่อมเสร็จ 2 นาที.....	41
รูปที่ 5.2-1 ภาพแสดงความลึกของลวดเชื่อมและฟลักซ์ของร่องแบบ V.....	44
รูปที่ 5.2-2 ภาพแสดงความลึกของลวดเชื่อมและฟลักซ์ของร่องแบบ B.....	45
รูปที่ ก-1 ข้อมูลดิบในการสร้างกราฟความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดของการบากร่องแบบ square groove.....	51
รูปที่ ก-2 ข้อมูลดิบในการสร้างกราฟความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดของการบากร่องแบบ bevel groove.....	52
รูปที่ ก-3 ข้อมูลดิบในการสร้างกราฟความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดของการบากร่องแบบ vee groove.....	53
รูปที่ ก-4 ตัวอย่างการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นในโปรแกรม Grapher (1).....	54
รูปที่ ก-5 ตัวอย่างการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นในโปรแกรม Grapher (2).....	54
รูปที่ ก-5 ตัวอย่างการหาค่ากำลังของรอยเชื่อม.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and **not** cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันการก่อสร้างหลายสิ่งหลายอย่างจำเป็นต้องมีโลหะ เข้ามาเกี่ยวข้อง การเชื่อมโลหะก็เป็นวิทยาการด้านหนึ่งที่สำคัญ การเชื่อมต่อโครงสร้างเหล็กด้วยการเชื่อมไฟฟ้าอาจเกิดการวิบัติได้โดยง่ายหากรอยเชื่อมไม่ได้มาตรฐานซึ่งมักมีสาเหตุมาจากการขาดความรู้ความเชี่ยวชาญและการเชื่อมที่ไม่ถูกต้อง อย่างเช่น การใช้ลวดเชื่อมที่ไม่เหมาะสมกับชนิดของเหล็ก การเหล็กลงรอยเชื่อมเพื่อลดอุณหภูมิเพื่อการทำงานรวดเร็ว โดยอาจจะทำให้กำลังประลัยหรือกำลังรับแรงสุด (ultimate strength) ของรอยเชื่อมมีค่าต่ำกว่าที่ได้คำนวณออกแบบไว้ มักจะเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นที่หน้างาน โดยอาจมีวิธีแก้ไขโดยการเลือกรูปแบบหรือวิธีการเชื่อมที่มีประสิทธิภาพอาจทำให้รอยเชื่อมมีกำลังประลัยอยู่ในเกณฑ์ที่สูง เช่น การเชื่อมแบบต่อชน (Butt weld), การเชื่อมแบบต่อทาบ (Fillet weld) และอาจจะมีการบากร่อง (Groove) เพิ่มเติม เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหลังจากทำการเชื่อมไฟฟ้าที่มีต่อคุณสมบัติเส้นแบน (Flat Bar) ที่ผ่านการรีดร้อน (Hot rolled)
2. เพื่อศึกษาผลกระทบของเหล็กที่รีดร้อนบนการเชื่อมบากร่องแบบต่างๆ
3. เพื่อเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงดึงที่ได้กับค่ากำลังรับแรงดึงที่คำนวณจากสมการหน่วยแรงบนรอยเชื่อม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาการกำลังรับแรงดึงของการเชื่อมเซาะร่องในรูปแบบต่างๆ
2. ศึกษาเปรียบเทียบกำลังรับแรงดึงของการชุบแข็งในอัตราเย็นตัวแบบต่างๆ
3. ศึกษาโมดูลัสยืดหยุ่นของรอยเชื่อมที่ได้ทำการชุบแข็งในอัตราเย็นตัวต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.4-1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

กิจกรรม	แผนงานดำเนินงานตลอดโครงการทั้งสิ้น 9 เดือน								
	ส.ค. 63	ก.ย. 63	ต.ค. 63	พ.ย. 63	ธ.ค. 63	ม.ค. 64	ก.พ. 64	มี.ค. 64	เม.ย. 64
1. ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของการออกแบบรอยเชื่อม และงานวิจัย ที่เกี่ยวข้อง	←		→						
2. จัดเตรียมเอกสาร อุปกรณ์ และวัสดุที่จำเป็นในการจัดทำโครงการ			↔		↔				
3. ออกแบบและเตรียมชิ้นส่วนตัวอย่าง รอยบากร่อง การเชื่อม						↔	→		
4. ทดสอบตัวอย่าง square groove							↔		
5. ทดสอบตัวอย่าง single v groove							↔		
6. ทดสอบตัวอย่าง bevel groove								↔	
7. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์								↔	→

แผนที่วางไว้



1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เรียนรู้วิธีการคำนวณออกแบบกำลังของรอยเชื่อม
2. ได้เรียนรู้รูปแบบของรอยเชื่อมขั้นตอนการเชื่อม
3. ได้ทราบถึงมาตรฐานและความถูกต้องของการเชื่อม
4. ได้เรียนรู้การทดสอบกำลังของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีและผลงานที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณสมบัติของเหล็กที่นำมาทดสอบ

โดยใช้เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อนตาม มอก 1227-2558 โดยกำหนดให้คุณสมบัติของเหล็กเป็นดังตารางดังนี้

ตารางที่ 2.1-1 ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กรีดร้อน

ชั้นคุณภาพ	ส่วนประกอบทางเคมี ปริมาณโดยมวล %				
	คาร์บอน สูงสุด	ซิลิคอน สูงสุด	แมงกานีส	ฟอสฟอรัส สูงสุด	กำมะถัน สูงสุด
SM 400	0.20	0.35	0.60 ถึง 1.40	0.035	0.035
SM 490	0.18	0.55	1.60 สูงสุด	0.035	0.035
SM 520	0.20	0.55	1.60 สูงสุด	0.035	0.035
SM 570	0.18	0.55	1.60 สูงสุด	0.035	0.035
SS 400	-	-	-	0.050	0.050
SS 490	-	-	-	0.050	0.050
SS 540	0.30	-	1.60 สูงสุด	0.040	0.040

หมายเหตุ

1. ส่วนประกอบทางเคมีนอกเหนือจากที่กำหนดในตารางที่ ๑๑ ต้องมีปริมาณโดยมวลเป็นไปตามที่กำหนดต่อไปนี้ ทองแดงน้อยกว่า 0.40 % นิกเกิลน้อยกว่า 0.30% โครเมียมน้อยกว่า 0.30% โมลิบดีนัม น้อยกว่า 0.08% ไทเทเนียมน้อยกว่า 0.05% โบรอนน้อยกว่า 0.0008 %
2. - หมายถึง ไม่กำหนด
3. หากวิเคราะห์จากผลิตภัณฑ์ ปริมาณธาตุต่าง ๆ ยอมให้มากกว่าที่กำหนดเป็นปริมาณโดยมวลได้อีก ดังนี้ คาร์บอน 0.03% ซิลิคอน 0.05% แมงกานีส 0.05% ฟอสฟอรัส 0.01% กำมะถัน 0.01% ทองแดง 0% นิกเกิล 0% โครเมียม 0% โมลิบดีนัม 0% ไทเทเนียม 0% โบรอน 0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยเหล็กตาม มอก1227-2558 นั้นมีกำลังในการรับแรงเป็นดังตาราง

ตารางที่ 2.1-2 กำลังรับแรงของเหล็กเกรดต่างๆ

ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงดึง ที่จุดครากต่ำสุด (เมกะพาสคัล)		ความต้าน (เมกะพาสคัล)	ความยืดต่ำสุด (ร้อยละ)			ความต้าน ต่ำสุด (จูล)
	ความหนา ไม่เกิน 16 มิลลิเมตร	ความหนา เกิน 16 มิลลิเมตร		ความหนา ไม่เกิน 5 มิลลิเมตร	ความหนา 5 ถึง 16 มิลลิเมตร	ความหนา เกิน 16 มิลลิเมตร	
SM 400	245	235	400 ถึง 510	23	18	22	27
SM 490	325	315	490 ถึง 610	22	17	21	27
SM 520	365	355	520 ถึง 640	19	15	19	27
SM 570	460	450	570 ถึง 720	19	19	26	47
SS 400	245	235	400 ถึง 510	21	17	21	-
SS 490	285	275	490 ถึง 610	19	15	19	-
SS 540	400	390	540 ต่ำสุด	16	13	17	-

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่กำหนด

การเปรียบเทียบชั้นคุณภาพของเหล็กกับมาตรฐานอื่นๆ

ตารางที่ 2.1-3 กำลังรับแรงของเหล็กมาตรฐานอื่นๆ

Mechanical Properties steel A36 vs TIS vs Fe 24

Grade	Yield Point (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
A36(ASTM)	250	400-550	20
SS400(JIS)	245	400-510	17
Fe 24(TIS)	235	400	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีผู้นำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2 การต่อโครงสร้างโดยการเชื่อม (Welded Connections)

2.2.1 การเชื่อมแบบที่มีเปลือกหุ้ม (shielded metal arc welding : SMAW) ส่วนของเปลือกหุ้มซึ่งบางครั้งก็ เรียกว่า ฟลักซ์จะละลายหุ้มอยู่ผิววนอกของเหล็กที่หลอมเหลวจนแข็งตัวร้อนแดงอยู่ ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ ออกซิเจนและก๊าซอื่นเข้าผสมกับเหล็กจนเสียกำลัง เมื่อเย็นลงแล้วต้องเคาะเอาเปลือกหุ้มนี้ออกไป ยิ่งถ้าเป็น การเชื่อมพอให้หนาขึ้นต้องเอาเปลือกหุ้มออกให้หมด หากไม่หมดจะเป็นส่วนโพรงที่ทำให้รอยเชื่อมไม่ แข็งแรง การเชื่อมแบบนี้ทำได้ง่ายจึงนิยมทำในสนามที่ควบคุมแนวเชื่อมด้วยมือจึงต้องอาศัยความชำนาญ ของช่าง

2.2.2 การเชื่อมใต้ฟลักซ์ (submerged (hidden) arc welding :SAW) ใช้ผงฟลักซ์ (flux) คลุมรอยเชื่อม ลวด เชื่อมเป็นขดปล่อยต่อเนื่องและเลื่อนอย่างต่อเนื่อง รอยเชื่อมจะลึกและเรียบจากการทำงานแบบอัตโนมัติ การเชื่อมแบบนี้ทำในโรงงาน และมักจะเป็นการผลิตชิ้นส่วนโครงสร้างเช่น plate girder เนื่องจากไม่มีขนาด มาตรฐานผลิตออกมาขายต้องประกอบขึ้นเอง อย่างไรก็ตามการใช้ผงฟลักซ์ก็ยังคงมีการขจัดตะกรัน ออกไป ปัจจุบันมีการใช้ก๊าซเฉื่อยเช่นอาร์กอนพ่นคลุมรอยเชื่อมในระหว่างยังหลอมเหลว วิธีนี้ได้ผลดีที่สุด และยังไม่ต้องขจัดตะกรันด้วย แต่มีราคาสูงจึงใช้ในการเชื่อมเครื่องมือที่มีรอยเชื่อมไม่มากนัก

2.2.3 การเชื่อมด้วยก๊าซ เช่นก๊าซอะเซตีลีนกับออกซิเจน พ่นเปลวไฟสีน้ำเงิน ลวดเชื่อมเล็กๆ ยาวประมาณ 90 cm โดยมีการใช้ฟลักซ์ตามโลหะเชื่อม นิยมใช้ในการเชื่อมเครื่องมือ

2.2.4 ท่าทางหรือตำแหน่งในการเชื่อม ได้แก่ เชื่อมในแนวราบ (flat weld) เชื่อมในแนวนอน (horizontal weld) เชื่อมในแนวตั้ง (vertical weld) หรือเชื่อมในแนวเงย (overhead weld) เรียงลำดับจากง่ายไปยาก

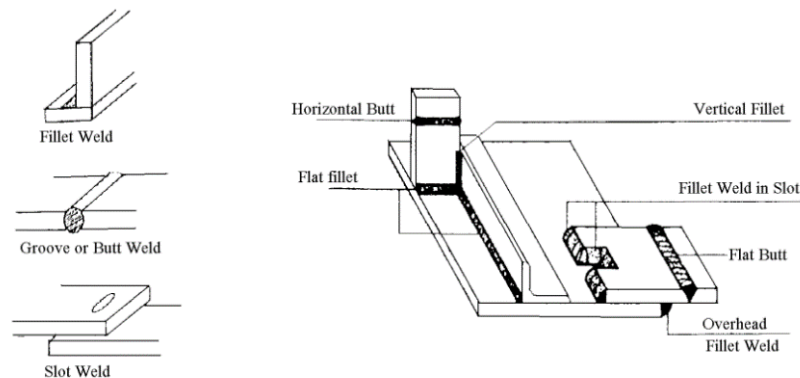
2.2.5 รูปแบบของการเชื่อมต่อโลหะ อาจจะเป็นรอยต่อแบบต่อชน (butt joint) รอยต่อแบบต่อทาบ (lap joint) รอยต่อแบบตัวที (tee joint) รอยต่อแบบต่อขอบ (edge joint) หรือรอยต่อแบบต่อมุม (corner joint)

2.2.6 แบบของการเชื่อมต่อ จากวิธีการเชื่อม ท่าทางหรือตำแหน่งการเชื่อม และรูปแบบการต่อท่อนโลหะ อาจจะมีจำแนกแบบของการต่อเชื่อมได้สามแบบดังนี้

(ก) การเชื่อมต่อแบบฟิลเลต (fillet weld) หรือ การเชื่อมแบบต่อทาบ โดยเชื่อมตามแนวยาวหรือตามแนวขวางของชิ้นส่วนตรงส่วนที่ทำมุมฉากกัน โดยนำแผ่นเหล็กมาทาบซ้อนกัน ตรงปลายรอยทาบซึ่งมักจะ ตั้งฉากกัน รอยเชื่อมจะพอกลงตรงนี้รอยต่อรับได้ทั้งแรงดึงแรงอัดแรงเฉือน แรงดัด แต่เนื้องานเชื่อมจะเกิด แรงเฉือนอย่างเดียววิธีนี้ใช้งานมากกว่า 80 % เพราะง่าย ราคาถูก รวดเร็ว

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.2-1 ลักษณะการต่อเชื่อม

(ข) การเชื่อมแบบต่อชนหรือในร่อง (Butt weld หรือ Groove weld) ที่ปลายที่ชนกันมีการลบเหลี่ยม เป็นร่อง V หรือครึ่ง V ลักษณะอาจจะเป็นการเชื่อมเต็มความหนาของชิ้นส่วน (complete penetration) หรือ เชื่อมบางส่วนไม่เต็มความหนา (partial penetration) วิธีนี้จะราคาแพง แต่ได้ชิ้นงานที่เรียบร้อย เหมาะ สำหรับส่วนรับแรงดึงและแรงอัดโดยตรง

ตารางที่ 2.2-1 รูปแบบการต่อชนแบบต่างๆ

	แบบเดี่ยว	แบบคู่
ร่องสี่เหลี่ยม		
ร่องเอียง		
ร่องตัววี		
ร่องตัวเจ		
ร่องตัวยู		

(ค) การเชื่อมอดแบบปลั๊กหรือสลอต (plug หรือ slot weld) โดยนำแผ่นเหล็กมาซ้อนทับกัน แผ่นหนึ่งมีการเจาะรูหรือเจาะเป็นร่องยาว (ไม่เต็มความยาวระยะทับ) แล้วเชื่อมอดให้เต็มรูหรือช่องรอยต่อ แบบนี้รับแรงเฉือนได้ดีแต่การทำให้เวลานานเหล็กที่นำมาต่ออาจจะบิดตัวได้

2.2.7 ลวดเชื่อม บอกลักษณะว่า E_XX ตัว E หมายถึงลวดเชื่อม (electrode) ตัวเลขสองตัว

ถัดไปเช่น 70 เป็นตัวบอกกำลังรับแรงดึงประลัยได้ไม่น้อยกว่า 70 ksi (kips per square inch) แรง 1 kip หรือ 1 กิโลปอนด์ หรือ 1000 ปอนด์ สำหรับ XX บอกลักษณะการเคลือบผิวหรือเปลือกหุ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

ชิ้นงานและสภาพใช้งาน เช่น E 60 ใช้กับเหล็กที่มีกำลังครากไม่เกิน 42 ksi (2950 ksc) เช่น ASTM A36 E 70 ใช้กับเหล็กที่มีกำลังครากไม่เกิน 55 ksi (3860 ksc) เช่น ASTM A36 (Fy = 36 ksi), A572 Grade 50 (Fy = 50 ksi) E 80 ใช้กับเหล็กที่มีกำลังครากไม่เกิน 65 ksi (4570 ksc) เช่น ASTM A572 Grade 60 (Fy = 60 ksi) หรือ ASTM A572 Grade 65 (Fy = 65 ksi) การตรวจสอบรอยเชื่อมในขั้นแรกจะเป็นการสังเกตด้วยตา แล้วอาจจะใช้เอกซเรย์ เสียงอัลตราโซนิก เพื่อดูเข้าไปในเนื้อรอยเชื่อมว่ามีโพรงหรือไม่

2.3 ขนาดของการเซาะร่อง

โดยทั่วไปแล้ว ในการเชื่อมเซาะร่องของแผ่นเหล็กมีความหนาค่อนข้างมาก (มากกว่า 8 mm) แล้วหน้าตัดของแผ่นเหล็กที่จะถูกเชื่อมจะต้องถูกบากเป็นรูปตัววีเพื่อให้การประสานของรอยเชื่อมเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ รอยเชื่อมเซาะร่องมักจะมีขนาดมากกว่าแผ่นเหล็ก เพื่อเสริมกำลังให้รอยเชื่อมและเพื่อความง่ายในการเชื่อมอย่างไรก็ตาม ในโครงสร้างที่ถูกกระทำโดยแรงสั่นสะเทือนและแรงกระทำซ้ำ เราจะต้องเจียรส่วนเกินดังกล่าวออก เพื่อลดผลของ stress concentration ที่เกิดขึ้นที่จุดดังกล่าว ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้กำลังรับแรงสั่นสะเทือนและแรงกระทำซ้ำของรอยเชื่อมมีค่าลดลง

2.4 การออกแบบรอยต่อเชื่อมแบบต่อชนและบากร่อง – มาตรฐาน AISC

มาตรฐาน AISC กำหนดให้พิจารณากำลังของรอยต่อเชื่อมจากค่าน้อยระหว่างกำลังของลวดเชื่อม (Weld Metal) กับกำลังของชิ้นโลหะ (Base Metal) ที่นำมาต่อเชื่อม

มาตรฐาน AISC/ASD	:	กำลังของลวดเชื่อม	= $F_w A_w$
		กำลังของชิ้นโลหะ	= $F_{BM} A_{BM}$
มาตรฐาน AISC/LRFD	:	กำลังของลวดเชื่อม	= $\phi F_w A_w$
		กำลังของชิ้นโลหะ	= $\phi F_{BM} A_{BM}$

ในที่นี้ F_w = หน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้ หรือหน่วยแรงประลัยที่ยอมให้ของลวดเชื่อม

F_{BM} = หน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้ หรือหน่วยแรงประลัยที่ยอมให้ของชิ้นโลหะ

A_w = เนื้อที่ประสิทธิผลของรอยเชื่อม

A_{BM} = หน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้ หรือหน่วยแรงประลัยที่ยอมให้ของชิ้นโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

-การหาเนื้อที่ประสิทธิผลของรอยเชื่อมแบบต่อชนหรือแบบบากร่องสามารถหาได้โดย

$$A_w = (\text{ความหนาของประสิทธิผล})(\text{ความยาวของรอยเชื่อม})$$

-ถ้าเชื่อมขนาดเหล็กที่ไม่เท่ากันให้

$$\text{ความหนาของประสิทธิผล} = \text{ความลึกของชั้นที่เล็กกว่า}$$

-ถ้าเป็นแบบ J หรือ U ให้

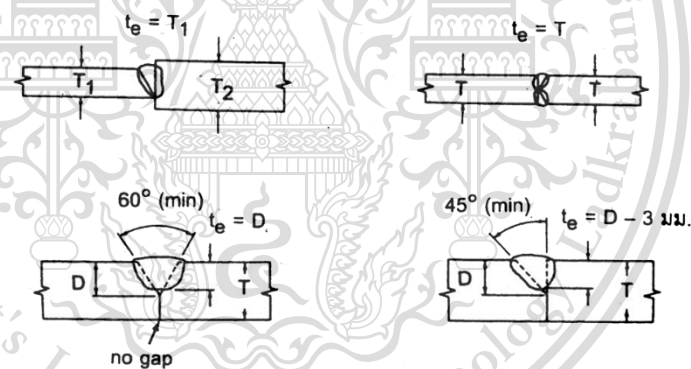
$$\text{ความหนาของประสิทธิผล} = \text{ความลึกของมุมที่ลบ}$$

-ถ้าเป็นแบบ Bevel หรือ V ซึ่งมุมรวมที่ร่อง $\geq 60^\circ$ ให้

$$\text{ความหนาของประสิทธิผล} = \text{ความลึกของมุมที่ลบ}$$

-ถ้าเป็นแบบ Bevel หรือ V ซึ่งมุมรวมที่ร่อง $\geq 45^\circ$ แต่ $< 60^\circ$ ให้

$$\text{ความหนาของประสิทธิผล} = \text{ความลึกของมุมที่ลบ} - 3 \text{ มม.}$$



รูปที่ 2.4-1 การหาความหนาของประสิทธิผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.4-1 การออกแบบตามวิธี ASD

Types of Weld and Stress	Allowable Stress	Required Weld Strength Level
Complete-Penetration Groove Weld		
Tension normal to effective area	Same as base metal	"Matching" weld metal shall be used
Compression normal to effective area	Same as base metal	Weld metal with a strength level equal to or less than "matching" weld metal is permitted
Tension or compression parallel to axis of weld	Same as base metal	
Shear on effective area	0.30 x nominal tensile strength of weld metal	
Partial-Penetration Groove Welds		
Compression normal to effective area	Same as base metal	Weld metal with a strength level equal to or less than "matching" weld metal is permitted
Tension or compression parallel to axis of weld	Same as base metal	
Shear parallel to axis of weld	0.30 x nominal tensile strength of weld metal	
Tension normal to effective area	0.30 x nominal tensile strength of weld metal except tensile stress on base metal shall not exceed 0.60 x yield stress of base metal	
Fillet Welds		
Shear on effective area	0.30 x nominal tensile strength of weld metal	Weld metal with a strength level equal to or less than "matching" weld metal is permitted
Tension or compression parallel to axis of weld	Same as base metal	
Plug and Slot Welds		
Shear parallel to faying surfaces (on effective area)	0.30 x nominal tensile strength of weld metal	Weld metal with a strength level equal to or less than "matching" weld metal is permitted

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.4-2 การออกแบบตามวิธี LRFD

Types of Weld and Stress	Material	Resistance Factor	Normal Strength F_{BM} or F_w	Required Weld Strength Level
Complete-Penetration Groove Weld				
Tension normal to effective area	Base	0.90	F_y	"Matching" weld metal must be used
Compression normal to effective area	Base	0.90	F_y	Weld metal with a strength level equal to or less than "matching" may be used
Tension or compression parallel to axis of weld	Base	0.90	F_y	
Shear on effective area	Base Weld electrode	0.90 0.80	$0.60F_y$ $0.60F_{EXX}$	
Partial-Penetration Groove Welds				
Compression normal to effective area	Base	0.90	F_y	Weld metal with a strength level equal to or less than "matching" weld metal may be used
Tension or compression parallel to axis of weld	Base	0.90	F_y	
Shear parallel to axis of weld	Base* Weld electrode	0.75 0.75	$0.60F_{EXX}$ $0.60F_{EXX}$	
Tension normal to effective area	Base Weld Electrode	0.90 0.80	F_y $0.60F_{EXX}$	
Fillet Welds				
Stress on effective area	Base* Weld Electrode	0.75	$0.60F_{EXX}$	Weld metal with a strength level equal to or less than "matching" weld metal may be used
Tension or compression parallel to axis of weld	Base	0.90	F_y	
Plug or Slot Welds				
Shear parallel to faying surfaces (on effective area)	Base* Weld electrode	0.75	$0.60F_{EXX}$	Weld metal with a strength level equal to or less than "matching" weld metal may be used

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า

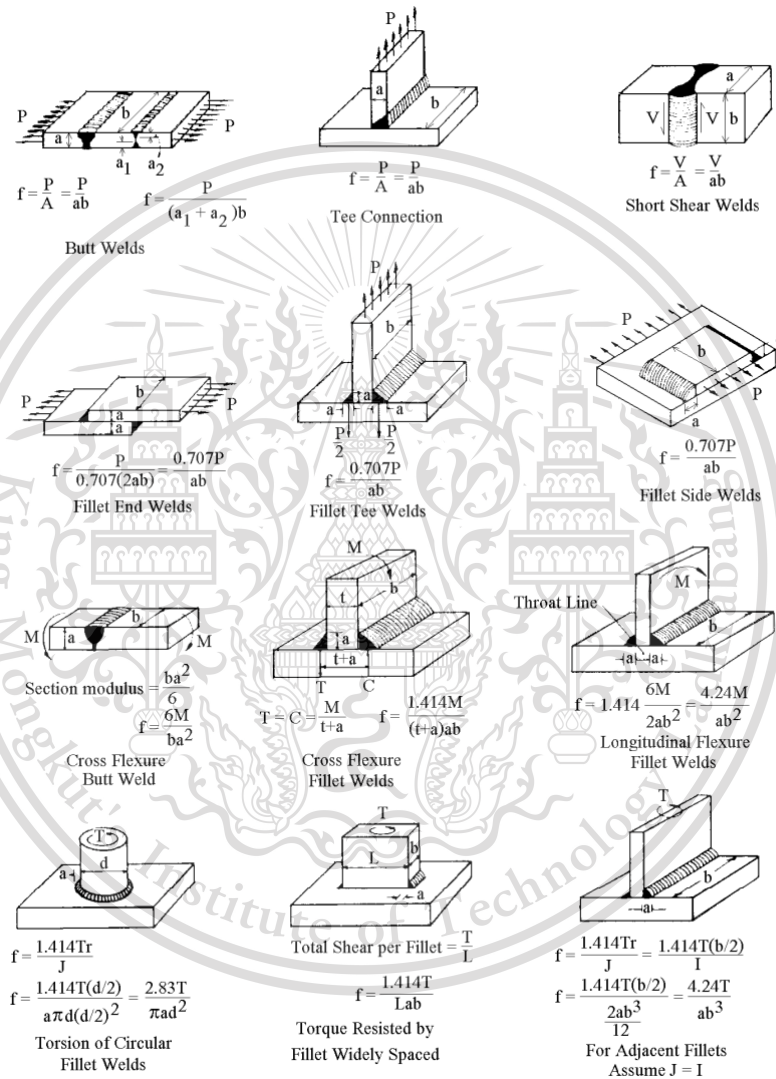
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกประการที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5 หน่วยแรงบนรอยเชื่อม

หน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนรอยเชื่อมเมื่อต้องรับแรงกระทำในลักษณะต่าง ๆ สามารถหาได้จาก สูตรแรงใน แนวแกน $f=P/A$ สูตรแรงดัด $f=Mc/I$ สูตรแรงบิด $f=Tr/J$ สูตรแรงเฉือนในคาน $f=VQ/It$ ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.5-1 ภาพการหาหน่วยแรงบนรอยเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6 ตำแหน่งในการเชื่อม (Welding Position)

ตำแหน่งในการเชื่อมหรือท่าเชื่อม คือ ตำแหน่งและทิศทางของการเชื่อมของแนว เชื่อมดังที่กล่าวมาแล้ว แบ่งออกเป็น 4 ตำแหน่งคือ

2.6.1 ท่าราบ (Flat Position)

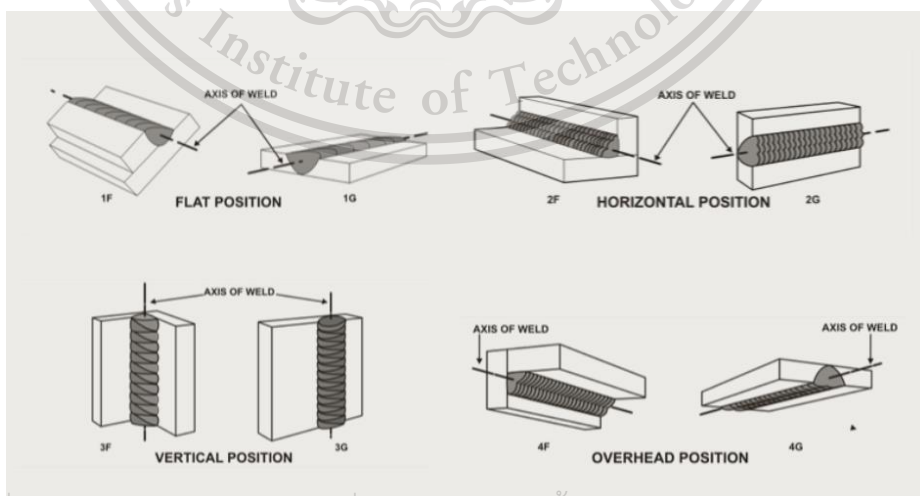
1. ท่าราบเป็นการเชื่อมชิ้นงานที่วางอยู่ในระนาบเดียวกันกับพื้นราบซึ่งไม่มีปัญหาเรื่องแรงดึงดูดของโลก จึงเป็นท่าเชื่อมที่เชื่อมง่ายกว่าท่าเชื่อมอื่น ๆ

2.6.2 ท่าขนานนอน (Horizontal Position)

2. ท่าขนานนอนหรือท่าระดับเป็นการเชื่อมชิ้นงานที่วางอยู่ในแนวระดับ ซึ่งขนานกับแนวระนาบ ในการเชื่อมท่าเชื่อมนี้ แรงดึงดูดของโลกจะมีผลต่อการเชื่อม ทำให้เกิดข้อบกพร่อง คือ รอยแหง (Undercut) ขอบด้านบนของรอยเชื่อม

3. ท่าตั้ง (Vertical Position) ท่าตั้งเป็นการเชื่อมชิ้นงานที่วางอยู่ในแนวตั้ง ซึ่งตั้งฉากกับแนวระดับ ในการเชื่อมท่านี้ แรงดึงดูดของโลก จะมีผลต่อการเชื่อมเช่นกัน ตามทิศทางของการเชื่อม เช่น การเชื่อมลง (Vertical Down) และการเชื่อมขึ้น (Vertical Up)

4. ท่าเหนือศีรษะ (Overhead Position) ท่าเหนือศีรษะเป็นการเชื่อมชิ้นงานที่วางอยู่ในแนวระนาบ ในระดับเหนือศีรษะของผู้เชื่อม ในการเชื่อมท่านี้ แรงดึงดูดของโลก มีผลต่อการเชื่อมเป็นอย่างมาก ทั้งข้อบกพร่องในรอยเชื่อมและอันตรายจากสะเก็ดไฟโลหะที่หลอมละลายและความร้อนจากเปลวไฟที่สะท้อนกลับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.6-1 ตำแหน่งการเชื่อมในท่าทางต่างๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.8 การเลือกใช้ลวดเชื่อมกับชนิดของเหล็ก

จะทำการเลือกลวดเชื่อมให้ตรงกันกับตัวเหล็กใช้มีความสอดคล้องกันตามตารางข้างต้นนี้

ตารางที่ 2.8-1 การเลือกใช้ลวดเชื่อม

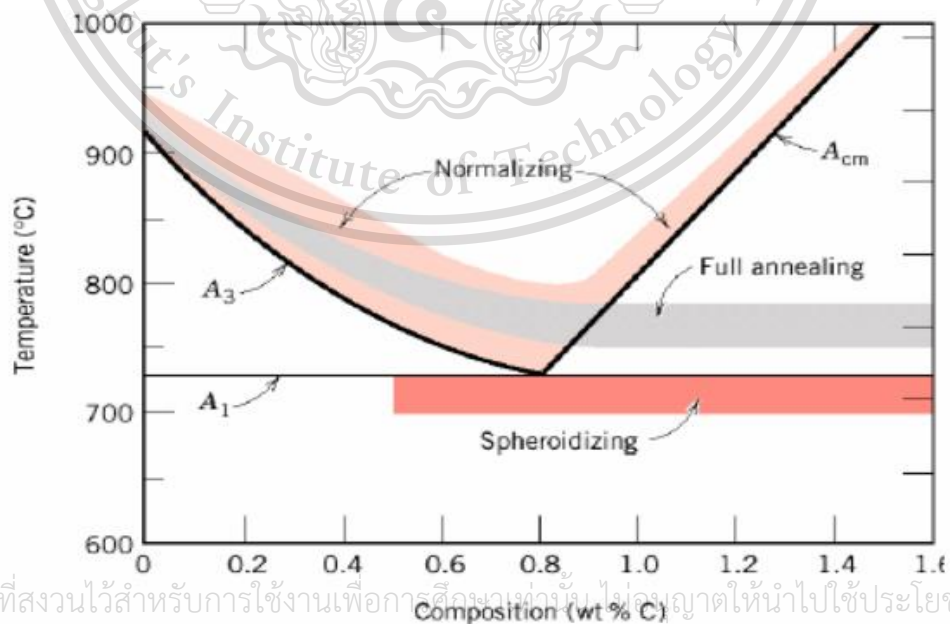
Base Metal (ASTM)	Matching Filler Metal
A36 $\leq \frac{3}{4}$ in. thick	60- and 70-ksi filler metal
A36 $> \frac{3}{4}$ in., A588 ^[a] , A1011, A572 Gr. 50 and 55, A913 Gr. 50, A992, A1018	SMAW: E7015, E7016, E7018, E7028 Other processes: 70-ksi filler metal
A913 Gr. 60 and 65	80-ksi filler metal
A913 Gr. 70	90-ksi filler metal

^[a] For corrosion resistance and color similar to the base metal, see AWS D1.1/D1.1M clause 3.7.3.

Notes:
In joints with base metals of different strengths, either a filler metal that matches the higher strength base metal or a filler metal that matches the lower strength and produces a low hydrogen deposit may be used when matching strength is required.

2.7 กรรมวิธีความร้อนของเหล็ก

กรรมวิธีทางความร้อน หมายถึง “การนำเอาโลหะหรือโลหะผสมที่เป็นของแข็งมาให้ความร้อนแล้วปล่อยให้เย็นตัวในอัตราที่แตกต่างกันไป เพื่อให้มี Mechanical Properties ตามต้องการ โดยทั่วไปการทำ Heat Treatment ของเหล็กเป็นการทำให้เหล็กมี Phase เป็น Austenite และให้ Austenite เปลี่ยนเป็น Phase ต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับสูง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7-1 อุณหภูมิที่ใช้สำหรับ Heat Treatment ชนิดต่างๆ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

2.7.1 การอบอ่อน (Annealing)

การอบอ่อน (Annealing) มีความมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเหล็กที่ผ่านการผลิตต่าง ๆ มา เช่น การขึ้นรูปร้อน (Forging, Hot Rolling) การขึ้นรูปเย็น (Cold Rolling, Drawing) การเชื่อม หรือ การผ่านการหล่อ (Casting) ซึ่งเหล็กผ่านขั้นตอนการผลิตดังกล่าวนี้จะมีคุณสมบัติไม่ดีหลายประการ เช่น เหล็กที่ผ่านการขึ้นรูปร้อน จะมีคุณสมบัติไม่สม่ำเสมอตามส่วนที่มีมุมแหลม ซึ่งอัตราการเย็นตัวสูงจะมีความแข็งมากกว่าส่วนอื่นๆ โครงสร้างของเหล็กบริเวณผิวจะมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยเกรนขนาดเล็กเพราะถูกแรงกระแทก หรืออัดมากกว่าเนื้อเหล็กภายใน ทำให้คุณสมบัติไม่สม่ำเสมอถึงภายในเช่นเดียวกัน เหล็กที่ผ่านการขึ้นรูปเย็นมักจะมีเคียวที่เกิดจากการถูกแรงอัดหรือบีบเหล็กค้างอยู่ (Residual stress) มีส่วนทำให้มีความแข็งแรงไม่สม่ำเสมอ สูญเสียความเหนียว (Ductility) เหล็กที่ผ่านงานเชื่อมเช่นเดียวกันการเชื่อมเป็นการทำให้เหล็กร้อนเป็นบางจุดการขยายตัวเมื่อถูกความร้อนและการหดตัวเมื่อถูกปล่อยให้เย็นย่อมจะเป็นการยากที่จะทำได้จึงทั่วถึงมักจะเกิดความเคียวเหลือค้างและโครงสร้างของเนื้อเหล็กบริเวณจุดที่ทำการเชื่อมจึงต่างกับเนื้อเหล็กในส่วนอื่นๆ ที่ไม่ถูกความร้อนจากจุดเชื่อมคุณสมบัติของเหล็กจะขาดความไม่สม่ำเสมอ เหล็กที่ผ่านงานหล่อยิ่งมองเห็นได้ง่ายกว่าโครงสร้างและคุณสมบัติของเหล็กจะมีส่วน ที่แตกต่างกันมาก เพราะอัตราการเย็นตัวของเหล็กในแบบหล่อ (ซึ่งส่วนมากใช้ทรายเป็นวัสดุ ในแบบหล่อ) จะแตกต่างกันทั้งส่วนที่หนาและส่วนที่บางยิ่งส่วนที่เป็นแฉก การเย็นตัวจะยิ่ง เร็วกว่าส่วนอื่นจึงมักมีความแข็งสูงจากที่กล่าวมาแล้วนี้จะเห็นได้ว่าการที่จะนำเอาเหล็กที่ผ่านกรรมวิธีขึ้นรูปต่าง ๆ ไปใช้งาน หรือนำไปตัดเจาะกลึง ไสย่อมจะทำให้เกิดอุปสรรคในลักษณะต่าง ๆ ที่พอจะมองเห็นได้ชัดเจน เช่น การกลึงหรือไสถ้าเหล็กมีความแข็งไม่เท่ากันทุกส่วนการปรับมุมของมีดกลึงหรือตั้งอัตราความเร็วในการตัดจะเกิดปัญหามากมายและผลงานที่ได้รับก็ไม่มี เทาที่ควร ดังนั้นเหล็กที่ผ่านการขึ้นรูปขึ้นมาก่อนจะนำไปใช้งานหรือฟอร์มรูปร่างในขั้นต่อ ๆ ไปจำเป็นจะต้องผ่านการอบให้อ่อนตัวซึ่งลักษณะของการทำงานมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับ วัตถุประสงค์สุดท้าย

2.7.2 การชุบแข็ง (Hardening)

คือการอบชุบความร้อนเพื่อต้องการให้เหล็กภายหลังจากการชุบมีความแข็งเพิ่มขึ้น เพื่อทนต่อการเสียดสีในขณะใช้งานการชุบแข็งเป็นวิธีจะให้ได้โครงสร้างของเหล็กสุดท้ายเป็น Martensite หรือ Bainite ขึ้นอยู่กับความแข็งสุดท้ายที่ต้องการการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจาก Austenite ไปเป็น Martensite หรือ Bainite ซึ่งจะได้เหล็กที่มีความแข็งสูงจะต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญอย่างน้อย 3 ประการคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 15 ปริมาณคาร์บอน ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญเพราะการที่ Austenite จะ เปลี่ยนไปเป็น

Martensite ในลักษณะการชุบแข็งธรรมดาด้วยน้ำ เหล็กควรจะมีคาร์บอนสูง ส่วนธาตุผสมในเหล็ก

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

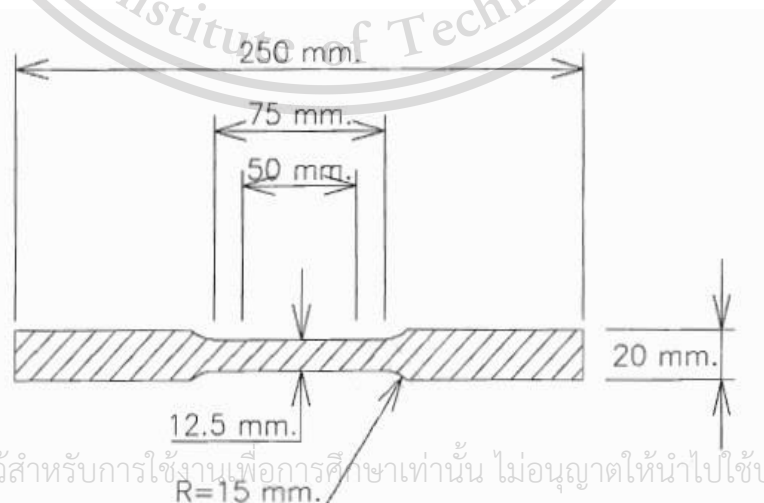
อื่น ๆ เช่น นิเกิล โครเมียม และโมลิบดีนัมจะเพียงทำหน้าที่ช่วยให้การชุบแข็งได้ผลดีขึ้นเท่านั้น ความแข็งของ Martensite จะขึ้นอยู่กับปริมาณของ คาร์บอน ดังตัวอย่างเช่น เหล็กคาร์บอน 0.35% สามารถชุบแข็งได้ความแข็งประมาณ 50 HRC ตรงกันข้ามกับเหล็ก 0.02%C, 10%Cr ได้ความแข็งภายหลังการชุบแข็งเพียง 35 HRC

2. อุณหภูมิก่อนการชุบ คืออุณหภูมิที่เหล็กจะต้องเปลี่ยนเป็น Austenite ก่อนการชุบน้ำหรือน้ำมัน อุณหภูมิของเหล็กไม่สูงพอจนโครงสร้างเปลี่ยนเป็น Austenite หหมดเราจะชุบในน้ำหรือน้ำเกลือ น้ำต่างความแข็งที่ได้จะไม่สูงเท่าที่ควร เพราะ Martensite ที่ได้จะต้องมาจาก Austenite เท่านั้น และเป็นการเปลี่ยนโครงสร้างโดยปราศจากการกำเนิดนิวเคลียส ไม่เหมือนอย่างเช่น Ferrite หรือ Cementite

3. อัตราการเย็นตัวเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่ Austenite จะเปลี่ยนไปเป็น Martensite หรือ Bainite จะต้องเป็นอัตราการเย็นตัวที่สูงพอซึ่งจะปรากฏคำว่า “อัตราการเย็นตัววิกฤติ (Critical cooling rate)” หมายถึงอัตราการเย็นตัวที่ Austenite เปลี่ยนไปเป็น Martensite หรือ Bainite ถ้าอัตราการเย็นตัวช้ากว่านี้ Austenite จะไม่มีโอกาส เปลี่ยนเป็น Martensite หรือ Bainite แต่จะได้ Pearlite หรือ Sorbite แทน

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นายปิยะ แซ่จัน ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการเชื่อมจุดต่อในโครงถักที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกลของท่อเหล็กกลมกลวงขึ้นรูปเย็นโดยผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องได้พบว่าการเชื่อมทำให้มีกำลังรับแรงดึงลดลงเล็กน้อยและมีค่าอัตราส่วนการยืดตัวลดลงถึง ร้อยละ 50 ถึง 70 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้เชื่อม

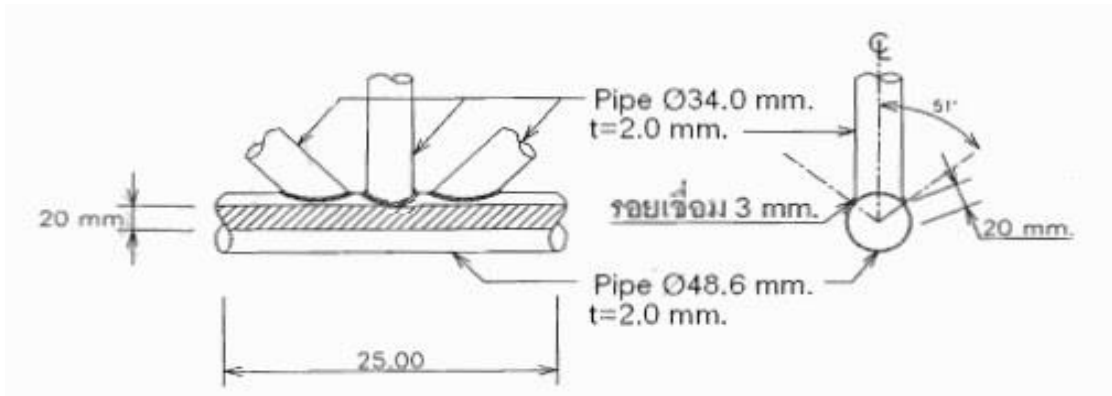


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

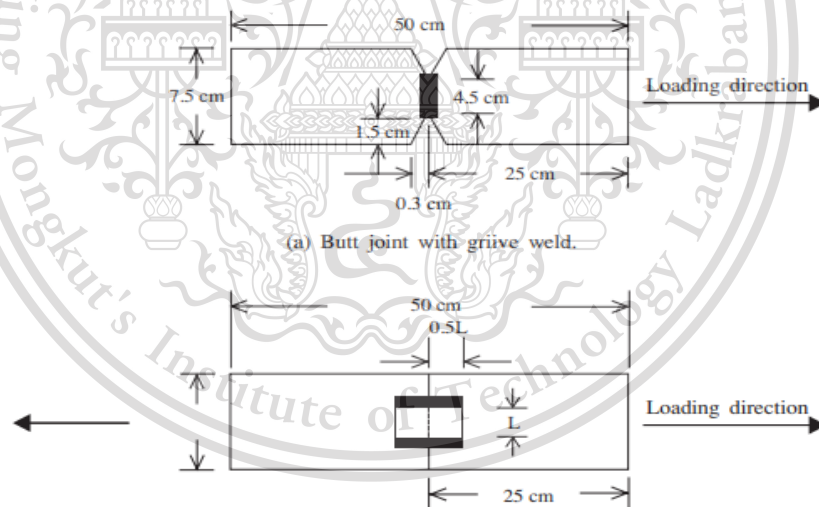
รูปที่ 2.8-1 ภาพตัวอย่างของการทดสอบหาลำดับและอัตราส่วนการยืดตัวขณะยังไม่ทำการเชื่อม

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

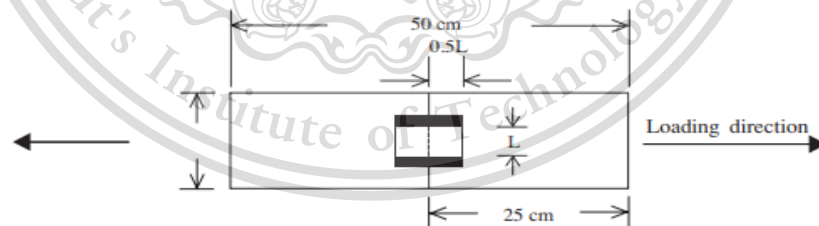


รูปที่ 2.8-2 ภาพตัวอย่างของการทดสอบหากล้างและอัตราส่วนการยึดตัวที่ทำการเชื่อมแล้ว

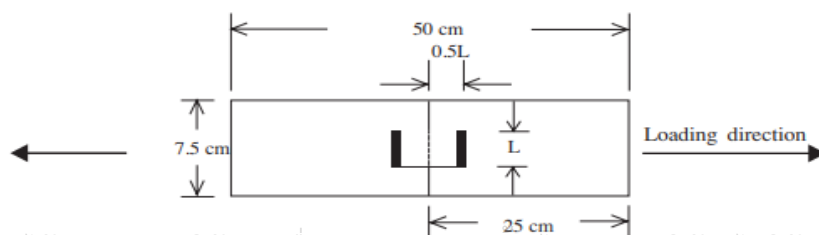
สิทธิชัย และคณะได้ทำการศึกษากล้างรับแรงดึงของรอยเชื่อมไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมต่อแผ่นเหล็กโดยช่างเชื่อมในจังหวัดนครราชสีมา เหล็กที่ใช้ในการทดสอบมีคุณสมบัติเชิงกลเป็นไปตามมาตรฐานมอก. 55-2516 ขนาดเหล็กที่เตรียมไว้คือ 75 มิลลิเมตร x 250 มิลลิเมตรหนา 6 มิลลิเมตร และ 12 มิลลิเมตร ทำการเชื่อม 3 รูปแบบทั้งสิ้น 126 ตัวอย่าง



(a) Butt joint with groove weld.



(b) Lab joint with fillet weld subjected to tensile load parallel to the weld joint.



(c) Lab joint with fillet weld subjected to tensile load perpendicular the weld joint.

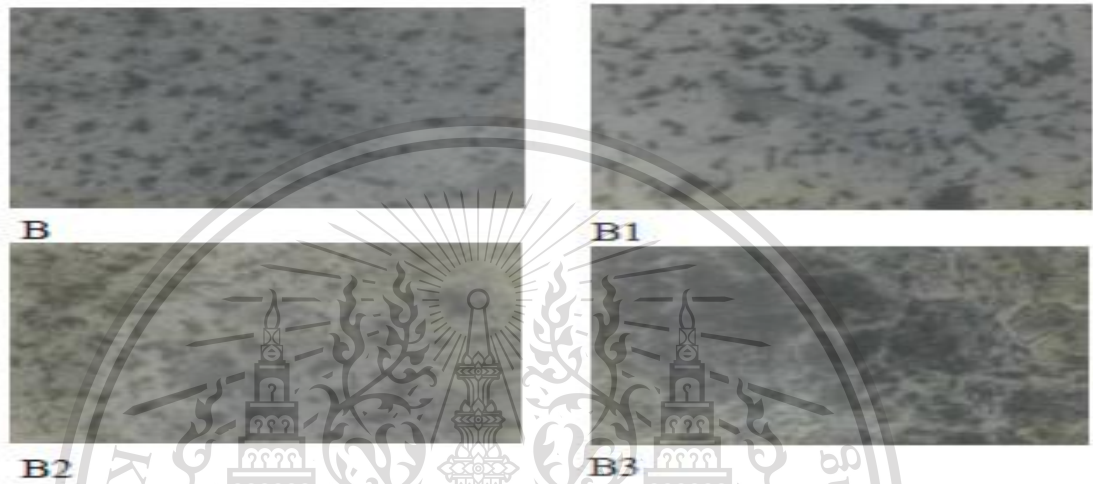
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.8-3 ภาพตัวอย่างของการทดสอบหากล้างและอัตราส่วนการยึดตัวที่ทำการเชื่อมแล้ว

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

A.V. Adedayo และคณะได้ทำการศึกษาผลกระทบของการชุบแข็งโดยทำการใช้ลวดเชื่อม E6013 ในการเชื่อมลงบนแผ่นโลหะ ที่มี C ต่างกันและใช้น้ำการชุบแข็งรอยเชื่อมและทำการทดสอบ ค่าความแข็งและค่าความแกร่งและตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงเฟสของรอยเชื่อมได้ผลสรุปว่าการชุบแข็งทำให้มีความแข็งมากขึ้นค่าความแกร่งลดลงและปริมาณคาร์บอนในเหล็กส่งผลให้การเปลี่ยนจาก ออสเทนไนท์ ไป มาเทนไซด์ มีมากขึ้นจึงทำให้เหล็กที่คาร์บอนมากกว่าแข็งกว่าแต่แกร่งน้อยกว่า



รูปที่ 2.8-4 ภาพตัวอย่างการเปลี่ยนเป็นมาเทนไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

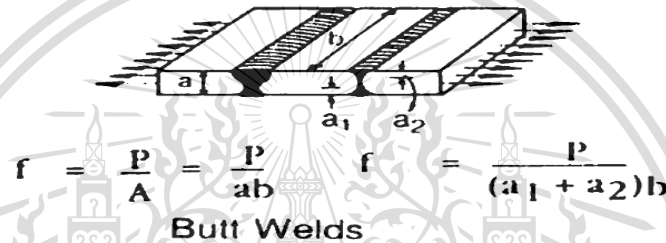
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 กำลังสูงสุดที่เครื่อง UTM สามารถทำได้

เครื่อง UTM ที่ทำการทดสอบสามารถให้กำลังได้สูงสุดอยู่ที่ 100000 kg. จึงจะทำการออกแบบให้รอยเชื่อมมีกำลังไม่ให้เกิดเกินกำลังที่เครื่อง UTM สามารถกระทำได้

3.2 คำนวณแรงดึงที่ต้องใช้ในการทดสอบด้วยเครื่อง UTM



รูปที่ 3.2-1 การหาหน่วยแรงของรอยเชื่อม

โดยพื้นที่ประสิทธิผลสำหรับการบากทั้ง 3 ประเภทมีค่าเท่ากันคือ $ab = 4.5 \times 0.9 = 4.05 \text{ cm}^2$ และรอยเชื่อมที่ได้จากการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม KOBE RB-26 มีค่าหน่วยแรงประลัย (f_u) = 4200

kg / cm^2

จะได้

$$\begin{aligned} P &= f_u \times (ab) \\ &= 4200 \times 4.05 \\ &= 17010 \text{ kg.} \end{aligned}$$

ดังนั้น ในการทดสอบต้องทำการดึงตัวอย่างด้วยแรง 35100 kg. จึงจะทำให้ตัวอย่างเกิดการวิบัติ

3.3 ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.3.1 การเตรียมเหล็ก

เหล็กที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นเส้นแบบเกรด fe 24 ซึ่งมีกำลัง ณ จุดคราก (f_y) คือ 2400

kg / cm^2 และกำลังประลัย (f_u) = 4000 kg / cm^2 โดยเหล็กที่ใช้มีความหนา 9 มิลลิเมตร กว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

มิลลิเมตร

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.3-1 เหล็กตัวอย่างที่จะใช้ทดสอบ

หลังจากนั้นก็นำเหล็กที่เตรียมไว้ไปตัดเป็นท่อน โดยยาวท่อนละ 250 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องไฟเบอร์

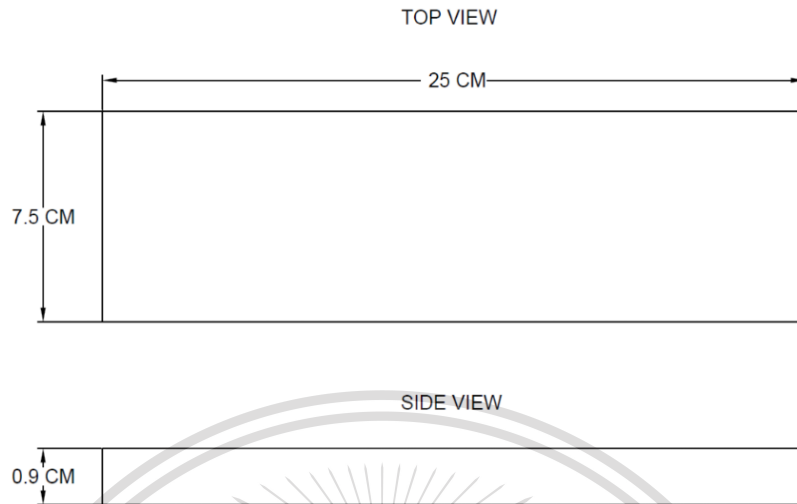


รูปที่ 3.3-2 การตัดเหล็กด้วยไฟเบอร์ให้ได้ความยาว 250 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันฯ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.3-3 รูปด้านต่างๆของตัวอย่างเหล็กที่นำมาตัด

3.3.2 การบากเพื่อลดหน้าตัด

ทำการบากเพื่อลดพื้นที่หน้าตัดที่มุมทั้งสองข้างของชิ้น เพื่อเป็นการบังคับตำแหน่งของการวิบัติให้ไปเกิดขึ้นที่บริเวณรอยเชื่อมโดยการลดขนาดลง 1.5 เซนติเมตร ในด้านยาวและด้านกว้าง (45 องศา) ดังภาพ



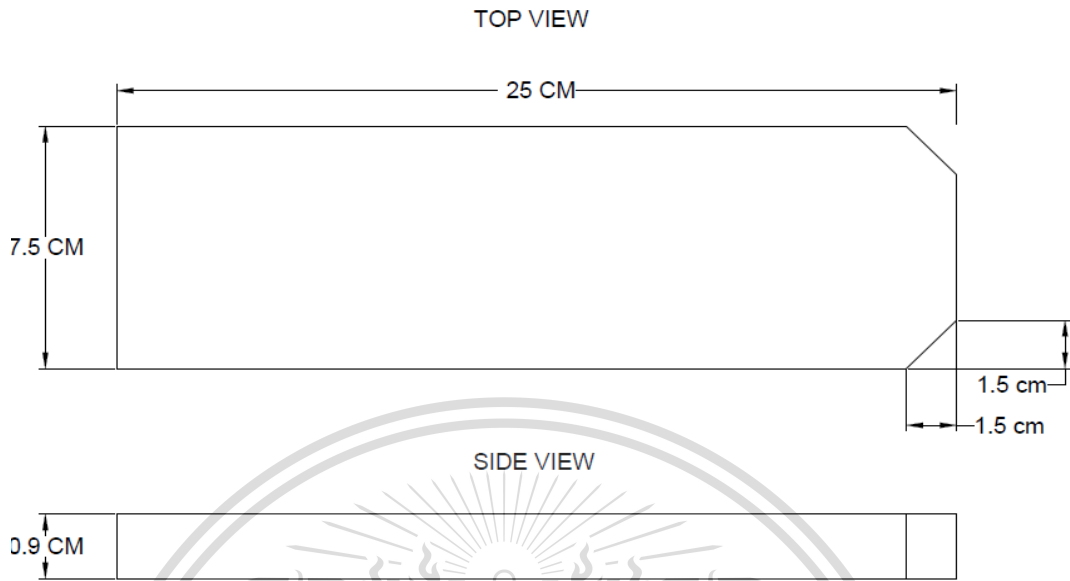
รูปที่ 3.3-4 รูปของตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารของงานวิจัยที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.3-5 รูปด้านต่างๆของตัวอย่างเหล็กก่อนทำการบาก

3.3.3 การเตรียมรอยบาก

โดยการเตรียมรอยบากนั้นทำได้โดยการกำหนดองศาของชิ้นงานที่ต้องการบากและทำการใช้เครื่องมือหินเจียรในการสร้างรอยบากให้เหล็กตัวอย่างมีขนาดตามต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ Mongkut's Institute of Technology (MIT) ห้ามมิให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจาก MIT หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง มิฉะนั้นจะถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3-6 รูปของตัวอย่างเหล็กขณะทำการบาก(1)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

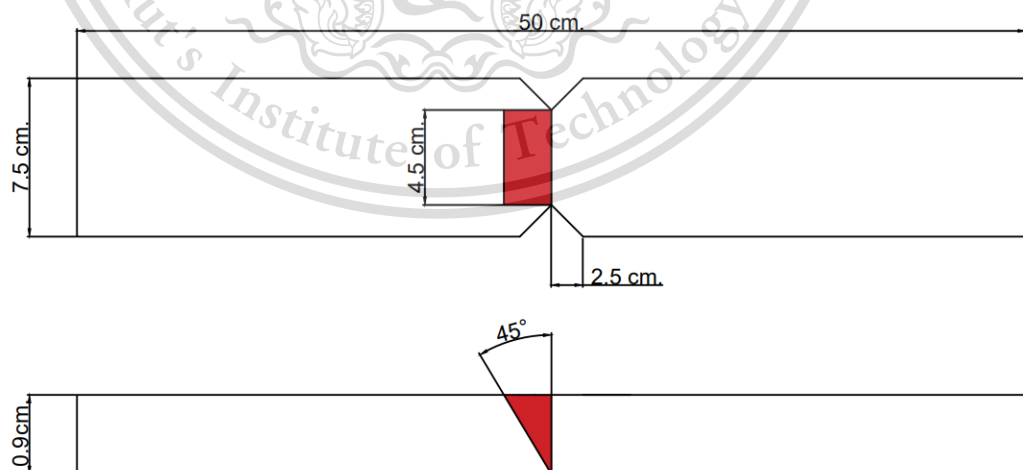
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.3-7 รูปของตัวอย่างเหล็กขณะทำการบาก(2)

รูปแบบการบากร่องแบบต่างๆ

1. BEVEL GROOVE



รูปที่ 3.3-8 รูปด้านของเหล็กที่บากแบบ BEVEL GROOVE

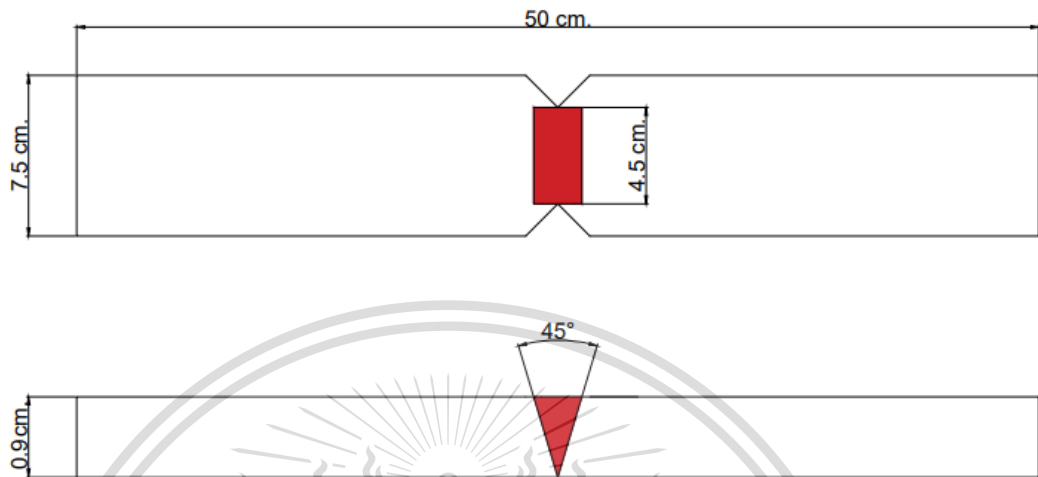
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

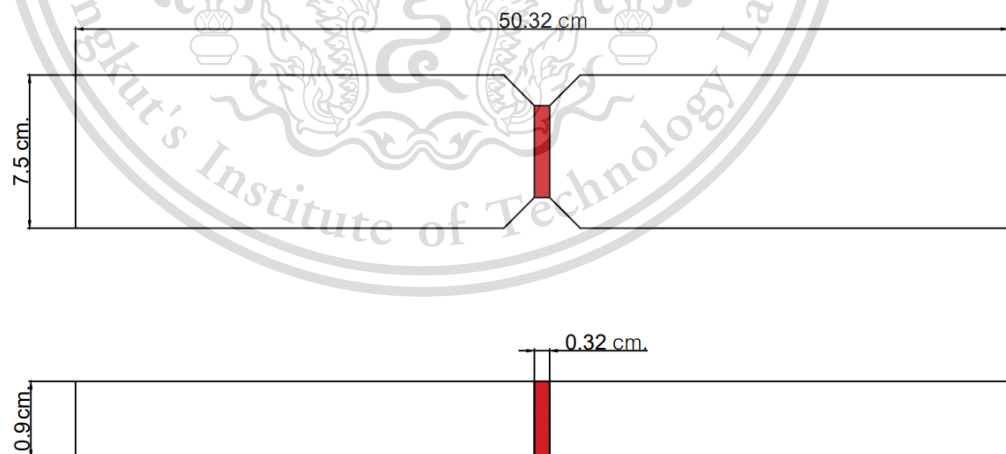
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. SINGLE V GROOVE



รูปที่ 3.3-9 รูปด้านของเหล็กที่บากแบบ SINGLE V GROOVE

3. SQUARE GROOVE



รูปที่ 3.3-10 รูปด้านของเหล็กที่บากแบบ SQUARE GROOVE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.4 การเชื่อมชิ้นงาน

ในการเชื่อมชิ้นงานจะใช้ลวดเชื่อม KOBE RB-26 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร ลวดเชื่อมชนิดนี้จะให้การอาร์คที่นิ่งเรียบมีสะเก็ดไฟเชื่อมน้อยทำให้ผิวรอยเชื่อมที่ได้มีความเรียบสวยงามเป็นมันวาวเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการเชื่อมงานโครงสร้างเบา นอกจากนี้ยังเหมาะสำหรับการเชื่อมเหล็กแผ่นและงานโครงสร้างบาง ๆ เนื่องจากการซึมลึกที่ไม่สูงมากนัก

ส่วนผสมทางเคมีโดยทั่วไปของเนื้อโลหะเชื่อม (%)

ตารางที่ 3.3-1 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม KOBE-RB26

C	Si	Mn	P	S
0.08	0.30	0.37	0.012	0.01

คุณสมบัติโดยทั่วไปของเนื้อโลหะเชื่อม

ตารางที่ 3.3-2 ส่วนกำลังรับแรงของลวดเชื่อม KOBE-RB26

YP (N/mm ² , Kgf/mm ²)	TS (N/mm ² , Kgf/mm ²)	EL (%)
450 , 46	510 , 52	25

ในขณะที่ทำการเชื่อมจะใช้กระแสไฟ 100 แอมแปร์ และระดับแรงดันไฟฟ้า 23 โวลต์ซึ่งลักษณะท่าทางที่ใช้ในการเชื่อมคือ จะวางชิ้นงานราบไปกับพื้นแล้วทำการเชื่อม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3-11 ภาพขณะทำการเชื่อม

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.5 การลดอุณหภูมิหลังจากเชื่อม

1. การลดอุณหภูมิแบบปกติ

หลังจากกระบวนการเชื่อมจะปล่อยให้ชิ้นงานมีการเย็นตัวในอุณหภูมิธรรมชาติ



รูปที่ 3.3-12 ภาพขณะปล่อยให้เย็นตัวตามธรรมชาติ

2. การลดอุณหภูมิตั้งเร็ว

หลังจากกระบวนการเชื่อมจะนำน้ำปราดใส่รอยเชื่อมเพื่อทำการลดอุณหภูมิของชิ้นงานอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 3.3-13 ภาพขณะลดอย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.การลดอุณหภูมิแบบผสม

หลังจากกระบวนการเชื่อมจะปล่อยให้ชิ้นงานมีการเย็นตัวในอุณหภูมิธรรมชาติเป็นระยะเวลา 5 นาที หลังจากนั้นจึงนำน้ำปราดไสร้อยเชื่อมเพื่อทำการลดอุณหภูมิของชิ้นงานอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 3.3-14 ภาพขณะลดอุณหภูมิแบบผสม

3.3.6 การเจียรรอยเชื่อมส่วนเกินออก

เจียรเพื่อควบคุมให้เกิดการวิบัติที่รอยเชื่อมและเป็นการทำให้รอยเชื่อมเรียบเนียนเสมอกันทุกตัวอย่าง



รูปที่ 3.3-15 ภาพตอนเจียรรอยเชื่อมส่วนเกิน(2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.3-16 หลังจากทำการเจียรรอยเชื่อมส่วนเกินเสร็จสิ้น

3.3 ขั้นตอนในการทดสอบแรงดึง

1. วัดขนาดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบที่จุดกึ่งกลางของรอยเชื่อม (ซึ่งจะต้องเป็นพื้นที่หน้าตัดเล็กที่สุดของชิ้นทดสอบ)



รูปที่ 3.3-17 วัดความยาวของรอยเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. ติดตั้ง Strain Gauge ลงบนพื้นผิวที่ต้องการวัด strain



รูปที่ 3.3-18 ขัดพื้นที่ผิวให้เรียบพร้อมติดตั้ง Strain gauge



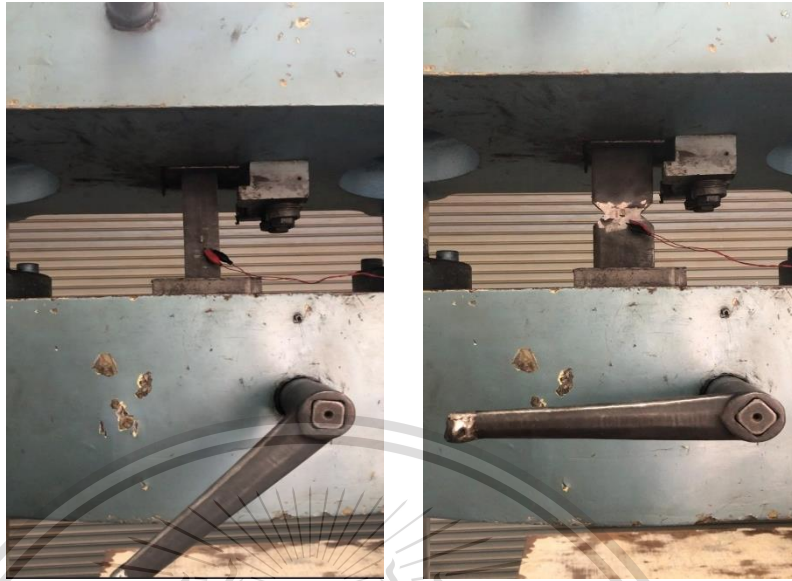
รูปที่ 3.3-19 หลังติดตั้ง strain gauge

3. นำชิ้นทดสอบที่วัดขนาดเรียบร้อยแล้วมาทำการทดสอบการรับแรงดึง โดยใส่เข้าเครื่องทดสอบแรงดึงแล้วเดินเครื่องดึงชิ้นทดสอบด้วยอัตราไม่เกิน 70 กก./ม.ม.2/นาที จนชิ้นทดสอบขาดจากกัน บันทึกค่าแรงดึงสูงสุด (Maximum Load) แล้วคำนวณหาค่ารับแรงดึง (Tensile Strength) ของรอยเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.3-20 ภาพขณะทดสอบรับแรงดึง

4. บันทึกผลการทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 ตารางแสดงผลการทดสอบ

4.1.1 ตารางแสดงกำลังของตัวอย่าง

ตารางที่ 4.1-1 ตารางแสดงกำลังรับแรงของเหล็กตัวอย่าง A36

ตัวอย่าง	แรงดึงจากสูตร (Kg.)	แรงดึงจากการทดสอบ (Kg.)
N1	17010	18854
N2	17010	18530
N3	17010	18835

ตารางที่ 4.1-2 ตารางแสดงกำลังรับแรงของรอยเชื่อมของ square groove

อัตราการเย็นตัว	ตัวอย่าง	พื้นที่ของการเชื่อม (cm ²)	แรงดึงจากสูตร (Kg.)	แรงดึงจากการทดสอบ (Kg.)	อัตราส่วนแรงดึง×100
เย็นตัวในอากาศ	S1	1.82	7644	3929	51.40
	S2	1.76	7392	5580	75.49
	S3	1.45	6090	4168	68.44
ชุบน้ำทันทีหลังการเชื่อมทันทีทันใด	S4	2.49	10458	11683	111.71
	S5	2.04	8568	10042	117.20
	S6	2.49	10458	12331	117.91
ชุบน้ำหลังจากเชื่อมเสร็จ 2 นาที	S7	2.14	8988	9537	106.11
	S8	2.47	10374	10757	103.69
	S9	2.14	8988	7944	88.38

หมายเหตุ เนื่องจากรอยการเชื่อมไม่สมบูรณ์แรงดึงจากจากสูตรจะเป็นการคิดจากพื้นที่จริงที่วัดจากรอยเชื่อมในส่วนองพื้นที่ที่วัดจากชิ้นทดสอบสามารถดูได้ที่ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากตารางได้พบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนกำลังรับแรงของอัตราเย็นตัวแบบเย็นตัวในอากาศมีค่าเป็น 65.11% แบบชุบน้ำทันทีหลังการเชื่อมทันทีทันใดมีค่าเป็น 115.61% และ แบบชุบน้ำหลังทำการเชื่อมเสร็จแล้ว 2 นาที มีค่าเป็น 99.39%

ตารางที่ 4.1-3 ตารางแสดงกำลังรับแรงของรอยเชื่อมของ bevel groove

อัตราการเย็นตัว	ตัวอย่าง	พื้นที่ของการเชื่อม (cm ²)	แรงดึงจากสูตร (Kg.)	แรงดึงจากการทดสอบ (Kg.)	อัตราส่วนแรงดึง×100
เย็นตัวในอากาศ	B1	1.61	6762	3672	54.30
	B2	0.88	3696	1526	41.29
	B3	1.8	7560	4854	64.21
ชุบน้ำทันทีหลังการเชื่อมทันทีทันใด	B4	1.45	6090	4816	79.08
	B5	1.4	5880	4388	74.63
	B6	1.29	5418	4158	76.74
ชุบน้ำหลังจากเชื่อมเสร็จแล้ว 2 นาที	B7	1.57	6594	2728	41.37
	B8	2.53	10626	10443	98.28
	B9	2.38	9996	10843	108.47

หมายเหตุ เนื่องจากรอยการเชื่อมไม่สมบูรณ์แรงดึงจากจากสูตรจะเป็นการคิดจากพื้นที่จริงที่วัดจากรอยเชื่อมในส่วนของพื้นที่ที่วัดจากชั้นทดสอบสามารถดูได้ที่ภาคผนวก

จากตารางได้พบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนกำลังรับแรงของอัตราเย็นตัวแบบเย็นตัวในอากาศมีค่าเป็น 53.27% แบบชุบน้ำทันทีหลังการเชื่อมทันทีทันใดมีค่าเป็น 76.82% และ แบบชุบน้ำหลังทำการเชื่อมเสร็จแล้ว 2 นาที มีค่าเป็น 82.71%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and **31** cite the document when use.

ตารางที่ 4.1-4. ตารางแสดงกำลังรับแรงของรอยเชื่อมของ vee groove

อัตราการเย็นตัว	ตัวอย่าง	พื้นที่ของการเชื่อม (cm ²)	แรงดึงจากสูตร (Kg.)	แรงดึงจากการทดสอบ (Kg.)	อัตราส่วนแรงดึง×100
เย็นตัวในอากาศ	V1	1.27	5334	2594	48.63
	V2	2.34	9828	5312	54.05
	V3	1.69	7098	7029	99.03
ชุบน้ำทันทีหลังการเชื่อมทันทีทันใด	V4	1.74	7308	448	6.13
	V5	1.61	6762	1564	23.13
	V6	2.39	10038	2480	24.71
ชุบน้ำหลังจากเชื่อมเสร็จแล้ว 2 นาที	V7	1.93	8106	9146	112.83
	V8	2.36	9912	12531	126.42
	V9	1.77	7434	8812	118.54

หมายเหตุ เนื่องจากรอยการเชื่อมไม่สมบูรณ์แรงดึงจากสูตรจะเป็นการคิดจากพื้นที่จริงที่วัดจากรอยเชื่อมในส่วนองพื้นที่ที่วัดจากชั้นทดสอบสามารถดูได้ที่ภาคผนวก

จากตารางได้พบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนกำลังรับแรงของอัตราเย็นตัวแบบเย็นตัวในอากาศมีค่าเป็น 67.24% แบบชุบน้ำทันทีหลังการเชื่อมทันทีทันใดมีค่าเป็น 17.99% และ แบบชุบน้ำหลังทำการเชื่อมเสร็จแล้ว 2 นาที มีค่าเป็น 119.26%

4.1.2 ตารางแสดงค่า E ของตัวอย่างต่างๆ

ตารางที่ 4.1-5 ตารางแสดงค่า E ของเหล็ก A36

ตัวอย่าง	ความเค้นสูงสุด (Ksc)	โมดูลัสยืดหยุ่น (Ksc×10 ⁶)
N1	4655.30	-
N2	4575.31	2.03
N3	4320.62	2.14

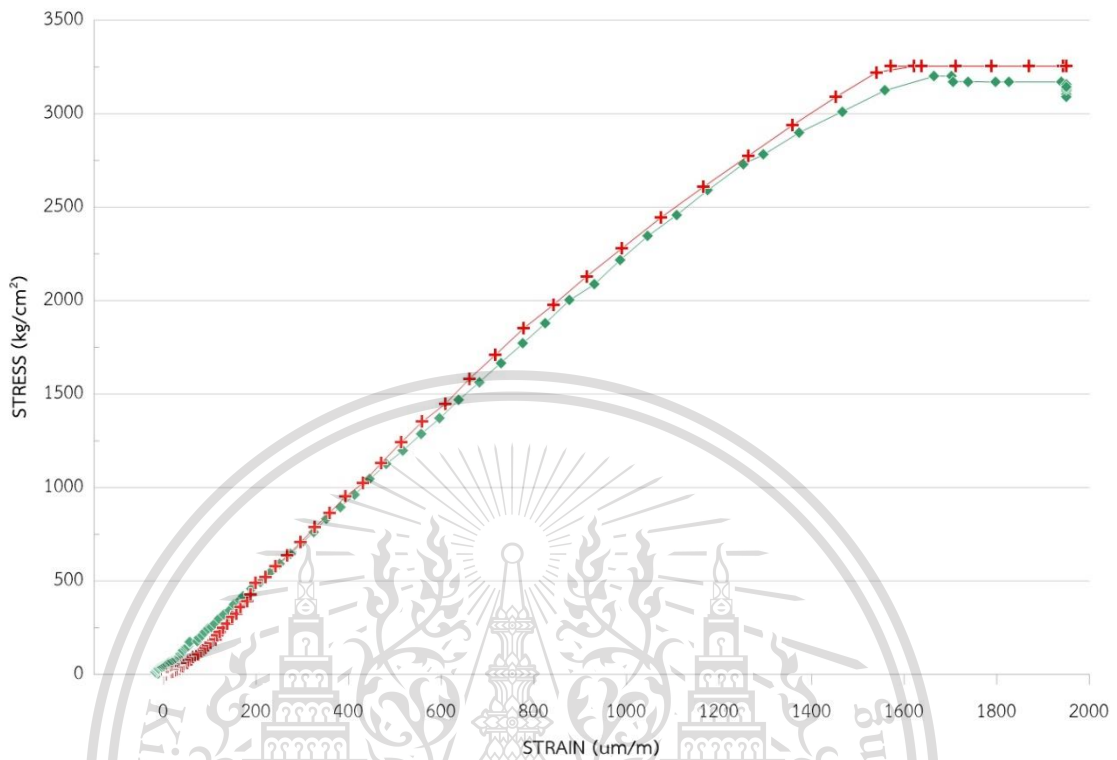
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง STRESS กับ STRAIN ของเหล็ก A36



รูปที่ 4.1-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain ของเหล็ก A36

ตารางที่ 4.1-6 ตารางแสดงค่าของรอยเชื่อมของ square groove

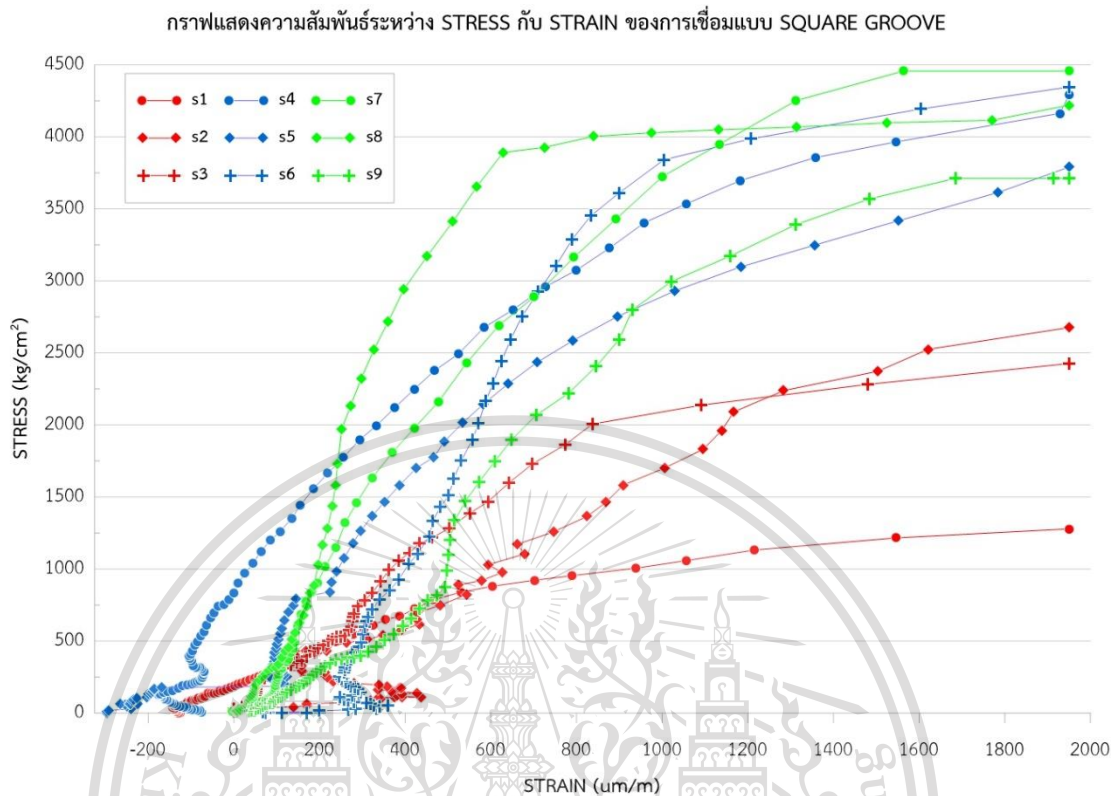
อัตราการเย็นตัว	ตัวอย่าง	ความเค้นสูงสุด (Ksc)	โมดูลัสยืดหยุ่น (Kscx10 ⁶)
เย็นตัวในอากาศ	S1	2158.791	1.28
	S2	3170.455	1.84
	S3	2874.483	2.10
ชุบน้ำทันทีหลังการเชื่อมทันทีทันใด	S4	4691.968	2.82
	S5	4922.549	2.78
	S6	4952.209	5.76
ชุบน้ำหลังจากเชื่อมเสร็จ 2 นาที	S7	4456.542	3.55
	S8	4355.061	4.10
	S9	3712.150	3.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and **33** cite the document when use.



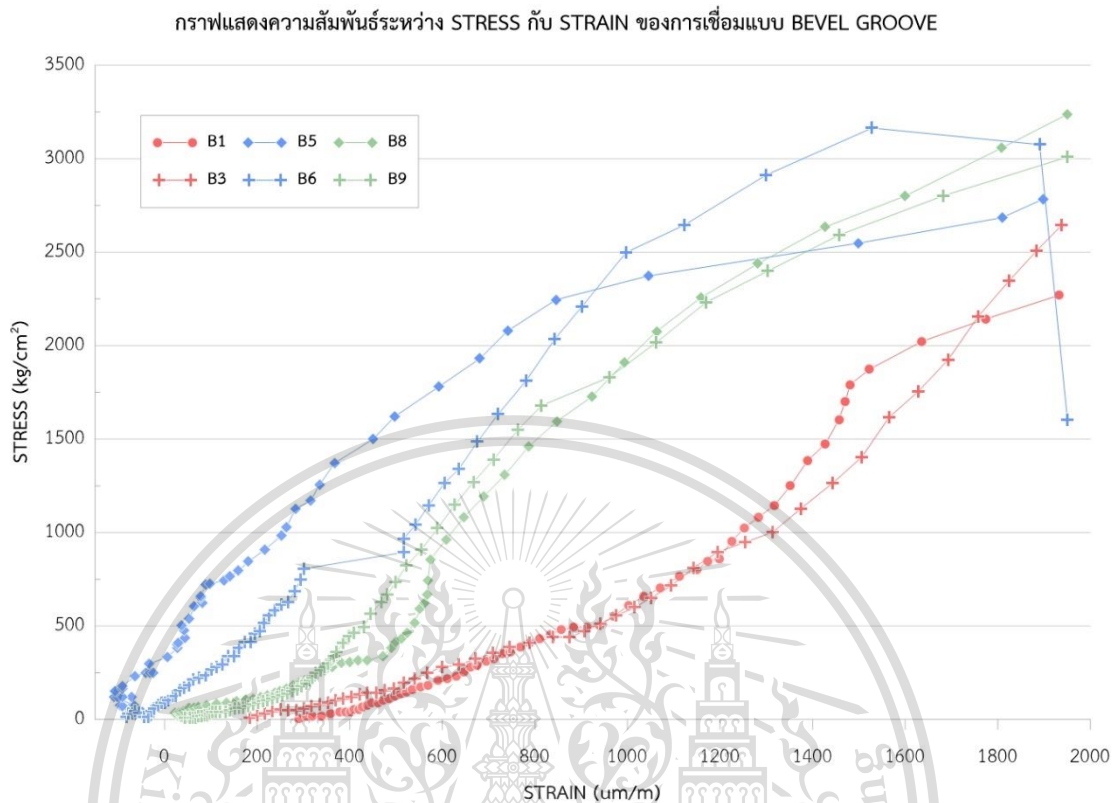
รูปที่ 4.1-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain ของ square groove

ตารางที่ 4.1-7 ตารางแสดงค่าของรอยเชื่อมของ bevel groove

อัตราการเย็นตัว	ตัวอย่าง	ความเค้นสูงสุด (Ksc)	โมดูลัสยืดหยุ่น (Kscx10 ⁶)
เย็นตัวในอากาศ	B1	2280.745	1.92
	B2	1734.290	-
	B3	2696.667	1.59
ชุบน้ำทันทีหลังการเชื่อมทันทีทันใด	B4	3321.281	-
	B5	3134.286	2.72
	B6	3223.256	3.26
ชุบน้ำหลังจากเชื่อมเสร็จ 2 นาที	B7	1737.5	-
	B8	4127.668	3.03
	B9	4555.882	3.16

หมายเหตุ - คือ strain gauge ไม่ตอบสนอง

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.



รูปที่ 4.1-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain ของ bevel groove

ตารางที่ 4.1-8 ตารางแสดงค่าของรอยเชื่อมของ single vee groove

อัตราการเย็นตัว	ตัวอย่าง	ความเค้นสูงสุด (Ksc)	โมดูลัสยืดหยุ่น (Kscx10 ⁶)
เย็นตัวในอากาศ	V1	2042.52	1.4
	V2	2280.785	-
	V3	4159.172	2.29
ชุบน้ำทันทีหลังการเชื่อมทันทีทันใด	V4	257.471	1.81
	V5	971.429	-
	V6	1037.657	1.78
ชุบน้ำหลังจากเชื่อมเสร็จ 2 นาที	V7	4738.860	3.14
	V8	5309.746	2.91
	V9	4978.531	2.53

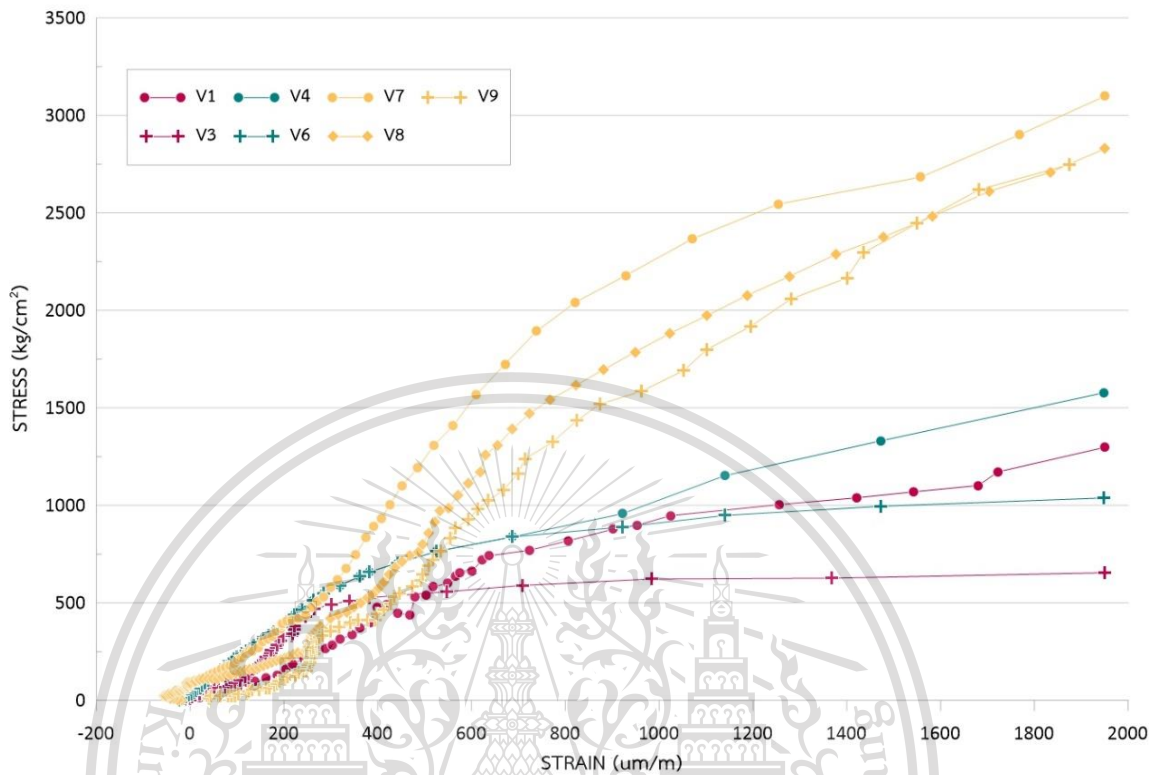
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต การค้า
 หมายถึง - คือ strain gauge ไม่ตอบสนอง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, ar35 cite the document when use.

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง STRESS กับ STRAIN ของการเชื่อมแบบ VEE GROOVE



รูปที่ 4.1-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain ของ vee groove

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and **36** cite the document when use.

4.2 ภาพของตัวอย่างการทดสอบรูปแบบต่างๆ

-ตัวอย่างการทดสอบแบบ square groove

อัตราการเย็นตัวเย็นตัวในอากาศ



รูปที่ 4.2-1 ภาพตัวอย่างการทดสอบแบบ square groove เย็นตัวในอากาศ
ชุบน้ำทันทีหลังการเชื่อมทันทีทันใด



รูปที่ 4.2-2 ภาพตัวอย่างการทดสอบแบบ square groove ชุบน้ำทันทีหลังการเชื่อมทันทีทันใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาของท่านนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, ar37 cite the document when use.

ชุบน้ำหลังจากเชื่อมเสร็จ 2 นาที



รูปที่ 4.2-3 ภาพตัวอย่างการทดสอบแบบ square groove ชุบน้ำหลังจากเชื่อมเสร็จ 2 นาที

-ตัวอย่างการทดสอบแบบ bevel groove

อัตราการเย็นตัวเย็นตัวในอากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 4.2-4 ภาพตัวอย่างการทดสอบแบบ bevel groove เย็นตัวในอากาศ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชุบน้ำมันที่หลังการเชื่อมทันทีทันใด



รูปที่ 4.2-5 ภาพตัวอย่างการทดสอบแบบ bevel groove ชุบน้ำมันที่หลังการเชื่อมทันทีทันใด
ชุบน้ำหลังจากเชื่อมเสร็จ 2 นาที



รูปที่ 4.2-6 ภาพตัวอย่างการทดสอบแบบ bevel groove ชุบน้ำหลังจากเชื่อมเสร็จ 2 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเรียนการสอน มิใช่เพื่อเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, ar39 cite the document when use.

-ตัวอย่างการทดสอบแบบ vee groove

อัตราการเย็นตัวเย็นตัวในอากาศ



รูปที่ 4.2-7 ภาพตัวอย่างการทดสอบแบบ vee groove เย็นตัวในอากาศ

ชุบน้ำที่ทันทีหลังการเชื่อมทันทีทันใด



รูปที่ 4.2-8 ภาพตัวอย่างการทดสอบแบบ vee groove ชุบน้ำที่ทันทีหลังการเชื่อมทันทีทันใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชุบน้ำหลังจากเชื่อมเสร็จ 2 นาที



รูปที่ 4.2-9 ภาพตัวอย่างการทดสอบแบบ bevel groove ชุบน้ำหลังจากเชื่อมเสร็จ 2 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1 ผลการทดสอบของตัวอย่างเมื่อเทียบกับรูปแบบการบากร่อง

จากการศึกษาพบว่ากำลังรับแรงดึงของรอยเชื่อมที่มีการยึดตัวที่อุณหภูมิห้องโดยมีการบากร่องแบบ vee groove มีอัตราแรงดึงเฉลี่ยคิดเป็น 67.24% ของกำลังที่ออกแบบ ซึ่งมากกว่ากำลังรอยเชื่อมที่มีการบากร่องแบบ square groove มีอัตราแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 65.11% ของกำลังที่ออกแบบ และการบากร่องแบบ bevel groove ให้อัตราแรงดึงเฉลี่ยที่น้อยที่สุดเท่ากับ 53.27%

ต่อมา กำลังรับแรงดึงของรอยเชื่อมที่ชุบน้ำหลังจากเชื่อมเสร็จ 2 นาที โดยมีการบากร่องแบบ vee groove มีอัตราแรงดึงเฉลี่ยคิดเป็น 119.26% ของกำลังที่ออกแบบ ซึ่งมากกว่ากำลังรอยเชื่อมที่มีการบากร่องแบบ square groove มีอัตราแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 99.39% ของกำลังที่ออกแบบ และการบากร่องแบบ bevel groove ให้อัตราแรงดึงเฉลี่ยที่น้อยที่สุดเท่ากับ 82.71%

ในส่วนของกำลังรับแรงดึงของรอยเชื่อมที่ชุบน้ำทันทีหลังการเชื่อมทันทีทันใดโดยมีการบากร่องแบบ square groove มีอัตราแรงดึงเฉลี่ยคิดเป็น 115.61% ของกำลังที่ออกแบบ ซึ่งมากกว่าอัตราแรงดึงเฉลี่ยที่มีการบากร่องแบบ bevel groove มีอัตราแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 76.82% ของกำลังที่ออกแบบ และการบากร่องแบบ vee groove ให้อัตราแรงดึงเฉลี่ยที่น้อยที่สุดเท่ากับ 17.99%

จากการตรวจสอบรอยเชื่อมรอยเชื่อมอันเนื่องมาจากรอยการเชื่อมไม่สมบูรณ์ทำให้ค่าอัตราส่วนของแรงนั้นอ้างอิงได้เพียงชิ้นส่วนตัวอย่างที่นำมาทำการทดสอบเท่านั้น

5.1.2 ผลการทดสอบของตัวอย่างเมื่อเทียบกับการยึดตัวในแบบต่างๆ

จากผลการทดสอบของรอยเชื่อมแบบ square groove ในการยึดตัวแบบต่างๆพบว่า การให้รอยเชื่อมยึดตัวในอากาศนั้นมีค่าความเค้นสูงสุดของรอยเชื่อมเฉลี่ยอยู่ที่ 2754.38 ksc. และความเค้นของการชุบน้ำทันทีมีผลให้ความเค้นสูงสุดเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 4855.58 ksc. ซึ่งคิดเป็น 77.56% ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการปล่อยให้ยึดตัวในอากาศ ส่วนรอยเชื่อมที่ชุบน้ำหลังจากเชื่อมเสร็จ 2 นาทีนั้นมีความเค้นสูงสุดเฉลี่ย 4174.58 ksc. โดยเป็น 52.66% ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการยึดตัวในอุณหภูมิปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่การทดสอบรอยเชื่อมแบบ vee groove รอยเชื่อมที่ยึดตัวในอากาศนั้นมีค่าความเค้นสูงสุดของรอยเชื่อมเฉลี่ยอยู่ที่ 2823.93 ksc. และความเค้นของการชุบน้ำทันทีมีผลให้ความเค้นสูงสุดลดลงเป็น 755.52 ksc. ซึ่งคิดเป็น 73.25% ที่ลดลงเมื่อเทียบกับการปล่อยให้ยึดตัวในอากาศซึ่งมาจากการที่

รอยเชื่อมของรูปแบบ vee groove นี้มีความไม่สมบูรณ์อันเนื่องมาจากการอาร์คของลวดที่ไวเกินไป และนำไปลดอุณหภูมิทันทีทันใดทำให้การหลอมละลายยังไม่สมบูรณ์ทำให้กำลังของรอยเชื่อมประเภทนี้ลดลงอย่างมาก ส่วนรอยเชื่อมที่ชุบน้ำหลังจากเชื่อมเสร็จ 2 นาทีนั้นมีความเค้นสูงสุดเฉลี่ย 5009.05 ksc. โดยเป็น 77.38% เมื่อเทียบกับการเย็นตัวในอุณหภูมิปกติ

ในการทดสอบรอยเชื่อมแบบ bevel groove มีผลการทดสอบความเค้นสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 2237.17 ksc. ในการเย็นตัวในอากาศในส่วนของรอยเชื่อมที่ชุบน้ำทันทีที่มีผลให้ความเค้นสูงสุดเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 3226.31 ksc. ซึ่งคิดเป็น 44.21% ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ และในส่วนของการรอยเชื่อมที่ชุบน้ำหลังจากเชื่อมเสร็จ 2 นาทีนั้นมีความเค้นสูงสุดเฉลี่ย 3473 ksc. โดยเป็น 55.27% ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการเย็นตัวในอุณหภูมิปกติ

จากการตรวจสอบรอยเชื่อมรอยเชื่อมอันเนื่องมาจากรอยการเชื่อมไม่สมบูรณ์ทำให้ค่าความเค้นสูงสุดเฉลี่ยนั้นอ้างอิงได้เพียงขึ้นส่วนตัวอย่างที่นำมาทำการทดสอบเท่านั้น

5.1.3 ผลการเปรียบเทียบค่าโมดูลัสยืดหยุ่น

จากกราฟที่แสดงในบทที่ 4 ได้จากการพลอตจากค่าความเครียดกับค่าความเค้นอ่านได้จาก Data Logger และ เครื่องทดสอบกำลังรับแรงดึง (UTM) จึงได้กราฟความสัมพันธ์ของความเครียดกับค่าความเค้นในช่วงอีลาสติคออกมา ซึ่งการเย็นตัวอากาศจะได้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยของทุกรูปแบบการบากร่องเป็น 1.78×10^6 ksc. ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานของเหล็กที่มีค่าเป็น 2×10^6 ksc. และในส่วนของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยทุกการบากร่องของรอยเชื่อมที่ทำการชุบน้ำทันทีที่มีค่าเป็น 3.47×10^6 ksc. และใส่ส่วนของการชุบน้ำหลังจากเชื่อมเป็นเวลา 2 นาที มีค่าเฉลี่ยของทุกรูปแบบการบากร่องการเชื่อมมีค่าเป็น 3.19×10^6 ksc. จึงสามารถบอกได้ว่าการลดอุณหภูมิของรอยการเชื่อมส่งผลต่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นทำให้มีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากการที่ให้รอยเชื่อมนั้นเย็นตัวในอากาศแล้วยังเพิ่มมากขึ้นมากกว่าของเหล็กที่นำมาใช้ทดสอบอีกด้วยซึ่งเหล็กที่นำมาทดสอบมีค่าเฉลี่ยของโมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดมีค่าดังนี้ 2.09×10^6 ksc. ที่มีค่าใกล้เคียงมาตรฐานของเหล็กทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

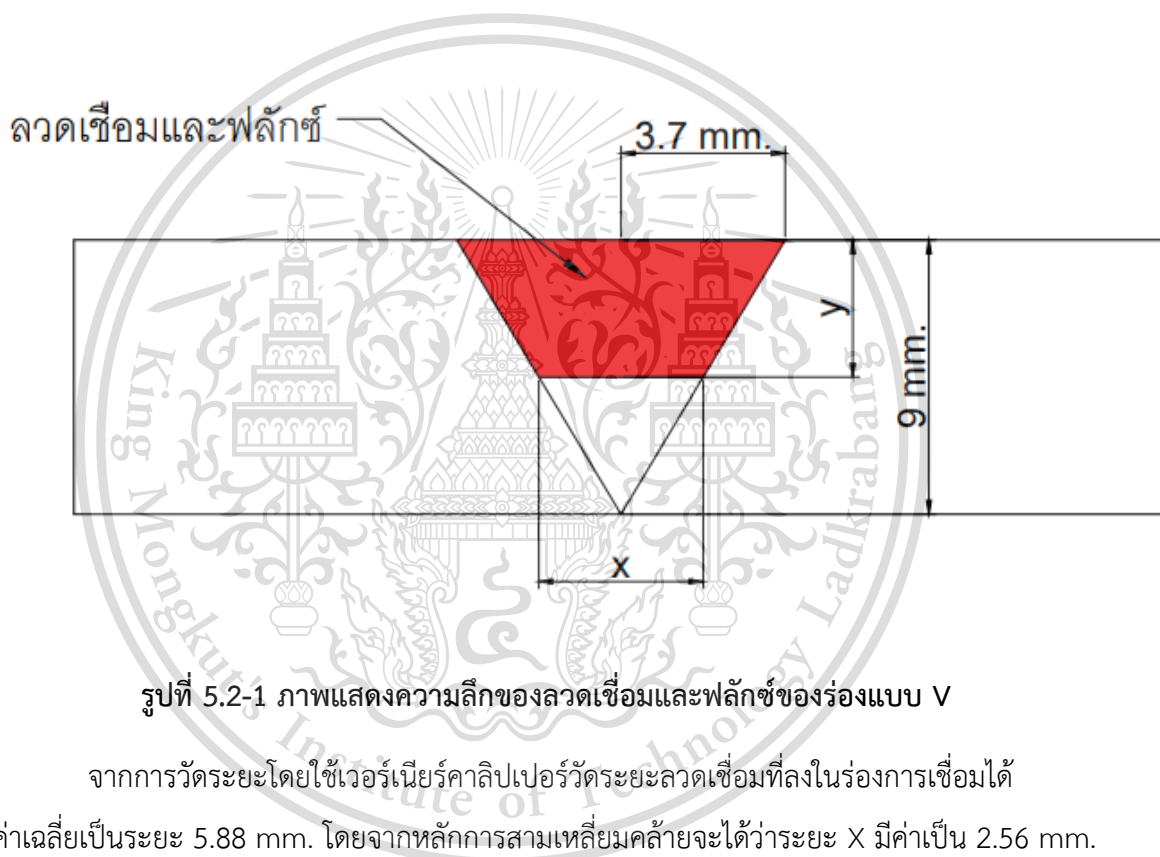
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and ⁴³ cite the document when use.

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะการเชื่อม

จากผลการทดสอบได้พบว่าลวดเชื่อมที่ได้ทำการเชื่อมไปนั้นไม่สามารถเชื่อมให้เต็มความลึกของเหล็กได้ดังในภาพที่แสดงในโครงการฉบับที่ 4 ในหัวข้อที่ 4.2 อันเนื่องมาจากกำลังไฟของเครื่องเชื่อมที่ทดสอบขับกำลังออกมาได้ไม่ตรงกันกับที่แสดงบนหน้าจอแสดงผลของเครื่องเชื่อม แล้วการยังรวมไปถึงเลือกองศาของร่องการเชื่อมที่ส่งผลและยังรวมไปถึงการไม่ได้เว้นร่องของการเชื่อมอีกด้วย



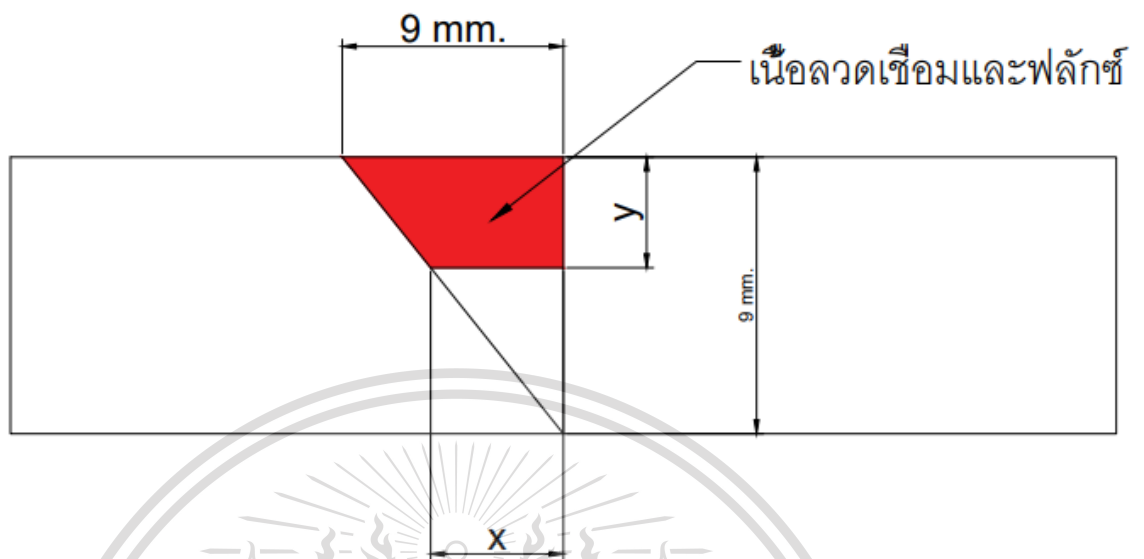
รูปที่ 5.2-1 ภาพแสดงความลึกของลวดเชื่อมและฟลักซ์ของร่องแบบ V

จากการวัดระยะโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์วัดระยะลวดเชื่อมที่ลงในร่องการเชื่อมได้ค่าเฉลี่ยเป็นระยะ 5.88 mm. โดยจากหลักการสามเหลี่ยมคล้ายจะได้ว่าระยะ X มีค่าเป็น 2.56 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5.2-2 ภาพแสดงความลึกของลวดเชื่อมและฟลักซ์ของร่องแบบ B

จากการวัดระยะโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์วัดระยะลวดเชื่อมที่ลงในร่องการเชื่อมได้ค่าเฉลี่ยเป็นระยะ 4.53 mm. โดยจากหลักการสามเหลี่ยมคล้ายจะได้ว่าระยะ X มีค่าเป็น 4.47 mm.

ตารางที่ 5.2-1 ตารางแสดงค่า x และ y

ลักษณะการบากร่อง	ระยะ y (mm.)	ระยะ x (mm.)
V	5.88	2.56
B	4.53	4.47

จากตารางแสดงว่าการเซาะร่องแบบ V ทำให้เนื้อลวดเชื่อมลงไปในเรื่องของการเชื่อมได้มากกว่าแบบ B และจากการที่ลวดเชื่อมลงได้ไม่เต็มทำให้รับแรงดึงไม่ได้เท่ากับที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.2.2 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับโครงการ

จากการศึกษาค้นคว้าและการทดสอบไปปรับใช้ให้เหมาะสมเนื่องจากโครงการพิเศษนี้มีขอบเขตที่จำกัดโดยรอยเชื่อมจากตัวอย่างนั้นมีความไม่สมบูรณ์แล้วยังมีการระบาดของโรค Covid-19 ทำให้ไม่สามารถทำเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบใหม่ได้จึงทำให้ข้อมูลต่างๆสามารถสรุปในชิ้นงานตัวอย่างที่ทำการทดสอบได้เท่านั้นแล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and ⁴⁶ cite the document when use.

บรรณานุกรม

- [1] American Institute of Steel Construction. (2016). *Specification for Structural Steel buildings*. Chicago, Illinois.
- [2] Duane K. Miller. (ม.ป.ป.). *Welded Connection A Primer For Engineers*. Cleveland, Ohio: American Institute of Steel Construction.
- [3] M.Sc. A.V. Adedayo, S.A. Ibitoye Ph.D., และ Ph.D. and K.M. Oluwasegun. (May 2012). Quenching Heat Treatment Effects on Steel Welds. *Pacific Journal of Science and Technology*. เข้าถึงได้จาก <http://www.akamaiuniversity.us/PJST.htm>
- [4] นาย ปิยะ แซ่จั่น. (พ.ศ. 2550). อิทธิพลของการเชื่อมจุดต่อในโครงถักที่มีต่อคุณสมบัติทางกลของท่อเหล็กกลมกลวงที่ผ่านการขึ้นรูปเย็น. *วิทยานิพนธ์*.
- [5] ผศ. ดร. มงคล จีรวรรณเดช. (2548). *การออกแบบโครงสร้างเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [6] ผศ. ดร. สิทธิชัย แสงอาทิตย์. (2545). *Structural Steel Design*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [7] ไม่ปรากฏผู้แต่ง. (ม.ป.ป.). *กรรมวิธีทางความร้อนของเหล็กกล้า*. พิสิฐสารขมมงคล.
- [8] สิทธิชัย แสงอาทิตย์, และ ศาสตราจารย์ สุขประเสริฐ. (เมษายน-มิถุนายน 2547). กำลังรับแรงดึงของรอยเชื่อมไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมต่อแผ่นเหล็กโดยช่างเชื่อมในจังหวัดนครราชสีมา. *วารสารเทคโนโลยีสุรนารี*.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and **48** cite the document when use.

ตารางที่ ก-1 ตารางแสดงพื้นที่รับแรงของรอยเชื่อม square groove

อัตราการเย็นตัว	ตัวอย่าง	ความยาวของรอยเชื่อม (mm)	ความหนาของรอยเชื่อม (mm)	พื้นที่ของการเชื่อม (cm ²)
เย็นตัวในอากาศ	S1	45.26	4.02	1.82
	S2	42.70	4.12	1.76
	S3	37.16	3.90	1.45
ชุบน้ำทันทีหลังการเชื่อมทันทีทันใด	S4	42.00	5.92	2.49
	S5	38.96	5.24	2.04
	S6	42.96	5.80	2.49
ชุบน้ำหลังจากเชื่อมเสร็จ 2 นาที	S7	37.88	5.66	2.14
	S8	40.98	6.02	2.47
	S9	42.84	5.00	2.14

ตารางที่ ก-2 ตารางแสดงพื้นที่รับแรงของรอยเชื่อม bevel groove

อัตราการเย็นตัว	ตัวอย่าง	ความยาวของรอยเชื่อม (mm)	ความหนาของรอยเชื่อม (mm)	พื้นที่ของการเชื่อม (cm ²)
เย็นตัวในอากาศ	B1	49.22	5.92	2.91
	B2	46.40	4.32	2.00
	B3	44.28	3.52	1.56
ชุบน้ำทันทีหลังการเชื่อมทันทีทันใด	B4	47.86	5.92	2.83
	B5	46.80	6.52	3.05
	B6	43.62	5.98	2.61
ชุบน้ำหลังจากเชื่อมเสร็จ 2 นาที	B7	44.92	5.82	2.61
	B8	43.60	4.86	2.12
	B9	47.36	4.00	1.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก-3 ตารางแสดงพื้นที่รับแรงของรอยเชื่อม single vee groove

อัตราการเย็นตัว	ตัวอย่าง	ความยาวของรอยเชื่อม (mm)	ความหนาของรอยเชื่อม (mm)	พื้นที่ของการเชื่อม (cm ²)
เย็นตัวในอากาศ	V1	38.77	4.16	1.61
	V2	27.53	3.20	0.88
	V3	45.06	4.00	1.80
ชุบน้ำทันทีหลังการเชื่อมทันทีทันใด	V4	33.62	4.32	1.45
	V5	34.77	4.02	1.40
	V6	35.30	3.64	1.29
ชุบน้ำหลังจากเชื่อมเสร็จ 2 นาที	V7	31.61	4.98	1.57
	V8	48.02	5.26	2.53
	V9	44.00	5.42	2.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and **50** cite the document when use.

ตัวอย่างข้อมูลดิบในการสร้างกราฟความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียด

s1		s2		s3		s4		s5		s6		s7		s8		s9	
strain	stress	strain	stress	strain	stress	strain	stress	strain	stress	strain	stress	strain	stress	strain	stress	strain	stress
-126.312	0	0	0	0.059525	26.2069	-75.0015	7.630522	-295.542	0	169.9439	0	-3.27388	8.878505	4.16675	7.692308	34.5245	8.878505
-128.872	0	0	0	17.6194	39.31034	-79.5849	15.26104	-295.78	9.313725	111.8475	0	4.464375	8.878505	5.535825	7.692308	39.0484	8.878505
-131.134	10.43956	0	10.79545	23.45285	52.41379	-84.3469	15.26104	-291.553	18.62745	72.68003	0	6.9049	17.75701	6.9049	7.692308	43.0961	8.878505
-133.396	10.43956	0	21.59091	28.92915	46.2069	-90.359	22.89157	-240.898	27.94118	67.91803	7.630522	11.01213	17.75701	6.488225	15.38462	43.21515	8.878505
-134.467	20.87912	14.58363	32.38636	33.75068	59.31034	-98.5139	22.89157	-248.874	46.56863	201.135	7.630522	22.26235	26.63551	7.202525	15.38462	39.16745	8.878505
-136.61	20.87912	138.9909	43.18182	33.27448	59.31034	-105.895	30.52209	-252.684	55.88235	198.754	15.26104	28.51248	26.63551	8.5716	15.38462	43.0961	17.75701
-138.634	31.31868	170.301	53.97727	35.65548	59.31034	-110.776	38.15261	-264.41	65.68627	267.1482	22.89157	32.97685	35.51402	11.48833	23.07692	42.91753	17.75701
-140.3	31.31868	169.8844	64.77273	31.36968	72.41379	-115.955	38.15261	-225.421	65.68627	285.2438	30.52209	38.75078	44.39252	14.82173	23.07692	47.56048	17.75701
-141.729	41.75824	316.3159	76.13636	36.13168	85.51724	-126.193	45.78313	-240.6	65.68627	332.2686	30.52209	44.82233	53.27103	20.89328	30.76923	49.64385	26.63551
-143.455	41.75824	319.7088	86.93182	38.98888	85.51724	-133.157	53.81526	-243.576	65.68627	338.4592	38.15261	50.89388	71.49533	26.78625	38.46154	52.67963	26.63551
-141.61	52.1978	343.1616	97.72727	43.75088	111.7241	-138.693	61.44578	-241.612	65.68627	340.483	45.78313	57.6202	71.49533	32.08398	38.46154	57.02495	26.63551
-138.158	52.1978	377.6861	108.5227	45.65568	113.7931	-144.348	69.07631	-238.338	84.31373	359.9477	53.81526	62.1441	80.37383	35.06023	38.46154	58.5726	35.51402
-141.134	52.1978	374.4123	108.5227	49.94148	124.8276	-149.943	76.70683	-233.517	93.62745	326.6137	53.81526	66.37038	80.37383	33.5721	46.15385	63.51318	35.51402
-138.812	52.1978	387.8044	108.5227	51.37008	137.931	-154.457	84.33735	-225.778	102.9412	318.8754	61.44578	74.2872	89.25234	35.83405	54.25101	63.51318	35.51402
-130.657	52.1978	393.4603	108.5227	51.37008	151.0345	-157.741	91.96787	-203.873	112.2549	309.7086	69.07631	80.954	107.0093	34.7626	61.94332	68.3347	44.39252
-121.848	52.1978	437.4492	108.5227	52.20343	164.1379	-163.218	99.59839	-199.111	130.8824	280.8985	76.70683	85.4779	115.8879	36.9055	69.63563	68.45375	53.27103
-111.133	62.63736	380.1862	119.3182	51.84628	191.0345	-167.741	107.2289	-193.397	140.1961	266.8506	84.33735	89.82323	124.7664	38.096	77.32794	76.48963	53.27103
-108.216	73.62637	393.0436	130.1136	53.03678	191.0345	-170.539	114.8594	-189.587	149.5098	256.3742	91.96787	93.63283	133.6449	39.46508	85.02024	74.22768	62.61682
-102.264	73.62637	427.0324	140.9091	55.17968	204.1379	-174.23	122.49	-185.778	158.8235	246.1359	99.59839	95.24	151.4019	39.34603	92.71255	79.40635	62.61682
-100.538	84.06593	366.8526	151.7045	58.45955	217.2414	-176.075	130.1205	-186.254	168.1373	247.5645	107.2289	96.13288	169.1589	43.03658	100.4049	79.16825	62.61682
-98.1567	84.06593	335.6615	162.5	63.75128	230.3448	-174.944	126.506	-167.682	177.451	280.8985	114.8594	96.84718	187.3832	41.48893	115.7895	82.91833	62.61682
-91.8471	94.50549	386.5554	173.2955	71.48953	243.4483	-175.658	126.506	142.8005	186.7647	277.5651	122.49	97.91863	214.0187	44.58423	123.4818	85.53743	71.49533
-86.7875	94.50549	390.9007	173.2955	81.78735	256.5517	-172.325	126.506	118.9905	196.5686	291.8511	130.1205	100.1211	231.7757	46.54855	138.8664	90.7161	71.49533
-83.0374	104.9451	358.6381	184.0909	92.79948	269.6552	-172.325	134.1365	109.4665	215.1961	296.6131	145.3815	102.5021	249.5327	48.15573	154.251	92.6209	80.37383
-76.2515	104.9451	338.9949	194.8864	105.5378	295.8621	-164.944	141.7671	89.46608	233.8235	291.3749	161.0442	104.2283	267.2897	49.70338	170.0405	94.88285	80.37383
-71.2514	115.3846	281.1366	205.6818	119.2286	308.9655	-155.301	149.3976	123.7525	252.451	290.4225	168.6747	107.2045	293.9252	52.20343	185.4251	97.97815	98.13084
-67.6799	115.3846	231.7904	216.4773	133.217	335.1724	-142.443	157.0281	117.0857	261.7647	281.8509	176.3052	111.8475	312.1495	53.03678	193.1174	101.5497	107.0093
-60.2988	136.2637	244.1716	238.6364	146.372	348.2759	-130.062	172.2892	113.7523	280.3922	273.5174	183.9357	114.169	338.785	57.32258	216.1943	104.8831	107.0093
-51.9653	136.2637	218.2782	249.4318	159.2889	362.069	-119.11	187.5502	110.8951	289.7059	267.5649	199.1968	118.6333	356.5421	60.77503	231.5789	109.2879	115.8879
-46.2509	136.2637	166.1343	260.2273	169.4677	388.2759	-108.633	195.1807	109.2284	299.0196	260.1838	214.4578	123.3358	356.5421	66.72753	254.6559	114.6452	124.7664
-39.6437	146.7033	213.0995	281.8182	177.5036	427.5862	-99.1091	202.8112	103.514	299.0196	252.8027	222.0884	123.574	374.2991	74.16815	270.4453	119.9429	133.6449
-33.1554	157.1429	158.0389	292.6136	187.9204	433.7931	-90.5375	210.8434	97.56148	299.0196	251.3741	237.3494	133.6932	418.6916	81.37068	293.5223	122.8001	142.5234
-25.2981	157.1429	98.93055	303.4091	198.0397	446.8966	-84.8231	218.4739	93.75188	317.6471	244.7073	252.6104	139.4076	445.7944	89.70418	316.5992	133.3955	160.2804
-17.798	167.5824	158.0389	325	207.9804	473.7931	-79.2278	226.1044	92.79948	336.7647	255.8385	268.2731	140.5981	490.1869	97.68053	316.5992	144.9434	178.0374
-8.63113	178.022	126.7883	335.7955	219.8258	500	-75.7753	241.3655	93.75188	355.3922	256.1361	275.9036	141.3124	552.8037	105.1212	339.6761	153.1578	187.3832
0.892875	188.4615	151.8483	357.3864	230.0046	513.1034	-72.9777	248.996	93.75188	383.3333	256.7909	275.9036	147.9792	606.0748	112.4427	386.2348	161.789	205.1402
9.226375	198.9011	103.7521	368.1818	240.481	526.2069	-72.4419	264.257	95.65668	420.5882	257.3266	275.9036	157.3246	686.4486	119.9429	432.3887	169.2296	222.8972
18.03608	209.3407	146.9672	390.3409	250.3026	530.3448	-70.3586	279.5181	98.03768	449.0196	257.6837	283.5341	168.9915	775.2336	126.9073	455.4656	177.8012	240.6542
27.08388	220.3297	126.3716	401.1364	259.529	532.4138	-70.7157	287.1486	100.4187	475.9804	258.398	298.7952	181.6703	837.8505	134.586	509.7166	186.1347	267.2897
36.78645	230.7692	135.4194	422.7273	268.8149	572.4138	-75.061	302.4096	103.514	514.2157	260.1243	314.0562	194.8253	900	143.4553	555.8704	193.9325	285.0467
47.32238	241.2088	167.5629	433.5227	275.1841	598.6207	-79.8826	318.0723	107.5617	551.4706	263.3386	336.9478	213.2186	1015.888	152.1459	625.5061	202.8017	302.8037
57.56068	251.6484	117.0857	433.5227	276.3151	637.931	-84.9422	318.0723	111.2522	589.2157	265.6006	367.8715	238.3976	1149.533	162.2652	679.3522	213.04	321.028
68.51328	262.0879	198.3968	433.5227	278.0413	664.1379	-89.6447	318.0723	117.5024	645.098	274.0531	390.7631	259.6481	1319.159	170.6582	741.2955	224.4688	347.6636

รูปที่ ก-1 ข้อมูลดิบในการสร้างกราฟความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดของการบากร่อง แบบ square groove

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

B1		B2		B5		B6		B8		B9	
strain	stress	strain	stress	strain	stress	strain	stress	strain	stress	strain	stress
291.1963	6.21118	183.6346	10.55556	-42.5009	13.57143	-82.3231	14.72868	56.54875	0	43.92945	7.983193
306.9109	18.01242	200.3612	21.11111	-50.4177	27.14286	-78.1563	29.45736	56.07255	0	54.16775	7.983193
319.3516	18.01242	216.4924	31.66667	-59.7631	54.28571	-70.1205	29.45736	52.20343	0	61.4298	7.983193
338.9949	18.01242	233.338	42.22222	-69.7633	67.85714	-63.156	44.18605	48.87003	7.509881	67.1442	7.983193
358.7572	29.81366	250.005	52.77778	-80.954	102.8571	-53.9892	37.2093	47.44143	7.509881	73.63243	15.96639
377.6266	41.61491	266.6125	47.77778	-91.7876	109.2857	-43.3937	14.72868	43.0961	7.509881	79.70398	15.96639
391.4364	41.61491	284.1128	47.77778	-97.9186	136.4286	-35.8341	14.72868	37.97695	15.01976	87.02555	23.94958
401.0199	41.61491	300.4822	58.33333	-103.395	136.4286	-28.2149	44.18605	35.77453	15.01976	92.32328	23.94958
408.6391	53.41615	317.7445	68.88889	-106.371	136.4286	-22.0243	58.91473	32.97685	22.52964	97.20433	31.93277
419.4727	53.41615	336.0186	79.44444	-110.657	136.4286	-14.286	73.64341	28.27438	22.52964	103.2164	39.91597
427.0324	65.21739	352.9237	90	-116.609	150	-5.83345	88.37209	25.59575	30.03953	110.776	39.91597
438.5802	77.01863	368.9955	100.5556	-119.883	163.5714	0.297625	88.37209	21.72663	37.54941	120.1215	39.91597
447.5685	88.81988	385.7815	111.1111	-114.467	177.1429	8.69065	103.876	30.17918	37.54941	133.0384	39.91597
461.3188	88.81988	403.2819	121.6667	-92.1447	204.2857	18.39323	125.5814	30.953	37.54941	141.4909	47.89916
472.6285	100.6211	421.1989	132.2222	-70.9538	217.8571	24.16715	125.5814	34.82213	37.54941	152.1459	56.30252
483.9978	112.4224	438.6397	142.7778	-51.0129	231.4286	32.73875	155.0388	40.29843	45.05929	161.4913	64.28571
496.7361	124.2236	456.9139	142.7778	-39.7032	258.5714	42.1437	169.7674	47.32238	52.96443	169.7058	64.28571
510.0697	136.0248	475.0095	153.8889	-28.3339	286.4286	52.382	184.4961	53.27488	60.47431	179.9441	72.26891
521.7366	147.8261	494.8909	164.4444	-15.9527	300	61.6679	214.7287	63.45365	60.47431	190.7776	80.2521
535.4869	159.6273	516.7365	196.1111	-3.8096	327.1429	74.5253	221.7054	72.68003	67.98419	202.5041	88.23529
553.523	172.0497	539.8322	217.2222	11.01213	354.2857	88.21605	236.4341	91.37088	75.49407	213.3376	96.21849
569.2971	183.8509	568.0471	248.8889	27.6196	367.8571	101.3116	265.8915	112.3832	83.00395	222.683	104.2017
591.4404	207.4534	599.2382	280.5556	43.8104	395	112.5618	280.6202	134.2884	90.51383	233.4571	112.1849
610.1313	219.2547	634.8937	291.6667	59.34643	422.1429	124.4073	295.3488	155.8365	98.02372	242.8025	120.1681
630.1912	231.0559	671.0849	323.3333	75.89438	449.2857	136.848	340.3101	175.4202	105.5336	253.9337	128.1513
646.501	254.6584	709.2404	354.4444	93.0971	477.1429	149.5268	340.3101	191.4324	113.0435	264.8863	136.1345
660.9656	278.2609	746.0268	386.6667	101.6687	504.2857	161.0747	384.4961	207.147	120.5534	276.3151	152.1008
675.8469	290.0621	787.6348	407.7778	115.7761	531.4286	172.9201	413.9535	222.0283	128.0632	286.0772	160.084
695.8473	313.6646	838.0525	440	131.1336	558.5714	185.6585	413.9535	237.5048	143.083	296.1964	176.4706
712.0381	326.087	874.6604	440	151.5507	558.5714	195.123	458.1395	248.3383	150.5929	307.149	192.437
729.9551	349.6894	907.3396	471.6667	171.7892	558.5714	206.6113	472.8682	262.9219	166.0079	313.8158	208.4034
747.9316	361.4907	940.9117	513.3333	191.4324	572.1429	215.3019	517.8295	277.327	181.0277	319.1135	224.3697
768.944	385.0932	975.8529	556.1111	211.4923	640	225.8974	554.2636	290.5415	196.0474	327.1494	248.3193
789.4206	408.6957	1015.377	598.8889	231.5523	681.4286	239.1119	583.7209	302.5656	211.0672	337.6258	264.2857
810.5519	432.2981	1051.569	651.6667	237.0286	749.2857	252.5051	613.9535	315.423	226.087	346.6736	280.6723

รูปที่ ก-2 ข้อมูลดิบในการสร้างกราฟความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดของการบากร่องแบบ bevel groove

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

v1		v3		v6		v7		v8		v9	
strain	stress	strain	stress	strain	stress	strain	stress	strain	stress	strain	stress
0.12547	3.325386	-11.0872	3.444814	-23.9216	-0.34916	-33.8697	19.68912	-17.798	0	40.46047	10.73446
20.15612	14.85227	0.160265	9.068526	-14.7416	9.128112	-28.1553	29.53368	-26.072	0	43.73354	21.46893
39.15617	18.69457	3.909406	16.56681	-8.33704	17.02584	-22.2028	39.37824	-34.8221	8.050847	60.08965	21.46893
63.15616	32.14261	11.40769	25.93966	-2.46616	24.92356	-15.9527	49.2228	-41.9056	8.050847	65.18318	21.46893
81.15616	49.43294	20.15569	33.43795	3.404721	31.505	-9.16685	59.06736	-48.1557	16.10169	80.6839	21.46893
101.8856	66.72327	35.15225	42.8108	8.741886	39.40273	-2.50005	69.43005	-52.1439	16.10169	88.72065	21.46893
125.7986	84.0136	41.40082	48.43451	12.4779	47.30045	4.226275	89.11917	-54.2868	24.15254	94.6351	21.46893
138.5465	97.46164	51.39853	55.93279	18.34878	59.14704	11.36928	98.96373	-54.1082	24.15254	102.5773	32.20339
162.1862	114.752	60.14653	63.43108	21.55108	64.41219	18.51228	98.96373	-51.5487	24.15254	121.7256	32.20339
185.1236	130.1212	75.14309	69.05479	25.82081	74.94249	25.65528	108.8083	-46.7271	32.20339	125.2319	42.93785
204.6631	160.8595	82.64138	72.80393	30.62426	86.78908	32.73875	118.6528	-40.5365	32.20339	132.5765	53.67232
218.9945	185.8345	88.88995	78.42764	38.63001	102.5845	40.29843	128.4974	-36.2507	40.25424	147.5659	53.67232
242.4578	214.6517	96.38323	87.8005	46.10204	118.38	47.79858	138.342	-31.0125	48.30508	161.061	64.40678
259.3215	251.1535	106.3859	102.7971	55.70894	138.1243	56.13208	148.1865	-26.2505	48.30508	168.1774	64.40678
288.2277	266.5227	117.6334	119.6682	63.71469	155.236	65.59655	158.0311	-21.9647	48.30508	179.6923	75.70621
302.7819	281.8919	125.1317	134.6648	72.25415	171.0315	75.18008	167.8756	-18.6313	56.77966	185.7942	86.44068
319.0215	314.5514	141.3779	168.407	83.99591	192.0921	84.70408	177.7202	-14.3455	56.77966	189.1158	97.17514
344.8569	335.684	146.3768	179.6545	94.13653	213.1527	93.98998	187.5648	-12.9169	64.83051	201.3409	107.9096
361.8836	372.1858	151.3756	190.9019	100.0074	222.3667	101.252	207.772	-11.0121	64.83051	207.7475	118.6441
382.9753	397.1607	156.3745	204.0239	109.6143	238.1621	108.7522	217.6166	-9.58353	72.88136	224.5084	129.3785
399.0255	475.9278	160.1236	213.3967	119.7549	252.6413	117.4428	237.3057	-6.72633	72.88136	230.4947	140.113
418.8852	489.3758	161.3734	220.895	126.6932	263.1716	126.6097	256.9948	-5.29773	72.88136	241.737	150.8475
442.5168	447.1106	168.8716	228.3933	136.3001	278.9671	131.8479	251.8135	-2.20243	80.9322	248.6563	150.8475
468.2259	435.7742	171.3711	243.3899	145.907	296.0788	146.0148	272.0207	-1.48813	80.9322	249.6406	172.3164
479.723	529.7199	172.6208	256.5119	156.0476	313.1905	154.2293	301.5544	0.416675	80.9322	251.4876	183.0508
503.3657	537.4045	183.8682	271.5084	167.2557	331.6186	165.539	316.0622	3.988175	88.98305	252.6133	193.7853
518.1568	581.5909	186.3676	282.7559	178.4637	350.0466	174.7059	325.9067	5.2382	88.98305	255.3816	193.7853
549.6385	600.8024	192.6162	307.1253	187.5369	367.1583	184.2299	355.9585	5.35725	88.98305	257.2086	215.2542
565.7866	637.3042	188.8671	322.1218	197.1438	386.9026	192.6824	365.8031	3.92865	88.98305	257.737	226.5537
575.3655	652.6734	197.6151	325.871	205.6833	402.6981	195.1825	385.4922	0.9524	88.98305	259.4434	237.2881
601.0148	662.2792	216.3608	331.4947	222.7622	438.2379	194.8253	395.3368	-3.0953	88.98305	265	237.2881
622.3048	719.9136	218.8602	342.7421	238.7737	464.5636	194.9444	395.3368	-5.41678	88.98305	258.9058	248.0226
636.3623	741.0462	221.3596	363.3624	262.7909	513.2662	195.9563	395.3368	-6.1906	88.98305	259.8121	258.7571
724	769.8635	222.6093	382.1081	284.6733	546.1734	206.6113	405.1813	-6.60728	88.98305	263.0016	269.4915
805.4156	817.8922	246.3539	427.0978	319.3649	589.6109	216.1353	410.3627	-4.40485	88.98305	267.6233	290.9605
902.1561	877.4176	263.8499	468.3384	360.9948	634.3647	232.3261	420.2073	0.178575	88.98305	267.8613	301.6949
952.1565	897.0144	301.3413	492.7078	381.8097	658.0579	245.6597	439.8964	7.202525	97.0339	269.8322	312.4294
1023.892	947.0953	338.8327	509.5789	442.5533	704.6627	258.6361	479.2746	11.25023	97.0339	275.2408	323.1638
1256.154	1003.708	381.323	526.45	525.9465	763.7928	271.3745	508.8083	17.91703	105.0847	282.2044	333.8983
1421.156	1038.547	546.9971	556.8208	687.5209	838.3481	284.1724	528.4974	19.58373	105.0847	299.5037	355.3672
1541.999	1069.031	708.3154	589.2507	921.0218	888.4482	298.5179	578.2383	27.91723	113.1356	316.9263	377.4011
1680.565	1101.693	984.3859	621.6807	1139.929	948.1561	314.3515	617.6166	38.03648	113.1356	339.8221	388.1356
1722.115	1171.37	1368.556	626.6699	1472.754	995.1235	333.1019	677.2021	47.32238	113.1356	341.3912	398.8701

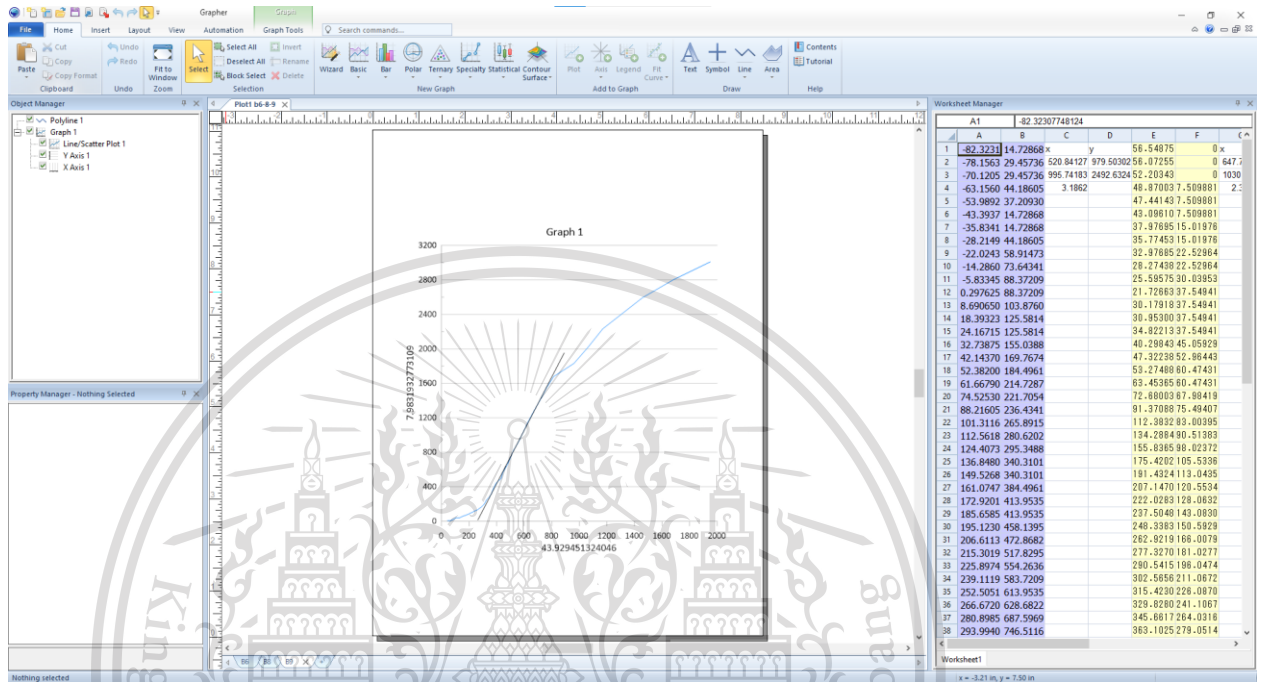
รูปที่ ก-3 ข้อมูลดิบในการสร้างกราฟความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดของการบากร่อง
แบบ vee groove

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

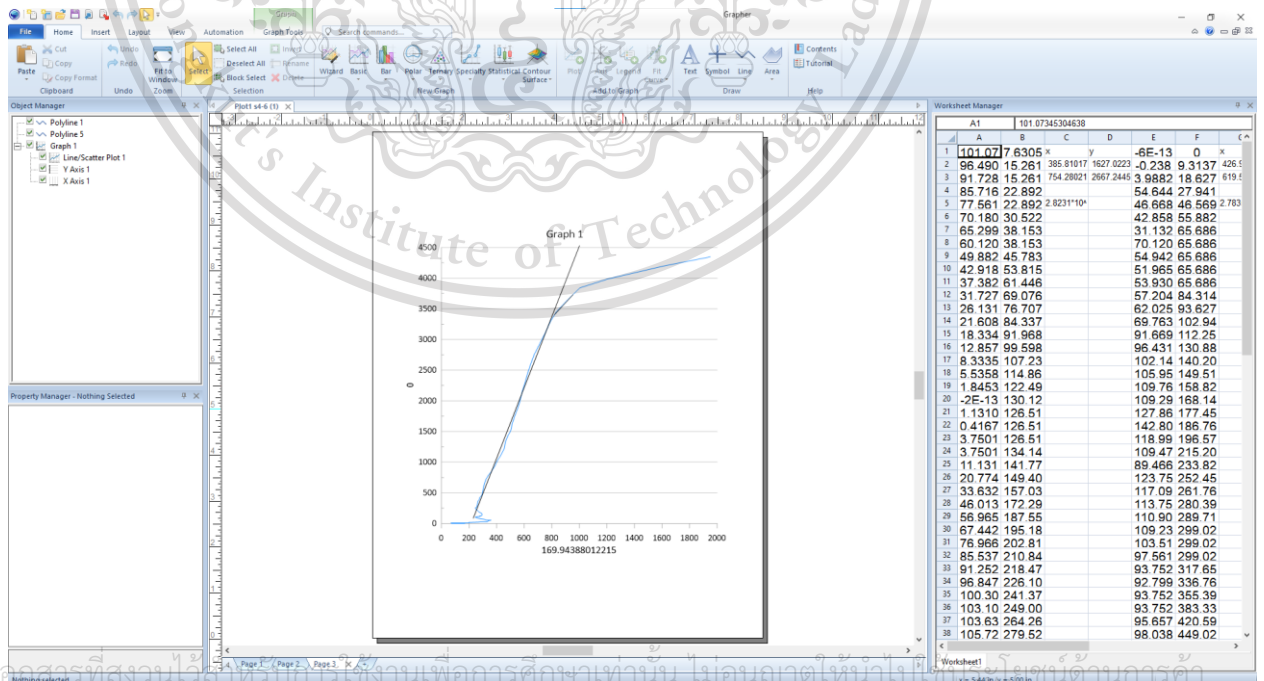
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตัวอย่างการหาค่าโมดูลัสยัดหยุ่น



รูปที่ ก-4 ตัวอย่างการหาค่าโมดูลัสยัดหยุ่นในโปรแกรม Grapher (1)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในงานด้านธุรกิจ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ ก-5 ตัวอย่างการหาค่าโมดูลัสยัดหยุ่นในโปรแกรม Grapher (2) ครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการหาค่ากำลังของรอยเชื่อม

	load	area	stress	Load Design	tensile ratio
s1	3929	1.82	2158.79	7644	51.40
s2	5580	1.76	3170.45	7392	75.49
s3	4168	1.45	2874.48	6090	68.44
s4	11683	2.49	4691.97	10458	111.71
s5	10042	2.04	4922.55	8568	117.20
s6	12331	2.49	4952.21	10458	117.91
s7	9537	2.14	4456.54	8988	106.11
s8	10757	2.47	4355.06	10374	103.69
s9	7944	2.14	3712.15	8988	88.38

	load	area	stress	Load Design	tensile ratio
b1	3672	1.61	2280.75	6762	54.30
b2	1526	0.88	1734.09	3696	41.29
b3	4854	1.8	2696.67	7560	64.21
b4	4816	1.45	3321.38	6090	79.08
b5	4388	1.4	3134.29	5880	74.63
b6	4158	1.29	3223.26	5418	76.74
b7	2728	1.57	1737.58	6594	41.37
b8	10443	2.53	4127.67	10626	98.28
b9	10843	2.38	4555.88	9996	108.47

	load	area	stress	Load Design	tensile ratio
v1	2594	1.27	2042.52	5334	48.63
v2	5312	2.34	2270.09	9828	54.05
v3	7029	1.69	4159.17	7098	99.03
v4	448	1.74	257.47	7308	6.13
v5	1564	1.61	971.43	6762	23.13
v6	2480	2.39	1037.66	10038	24.71
v7	9146	1.93	4738.86	8106	112.83
v8	12531	2.36	5309.75	9912	126.42
v9	8812	1.77	4978.53	7434	118.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้รูปที่ ก-5 ตัวอย่างการหาค่ากำลังของรอยเชื่อม

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.