

อิทธิพลของวัฏจักรความร้อนที่มีผลต่อโลหะเชื่อมมิกเหล็กกล้าเครื่องมือเกรด

SKD 11

THE INFLUENCE OF HEAT CYCLES ON THE JOINT
PROPERTIES OF THE TOOL STEEL (SKD 11) MIG WELDING

ดำรงค์มิตร เขียนขุนทด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

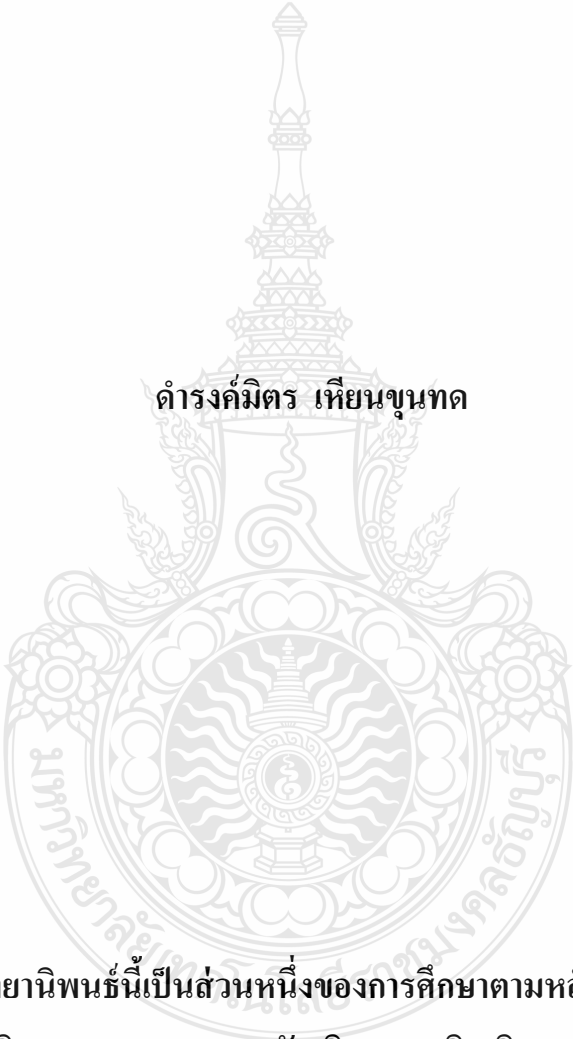
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อิทธิพลของวัฏจักรความร้อนที่มีผลต่อโลหะเชื่อมมิกเหล็กกล้าเครื่องมือ

เกรด SKD 11



ดำรงคัมภีร์ เขียนขุนทด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

**The Influence of Heat Cycles on the Joint Properties of the Tool
Steel (SKD 11) MIG Welding**

Damronkmitr Hiankhunthod

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
PROGRAM IN MANUFACTURING ENGINEERING**

FACULTY OF ENGINEERING

RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

ACADEMIC YEAR 2014

COPYRIGHT OF RAJAMANGALA UNIVERSITY

OF TECHNOLOGY THANYABURI

หัวข้อวิทยานิพนธ์

อิทธิพลของวัฏจักรความร้อนที่มีผลต่อโลหะเชื่อมมิกเหล็กกล้า
เครื่องมือเกรด SKD11

The Influence of Heat Cycles on the Joint Properties of The Tool Steel
(SKD 11) MIG Welding

ชื่อ - นามสกุล

นายดำรงคัมิตร์ เขียนขุนทด

สาขาวิชา

วิศวกรรมการผลิต

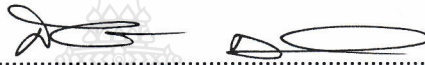
อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.

ปีการศึกษา

2557

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศรีชัย ต่อสกุล, Dr.-Ing.)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชัย จันทน์มณี, Ph.D.)



กรรมการ

(อาจารย์ชัยยะ ปราณิตพลกรัง, D.Eng.)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 24 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2557

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของวัฏจักรความร้อนที่มีผลต่อ โลหะเชื่อมมิกเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD 11
ชื่อ - นามสกุล	นายดำรงคัมิตร์ เขียนขุนทด
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

การเชื่อมซ่อมเป็นหนึ่งในวิธีการสำคัญในการซ่อมแม่พิมพ์ที่เสียหายเนื่องจากการใช้งาน และสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพในอุตสาหกรรมหลายอย่าง การศึกษาหาค่าตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมในการเชื่อมซ่อมแม่พิมพ์จึงเป็นงานสำคัญที่มีการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมซ่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่มีผลต่อสมบัติเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นเกรด SKD11 และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการอบชุบและสมบัติของโลหะเชื่อมเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น SKD11

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น JIS-SKD11 ที่ถูกเตรียมด้วยวิธีการกลึงให้มีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า กึ่งกลางแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าถูกเตรียมร่องตัววี 60 องศา ทำการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมด้วยตัวแปรการเชื่อมต่างๆ ชิ้นงานเชื่อมที่ได้ถูกนำไปทำการอบชุบด้วยความร้อนด้วยกระบวนการต่างๆ เช่น การชุบแข็ง การอบคืนไฟ และการอบอ่อน เพื่อปรับปรุงสมบัติของชิ้นงานเชื่อม ชิ้นงานเชื่อมที่ผ่านการอบชุบถูกนำไปทำการศึกษาเพื่อหาค่าความแข็งแรงกระแทก ความแข็ง และโครงสร้างโลหะจุลภาค

ผลการทดลองโดยสรุปดังนี้ กระแสเชื่อมและความเร็วเดินเชื่อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ความแข็งแรงกระแทกหรือค่าดูดซับพลังงานลดลง ตัวแปรการเชื่อมให้ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงสุด คือ กระแสเชื่อม 175 A และความเร็วเดินเชื่อม 200 mm/min มีค่าประมาณ 24 J การอบชุบชิ้นงานเชื่อมส่งผลทำให้ธาตุ โครเมียม และ โมลิบดีนัม มีการกระจายตัวในโลหะเชื่อม ธาตุเหล่านี้มีปริมาณการกระจายตัวสูงในชิ้นงานเชื่อมที่ผ่านการชุบแข็งและทำให้ค่าความแข็งมีแนวโน้มสูงขึ้น

คำสำคัญ : การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น

Thesis Title	The Influence of Heat Cycles on the Joint Properties of the Tool Steel (SKD 11) MIG Welding
Name – Surname	Mr. Damronkmitr Hiankhunthod
Program	Manufacturing Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Kittipong Kimapong, Ph.D.
Academic Year	2014

ABSTRACT

A welding process is an important method used for repairing a metal forming molds that need to restore their working condition. An optimization of welding process parameters used for repairing the defected molds are important and continuously developed. This research aims to study an influence of the gas metal arc welding (MIG) parameters upon the jointed properties of the cold work tool steel (SKD11).

The study was carried out by using MIG welding process on the SKD 11 material. A rectangular shape material was grooved, 60° V-shape at the center line along the length. The groove was welded by MIG welding process at various welding parameters. After that, the welded samples were heat treated to obtain different conditions such as hardening, tempering, and annealing in order to improve properties of the weldment. The properties of heat treated weldments were investigated for their impact strength, hardness and microstructure. These properties were compared to identify the relationship between a heat treatment process and MIG welding parameters related to the weldment properties.

The experimental results showed that the welding current and speed affected to the impact strength as the welding current and speed increased, the impact strength was decreased. The maximum impact strength of 24J could be obtained by applying welding parameters at 175A of welding current and 200 mm/min. of welding speed. The results of the EDX examination showed that the treatment of the weldment dispersed the alloying elements such as chromium and molybdenum into the weldment. These affected directly to increase the hardness of the weldment.

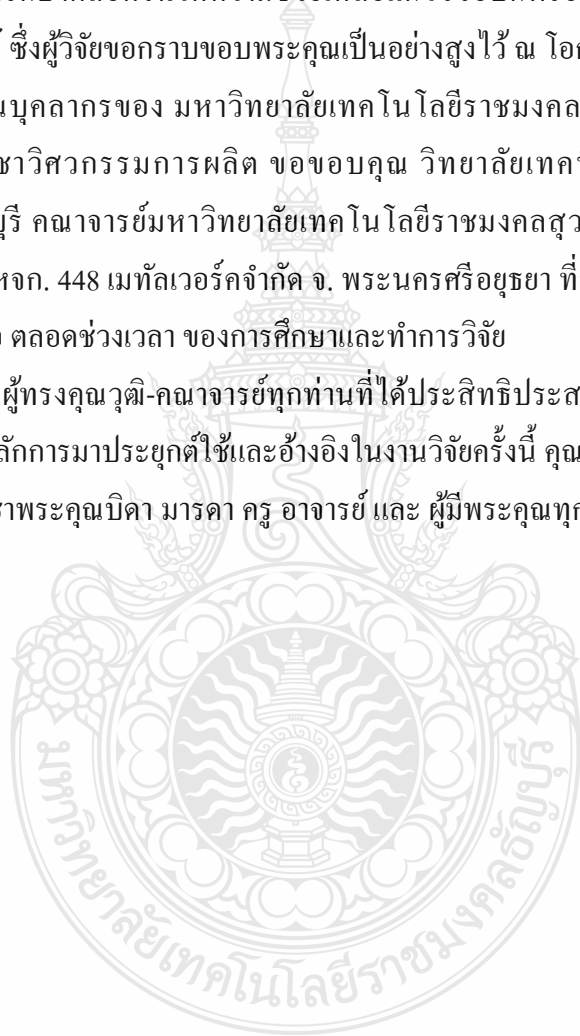
Keywords : gas metal arc welded, cold work tool steel

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.ชัยยะ ปรานีตพลกรัง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล คณะกรรมการสอบ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย จันทน์มณี ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณบุคลากรของ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ขอขอบคุณ วิทยาลัยเทคนิคชัชนาท คณาจารย์-ครูวิทยาลัยเทคนิคสระบุรี คณาจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ(สุวรรณบุรี) และคุณสุระชัย ขะมาลา หจก. 448 เมทัลเวอร์คจำกัด จ. พระนครศรีอยุธยา ที่สนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้ และให้ความช่วยเหลือ ตลอดช่วงเวลา ของการศึกษาและทำการวิจัย

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ-คณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชา บ่มเพาะวิชาการจนผู้วิจัยสามารถนำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้ คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และ ผู้มีพระคุณทุกท่าน



ดำรงกัมิตร์ เขียนขุนทด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(12)
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 เหล็กกล้าเครื่องมือ.....	4
2.2 กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม.....	6
2.3 ชนิดของแก๊สคลุม.....	8
2.4 กระบวนการทางความร้อน (Heat treatment).....	9
2.5 การทดสอบหาสมบัติทางกล (Mechanical Test).....	17
2.6 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา.....	20
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	23
3.1 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย.....	23
3.2 กระบวนการทางความร้อนก่อนการเชื่อม.....	26
3.3 กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม.....	28
3.4 การทดสอบสมบัติทางกล.....	29

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล	35
4.1 อิทธิพลของกระแสเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงกระแทก.....	35
4.2 อิทธิพลของความเค้นเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงกระแทก	36
4.3 การเปรียบเทียบลักษณะการพังทลาย	37
4.4 ผลการทดสอบความแข็งของรอยเชื่อม.....	38
4.5 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค.....	39
4.6 อิทธิพลของกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment) ที่มีผลต่อความแข็งแรง กระแทก	41
4.7 ลักษณะการพังทลายของชิ้นที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment).....	42
4.8 ผลตรวจสอบการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุด้วยเทคนิค EPMA-Mapping EMPA รอยพังทลายที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment).....	43
4.9 การเปรียบเทียบความแข็งของรอยเชื่อมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment).....	47
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	49
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	49
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	50
รายการอ้างอิง.....	51
ภาคผนวก.....	54
ภาคผนวก ก ลักษณะโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม.....	55
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบสมบัติทางกล.....	65
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบชิ้นงานผ่านกระบวนการทางความร้อน	72
ภาคผนวก ง ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	75
ประวัติผู้เขียน.....	90

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น SKD 11 (ร้อยละโดยน้ำหนัก %)...	23
ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม (ร้อยละโดยน้ำหนัก %).....	24



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม	7
รูปที่ 2.2 รูปแบบโครงสร้างของแนวเชื่อม	7
รูปที่ 2.3 ลักษณะรอยเชื่อม และการซึมลึกเมื่อใช้ แก๊สปกคลุมชนิดต่างๆ.....	9
รูปที่ 2.4 แผนภาพสรุปรูปแบบของการอบชุบสำหรับ (a) เหล็กกล้าไฮโปยูเทคตอย และ (b) เหล็กกล้าไฮเปอร์ยูเทคตอย	10
รูปที่ 2.5 โครงสร้างซีเมนไตท์กลมมนในพื้นที่หลักเฟอไรท์ กำลังขยาย 850 เท่า.....	11
รูปที่ 2.6 การทำอสเทมเปอริงและการอบอ่อนที่อุณหภูมิคงที่ในเหล็กกล้า 1080	12
รูปที่ 2.7 แผนภูมิ TTT ของ (a) เหล็กกล้า 1050 และ (b) เหล็กกล้า 10110 (หมายถึงอสเทนไนท์ที่ไม่เสถียรและพร้อมในการเปลี่ยนแปลง).....	13
รูปที่ 2.8 แผนภูมิ TTT ของ (a) เหล็กกล้า 1050 และ (b) เหล็กกล้า 10110 (หมายถึงอสเทนไนท์ที่ไม่เสถียรและพร้อมในการเปลี่ยนแปลง).....	14
รูปที่ 2.9 ผลของอุณหภูมิการอบคืนไฟต่อสมบัติทางกลเหล็กกล้า 1050.....	15
รูปที่ 2.10 การเกิดรอยแตกร้าวที่มีสาเหตุมาจากความเค้นตกค้างที่เกิดขึ้นในการเปลี่ยนเฟสจาก ออสเทนไนท์เป็นมาเทนไซต์ขณะทำการอบชุบ.....	16
รูปที่ 2.11 การเปรียบเทียบค่า Modulus of Toughness ของวัสดุเหนียวและวัสดุเปราะ	18
รูปที่ 2.12 การเกิดรอยแตกร้าวที่มีสาเหตุมาจากความเค้นตกค้างที่เกิดขึ้นในการเปลี่ยนเฟสจาก ออสเทนไนท์เป็นมาเทนไซต์ขณะทำการอบชุบ.....	18
รูปที่ 2.13 การทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี.....	19
รูปที่ 2.14 ลักษณะห้วคเพชรรูปพีระมิดฐานสี่เหลี่ยม มุมปลายแหลม 136° และลักษณะรอยกดที่ ได้จากการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส.....	19
รูปที่ 3.1 ขนาดชิ้นงานทดลองในการเชื่อม (หน่วย : mm).....	23
รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วในการเชื่อม.....	24
รูปที่ 3.3 ลักษณะของแก๊สที่ใช้ในการปกคลุมเชื่อม	25
รูปที่ 3.4 ลักษณะเครื่องเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม ยี่ห้อ KEMPPPI รุ่น PROMIG 530.....	25
รูปที่ 3.5 แผนภาพขั้นตอนกระบวนการทางความร้อน.....	26
รูปที่ 3.6 (ก) เตาอบชุบชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1,020–1,050 องศาเซลเซียส (ข) การชุบแข็งด้วย น้ำมันเครื่อง	26

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.7 ลักษณะการอบคืนไฟ (Tempering) ด้วยอุณหภูมิ 450-500 องศาเซลเซียส.....	27
รูปที่ 3.8 ลักษณะการอบอ่อน (Annealing) ที่อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส.....	28
รูปที่ 3.9 (ก) อุปกรณ์การให้ความร้อนขึ้นงานก่อนการเชื่อม (Preheated) (ข) การจับยึดชิ้นงานในการเชื่อม.....	29
รูปที่ 3.10 ชิ้นทดสอบการกระแทกตามมาตรฐาน ASTM E23-00 (TYPE C).....	29
รูปที่ 3.11 (ก) เครื่องทดสอบแรงกระแทกและ (ข) ลักษณะการวางชิ้นงานทดสอบ.....	30
รูปที่ 3.12 ลักษณะทิศทางการกดด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์รอยกดตามมาตรฐาน JIS Z 3101 (1990).....	31
รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์.....	31
รูปที่ 3.14 การวัดขนาดบริเวณบ่อหลอมแนวเชื่อม.....	32
รูปที่ 3.15 บริเวณตำแหน่งการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค.....	33
รูปที่ 3.16 กล้องจุลทรรศน์และอุปกรณ์บันทึกข้อมูล.....	33
รูปที่ 3.17 บริเวณตำแหน่งตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด.....	34
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อม 200 mm/min ที่กระแสเชื่อม 175-220 A.....	36
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเชื่อม 175 A ที่ความเร็วเดินเชื่อม 150 – 350 mm/min.....	36
รูปที่ 4.3 ลักษณะพื้นผิวการพังทลาย (ก) 175A / 200 mm/min ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงสุด (ข) 205A / 300 mm/min ค่าความแข็งแรงกระแทกต่ำสุด.....	37
รูปที่ 4.4 ความแข็งของรอยเชื่อมที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 mm/min กระแสเชื่อม 175-220 A.....	38
รูปที่ 4.5 ความแข็งของรอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 175 A ความเร็วเดินเชื่อม 150 – 350 mm/min.....	39
รูปที่ 4.6 โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 175 A ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 mm/min.....	40
รูปที่ 4.7 ความแข็งแรงกระแทกของกระแสเชื่อม 175 A ความเร็วเดินเชื่อม 200 mm/min ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment).....	41
รูปที่ 4.8 ลักษณะการพังทลายของชิ้นที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน (ก) การชุบแข็ง (Hardening) (ข) การอบคืนไฟ (Tempering) (ค) การอบอ่อน (Annealing).....	43
รูปที่ 4.9 การตรวจสอบวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุด้วยเทคนิค EPMA-Mapping EMPA รอยพังทลายการชุบแข็ง (Hardening).....	44

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.10 การตรวจสอบวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุด้วยเทคนิค EPMA-Mapping EMPA รอยพังกายการอบคืนไฟ (Tempering)	45
รูปที่ 4.11 การตรวจสอบวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุด้วยเทคนิค EPMA-Mapping EMPA รอยพังกายการอบอ่อน (Annealing).....	46
รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบปริมาณการกระจายตัวของธาตุด้วยเทคนิค EPMA-Mapping EMPA ของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment)	47
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบความแข็งของรอยเชื่อมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment) ทดสอบแบบแนวตั้ง	48
รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบความแข็งของรอยเชื่อมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment) ทดสอบแบบแนวนอน.....	48



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	กระแสนเชื่อม
BM	โลหะเดิม (Base Metal)
GMAW	กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding)
HAZ	บริเวณกระทบร้อน (Heat Affect Zone)
HV	หน่วยความแข็ง (Micro Hardness Viker)
SEM	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope)
WM	บริเวณแนวเชื่อม (Weld Metal)
kgf	แรงกด (กิโลกรัม)
mm	มิลลิเมตร
mm/min	ความเร็วเดินเชื่อม (Welding Speed)



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมแม่พิมพ์โลหะ เป็นอุตสาหกรรมสำคัญในการพัฒนาประเทศ เนื่องจากแม่พิมพ์ขึ้นรูปขึ้นส่วนมีความจำเป็นอย่างมากต่อการผลิตขึ้นส่วน เพื่อเพิ่มปริมาณและคุณภาพของการผลิตให้สูงขึ้น และดีกว่าเดิม [1] ยกตัวอย่าง เช่น แม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปฝากระโปรงรถยนต์ หรือแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปกรอบโทรทัศน์มือถือ เป็นต้น [2] การขึ้นรูปวัสดุด้วยแม่พิมพ์ คือ การให้แรงกระทำต่อวัสดุเพื่อทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างตามรูปร่างโพรงแบบของแม่พิมพ์ เมื่อเราทำการขึ้นรูปวัสดุด้วยวิธีการนี้เกิดขึ้นในระยะเวลาที่ยาวนานมักทำให้เกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากการใช้งาน ส่งผลทำให้เกิดการสึกหรอ การเสียรูป การแตกร้าว หรือการพังทลาย ของผิวแม่พิมพ์หรืออุปกรณ์ประกอบต่างๆ ความเสียหายนี้ทำให้แม่พิมพ์นั้นไม่สามารถทำการขึ้นรูปต่อไปได้ จึงจำเป็นต้องนำไปทำการเปลี่ยนขึ้นส่วนใหม่ที่สภาพดีกว่าเข้าไปทดแทนขึ้นส่วนเก่าที่เกิดการชำรุดเสียหาย วิธีการนี้สามารถทำได้ดีและทำให้แม่พิมพ์โลหะมีประสิทธิภาพในการทำงานเท่ากับหรือใกล้เคียงแม่พิมพ์โลหะก่อนการชำรุดเสียหาย แต่ขณะเดียวกันค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่อครั้งมีราคาสูง ด้วยเหตุนี้การเชื่อมซ่อมจึงเป็นวิธีการที่นิยมถูกนำมาใช้ในการบำรุงรักษาแม่พิมพ์เพราะมีข้อเด่นในเรื่องของค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่อครั้งซึ่งมีราคาต่ำ

ที่ผ่านมาวิธีการในการซ่อมพื้นผิวที่เกิดการชำรุดเสียหายด้วยวิธีการต่างๆ ที่ให้ข้อมูลที่คาดว่าสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการซ่อมผิวแม่พิมพ์โลหะที่เกิดการสึกหรอ เสียรูป แตกร้าว หรือพังทลายได้ เช่น การซ่อมพื้นผิวแม่พิมพ์เหล็กกล้าแม่พิมพ์ที่ไม่ระบุเกรดด้วยการพ่นเย็นผงอลูมิเนียม [3] หรือการใช้เลเซอร์ในการเชื่อมผิวแม่พิมพ์เหล็กกล้าเครื่องมือ D2 [4] หรือการเชื่อมเลเซอร์เหล็กกล้าเครื่องมือ P20 ด้วยเลเซอร์ การเชื่อมเลเซอร์ Nd:YAG ผิวแม่พิมพ์เหล็กกล้า JIS-SKD6 [5] เป็นต้น อย่างไรก็ตามกรรมวิธีการเชื่อมเลเซอร์เป็นกรรมวิธีการเชื่อมที่ต้นทุนต่อหน่วยสูง ทำให้ยากต่อการประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่ต้องการเชื่อมซ่อมแม่พิมพ์โลหะ นอกจากนี้ในการเชื่อมซ่อมผิวขึ้นส่วนในงานอุตสาหกรรมอาจใช้กรรมวิธีการเชื่อมซ่อมอื่นๆ เช่น การเชื่อมซ่อมพอกผิวแข็งด้วยวิธีการเชื่อมอาร์กโลหะหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal Arc Welding) [6, 7] หรือการเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สคลุม (Gas Tungsten Arc Welding: GTAW) [8, 9] เป็นต้น อย่างไรก็ตามกระบวนการเชื่อมทั้งสองมีข้อจำกัดในการเชื่อมซ่อมที่ต้องการช่างเชื่อมซ่อมที่มีฝีมือและประสบการณ์สูงในการปฏิบัติงาน ดังนั้นการเตรียมการก่อนการเชื่อมต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษ

ขณะที่การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding: GMAW) ซึ่งเป็นกรรมวิธีการเชื่อมที่มีความยุ่งยากน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การเชื่อมที่กล่าวผ่านมา มีความสามารถปฏิบัติงานในรูปแบบการเชื่อมอัตโนมัติได้ การเชื่อมแบบนี้เป็นวิธีการเชื่อมที่มีข้อเด่น คือ สามารถทำการเชื่อมได้รวดเร็ว และต่อเนื่อง ประหยัดเวลาในการทำความสะดวกเพราะไม่มีแสลคปกคลุมแนวเชื่อม หากใช้วิธีการนี้ในการเชื่อมซ่อมคาดว่าจะอาจทำให้สมบัติของโลหะเชื่อมมีค่าใกล้เคียงกับโลหะหลักเดิมและสามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามการเชื่อมซ่อมแม่พิมพ์โดยการใช้วิธีการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมยังไม่ได้มีรายงานไว้ หากมีการศึกษาวิธีการเชื่อมนี้อาจทำให้เกิดประโยชน์ในการใช้งานต่อไปได้

ด้วยเหตุผลที่กล่าวมานี้ ผู้วิจัยจึงมีกรอบแนวคิดที่จะศึกษาอิทธิพลตัวแปรในการเชื่อมซ่อมแม่พิมพ์เกรด SKD 11 ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมเพื่อที่จะขจัดปัญหาที่เกิดขึ้นดังที่กล่าวมา เพื่อให้ได้สมบัติทางกลของเนื้อโลหะงานเชื่อมมีค่าใกล้เคียงกับโลหะหลัก และสามารถใช้ในการขึ้นรูปโลหะอื่นๆ ได้ และสามารถประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 ศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมซ่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่มีผลต่อสมบัติเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นเกรด SKD11

1.2.2 ศึกษาและเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรการเชื่อมซ่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมกับอิทธิพลทางความร้อน การชุบแข็ง (Quenching) การอบคืนไฟ (Tempering) การอบอ่อน (Annealing) ที่มีผลต่อสมบัติเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นเกรด SKD11

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาตัวแปรการเชื่อมซ่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่มีผลต่อสมบัติเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นเกรด SKD11 โดยมีตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาดังนี้

1.3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นเกรด SKD 11ขนาด ความกว้าง 75 mm ความยาว 160 mm ความหนา 16 mm ทำการบากร่องขึ้นงานทำมุมรวม 60 องศา ตามมาตรฐาน AWS D1.1/D1.1 M:2600

1.3.2 ใช้กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมในการเชื่อมชิ้นงานทดลอง โดยประยุกต์ให้เป็นการเชื่อมแบบอัตโนมัติ

1.3.3 ศึกษาตัวแปรการเชื่อม

- 1) กระแสเชื่อมที่ใช้อยู่ในช่วงระหว่าง 175, 190, 205 และ 220 A
- 2) ความเร็วเดินเชื่อมระหว่าง 150, 200, 250, 300 และ 350 mm/min
- 3) กระบวนการทางความร้อนก่อนการเชื่อม

-ทำการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการเผาแช่ 2.45 ชั่วโมง แล้วทำการชุบด้วยน้ำมัน

-นำชิ้นงานที่ผ่านการชุบ (Quenching) แล้วไปอบคืนไฟ (Tempering) ด้วยอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.45 ชั่วโมง นำจากเตาแล้วปล่อยให้เย็นในอากาศ

-นำชิ้นงานที่ผ่านการอบคืนไฟ (Tempering) เข้าสู่กระบวนการอบอ่อน (Annealing) เพื่อให้โลหะชิ้นงานกลับสู่โครงสร้างเดิมเพื่อป้องกันการแตกร้าวหลังจากการเชื่อมโดยอบที่อุณหภูมิ/1,250 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการอบ 2.45 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวในเตา

-ก่อนทำการเชื่อมให้ความร้อนชิ้นงาน (Preheat) ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส

1.3.4 ใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม 80 %Ar ผสมแก๊ส 20 % CO₂

1.3.5 ตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

1.3.6 ทดสอบสมบัติทางกล ทดสอบแรงกระแทก ทดสอบความแข็ง

1.3.7 นำตัวแปรที่ดีที่สุดมาทำการเชื่อมแล้วนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อนโดย การชุบแข็ง (Quenching Hardening) การอบคืนไฟ (Tempering) และการอบอ่อน (Annealing) มาทำการศึกษาเปรียบเทียบหาสมบัติของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นเกรด SKD11

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1.4.1 ทราบถึงตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมในการเชื่อมเหล็กกล้าแม่พิมพ์เกรด SKD 11 ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม

1.4.2 เพื่อทราบถึงโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นเกรด SKD11 ก่อนเชื่อม และภายหลังการเชื่อม ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม

1.4.3 เพื่อให้เป็นทางเลือกใช้ในการเชื่อมซ่อมบำรุงเหล็กกล้าแม่พิมพ์เกรด SKD 11 ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมอีกทางเลือกหนึ่ง

1.4.4 เพื่อเป็นแนวทางที่จะช่วยในการพัฒนาการเชื่อมเหล็กกล้าแม่พิมพ์ในงานอุตสาหกรรม และเป็นข้อมูลในการวิจัยต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เหล็กกล้าเครื่องมือ

เหล็กกล้าเครื่องมือ คือ เหล็กกล้าที่ใช้สำหรับทำเครื่องมือขึ้นรูปโลหะเป็นส่วนใหญ่ เช่น แบบหล่อโลหะในขบวนการอัดฉีดโลหะร้อน (Die Casting) แม่พิมพ์สำหรับตีขึ้นรูป หรือตัดวัสดุต่างๆ ซึ่งรวมถึงเหล็ก โลหะนอกกลุ่มเหล็ก และพลาสติก เหล็กกล้าเครื่องมือจัดเป็นเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนและธาตุผสมอื่นๆ ในปริมาณสูง เพื่อให้มีความสามารถในการชุบแข็งสูง และเพื่อสร้างคาร์ไบด์ เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านทานการสึกหรออย่างไรก็ตาม หากแบ่งเหล็กกล้าเครื่องมือตามลักษณะการใช้งานจะสามารถแบ่งได้ 6 ประเภทดังนี้

1) เหล็กกล้าเครื่องมือชุบแข็งด้วยน้ำ เป็นเหล็กกล้าคาร์บอน (Plain Carbon) ที่ผสมคาร์บอน ตั้งแต่ 0.60-1.40% ดังนั้นสมบัติด้านการชุบแข็ง หรือความลึกของผิวชุบแข็งจึงต่ำ และจำเป็นต้องชุบแข็งด้วยน้ำ ในบางเกรดอาจมีการผสมโครเมียมหรือวานาเดียมลงไปเล็กน้อยเพื่อเพิ่มความสามารถในการชุบแข็ง และทนต่อการเสียดสี เหล็กกล้ากลุ่มนี้จะมีราคาถูกกว่ากลุ่มอื่น และมีจุดเด่น คือ สามารถกลึงไสเพื่อตกแต่งชิ้นงานได้ง่าย สูญเสียคาร์บอนที่ผิวยาก จุดด้อยของเหล็กกลุ่มนี้คือ การชุบแข็งด้วยน้ำอาจมีผลทำให้ชิ้นงานบิดเบี้ยวได้ง่าย และไม่สามารถทนต่อความร้อนได้ จึงไม่สามารถใช้สำหรับงานตัดที่รุนแรงหรือใช้งานซ้ำๆ กันจนเกิดความร้อนได้ดังนั้นโดยทั่วไปจึงไม่นิยมใช้งานกัน อาจมีการใช้งานบ้างสำหรับทำเครื่องมือตัดที่ใช้ความเร็วต่ำและตัดด้วยแรงเบาๆ เช่น ไม้ อะลูมิเนียม แม่พิมพ์สำหรับทุบหัวขึ้นรูปเย็น (Cold Heading) เป็นต้นตัวอย่างการใช้งานของเหล็กกลุ่มนี้ เช่น W1 W2 และ W5

2) เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น (Cold Work Tool Steels) เป็นกลุ่มที่ใช้ผลิตเครื่องมือสำหรับนำไปใช้ในงานแปรรูปโลหะที่ไม่ได้ให้ความร้อนก่อนการแปรรูป เช่น แม่พิมพ์ตัดแผ่น โลหะเย็น ไบมีดตัดกระดาษ เพื่องัดไม้ คัดเตอร์ เป็นต้น สมบัติสำคัญที่ต้องการสำหรับเหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่มนี้คือ ความสามารถในการกลึงไสดี เปลี่ยนแปลงขนาดน้อยหลังการชุบแข็ง (เนื่องจากการชุบแข็งจะทำได้โดยการชุบน้ำมันหรือให้เย็นตัวในอากาศ) ด้านทานการสึกหรอสูง และมีความเหนียวทนแรงอัดกระแทกได้ดี เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น

3) เหล็กกล้าเครื่องมือทนต่อแรงกระแทก (Shock Resisting Tool Steels) เป็นเหล็กกล้าเครื่องมือที่พัฒนาให้มีความเหนียว ความแข็งแรง และความต้านทานการสึกหรอสูง เพื่อใช้สำหรับงานที่ต้องรับแรงกระแทกซ้ำๆ กัน เช่น สิ่ว (Chisel) หัวกด (Punch) และแม่พิมพ์ (Die) เป็นต้น โดย

ความเหนียวสูงเป็นผลจากปริมาณคาร์บอนในระดับปานกลาง และทำให้ภายหลังการอบความร้อนที่เป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ และมีคาร์ไบด์ละเอียดที่กระจุกกระจาย นอกจากนี้ธาตุแมงกานีส โครเมียม โมลิบดีนัม จะช่วยเพิ่มความสามารถในการชุบแข็ง และช่วยให้คงความแข็งไว้ได้ดีในขณะอบคืนตัว (Tempering) ซิลิกอนจะเพิ่มความแข็งให้กับเฟอไรต์ และช่วยให้คงความแข็งไว้ได้ดีในขณะอบคืนตัวด้วย แต่ข้อเสียของเหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่มนี้เป็นผลจากปริมาณซิลิกอน ซึ่งจะเร่งให้เกิดการสูญเสียคาร์บอนที่ผิวได้ง่าย ทำให้ความต้านทานต่อการสึกหรอ และความต้านทานต่อความล้าต่ำลง ดังนั้นในการอบชุบความร้อนจะต้องระวังเรื่องนี้ให้มาก เกรดที่นิยมใช้งาน เช่น S1 S2 S5 และ S7 โดย S1 เป็นเกรดที่นิยมใช้งานมาก เพราะจะมีส่วนผสมของทั้งสแตนดีย์ ซึ่งจะเพิ่มสมบัติต้านทานการสึกหรอ เพิ่มความเหนียว และเพิ่มความสามารถในการรักษาความแข็งไว้ได้ดีที่อุณหภูมิสูงให้ดีกว่าเกรด S อื่นๆ จึงสามารถใช้ในงานที่ต้องทนต่อความร้อนได้ การใช้งาน เช่น สิว ไบมีดตัด (Shear Blades) แม่พิมพ์ขึ้นรูป เครื่องเจาะหิน เป็นต้น

4) เหล็กกล้าเครื่องมืองานร้อน (Hot Work Tool Steels) ในงานบางประเภทที่ต้องใช้อาศัยอุณหภูมิสูงในการแปรรูป เช่น งานทุบขึ้นรูปร้อน (Hot Forging) งานหล่อแบบฉีด (Die Casting) งานอัดขึ้นรูปร้อน (Hot Extrusion) งานตัดร้อน (Hot Shear Blade) งานอัดร้อน (Hot Press) สิ่งสำคัญคือเหล็กกล้าเครื่องมือจะต้องรักษาสมบัติความแข็งที่อุณหภูมิสูงได้ดี (Red Hardness) ต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Thermal Shock) ต้านทานต่อการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูง และมีความเหนียวที่ดี ธาตุผสมที่จะทำให้ได้สมบัติเหล่านี้ ได้แก่ โครเมียม โมลิบดีนัม และทั้งสแตน ซึ่งผลรวมของธาตุเหล่านี้จะต้องมีปริมาณอย่างน้อย 5%

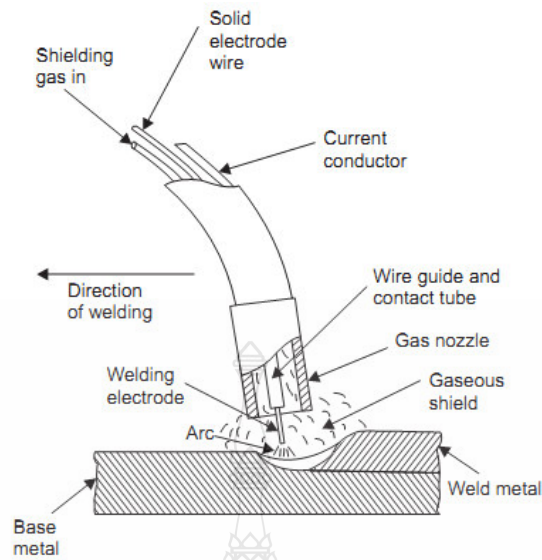
5) เหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง (High Speed Tool Steels) เป็นเหล็กกล้าเครื่องมือที่มีจุดมุ่งหมายหลัก เพื่อใช้เป็นวัสดุในการตัดโลหะด้วยความเร็วสูง เช่น ไบเลื่อย (Saws) ไบตัด (Milling Cutters) เป็นต้น สมบัติสำคัญของเหล็กกล้ากลุ่มนี้คือ ความสามารถในการรักษาความแข็งของคมตัดที่อุณหภูมิสูงกว่าปกติไว้ได้ (ความแข็งของคมตัดยังคงสภาพเดิม แม้จะเกิดความร้อนจนร้อนจัดเป็นสีแดง) ซึ่งเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานร้อนจะรักษาความแข็งไว้ไม่ได้

6) เหล็กกล้าเครื่องมือสำหรับทำแม่พิมพ์พลาสติก (Plastic Mold Steels) เหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะใช้งานที่ช่วงอุณหภูมิ 175-200°C ภายใต้อุณหภูมิสูง มีการกัดกร่อนจากสารเคมี และต้องรับแรงเสียดสีกับผงพลาสติกด้วย ดังนั้นสมบัติสำคัญจะต่างไปจากเหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่มอื่น โดยมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาถึง ได้แก่ ความสามารถในการกลึงไส ความต้านทานแรงอัด ความแข็งที่ผิวสูง ความแข็งแรงที่แกนสูง ความแน่นอนของขนาดภายหลังการชุบแข็ง ความสามารถในการขัดผิวให้เรียบ ความต้านทานการกัดกร่อนที่ผิว ซึ่งจากสมบัติข้างต้นหากนำเหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่ม

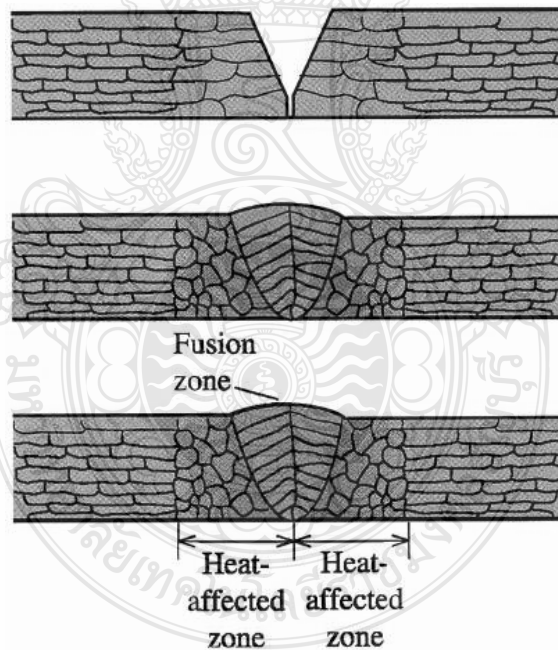
ทำงานเย็นหรือทำงานร้อนมาใช้ก็อาจจะไม่ได้ผลดีเท่ากับการใช้งานเหล็กกล้าที่ใช้งานเฉพาะสำหรับกลุ่มนี้เท่านั้น อย่างไรก็ตาม เหล็กกล้ากลุ่มนี้สามารถใช้ผลิตแม่พิมพ์งานหล่อแบบฉีดสำหรับโลหะผสมที่มีอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ เช่น สังกะสี และตะกั่วได้เช่นกัน [10]

2.2 กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม

กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding: GMAW) คือ กระบวนการเชื่อมอาร์กที่ใช้แก๊สคลุม เป็นกระบวนการเชื่อมโดยใช้ลวดเส้นเปลือยขนาดเล็กจากม้วนลวดซึ่งจะถูกป้อนจากหัวเชื่อม (Torch or Welding Gun) ออกมาอย่างต่อเนื่องจากท่อนำลวดและท่อนำแก๊ส (Contact Tip) ลวดเชื่อมจะสัมผัสกับผิวท่อนำกระแสทำให้กระแสเชื่อมไหลเข้าสู่ลวดเชื่อมเมื่อปลายลวดเชื่อมแตะกับผิวโลหะชิ้นงานจะเกิดการอาร์กและจะหลอมกับผิวโลหะชิ้นงานและปลายลวดเชื่อมให้เป็นหยด โลหะถ่ายโอนสู่บ่อหลอมเหลวของรอยเชื่อม ในขณะที่เดียวกันแก๊สจากท่อบรรจุจะไหลเข้าที่จ่ายสู่หัวฉีดพุ่งออกมาปกคลุมบ่อหลอมเหลวและบริเวณรอบเปลวอาร์ก เพื่อทำหน้าที่เป็นม่านป้องกันไม่ให้ออกซิเจนหรือแก๊สอื่นในบรรยากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับเปลวอาร์กและโลหะที่กำลังหลอมเหลวแก๊สปกคลุมที่เลือกใช้ได้แก่ แก๊สเฉื่อย (Inert Gas) แอกทีฟแก๊ส (Active Gas) อันรีแอกทีฟแก๊ส (Unreactive Gas) และแก๊สผสม (Mix Gas) หลักการอาร์กในกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุมดังแสดงในรูปที่ 2.1 ความร้อนที่หลอมละลายลวดเชื่อมและโลหะชิ้นงานได้จากการอาร์กระหว่างปลายลวดเชื่อมเคลื่อนที่กับชิ้นงานเชื่อมการอาร์กจะเกิดขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกลุ่มอะตอมของแก๊สที่ประจุไฟฟ้า (Ionized Gas) โมเลกุลและอะตอมของแก๊สจะแตกตัวออกทำให้มีสภาพไม่เป็นกลาง (Ionized) เพราะสูญเสียอิเล็กตรอนไปจากประจุไฟฟ้าบวก (Positive Charge) อิออนแก๊สที่เป็นบวก จะไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ ส่วนอิเล็กตรอนไหลจากขั้วลบไปยังขั้วบวก ปริมาณความร้อนจากการอาร์กจะหลอมโลหะชิ้นงานและลวดเชื่อม ปลายลวดเชื่อมส่วนที่หลอมเหลวจะถูกถ่ายโอน (Transfer) ผ่านการอาร์กเข้าสู่บ่อหลอมเหลวบริเวณกระแทกร้อน และลวดเชื่อมจะถูกปกคลุมให้พ้นจากบรรยากาศรอบนอกโดยแก๊สที่ไหลพุ่งออกจากหัวฉีด ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการอาร์กของกระบวนการเชื่อมนี้จะสูงกว่ากระบวนการเชื่อมการอาร์กแบบอื่น [11]



รูปที่ 2.1 กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม [12]



รูปที่ 2.2 รูปแบบโครงสร้างของแนวเชื่อม [13]

รูปที่ 2.2 แสดงรูปของโครงสร้างของชิ้นงานรอยต่อที่ผ่านกระบวนการเชื่อมแบบหลอมละลายก่อนการเชื่อม รูปแบบเกรนของโลหะหลักจะมีลักษณะเป็นเกรนที่ยาว (Columnar Grain) ซึ่งเกิดจากขั้นตอนการผลิตคือ การรีด ทำให้เม็ดเกรนถูกดึงและอัดให้มีขนาดที่ยาวขึ้น เมื่อทำการเชื่อม

โดยทำให้บริเวณรอยต่อของวัสดุสองแผ่นเกิดการหลอมละลายและเติมเต็มบริเวณรอยต่อด้วยการเติม ลวดเชื่อมและเมื่อปล่อยให้เกิดการเย็นตัว โลหะหลอมเหลวบริเวณรอยต่อจะเกิดการหลอมละลาย และก่อตัวใหม่ตามพื้นฐานการเกิดการแข็งตัวของโลหะ เกิดเป็น โครงสร้างเดนไดรต์บริเวณกึ่งกลาง ของแนวเชื่อมบริเวณพื้นที่ของการหลอมละลาย (Fusion) พื้นที่บริเวณนี้นับว่าเป็นจุดบกพร่องของ แนวเชื่อมเนื่องจากโครงสร้างเดนไดรต์ที่เกิดขึ้นนี้ มีความแข็งและเปราะสูงกว่าโครงสร้างเกรนยาว ในโลหะหลัก [13] เมื่อนำชิ้นงานไปใช้อาจเกิดการพังทลายได้ นอกจากนั้นบริเวณขอบของพื้นที่การ หลอมละลายและโลหะหลักโครงสร้างของโลหะบริเวณนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อน ที่แผ่ออกมาจากบริเวณการหลอมละลาย โครงสร้างเกรนโลหะที่บริเวณนี้จะมีความกลมมนมากกว่า บริเวณอื่นๆ ของแนวเชื่อม เรียกบริเวณนี้ว่า เขตอิทธิพลจากความร้อน (Heat Affected Zone: HAZ)

2.3 ชนิดของแก๊สคลุม

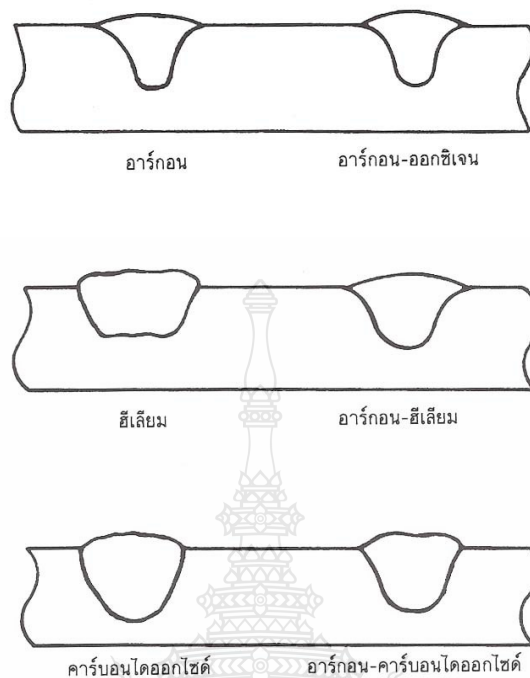
แก๊สที่นำมาใช้ปกคลุมแนวเชื่อม สำหรับกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม แบ่งเป็น 4 ชนิด คือ

2.3.1 แก๊สเฉื่อย คือ อาร์กอน (Ar) ฮีเลียม (He) เหมาะกับการใช้คลุมป้องกันแนวเชื่อม ในการเชื่อมเหล็กกล้า แต่ไม่สามารถใช้ได้กับโลหะทุกชนิด จึงต้องผสมแอคทิฟแก๊ส เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ หรือออกซิเจนเข้าไป เพื่อให้การอาร์กเสถียรมีประกายโลหะจากการเชื่อมลดลง

2.3.2 แอคทิฟแก๊ส คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือเป็นแก๊สผสมกันระหว่างแก๊ส อาร์กอน กับแอคทิฟแก๊สบางตัว เช่น แก๊สออกซิเจน แก๊สไนโตรเจน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หรือแก๊สไฮโดรเจน

2.3.3 อันริแอคทิฟแก๊ส คือ ไนโตรเจน (N_2) ใช้ในการปกคลุมแนวเชื่อมสำหรับการเชื่อม ทองแดง และทองแดงเจือ ให้สมบัติการเชื่อมคล้ายกับฮีเลียม แต่การซึมลึกดีกว่าอาร์กอน และการถ่าย โอนโลหะเป็นแบบหยดขนาดใหญ่ ไนโตรเจนใช้แทนฮีเลียมได้ กรณีไม่มีฮีเลียม และอาจผสม อาร์กอน จะทำให้การอาร์กเสถียรและราบเรียบ ลดความปั่นป่วนในบ่อหลอมละลาย ขณะทำการ เชื่อม แก๊สผสมนี้อาจใช้เชื่อมอะลูมิเนียมได้เช่นกัน

2.3.4 แก๊สผสม เช่น อาร์กอน ผสม คาร์บอนไดออกไซด์ (Ar/CO_2) อาร์กอน ผสม ออกซิเจน (Ar/O_2) อาร์กอน ผสมออกซิเจน ผสมคาร์บอนไดออกไซด์ ($\text{Ar}/\text{O}_2/\text{CO}_2$) จะนำมาใช้คลุม รอยเชื่อม เพื่อเพิ่มคุณภาพการเชื่อมและงานเชื่อมให้สูงขึ้นหรือเกิดการถ่ายโอนโลหะตามต้องการ การผสมจะใช้เครื่องผสมแก๊ส โดยแก๊สจะผสมกันก่อนจ่ายออกสู่หัวเชื่อม



รูปที่ 2.3 ลักษณะรอยเชื่อม และการซึมลึกเมื่อใช้ แก๊สปกคลุมชนิดต่างๆ [14]

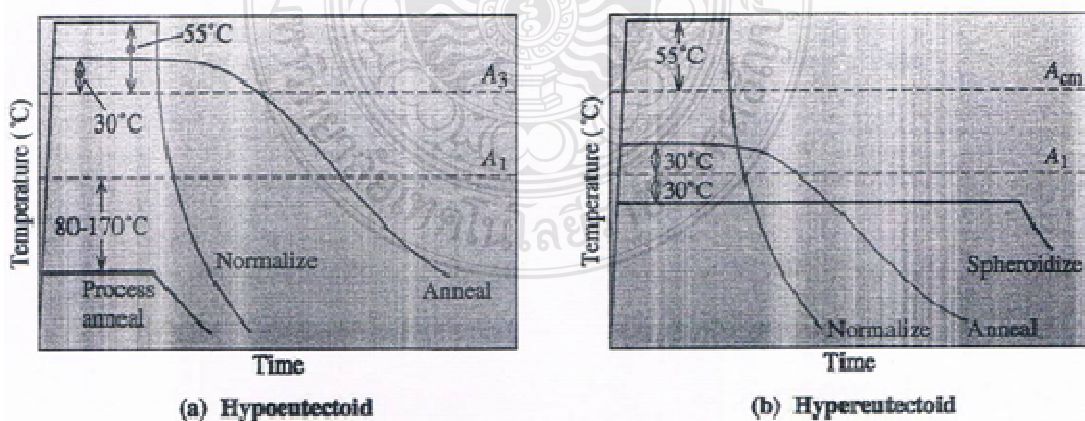
2.4 กระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment)

กระบวนการอบชุบเหล็กกล้า ประกอบไปด้วยการอบอ่อนเพื่อคลายความเครียดจากการขึ้นรูป (Process Annealing) การอบอ่อน (Annealing) การอบให้เกรนสม่ำเสมอ (Normalizing) และการอบให้เกรนมีความกลมมน (Spheroidizing) กระบวนการเหล่านี้มีจุดประสงค์เพื่อทำการคลายเครียด ควบคุมและปรับการกระจายตัวของเฟส เพื่อให้สมบัติทางกลของเหล็กกล้าเปลี่ยนแปลงโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

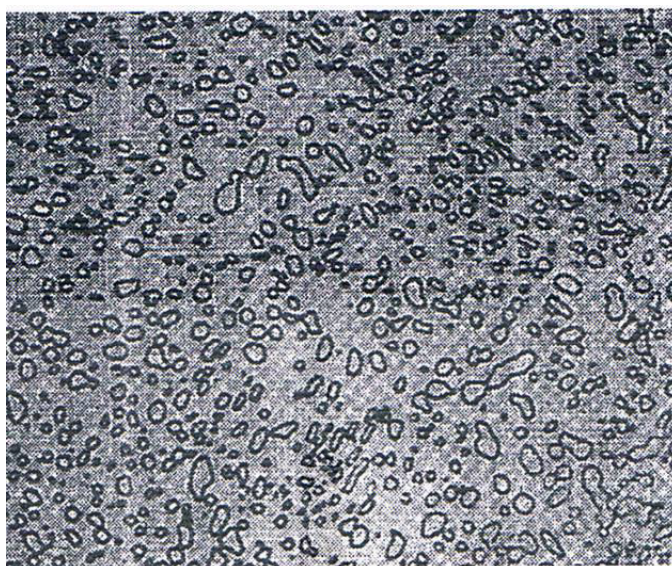
ก) การอบอ่อนเพื่อคลายความเครียดจากการขึ้นรูป (Process annealing) คือ การชุบอบ เพื่อให้เกิดผลึกใหม่ (Recrystallization Heat Treatment) ในโครงสร้างเดิมของเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนน้อยกว่า 0.25% เพื่อกำจัดความเครียดที่เกิดจากการขึ้นรูปต่างๆ เช่น การรีดเย็น โดยทำการอบเหล็กกล้าไปที่อุณหภูมิต่ำกว่าเส้นอุณหภูมิ A_1 ของแผนภาพที่สมดุลของเหล็ก-เหล็กคาร์ไบด์ ประมาณ $80-170^{\circ}\text{C}$ อบแช่ระยะเวลาที่กำหนด และปล่อยให้เย็นตัวในเตา

ข) การอบอ่อน (Annealing) และการอบเกรนสม่ำเสมอ (Normalizing) ความแข็งแรงของเหล็กกล้าที่ผ่านการผลิตมาแล้ว สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการควบคุมการกระจายตัวของเฟสเฟสฟิลไลต์ในเหล็กกล้าให้มีความหยาบหรือละเอียดตามต้องการ มีขั้นตอน คือ นำเหล็กกล้าไปทำการอบให้

ความร้อนเพื่อให้โครงสร้างเปลี่ยนเป็นออสเทนไนต์ (Austenizing) หรือเหล็กแกมมาทั้งหมด จากนั้น หากต้องการทำการอบอ่อนทำได้โดยการปล่อยให้เหล็กที่อบเป็นออสเทนไนต์แล้วเย็นตัวอย่างช้าๆ ในเตา ผลของการเย็นตัวอย่างช้าๆ ในเตานี้ทำให้เฟลิลไลท์ที่ได้มีความหยาบหรือขนาดโตและส่งผลทำให้ง่ายต่อการนำไปขึ้นรูปทางกลต่อไป หรือถ้าต้องการอบให้เกรนสม่ำเสมอทำได้โดยนำเหล็กที่อบเป็นออสเทนไนต์มาทำให้เย็นตัวในอากาศนอกเตา อัตราการเย็นตัวที่เร็วกว่าจะทำให้เฟลิลไลท์มีความละเอียดและส่งผลให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น สมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีปริมาณคาร์บอนแตกต่างกันที่ผ่านการอบอ่อนและการอบให้เกรนสม่ำเสมอ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบอ่อน คือ อุณหภูมิสูงกว่าเส้น A_3 ของแผนภาพสมดุลเหล็ก-เหล็กกล้าคาร์ไบด์ประมาณ 30°C สำหรับการทำให้เหล็กกล้าไฮเปอร์ยูเทคตอย อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเปลี่ยนเหล็กกล้าไฮเปอร์ยูเทคตอยเป็นออสเทนไนต์ทั้งหมดอยู่ที่อุณหภูมิสูงกว่าเส้น A_1 ของแผนภาพสมดุลเหล็ก-เหล็กกล้าคาร์ไบด์ประมาณ 30°C เนื่องจากอุณหภูมินี้ป้องกันการเกิดการก่อตัวของซีเมนไตท์ที่มีความยาวต่อเนื่องและเปราะที่ขอบเกรนของเฟลิลไลท์ ซึ่งปกติเป็นเฟสที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเย็นตัวอย่างช้าๆ จากนั้นในขั้นตอนต่อไปเหล็กกล้าทั้งสองถูกทำให้เย็นตัวอย่างช้าๆ ในเตา หรือปล่อยให้เย็นในเตาจนกระทั่งอุณหภูมิลดลงมาสู่อุณหภูมิห้อง ทำให้ชิ้นงานที่มีความแข็งแรงต่ำ ยืดตัวได้ดี และง่ายต่อการนำไปขึ้นรูปทางกลต่อไป ขณะที่ในการอบให้เกรนสม่ำเสมอ อุณหภูมิการทำให้เกิดออสเทนไนต์ทั้งหมดของเหล็กไฮเปอร์ยูเทคตอยและเหล็กกล้าไฮเปอร์ยูเทคตอยอยู่ที่ประมาณ 55°C สูงกว่าเส้น A_3 และ A_{cm} ของแผนภาพสมดุลเหล็ก-เหล็กกล้าคาร์ไบด์ตามลำดับ ในการเย็นตัวของชิ้นงาน เหล็กกล้าถูกนำออกมาจากเตา และปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ อัตราการเย็นตัวที่เร็วกว่าทำให้ได้เฟลิลไลท์ที่มีความละเอียด และมีความแข็งแรงที่สูงกว่า



รูปที่ 2.4 แผนภาพสรุปรูปแบบของการอบชุบสำหรับ (a) เหล็กกล้าไฮโปยูเทคตอย และ (b) เหล็กกล้าไฮเปอร์ยูเทคตอย [13]

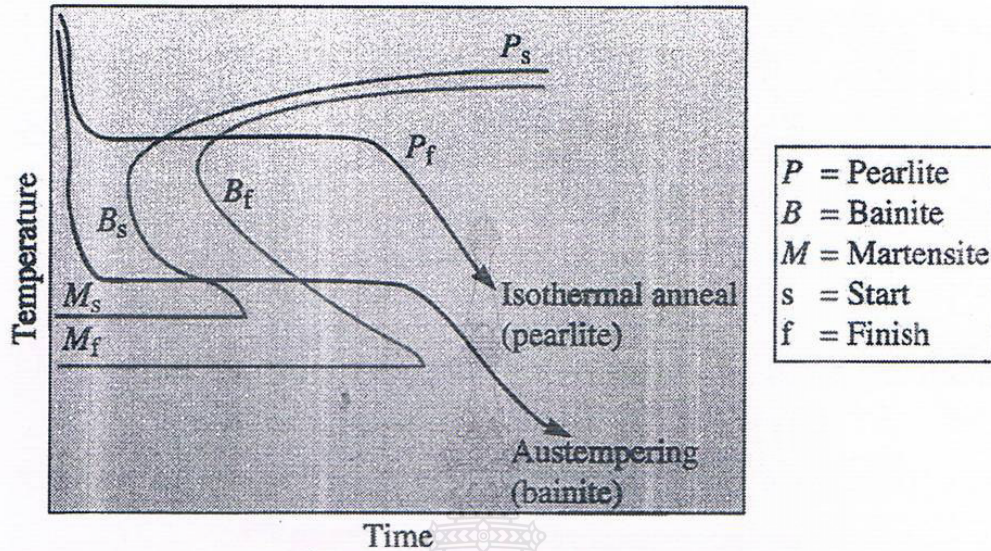


รูปที่ 2.5 โครงสร้างซีเมนไดต์กลมมนในพื้นที่เหล็กเฟอร์ไรต์ กำลังขยาย 850 เท่า [13]

ค) การอบให้เฟสมีความกลมมน (Spheroidizing) เป็นการเพิ่มความสามารถในการแปรรูปทางกล (Machineability) เช่น การกลึง กัด ตัด ไส หรือขึ้นรูปของเหล็กกล้า เหล็กกล้าที่มีปริมาณเฟสของซีเมนไดต์สูงจะมีความสามารถในการแปรรูปต่ำ เนื่องจากโดยทั่วไปเฟสซีเมนไดต์เป็นเฟสที่มีการเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบ มีรูปร่างที่ไม่กลม ไม่สมมาตร และส่งผลให้มีความแข็งแรงสูง หากเฟสซีเมนไดต์ที่มีความกลมมนเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความสามารถในการแปรรูปของเหล็กกล้าเพิ่มขึ้นการทำให้เฟสที่กระจายตัวในเหล็กกล้ามีความกลมมนเพิ่มมากขึ้นทำได้โดยการอบให้ความร้อนขึ้นงานไปที่อุณหภูมิช่วงต่ำกว่าเส้น A_1 ประมาณ 30°C ในช่วงระยะเวลาที่ยาวนานเพียงพอ ทำให้ซีเมนไดต์เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเฟสให้มีความกลมมนเพิ่มมากขึ้น โครงสร้างเฟสที่มีความกลมมนที่ได้เรียกว่า “สเฟียรอยไดต์ (Spheroidite)” ความกลมมนของเฟสซีเมนไดต์ทำให้พื้นที่ของเหล็กกล้ามีความต่อเนื่องเพิ่มมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.5 และส่งผลทำให้ง่ายต่อการแปรรูปต่อไป

ง) การอบออสเทมเปอร์ริงหรือการอบอ่อนที่อุณหภูมิคงที่ (Austempering or Isothermal Annealing) คือ การอบชุบเพื่อให้ได้โครงสร้างเบนไนท์ ทำได้โดยการอบเหล็กกล้าให้เปลี่ยนโครงสร้างเป็นออสเทนไนท์ทั้งหมด จากนั้นทำให้เหล็กกล้าเย็นตัวที่อัตราการเย็นตัวที่เร็วกว่าจุกของแผนภูมิ TTT ดังแสดงในรูปที่ 2.6 จุ่มแช่ที่อุณหภูมินั้น เพื่อให้ออสเทนไนท์เกิดการเปลี่ยนแปลงผ่านเส้นเริ่มเปลี่ยนเป็นเบนไนท์ที่อุณหภูมิกงที่ทำได้โดยการอบเหล็กกล้าให้เปลี่ยนโครงสร้างเป็นออสเทนไนท์ทั้งหมดและปล่อยให้เหล็กกล้าเย็นตัวที่อัตราการเย็นตัวที่ช้ากว่าจุกของแผนภูมิ TTT ดัง

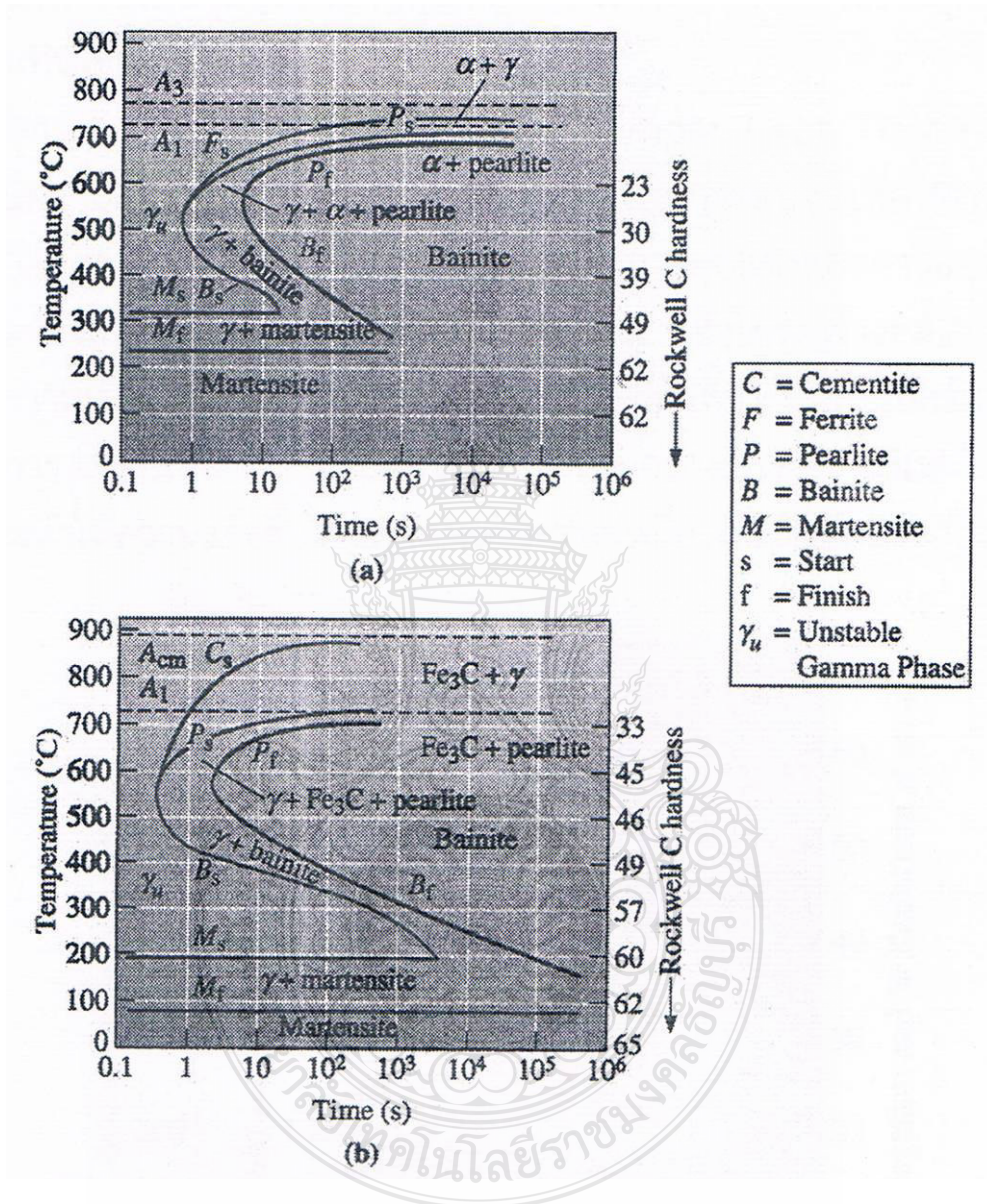
แสดงในรูปที่ 2.6 จุ่มแช่ที่อุณหภูมินั้นจนกระทั่งออสเทนไนท์สิ้นสุดการเปลี่ยนแปลงเป็นเฟลไลต์ทำให้ได้โครงสร้างเฟลไลต์ที่มีขนาดใหญ่ หยวบ และกลมมน มีสมบัติที่สม่ำเสมอมากขึ้น



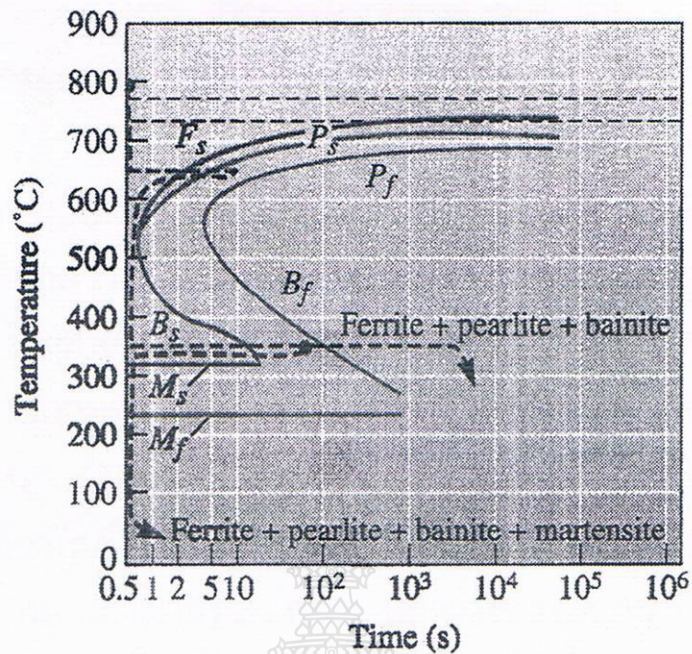
รูปที่ 2.6 การทำออสเทมเปอร์ริงและการอบอ่อนที่อุณหภูมิคงที่ในเหล็กกล้า 1080 [13]

อิทธิพลของคาร์บอนต่อแผนภาพ TTT (Effect of Changes in Carbon Concentration on the TTT Diagram) รูปที่ 2.7 แสดงแผนภูมิ TTT ของเหล็กกล้า 1050 และ 10110 ซึ่งเป็นเหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำและสูงตามลำดับ ที่บริเวณอุณหภูมิสูงกว่าจุ่มของแผนภูมิ TTT มีเส้นการเปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้นคือ เส้น F_s และ C_s สำหรับเหล็กกล้า 1050 และ 10110 ตามลำดับ ในเหล็กกล้า 1050 เส้น F_s เป็นตัวบอกให้ทราบว่าหากเหล็กกล้า 1050 มีอัตราการเย็นตัวที่ช้าและลากผ่านเส้นนี้ เพื่อไรท์จะก่อตัวขึ้นและเติบโตเรื่อยๆ เมื่อได้ระยะเวลาเพิ่มขึ้น เพื่อไรท์ที่ก่อตัวนี้จะสิ้นสุดการเปลี่ยนแปลงที่เส้น P_s พื้นที่ระหว่างเส้น F_s และ P_s นี้จึงประกอบไปด้วยเฟอไรท์และออสเทนไนท์ เมื่อเหล็กกล้า 1050 เย็นตัวต่อไปผ่านเส้น P_s ออสเทนไนท์ที่หลงเหลืออยู่ก็จะเกิดการแตกตัวเป็นเฟลไลต์ต่อไป โครงสร้างจุลภาคสุดท้ายของเหล็กกล้า 1050 ที่เย็นตัวผ่านเส้น F_s , P_s และ P_f จึงประกอบไปด้วยเฟอไรท์และเฟลไลต์ เช่นเดียวกับในเหล็กกล้า 10110 เส้น C_s คือเส้นที่ซิเมนไตท์ก่อตัวขึ้น และเติบโตขึ้นเรื่อยๆ เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ซิเมนไตท์ที่ก่อตัวนี้จะสิ้นสุดการเปลี่ยนแปลงที่เส้น P_s พื้นที่ระหว่างเส้น C_s และ P_s จึงประกอบไปด้วย ซิเมนไตท์และออสเทนไนท์ เมื่อเหล็กกล้าเย็นตัวต่อไปผ่านเส้น P_s ออสเทนไนท์ที่หลงเหลืออยู่จะเกิดการแตกตัวเป็นเฟลไลต์ โครงสร้างจุลภาคสุดท้ายจึงประกอบไปด้วยซิเมนไตท์และเฟลไลต์ ถ้าจุ่มชุบเหล็กกล้าที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุ่มของแผนภูมิ TTT โครงสร้างที่

เกิดขึ้นของเหล็กทั้งสอง คือ เบนไนท์ และหากทำให้เย็นตัวลงมาที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าเส้น M_s โครงสร้างที่เกิดขึ้น คือ มาเทนไซต์



รูปที่ 2.7 แผนภูมิ TTT ของ(a) เหล็กกล้า 1050 และ (b) เหล็กกล้า 10110 (หมายถึงออสเทนไนท์ที่ไม่เสถียร และพร้อมในการเปลี่ยนแปลง) [13]

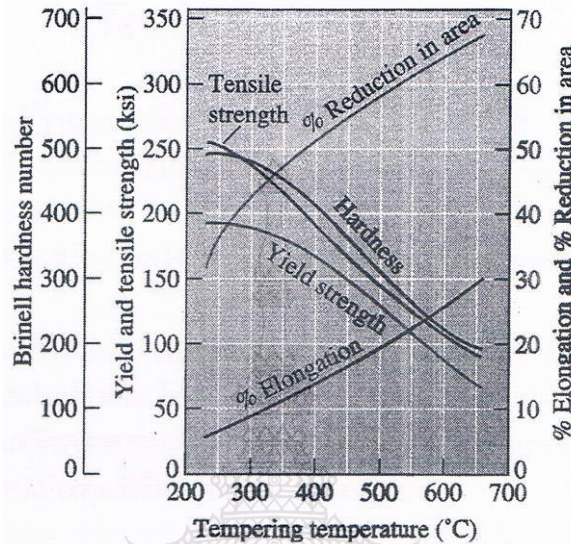


รูปที่ 2.8 แผนภูมิ TTT ของ(a) เหล็กกล้า 1050 และ (b) เหล็กกล้า 10110 (หมายถึงออสเทนไนท์ที่ไม่เสถียร และพร้อมในการเปลี่ยนแปลง) [13]

การเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิที่แบบไม่ต่อเนื่อง (Effect of changes in carbon concentration on the TTT diagram) การอบชุบที่ทำให้อุณหภูมิไม่คงที่ทำให้ได้โครงสร้างของเหล็กกล้าที่ซับซ้อน เช่น ตัวอย่างการอบชุบเหล็กกล้า 1050 ในรูปที่ 2.8 ที่ทำการอบให้ความร้อนแก่เหล็กที่อุณหภูมิ 880°C และจุ่มชุบมาที่อุณหภูมิ 650°C แช่ที่อุณหภูมินี้ 10 วินาที เพื่อให้เฟอไรต์และเฟลไลต์ก่อตัวขึ้น หลังจากนั้นจุ่มชุบมาที่อุณหภูมิ 350°C จุ่มแช่ที่อุณหภูมินี้ 1 ชั่วโมง หรือ 3600 วินาที ด้วยวิธีการนี้ออสเทนไนท์ที่หลงเหลือก่อนการลดอุณหภูมิมาที่ 350°C จะเกิดการเปลี่ยนเฟสเป็นเบนไนท์ โครงสร้างสุดท้ายจึงประกอบด้วยเฟอไรต์ เฟลไลต์ และเบนไนท์ จากนั้นจุ่มชุบลงมาที่อุณหภูมิห้องซึ่งจะทำให้โครงสร้างสุดท้ายประกอบด้วยเฟอไรต์ เฟลไลต์ และ มาเทนไซต์

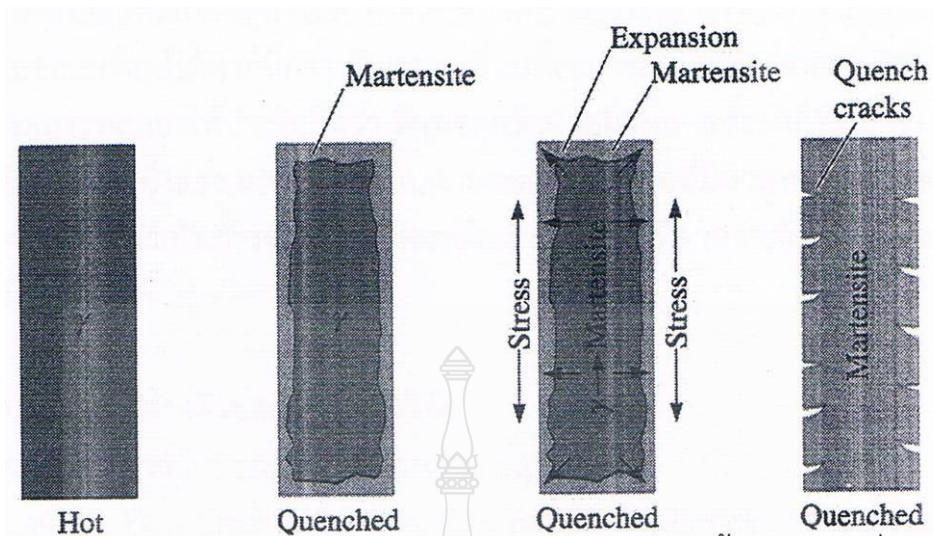
จ) การชุบแข็งหรือการอบคืนไฟ (Quench and Temper Heat Treatment) การชุบแข็งคือการทำให้เหล็กกล้ามีความแข็งเพิ่มขึ้น ขณะที่ทำการอบคืนไฟ คือ การอบชุบเพื่อให้เหล็กกล้าที่ผ่านการชุบแข็งมีความเหนียว (Toughness) เพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างของการชุบแข็งและการอบคืนไฟพบได้ในการทำเหล็กกล้าดามัสกัส (Damascus Steel) และการทำดาบซามูไร ซึ่งโครงสร้างหลังจากการอบชุบประกอบไปด้วยซีเมนไตต์ที่มีความเล็กละเอียดกระจายอยู่ในพื้นหลักเฟอไรต์ (หรือเทมเปอมาเทนไซต์) โครงสร้างมาเทนไซต์ที่ได้จากการอบชุบเมื่อทำการอบคืนไฟ จะทำให้ของผสมระหว่างซีเมน

ไคท์และเฟอไรท์ก่อตัวขึ้นมาในมาเทนไซต์ และทำให้ความแข็งซึ่งงานลดลงแต่มีความเหนียวเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ผลของอุณหภูมิการอบคืนไฟต่อสมบัติทางกลเหล็กกล้า 1050 [13]

ความเค้นตกค้างและการแตกร้าว (Residual Stress and Cracking) ความเค้นตกค้างสามารถเกิดขึ้นได้ในโครงสร้างเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตร หรือการขยายและการหดของโครงสร้างเนื่องจากความร้อน หรือการขึ้นรูปเย็น ซึ่งในเนื้อหาคี่ผ่านมาสามารถลดความเค้นลงได้โดยการอบอ่อนหรือการอบลดความเค้น ในขั้นตอนการอบชุบเหล็กกล้า ความเค้นตกค้างสามารถเกิดขึ้นได้ทุกเมื่อทำการชุบชิ้นงานในสารชุบที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ลักษณะนี้ทำให้บริเวณผิวของชิ้นงานมีอุณหภูมิลดต่ำลงและเปลี่ยนเป็นมาเทนไซต์ ขณะเดียวกันที่กึ่งกลางของชิ้นงานนั้นยังคงมีอุณหภูมิสูงและมีโครงสร้างเป็นออสเทนไนท์ที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงภายหลัง ความแตกต่างของอุณหภูมิที่บริเวณทั้งสอง ทำให้เกิดแรงดึงที่พื้นผิวและแรงกดที่บริเวณกึ่งกลางของชิ้นงาน ส่งผลทำให้เกิดความเค้นขึ้น หากความเค้นนี้มีค่ามากกว่าค่าความแข็งแรงครากของเหล็กกล้าที่ทำการชุบก็จะทำให้เกิด “รอยแตกร้าวขณะทำการการชุบ (Quench crack)” ขึ้นที่ผิวของชิ้นงานดังในรูปที่ 2.10 หากต้องการป้องกันการเกิดการแตกร้าวในชิ้นงานสามารถทำได้โดยลดอุณหภูมิของการชุบลงมาเป็นลำดับขั้นตอน เช่น ทำการชุบเหล็กกล้าลงมาที่อุณหภูมิเหนือเส้น M_s เล็กน้อย และชุบแช่ให้อุณหภูมิของชิ้นงานมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงาน ก่อนทำการชุบอีกครั้งให้ชิ้นงานมีอุณหภูมิลดต่ำกว่าเส้น M_s ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า “ การทำมาเทมเปอร์ริง หรือ มาควนซิ่ง (Martempering or Maquencing)



รูปที่ 2.10 การเกิดรอยแตกร้าวที่มีสาเหตุจากความเค้นตกค้างที่เกิดขึ้นในการเปลี่ยนเฟสจากออสเทนไนต์เป็นมาเทนไซต์ขณะที่ทำการอบชุบ [13]

2.4.1 การให้ความร้อนปรับปรุงคุณภาพงานเชื่อม (Heat Treating) [15]

การให้ความร้อนก่อนการเชื่อม (Preheating) และการให้ความร้อนหลังจากการเชื่อม (Post Weld Heat Treatment : PWHT) อาจเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งในการที่จะทำให้ได้รับคุณภาพงานเชื่อมที่สมบูรณ์ (Sound Weld) ซึ่งก่อนเชื่อมจะต้องมีการระบายละเอียดไว้อย่างชัดเจนในใบกำหนดขั้นตอนการเชื่อมดังนี้

ก) การให้ความร้อนก่อนการเชื่อมโดยหลักการแล้วในการให้ความร้อนหรือการอุ่นงานก่อนเชื่อม หรือการควบคุมอุณหภูมิระหว่างชั้นเชื่อม (Interpass Temperature) จะขึ้นอยู่กับผลในทางโลหะวิทยาและสมบัติเชิงกลของแนวเชื่อมซึ่งอาจกำหนดอุณหภูมิของการให้ความร้อนก่อนการเชื่อมได้ 3 แบบ ดังนี้

- 1) กำหนดที่อุณหภูมิต่ำสุดเท่านั้น เช่น เหล็กเหนียว (Mild Steel) ที่ไม่มีข้อกำหนดอื่นเป็นพิเศษ
- 2) กำหนดที่อุณหภูมิสูงสุดเท่านั้น เช่น กลุ่มโลหะอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลผสม เป็นต้น
- 3) กำหนดที่อุณหภูมิต่ำสุดแต่ที่อุณหภูมิสูงสุด เช่น กลุ่มเหล็กกล้าผสมต่ำ (Low Alloy Steel) ที่กำหนดค่าความต้านทานแรงกระแทก

2.5 การทดสอบหาสมบัติทางกล (Mechanical Test)

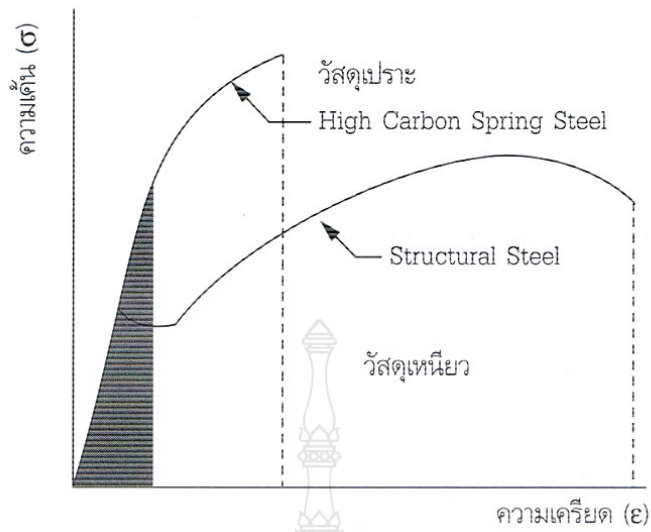
2.5.1 การทดสอบแรงกระแทก (Impact Test)

การทดสอบแรงกระแทก เป็นกรรมวิธีการทดสอบประเภทใช้แรงพลศาสตร์ (Dynamic Load Test) เพื่อวัดหาความเหนียวแน่น (Toughness) ของวัสดุงาน วัสดุเชื่อม (Filler Metal) หรือ เนื้อเชื่อม ในงานเชื่อมพอกผิวแข็งเหล็กกล้าทนการสึกหรอ งานเชื่อมต่อเหล็กกล้าทนความร้อน และงานสำหรับใช้งานอุณหภูมิต่ำหรืออุณหภูมิต่ำ (Cryogenic Temperature) การทดสอบกระทำโดยวิธีการเหวี่ยงตีหักขึ้นทดสอบเพียงครั้งเดียวด้วยเครื่องทดสอบ ซึ่งสามารถยกค้อนตีและนำค้อนกลับสู่ตำแหน่งเดิมได้โดยอัตโนมัติ จากนั้นวัดหาความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแรงกระแทก (Energy Absorbed) เปอร์เซ็นต์การแตกหักเนื่องจากแรงเฉือน (Percent Shear Fracture) และการขยายตัวด้านข้าง (Lateral Expansion) ของชิ้นทดสอบหลังการแตกหัก

ก) ความเหนียวแน่นของวัสดุ (Toughness)

ความเหนียวแน่น คือ ความสามารถของวัสดุหรือเนื้อเชื่อมที่สามารถดูดซับพลังงานแรงกระแทกไว้ได้โดยไม่เกิดการแตกหัก ซึ่งจะสัมพันธ์กับความแข็งแรงและความสามารถในการยึดตัวของวัสดุ การประเมินค่าความเหนียวแน่นของวัสดุ นั้น จะคำนวณจากพื้นที่ใต้เส้นโค้งของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดที่ได้จากการทดสอบแรงดึง เรียกว่าค่า “Modulus of Toughness” โดยจะแสดงค่าพลังงานต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุที่ต้องทำให้วัสดุแตกหักเสียหาย หรือกล่าวได้ว่า พื้นที่ใต้เส้นโค้งของกราฟฯ ความเค้น-ความเครียด คือ ค่าความสามารถในการรับพลังงานแรงกระแทกของวัสดุแต่ละชนิดนั่นเอง

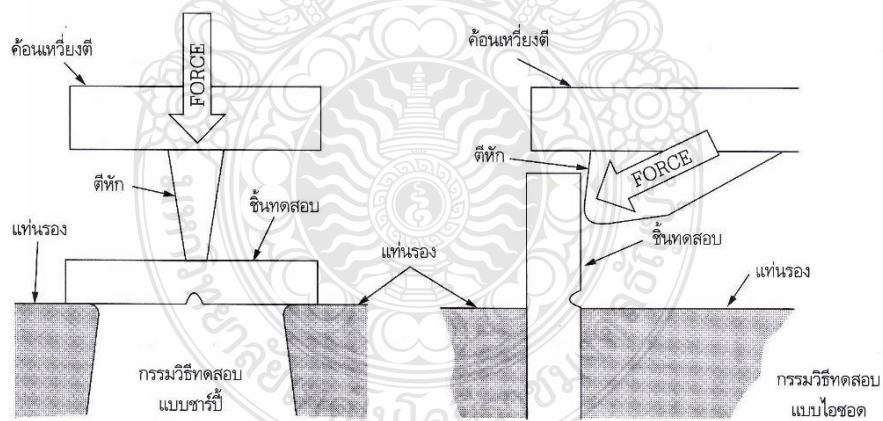
การทดสอบแรงกระทำทำให้ทราบได้ว่าวัสดุใดเหนียวหรือเปราะ ทั้งนี้เพราะโดยปกติแล้วเราไม่สามารถคำนวณหาความต้านทานความเหนียวแน่นจากการตีหัก (Fracture Toughness) ของเนื้อเชื่อมหรือโลหะงานได้ นอกจากทำการทดสอบแรงกระแทกแล้วพิจารณาประเมินผลจากรอยแตกหักตามมาตรฐานการทดสอบแรงกระแทกเหล็กกล้ากำหนดให้ใช้ค้อนเหวี่ยง (Pendulum Hammer) ตีขึ้นทดสอบเพียงครั้งเดียวให้แตกหักภายใต้อุณหภูมิที่กำหนดภายในระยะเวลา 5 วินาที โดยชิ้นทดสอบต้องผ่านการเตรียมด้วยวิธีทางกลให้มีขนาด รูปร่างและมีร่องบากตามมาตรฐานทดสอบฯ กำหนด



รูปที่ 2.11 การเปรียบเทียบค่า Modulus of Toughness ของวัสดุเหนียวและวัสดุประา [15]

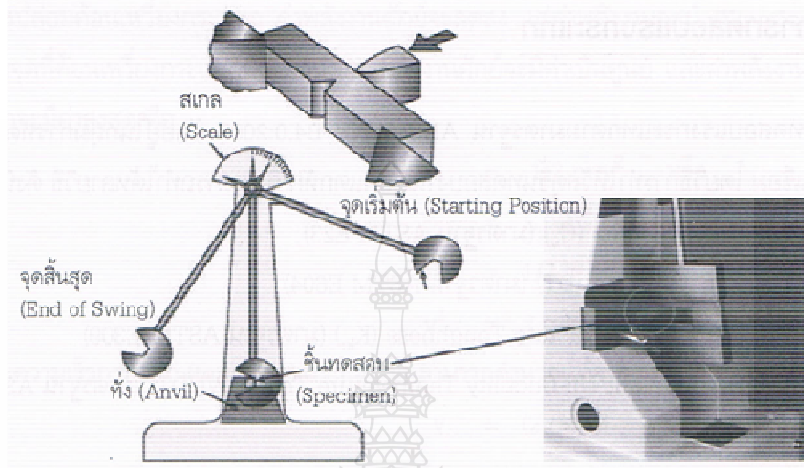
ข) วิธีการทดสอบแรงกระแทกมีอยู่ 2 วิธี คือ

- 1) กรรมวิธีแบบชาร์ปี (Charpy Test or Simple Beam) หรือ CVN – Test
- 2) กรรมวิธีแบบไอซอด (Izod Test or Cantilever Beam)



รูปที่ 2.12 การเกิดรอยแตกร้าวที่มีสาเหตุมาจากความเค้นตกค้างที่เกิดขึ้นในการเปลี่ยนเฟสจากออสเทนไนท์เป็นมาเทนไซต์ขณะทำการอบชุบ [13]

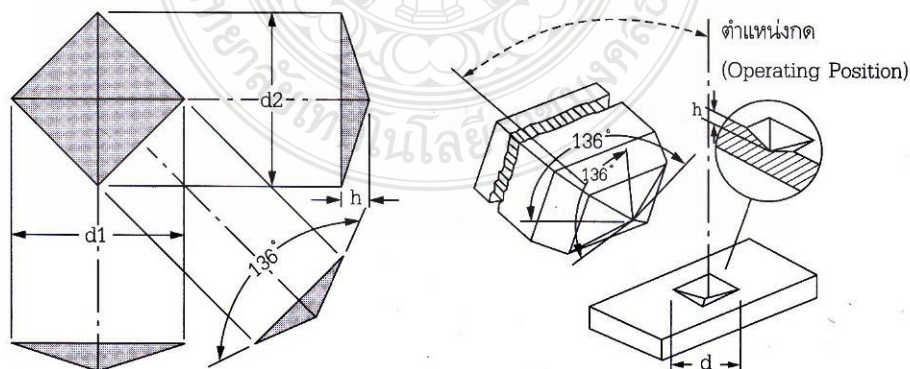
โดยทั้ง 2 วิธีแตกต่างกันที่การเตรียมชิ้นทดสอบ การจับชิ้นทดสอบดีหักและ ด้านของชิ้นทดสอบที่ถูก ในงานวิจัยนี้ใช้กรรมวิธีทดสอบแบบชาร์ปี ตามมาตรฐาน ASTM E 23 จึง ขอกล่าวรายละเอียดเฉพาะวิธีการนี้เท่านั้น ดังนี้



รูปที่ 2.13 การทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี [15]

2.5.2 การทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส

การทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส เป็นการใช้อัณฑเพชรรูปพีระมิดฐาน สี่เหลี่ยมที่มีมุมปลายแหลม 136° กดลงบนผิววัสดุชิ้นทดสอบด้วยแรงกดคงที่ ขนาด 1 กรัมแรง (gf) ถึง 2 กิโลกรัมแรง (kgf) หรือ 1 ถึง 2000 กรัมแรง จากนั้นวัดขนาดรอยกดด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มี กำลังขยายระหว่าง 100X ถึง 500X ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุดในงานเชื่อม โดยความ ลึกของรอยกดประมาณ $1/7$ ของความยาวเส้นทแยงมุม ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ลักษณะหัวกดเพชรรูปพีระมิดฐานสี่เหลี่ยม มุมปลายแหลม 136° และลักษณะรอยกดที่ ได้จากการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส [15]

2.6 การตรวจสอบโครงสร้างของโลหะวิทยา

การตรวจสอบโครงสร้างของโลหะ สามารถทำได้ 2 ลักษณะ คือ การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค (Macro Structure) และการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Microscope) การตรวจสอบโครงสร้างทั้ง 2 วิธีดังกล่าว ก็เพื่อต้องการทราบอิทธิพลของธาตุผสมในโลหะที่ทำการตรวจสอบนั้นๆ อีกทั้งยังสามารถตรวจสอบปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายหลังจากกระทำทางความร้อนสิ้นสุดลงด้วย และข้อมูลที่ได้นี้จะถูกนำไปใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม

2.7.1 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค เป็นการตรวจสอบโครงสร้างด้วยตาเปล่าหรือใช้กล้องขยายที่มีกำลังขยายที่ไม่เกิน 50 เท่า การเตรียมชิ้นงานเพื่อการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคนั้นไม่ยุ่งยาก เพราะว่าเป็นการตรวจสอบรูปร่างภายในของโลหะ การแยกชิ้นของผลึก รอยร้าว รอยแตก หน้าตัดที่ถูกดึงจนขาด และปริมาณธาตุผสมในโลหะ เป็นต้น การตรวจสอบด้วยวิธีนี้ จะมีวิธีการตรวจสอบอยู่หลายวิธีทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะและจุดประสงค์ของการตรวจสอบ

2.7.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค เป็นการตรวจสอบที่กระทำได้โดยการใช้อุปกรณ์จุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูง ถ้าเป็นกล้องที่ใช้แสงจากหลอดไฟจะให้กำลังขยายไม่เกิน 2,000 เท่า แต่ถ้าเป็นกล้องที่ใช้แสงอิเล็กตรอนจะสามารถให้กำลังขยายได้สูงถึง 100,000 เท่า หรือมากกว่านี้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาผลงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาอิทธิพลตัวแปรในงานเชื่อม ที่มีผลต่อสมบัติ ทางโลหะวิทยา สมบัติทางกลของรอยต่อวัสดุต่าง ๆ เช่น

ยงยุทธ คุลยกุล [16] ได้ศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของการเชื่อมเหล็กกล้า คาร์บอนด้วยกระแสเชื่อม และส่วนผสมของแก๊สคลุมที่แตกต่างกัน โดยกรรมวิธีการเชื่อมมิก โดยใช้แก๊สคลุมที่แตกต่างกันกับกระแสเชื่อม 2 ชนิด คือกระแสพัลส์ และกระแสมาตรฐาน เชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 จากการทดลองพบว่าการเชื่อมด้วยกระแสแบบมาตรฐาน ที่แก๊สคลุมทุกอัตราส่วนมีการหลอมละลายระหว่างชั้นกับเนื้อโลหะงานบริเวณที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อน (HAZ) สมบูรณ์ดี แนวเชื่อมเรียบ ส่วนการเชื่อมด้วยกระแสแบบพัลส์การหลอมละลายระหว่างชั้นกับเนื้อโลหะงานบริเวณ HAZ มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ส่วนการทดสอบทางกลพบว่าการเชื่อมด้วยกระแสแบบมาตรฐานที่แก๊สปกคลุมทุกอัตราส่วนจะให้ค่าความแข็งแรง และความเค้นที่จุดครากสูงกว่าการเชื่อมด้วยแก๊สคาร์บอน ไอออกไซด์ 100 % ส่วนกระแสแบบพัลส์ให้ค่าความแข็งแรงใกล้เคียงกัน เปรียบเทียบกระแสเชื่อมพบว่าการเชื่อมด้วยกระแสมาตรฐาน ทุกอัตราส่วนของแก๊สปก

คลุมจะให้ค่าความแข็งแรงและความเค้นที่จุดครากสูงกว่า การทดสอบความแข็งแรงพบว่าการเชื่อมด้วย กระแสทั้งสองชนิดให้ค่าความแข็งแรงใกล้เคียงกัน

ปริญญา แสงทอง [17] ได้ศึกษาผลการแปรพารามิเตอร์ การเชื่อม MIG ต่อโครงสร้าง และสมบัติของงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม โดยมีปัจจัยคือกระแสไฟฟ้า 3 ระดับ คือ 150, 160 และ 170 A แรงดันไฟฟ้ามี 3 ระดับ คือ 20 22 และ 24 Volt และแก๊สอาร์กอน 2 ระดับ คือใช้ที่ความบริสุทธิ์ 99.990% และแก๊สอาร์กอนความบริสุทธิ์ 99.999% โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด คือ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และแก๊สอาร์กอน ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว คือกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และแก๊สอาร์กอนค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดคราก คือ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และแก๊สอาร์กอน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

Danut Iordachescu. [18] ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของแก๊สคลุมและตัวแปรของกรรมวิธีการ เชื่อมแบบ MIG Brazing จากการทดลอง พบว่า การใช้แก๊สคลุมอาร์กอนเพียงอย่างเดียว แนวเชื่อมที่ ได้จะมีลักษณะแบนเรียบ มีเกล็ดเกิดขึ้นเล็กน้อย การซึมลึกดี ไม่มีรูพรุนที่ผิวหน้าและปราศจากเม็ด โลหะ แต่ลักษณะของเปลวอาร์กอนจะมีความไวต่อการหักเหเนื่องจากเกิดสนามแม่เหล็กขณะทำการ เชื่อม เมื่อทดลองใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผสมลงในแก๊สอาร์กอนที่อัตราส่วนผสม 97.5%Ar+2.5%CO₂ ทำให้แนวเชื่อมเรียบและการซึมลึกดีขึ้น เปลวอาร์กอนมีความเสถียรภาพมากขึ้น และไม่เกิดการหักเหเนื่องจากสนามแม่เหล็กในขณะที่ทำการเชื่อม

Johnson J.A. [19] ได้ศึกษาการถ่ายโอนน้ำโลหะในกรรมวิธีการเชื่อมแบบ GMAW-P เพื่อ ศึกษาถึงผลกระทบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่และความกว้างพัลส์ของวงรอบการถ่ายโอนน้ำโลหะ โดยกำหนดให้ตัวแปรการเชื่อมของกระแสพัลส์คงที่ ใช้วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนเป็นชิ้นงานทดลอง เชื่อม ลวดเชื่อมตามมาตรฐาน AWS A5.18 ER70S-6 และแก๊สคลุมในขณะที่เชื่อมเป็นแก๊สผสม ระหว่าง 98%Ar+2%O₂ รอยต่อแบบเดินแนวบนชิ้นงาน ตั้งค่าตัวแปรการเชื่อมของกระแสพัลส์จาก เครื่องเชื่อมในสภาวะปกติ หลังจากนั้นทำการเปลี่ยนแปลงความถี่และความกว้างพัลส์ จากการทดลอง พบว่า ที่ค่าตัวแปรการเชื่อมในสภาวะปกติ การถ่ายโอนของหยดโลหะมีขนาดโตกว่าลวดเชื่อม เล็กน้อยที่ความกว้างพัลส์สิ้นสุดลง และการเริ่มต้นของกระแสต่ำจะเกิดการแตกตัวเป็นหยดขนาดเล็ก ก่อนและยังคงรักษาให้เป็นหยดต่อหนึ่งวงรอบก่อนที่เกิดการถ่ายโอนหยดโลหะที่ความกว้างพัลส์ สิ้นสุดลงในวงรอบต่อไป ส่งผลทำให้เกิดการถ่ายโอนโลหะแบบหยดที่สม่ำเสมอ เมื่อมีการ เปลี่ยนแปลงความถี่เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าและความกว้างพัลส์หนึ่งเท่า การถ่ายโอนหยดโลหะมีมากขึ้น แต่ขนาดหยดโลหะจะไม่สม่ำเสมอในแต่ละวงรอบ และบางครั้งไม่เกิดการถ่ายโอนหยดโลหะใน วงรอบต่อไปจึงเป็นสาเหตุทำให้การถ่ายโอนหยดโลหะมีขนาดใหญ่ขึ้น

อนุสิทธิ์ อ่ำไพบุลย์ [20] ได้ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมของการเชื่อมแบบอาร์กโลหะก๊าซคลุม โดยเริ่มต้นจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ เพื่อกรองปัจจัย 5 ปัจจัย ได้แก่ กระแสไฟ แรงดันไฟเชื่อม ความเร็วเชื่อม มุมหัวเชื่อมและแก๊สคลุม ให้เหลือเฉพาะปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความต้านแรงดึงของตะเข็บเชื่อมจากนั้นใช้การทดลองแบบ บ็อกซ์ – เบนเคน เพื่อวิเคราะห์หาผลตอบที่ดีที่สุด ในการศึกษาใช้เครื่องเชื่อมรุ่น Hobart รุ่น RC – 304 ใช้ลวดเชื่อมรหัส ER70S-6 ขนาด 1.0 mm โดยนำชิ้นงานมาทำการเชื่อมทางตรงและทดสอบหาคุณภาพทางกลด้วยการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง ผลการทดลองความต้านแรงดึงของตะเข็บเชื่อมที่ระดับ $\alpha = 0.05$ พบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยต่าง ๆ คือ กระแสไฟ เท่ากับ 220 A แรงดันไฟเชื่อมเท่ากับ 30 V ความเร็วในการเชื่อมเท่ากับ 10 นิ้วต่อนาที มุมหัวเชื่อม เท่ากับ 75 องศา และแก๊ส CO₂ คลุมแนวเชื่อม เท่ากับ 10 ลิตรต่อนาที ซึ่งได้ค่าแรงดึงสูงสุด คือ 8192 kgf

ภักดี คำเนินผล [21] ได้ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในกระบวนการเชื่อมมิกต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลเหล็กกล้าสแตนเลสออสเทนนิติก เกรด AISI 304 ในการทดลองได้กำหนดปัจจัยการเชื่อม ได้แก่ กระแสไฟเชื่อม ความเร็วในการเชื่อม และแก๊สปกคลุม ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบไปด้วยปัจจัยละ 3 ระดับ ทำการศึกษาด้านความแข็งแรงเปอร์เซ็นต์การยึดตัว จุดคราก ผลการศึกษาต่อค่าความแข็งแรงพบว่าปัจจัยการร่วมระหว่างกระแสไฟเชื่อม ความเร็วในการเชื่อม และแก๊สปกคลุม ส่งผลต่อความแข็งแรงรอยเชื่อม โดยปัจจัยในการเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงสูงสุดคือกระแสไฟเชื่อมที่ 100 A ความเร็วในการเชื่อม 400 mm/min และแก๊สปกคลุมด้วย Ar85% + CO₂15% มีค่าความแข็งแรงสูงสุดเท่ากับ 300.55 HV เปอร์เซ็นต์การยึดตัวพบว่า Ar85% + CO₂15% ให้ค่าการยึดตัวสูงสุดที่ 56.5% การศึกษาจุดครากพบว่าความเร็วที่ 400 mm/min กระแสเชื่อม 95A แก๊สปกคลุม Ar84.5% + He0.5% + O₂15% จะให้ค่าจุดครากสูงสุดที่ 925.65 N/mm² โครงสร้างจุลภาคในแนวเชื่อมพบว่า ประกอบด้วยโครงสร้างออสเทนไนต์ และผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์ (Cr₂₃ C₆) ตามขอบเกรนกระจายทั่วบริเวณ และลักษณะโครงสร้างของ Columnar Dendrite

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

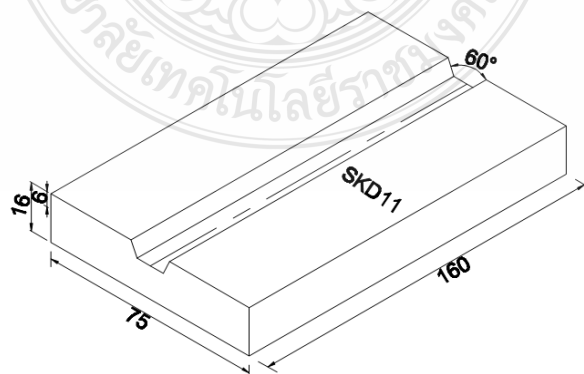
การดำเนินการวิจัยนี้ใช้กรรมวิธีการเชื่อมซ่อมแบบอาร์คโลหะแก๊สปกคลุมโดยใช้เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น SKD 11 เป็นชิ้นงานทดลองเชื่อม บากร่องชิ้นงานทำมุมรวม 60 องศา การเชื่อมจะเป็นแบบอัตโนมัติ จากนั้นนำชิ้นงานที่เชื่อมแล้วไปผ่านกระบวนการทางความร้อนแล้วทดสอบหาสมบัติทางกลและตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา การวิจัยครั้งนี้มีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

3.1 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย

1) วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือ เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น SKD 11 แสดงส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 3.1 และทำการตัดให้มีขนาด ความกว้าง 75 mm ยาว 160 mm หนา 16 mm แล้วนำชิ้นงานทำการบากร่องชิ้นงานทำมุม 60 องศา ตามมาตรฐาน AWS D1.1/D1.1 M:2600 ด้วยเครื่องกัด NC แสดงดังรูปที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น SKD 11 (ร้อยละโดยน้ำหนัก %)

เหล็กกล้าเครื่องมือเย็น SKD 11									
C	Si	Mn	P	Cr	Mo	V	W	Ni	Other
1.48	0.3	0.20	0.02	11.0	0.77	0.68	0.066	0.26	-



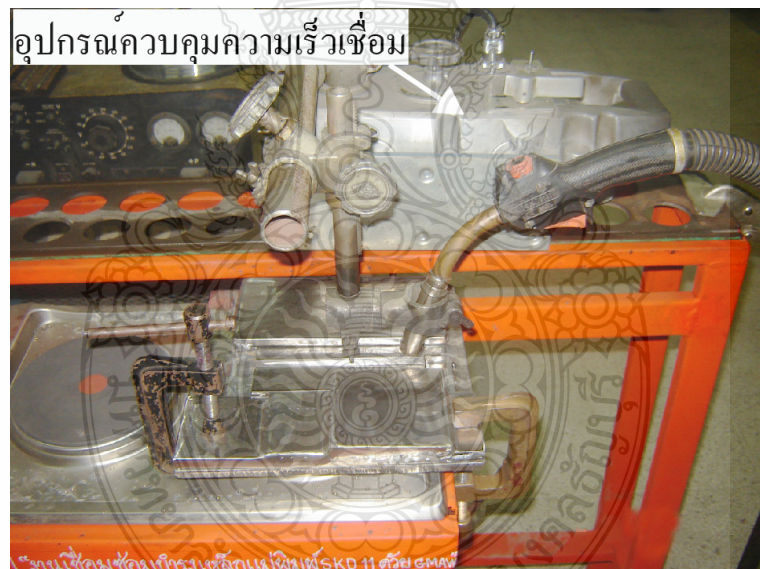
รูปที่ 3.1 ขนาดชิ้นงานทดลองในการเชื่อม (หน่วย : mm)

2) ลวดเชื่อมที่ใช้ในการทดลองใช้ลวดเชื่อม แบบเปลือยตัน (Solid Wire) สำหรับเชื่อมเหล็กกล้าเครื่องมือ Selectarc MIG R600B ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 mm ตามมาตรฐาน DIN 8555 : MSG 6 GZ-60-S แสดงส่วนผสมทางเคมี ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม (ร้อยละ โดยน้ำหนัก %)

ลวดเชื่อมMIG R600B					
C	Si	Mn	Cr	P	Other
0.45	3.0	0.4	9.2	-	-

3) อุปกรณ์ควบคุมความเร็วในการเชื่อมให้คงที่ ซึ่งดัดแปลงมาจากเครื่องตัด โลหะแผ่นด้วยแก๊สทำให้การเชื่อมเป็นแบบอัตโนมัติ สามารถปรับตั้งความเร็วการเคลื่อนที่หัวเชื่อมได้



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วในการเชื่อม

4) แก๊สปกคลุมแนวเชื่อมแก๊สที่ใช้ในการปกคลุมแนวเชื่อมเป็นแก๊สผสมมีส่วนผสม คือ 80%Ar + 20%CO₂ อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม (Flow rate gas) ใช้ที่ 14 L/min



รูปที่ 3.3 ลักษณะของแก๊สที่ใช้ในการปกคลุมเชื่อม

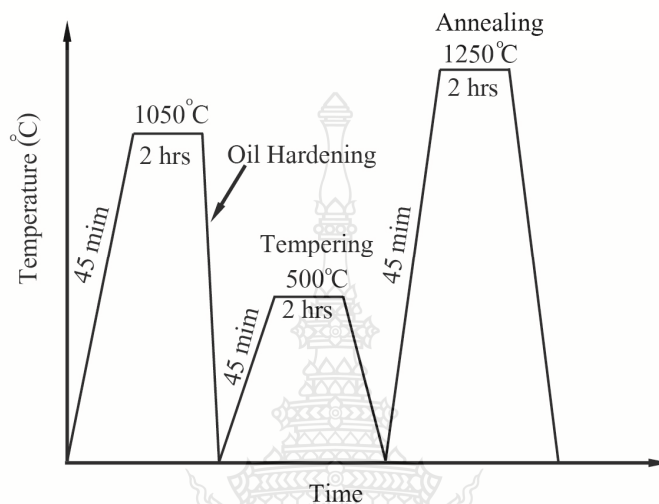
- 5) เครื่องเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม แบบแรงดันคงที่วัฏจักรการทำงาน 100 % ขนาด 300 A สามารถปรับแต่งกระแสไฟได้ตามตัวแปรที่กำหนด จำนวน 1 เครื่อง



รูปที่ 3.4 ลักษณะเครื่องเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม ยี่ห้อ KEMPPPI รุ่น Promig 530

3.2 กระบวนการทางความร้อนก่อนการเชื่อม

เมื่อเตรียมชิ้นงานทดลองและจัดเตรียมอุปกรณ์ที่จำเป็นเรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นนำชิ้นงานทดลองมาผ่านกระบวนการทางความร้อน ก่อนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมแสดงดังรูปที่ 3.5 ซึ่งมีขั้นตอนในดำเนินการดังนี้



รูปที่ 3.5 แผนภาพขั้นตอนกระบวนการทางความร้อน

1) หลังจากบากรองขึ้นมรวม 60 องศา นำชิ้นงานเข้าเตาอบ เเผาที่อุณหภูมิ 1,020 – 1,050 °C และทำการชุบแข็งโดยใช้น้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้วในการชุบ เพื่อให้เหล็กมีความแข็งอยู่ที่ 50 – 59 HRC แสดงดังรูปที่ 3.6



(ก) เตาอบชุบชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1,020 – 1,050 °C



(ข) การชุบแข็งด้วยน้ำมัน

รูปที่ 3.6 (ก) เตาอบชุบชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1,020 – 1,050 °C (ข) การชุบแข็งด้วยน้ำมันเครื่อง

2) เมื่อได้ชิ้นงานที่ผ่านการอบชุบแข็ง (Hardening) และได้ค่าความแข็งที่ 50-59 HRC แล้วนำชิ้นงานที่ได้ไปทำการอบคืนไฟ (Tempering) ด้วยอุณหภูมิ 450 – 500 °C แสดงดังรูปที่ 3.7 เพื่อให้โครงสร้างของเหล็กกล้าเครื่องมือเย็น SKD 11 ลดความแข็งและเปราะหลังจากผ่านกระบวนการชุบแข็งแล้ว



รูปที่ 3.7 ลักษณะการอบคืนไฟ (Tempering) ด้วยอุณหภูมิ 450-500 °C

3) หลังจากการอบคืนไฟ (Tempering) ด้วยอุณหภูมิ 450-500 °C นำชิ้นงานมาทำการอบอ่อน (Annealing) เพื่อให้โลหะกับตัวโครงสร้างเดิมหลังจากผ่านกระบวนการชุบแข็งเพื่อป้องกันการแตกร้าวหลังจากการเชื่อม โดยทำการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 1,250 °C แล้วปล่อยให้เย็นตัวภายในเตา แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ลักษณะการอบอ่อน (Annealing) ที่อุณหภูมิ 1,250 °C

3.3 กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม

การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม โดยได้ทำการกำหนดตัวแปรการเชื่อมที่ใช้ในการทดลองมี ดังนี้ กระแสที่ใช้ในการเชื่อมมี 4 ระดับ คือ 175, 190, 205 และ 220 A ความเร็วในการเดินหัวเชื่อม (Welding speeds) มี 5 ระดับ 150 , 200 , 250 , 300 และ 350 mm/min กำหนดอัตราการไหลของแก๊ส 14 L/min กำหนดชั้นของแนวเชื่อม 3 ชั้น (Layer) แล้วนำมาดำเนินการเชื่อมทดลอง (Pretest) ก่อนการเชื่อมเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นเกรด SKD 11 จะทำการอุ่นให้ความร้อนขึ้นงานก่อนการเชื่อม (Preheated) ทุกครั้ง เพื่อป้องกันการแตกร้าวหลังการเชื่อมโดยให้อุณหภูมิอุ่นความร้อนขึ้นงานที่ 350-400 °C แสดงดังรูปที่ 3.9 (ก) และแสดงการจับยึดขึ้นงานในการเชื่อมดังรูปที่ 3.9 (ข) จากนั้นนำค่าตัวแปรที่ดีที่สุดมาทำการเชื่อมและนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อน

โดยนำขึ้นงานที่เชื่อมแล้วไปผ่านกระบวนการทางความร้อน ได้แก่ การชุบแข็ง (Hardening) การอบคืนไฟ (Tempering) และการอบอ่อน (Annealing) เพื่อนำมาทำการเปรียบเทียบหาสมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยาของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นเกรด SKD 11



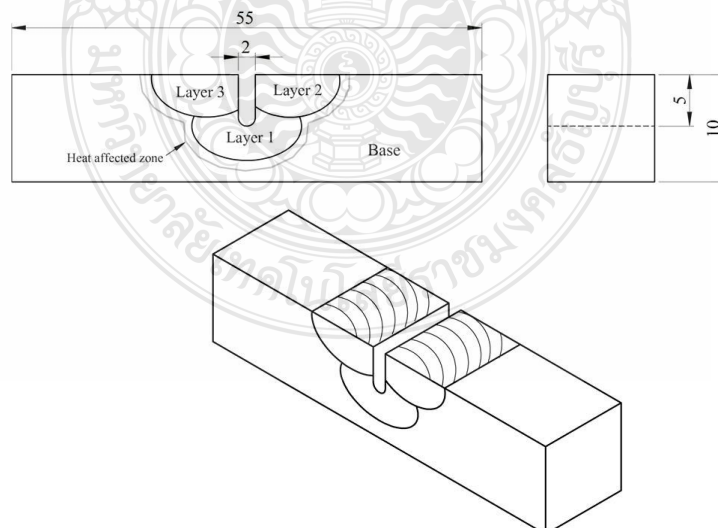
(ก) อุปกรณ์การให้ความร้อนชิ้นงานก่อนการเชื่อม (Preheated)

(ข) การจับยึดชิ้นงานในการเชื่อม

รูปที่ 3.9 (ก) อุปกรณ์การให้ความร้อนชิ้นงานก่อนการเชื่อม (Preheated) (ข) การจับยึดชิ้นงานในการเชื่อม

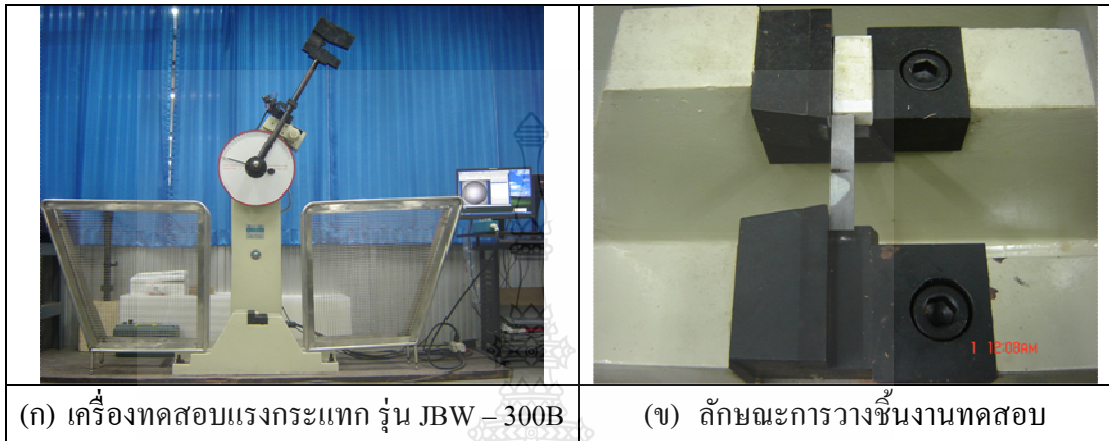
3.4 การทดสอบสมบัติทางกล

1) การทดสอบแรงกระแทก (Charpy Impact Testing) นำชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการเชื่อมเสร็จแล้ว มาทำการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงกระแทกทำการตัดด้วยเครื่องตัดและหล่อเย็นชิ้นงานขณะทำการตัด และทำการทดสอบด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ ตามมาตรฐาน ASTM E23-00 [17] ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ชิ้นทดสอบการกระแทกตามมาตรฐาน ASTM E23-00 (TYPE C) [16]

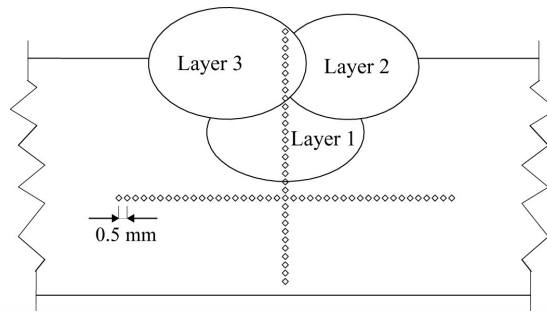
และทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทก (Impact Testing Machine) ดังรูปที่ 3.11 (ก) และ (ข) โดยใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ (Speed) 5.2 m/min และน้ำหนักในการตี (Load Impact) 350 J โดยทำการตีรอยเชื่อมจนแนวเชื่อมขาดหรือฉีกออกจากกัน และทำการบันทึกค่าการรับแรงกระแทก



รูปที่ 3.11 (ก) เครื่องทดสอบแรงกระแทกและ (ข) ลักษณะการวางชิ้นงานทดสอบ

2) การทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ (Microvicker Hardness Testing)

ทำการตัดเตรียมชิ้นงานในทิศทางตั้งฉากกับเนื้อแนวเชื่อม โดยนำไปขัดด้วยกระดาษทรายน้ำ ตั้งแต่เบอร์ 220 – 1,200 ตามลำดับ เพื่อให้หน้าชำระถึงสกรปรกออกให้หมด จนถึงกระดาษทรายเบอร์สุดท้ายล้างด้วยน้ำและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ เป่าแห้งด้วยลมและทำการวัดความแข็งของแนวเชื่อมจะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E92 [7] โดยใช้เครื่องทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ดังรูปที่ 3.12 กดลากผ่านเป็นเส้นตรงขวางแนวเชื่อมจากด้านซ้ายมาทางด้านขวาผ่านบริเวณพื้นที่หน้าตัดกระทบร้อน (Heat Affected Zone: HAZ) บริเวณพื้นที่ของเนื้อแนวเชื่อม (Weld Zone) และเนื้อโลหะเชื่อม (Base Metal) ในบริเวณตำแหน่งด้านล่างของขอบแนวเชื่อมชั้นที่ 1 (Fusion Boundary First Layer) มีระยะห่างของรอยกด 0.5 mm และกดเป็นเส้นตรงตามทิศทางแนวเชื่อม จากด้านบนลงมาด้านล่างบริเวณพื้นที่ของเนื้อแนวเชื่อม (Weld Zone) มีระยะห่างของรอยกด 0.5 mm โดยใช้แรงกด 10 kgf. และใช้เวลาในการกดแช่ประมาณ 10 วินาที ดังรูปที่ 3.13



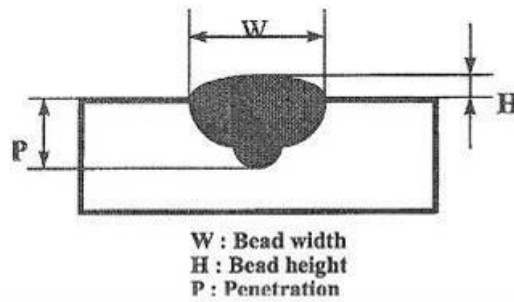
รูปที่ 3.12 ลักษณะทิศทางการกดด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์รอยกดตามมาตรฐาน JIS Z 3101 (1990) [22]



รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์

3) การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค (Macro-Testing)

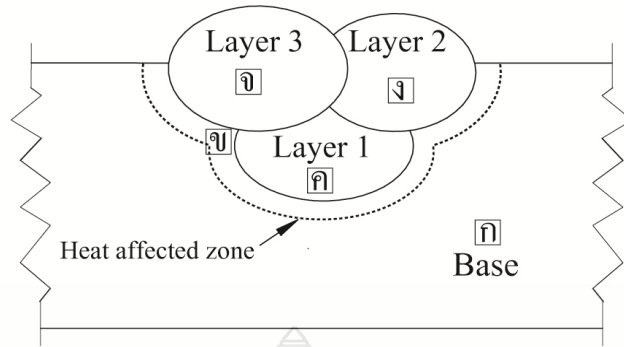
การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคจะทำตัดชิ้นทดสอบในทิศทางตั้งฉากกับเนื้อแนวเชื่อม ด้วยเครื่องตัดแบบหล่อเย็น จากนั้นนำชิ้นทดสอบมาขัดกระดาษทรายและทำการกัดกรด (Etching) ด้วยสารละลายเอทานอล (95%) 100 mm กรดไนตริก 1-5mm ตามมาตรฐาน ASTM E340 [17] แล้วตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอแบบซูม (Stereo Microscope) ที่มีกำลังขยายต่ำ และทำการวัดขนาดแนวเชื่อม ค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความสูงของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) ดังรูปที่ 3.14 โดยตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกำลังที่ขยาย 10 – 50 เท่า



รูปที่ 3.14 การวัดขนาดบริเวณบ่อหลอมแนวเชื่อม [23]

4) การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ที่กำลังขยาย 50-500 เท่า ดังรูปที่ 3.16 นำชิ้นงานส่วนที่ต้องการตรวจสอบมาตัดแบ่งชิ้นส่วนด้วยเครื่องตัดและทำการขัดด้วยกระดาษทรายเรียงลำดับจากเบอร์หยาบ ไปจนถึงเบอร์ละเอียด โดยเริ่มจากเบอร์ 220 - 1,200 ตามลำดับ ในการขัดวางกระดาษทรายลงบนจานขัดของเครื่องขัด ในขณะที่ขัดจะต้องเปิดน้ำอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้น้ำชำระสิ่งสกปรกซึ่งได้แก่ ผงโลหะ และซิลิโคนคาร์ไบด์ออกให้หมด และเมื่อทำการเปลี่ยนกระดาษทรายแผ่นต่อไปควรขัดชิ้นงานไปอีกแนวทางหนึ่งสลับกันเป็นตารางกับแนวเดิม ทำเช่นนี้จนถึงกระดาษทรายแผ่นสุดท้าย และในการขัดควรใช้แรงกดพอประมาณ ไม่ควรออกแรงกดมากเกินไป จะทำให้โครงสร้างของชิ้นทดสอบเกิดความบวมพองจนทำให้การตรวจสอบโครงสร้างเกิดข้อผิดพลาดได้ จากนั้นได้นำไปขัดผิวด้วยผงขัด (Polishing) ที่มีขนาดตั้งแต่ 1-3 ไมครอน เป็นการขัดผิวมันของชิ้นตรวจสอบด้วยผงขัดที่ทำจากผงอะลูมินา (Alumina Oxide) และผงเพชร (Diamond) ล้างด้วยน้ำและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ เป่าแห้งด้วยลมเมื่อเสร็จขั้นตอนดังกล่าวทำการกัดกรดที่มีส่วนผสมของกรดตามมาตรฐาน ASTM E407 [20] ประกอบด้วย เอทานอล (95%) 100 mL กรดไนตริก 1-5 mL ใช้เวลาในการจุ่มแช่นาน 10 วินาที จากนั้นล้างกรดด้วยน้ำและเอทานอลและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ เป่าแห้งด้วยลม นำชิ้นงานทดสอบมาตรวจดูโครงสร้างจุลภาคเพื่อดูการกระจายตัวลักษณะของเกรน บริเวณแนวเชื่อม แสดงดังรูปที่ 3.15

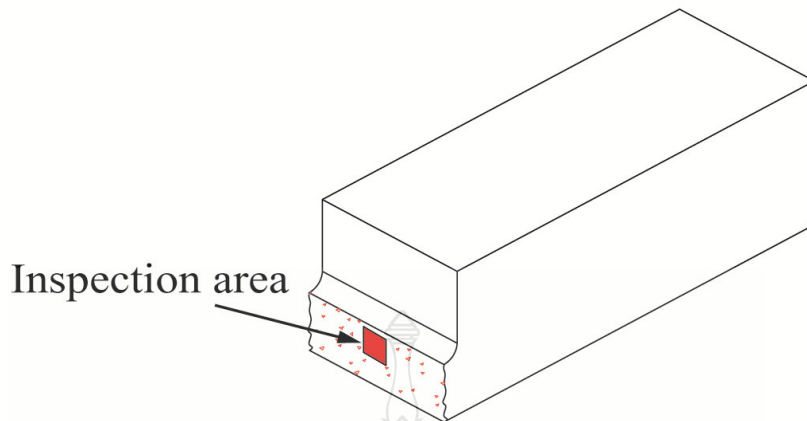


รูปที่ 3.15 บริเวณตำแหน่งการตรวจสอบโครงสร้างจุดภาค



รูปที่ 3.16 กล้องจุลทรรศน์และอุปกรณ์บันทึกข้อมูล [15]

5) การตรวจโครงสร้างจุดภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope : SEM) เพื่อศึกษาโครงสร้างจุดภาคของรอยฟังกหลาย และศึกษาการกระจายตัวของอิเล็กตรอน (EDS) ของรอยฟังกหลาย โดยตัดชิ้นงานให้มีขนาดพอเหมาะที่จะเอาเข้าเครื่องได้ หลังจากนั้นทำการตรวจรอยแตกหักด้วยกำลังขยาย 200 เท่า บริเวณตำแหน่งรอยแตกหัก แสดงดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 บริเวณตำแหน่งตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด

6) การวิเคราะห์ชิ้นงานทดสอบโดยใช้เทคนิค Electron Probe Microanalysis (EPMA), EDS-Line Scan, EPMA-Mapping ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของธาตุที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งที่ทำการตรวจสอบของรอยเชื่อมที่ทำการทดสอบแบบทำลายและไม่ทำลาย โดยแสดงตำแหน่งการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีหรือปริมาณธาตุของรอยเชื่อมในตำแหน่งต่างๆ



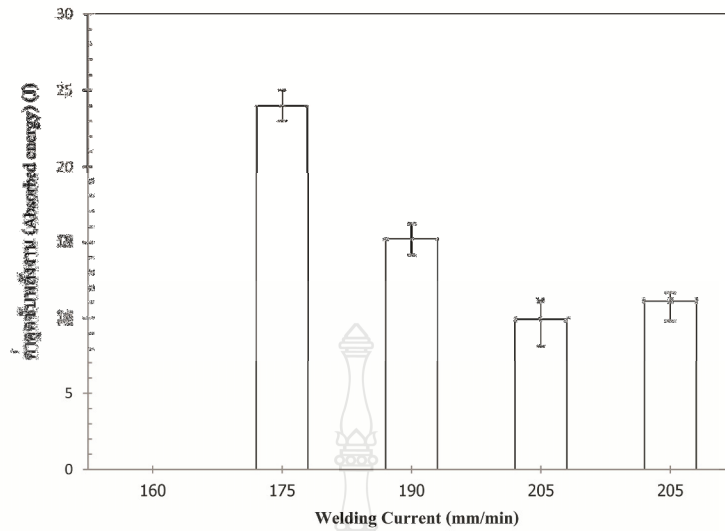
บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยการทดลองการเชื่อมซ่อมแบบอาร์กโลหะแก๊สปกคลุมเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น SKD 11 ที่ใช้ตัวแปรกระแสเชื่อม (Welding Current) 175, 190, 205 และ 220 A ความเร็วเดินเชื่อม (Welding Speed) 150-350 mm/min และใช้แก๊สปกคลุม 80%Ar + 20%CO₂ มาทำการเชื่อม จากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมแล้วมาทำการตรวจสอบความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมทางกายภาพ ด้วยวิธีการตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Test) ตรวจสอบความกว้าง ความนูน และการหลอมละลาย ลึกของแนวเชื่อมด้วยวิธีการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค (Macro Structure) ทดสอบสมบัติทางกล ได้แก่ ทดสอบหาค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact Test) ทดสอบความแข็งแนวเชื่อม (Hardness Test) และตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา และนำมาตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) แล้วนำมาวิเคราะห์ผลเพื่อหาค่าตัวแปรที่ดีที่สุด นำค่าตัวแปรที่ดีที่สุดมาเชื่อมแล้วนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment) คือ ผ่านกระบวนการชุบแข็ง (Hardening) ผ่านกระบวนการอบคืนไฟ (Tempering) และผ่านกระบวนการอบอ่อน (Annealing) แล้วทำการทดสอบหาสมบัติทางกลและตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา และตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) นำผลมาเปรียบเทียบและสรุปวิเคราะห์ผลความแตกต่างได้ตามหัวข้อดังนี้

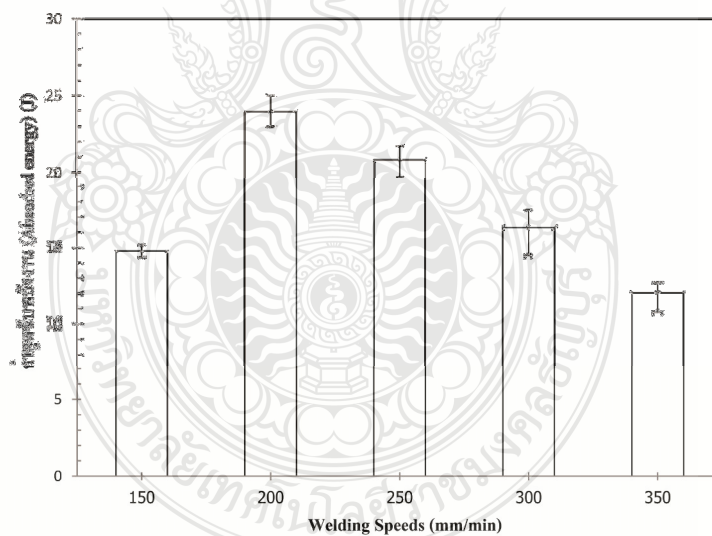
4.1 อิทธิพลของกระแสเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงกระแทก

ตัวแปรการเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมประกอบด้วยกระแสเชื่อม 175, 190, 205 และ 220 A กำหนดความเร็วเดินเชื่อม 200 mm/min ผลการทดสอบความแข็งแรงกระแทกที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 mm/min พบว่า ที่ทำการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 175 A เริ่มต้น ค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าสูงประมาณ 24 J ขณะที่ทำการเพิ่มกระแสเชื่อมขึ้น 190-205 A ค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าแนวโน้มลดต่ำลง และเมื่อเพิ่มกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นอีกที่ 220 A พบว่าค่าความแข็งแรงกระแทกหรือค่าการดูดซับพลังงาน (Absorbed Energy) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ต่ำกว่าค่าความแข็งแรงกระแทกที่กระแสเชื่อม 175 A แสดงดังรูปที่ 4.1 ที่ตัวแปรการเชื่อมได้นำเสนอไว้ในภาคผนวก ก-ค



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อม 200 mm/min ที่กระแสเชื่อม 175-220 A

4.2 อิทธิพลของความเดินเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงกระแทก



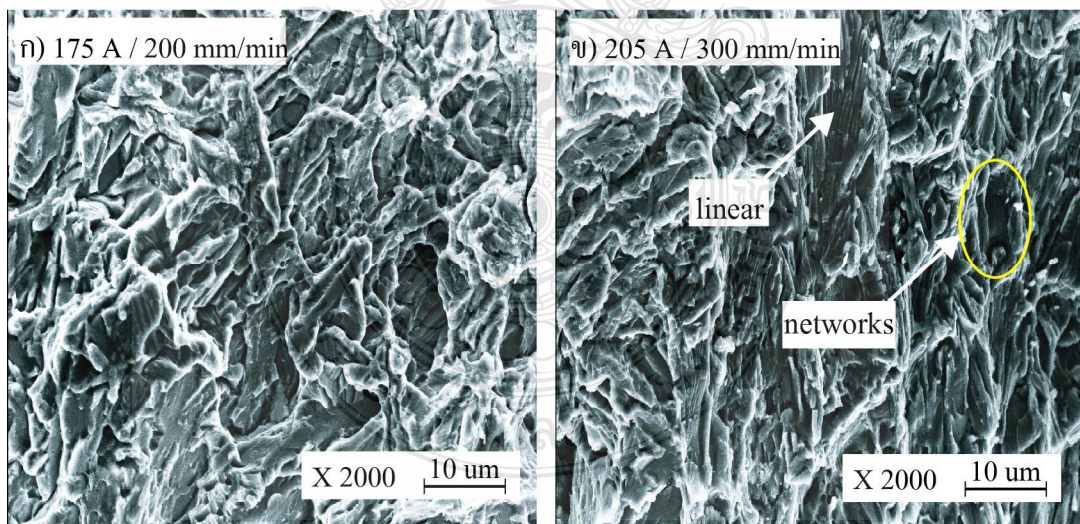
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเชื่อม 175 A ที่ความเร็วเดินเชื่อม 150 – 350 mm/min

รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อม 150, 200, 250, 300 และ 350 mm/min โดยนำผลของกระแสเชื่อมที่มีค่าความแข็งแรงกระแทกสูงแสดงในรูปที่ 4.1 คือ กระแส

เชื่อม 175 A มาทำการเชื่อม ผลการทดสอบ พบว่า เมื่อทำการเชื่อมที่ความเร็วเดิน 150-200 mm/min ค่าความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเร็วเดินเชื่อมที่เพิ่มขึ้นและเมื่อเพิ่มความเร็วเดินเชื่อมที่ 250-350 mm/min พบว่าค่าความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดต่ำลงตามลำดับ และได้ค่าความแข็งแรงกระแทกที่มีค่าสูงสุดที่ความเร็วเดินเชื่อม 150-350 mm/min ในการหาค่าตัวแปรความเร็วเดินเชื่อม คือ 200 mm/min มีความแข็งแรงกระแทกประมาณ 24 J แสดงดังรูปที่ 4.2

4.3 การเปรียบเทียบลักษณะการพังทลาย

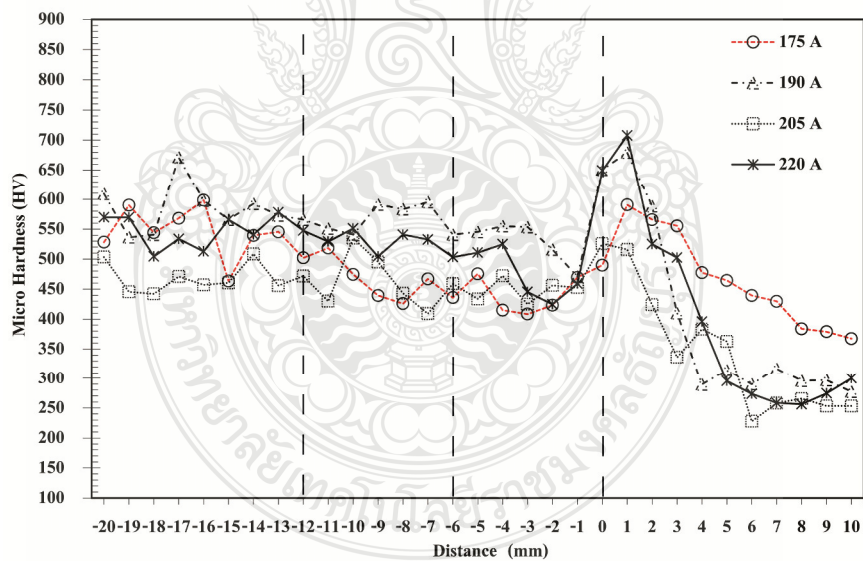
รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะพื้นผิวการพังทลายที่ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงและต่ำโดยผ่านการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope) ตำแหน่งการตรวจสอบแสดงดังรูปที่ 3.16 ผลการตรวจสอบพบว่า ลักษณะการพังทลายชิ้นงานเชื่อมที่มีค่าความแข็งแรงกระแทกสูงสุดที่ กระแสเชื่อม 175 A และความเร็วเดินเชื่อม 200 mm/min เป็นแบบลักษณะขรุขระต่างกันดังรูปที่ 4.3 (ก) ขณะที่ลักษณะพื้นผิวการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 205 A และความเร็วเดินเชื่อม 300 mm/min ที่แสดงค่าความแข็งแรงกระแทกต่ำสุดแสดงดังรูปภาคผนวก ข .1.1 ซึ่งเป็นแบบคล้ายรูปตาข่าย (Network) แสดงดังพื้นที่วงรีและบางจุดของพื้นที่มีลักษณะของทิศทางพื้นผิวเป็นเส้นตรงแสดงดังลูกศรชี้ในรูปที่ 4.3 (ข)



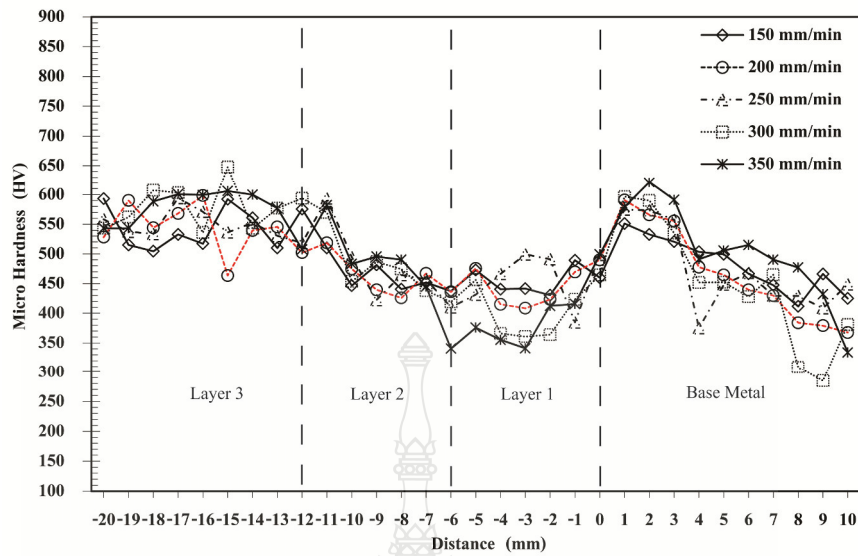
รูปที่ 4.3 ลักษณะพื้นผิวการพังทลาย (ก) 175A / 200 mm/min ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงสุด (ข) 205A / 300 mm/min ค่าความแข็งแรงกระแทกต่ำสุด

4.4 ผลการทดสอบความแข็งของรอยเชื่อม

รูปที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งของรอยเชื่อมแบบไมโครวิกเกอส์ในทิศทางตั้งฉากกับรอยเชื่อมที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 mm/min กระแสเชื่อม 175-220 A พบว่า ที่ตำแหน่งจุดเริ่มต้นทดสอบโลหะฐาน (Base Metal) ตำแหน่ง 10 ค่าความแข็งทุกกระแสเชื่อม มีแนวโน้มใกล้เคียง และเมื่อทดสอบจนถึงรอยต่อแนวเชื่อมชั้นที่ 1 (Layer 1) ที่ตำแหน่งจุดที่ 1 ค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกกระแสเชื่อมและลดต่ำอีกครั้งที่จุดทดสอบตำแหน่งที่ -1 ที่แนวเชื่อมชั้นที่ 1 ขณะที่ทำการเพิ่มจำนวนชั้นค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนชั้นสังเกตได้จากจุดทดสอบที่ตำแหน่ง ที่-2 ถึง -20 ซึ่ง Winarto and Dedi Priadi [24] ได้อธิบายการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งตามจำนวนชั้นที่เพิ่มขึ้นนั้นเกิดเนื่องจากความแตกต่างของส่วนผสมทางเคมีเกิดขึ้นจากการผันแปรระดับการเจือจาง (Dilution) ในจำนวนชั้นเชื่อมและรูปที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งของรอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 175 A ในทิศทางตั้งฉากกับแนวเชื่อมโดยแสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วเดินเชื่อมที่ 150 – 350 mm/min พบว่า ค่าความแข็งมีแนวโน้มใกล้เคียงกันทุกความเร็วเดินเชื่อมและค่าความแข็งของแนวมีความคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงของกระแสเชื่อมดังรูปที่ 4.5 ที่มีการเพิ่มขึ้นของจำนวนชั้นและค่าความแข็งเพิ่มสูงขึ้นตาม



รูปที่ 4.4 ความแข็งของรอยเชื่อมที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 mm/min กระแสเชื่อม 175-220 A

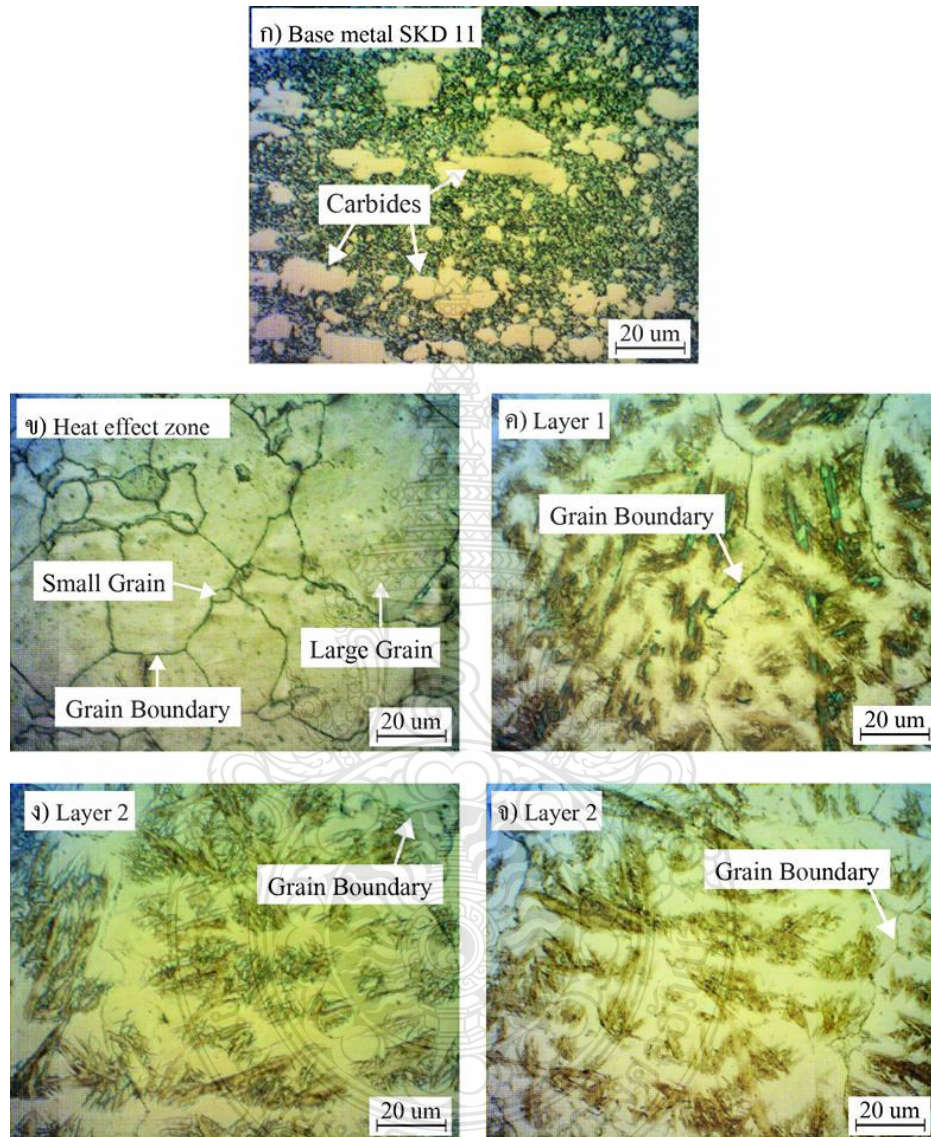


รูปที่ 4.5 ความแข็งของรอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 175 A ความเร็วเดินเชื่อม 150 – 350 mm/min

4.5 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

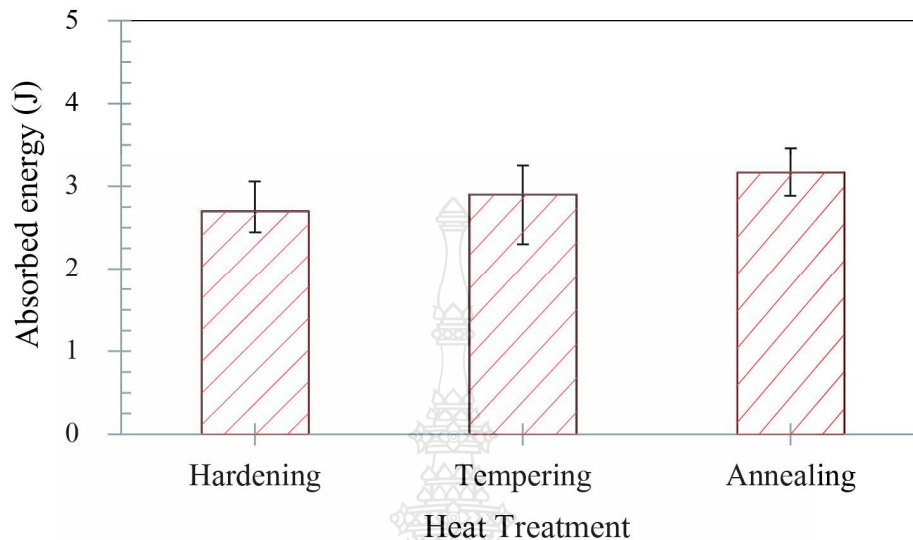
รูปที่ 4.6 แสดงผลการตรวจสอบ โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมเชื่อมแบบอาร์คโลหะแก๊ส ปกคลุมเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น SKD 11 ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างจุลภาคที่มีค่าความแข็งแรงกระแทกสูงสุดที่กระแสเชื่อม 175 A ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 mm/min ส่วนโครงสร้างจุลภาคตัวแปรอื่นไม่ขอกล่าวแต่จะแสดงในภาคผนวก ก ผลการตรวจสอบ พบว่า ที่โครงสร้างจุลภาคโลหะฐาน เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น SKD 11 มีส่วนประกอบโครงสร้างของคาร์ไบด์ขนาดใหญ่แสดงดังลูกศรชี้ดังรูปที่ 4.6 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับการแสดงของผลโครงสร้างโลหะฐานของเหล็กกล้าแม่พิมพ์งานเย็น AISI D2 ของ N.Yasavol et al [25] ขณะที่บริเวณกระทบร้อน (Heat Effect Zone) แสดงดังรูปที่ 4.6 (ข) พบขนาดเกรนขนาดเล็กและขนาดใหญ่ปะปนกันอยู่ที่บริเวณกระทบร้อนแสดงดังลูกศรสีขาวชี้ และพบขอบเกรน (Grain Boundary) เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างเกรนขนาดเล็กและเกรนขนาดใหญ่แสดงดังลูกศรสีขาวชี้การเกิดเม็ดเกรนขนาดเล็กและขนาดใหญ่พบว่ามีแนวโน้มส่งผลต่อค่าความแข็งที่สูงบริเวณรอยต่อระหว่างแนวเชื่อมชั้นที่ 1 และโลหะฐาน ที่ตำแหน่งทดสอบ -1 ถึง 4 ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 และที่บริเวณโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมชั้นที่ 1 ดังรูปที่ 4.6 (ค) พบ โครงสร้างมีลักษณะเป็นพื้นที่สีขาวและสีดำ และเมื่อเพิ่มจำนวนชั้นมากขึ้นที่แสดงโครงสร้างแนวเชื่อมชั้นที่ 3 ดังรูปที่ 4.6 (จ) พบ โครงสร้างมีลักษณะเป็นพื้นที่สีขาวสว่างเพิ่มขึ้นเกิดจากการเจือของส่วนของส่วนผสมทางเคมีซึ่ง

Winarto and Dedi Priadi [24] ก็ได้อธิบายการเงื่อนางของส่วนผสมทางเคมีที่มีผลต่อค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นในหัวข้อการทดสอบความแข็งและนอกจากนั้นยังพบขอบเกรนบริเวณพื้นที่สีขาวทั้ง 3 ชั้น แสดงดังล็กครสีขาวซี้ดังรูปที่ 4.6 (ค) - (จ)



รูปที่ 4.6 โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 175 A ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 mm/min

4.6 อิทธิพลของกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment) ที่มีผลต่อความแข็งแรง กระแทก



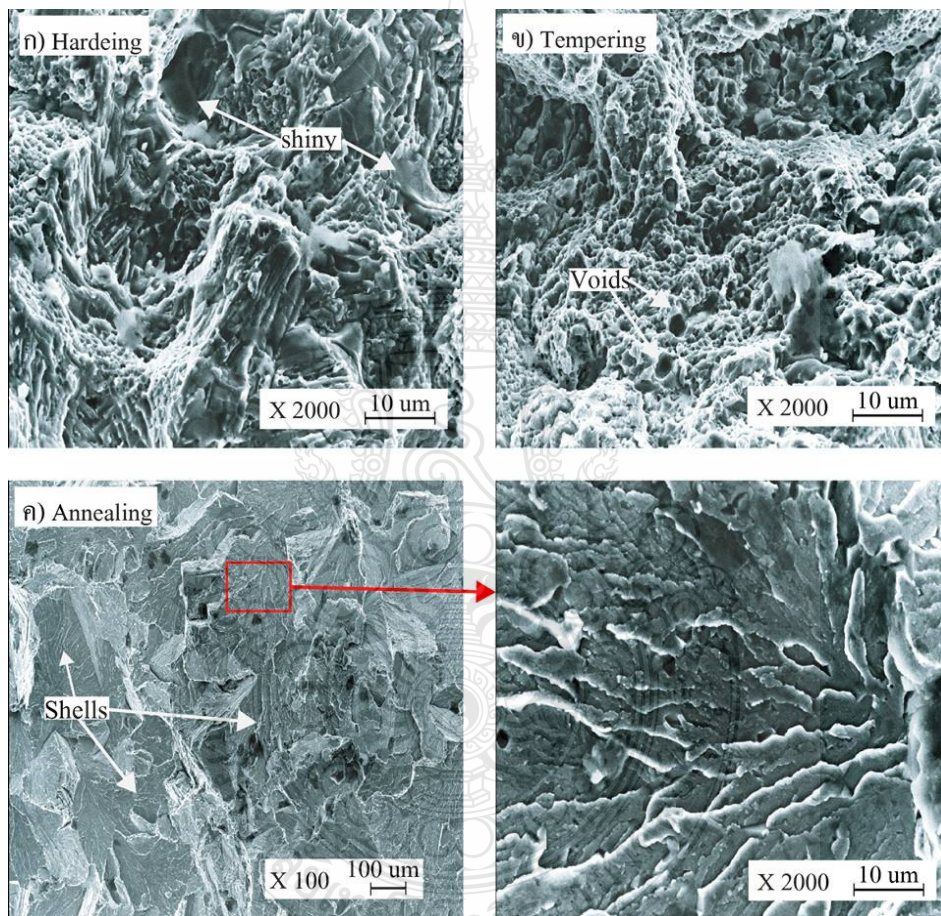
รูปที่ 4.7 ความแข็งแรงกระแทกของกระแสเชื่อม 175 A ความเร็วเดินเชื่อม 200 mm/min ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment)

การหาค่าตัวแปรการเชื่อมซ่อมแบบอาร์กโลหะแก๊สปกคลุมเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น SKD 11 ที่เหมาะสม ตัวแปรที่ให้ค่าความแข็งแรงกระแทกสูง คือ กระแสเชื่อม 175 A ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 mm/min ตัวแปรดังกล่าวถูกนำมาทำการเชื่อมและนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment) คือ การชุบแข็ง (Hardening) การอบคืนไฟ (Tempering) และการอบอ่อน (Annealing) และทำการทดสอบหาสมบัติทางกลและตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองดังนี้

รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบความแข็งแรงกระแทกของกระแสเชื่อม 175 A ความเร็วเดินเชื่อม 200 mm/min ที่สรุปผลจากการหาค่าตัวแปรแล้วนำมาเชื่อมและผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment) คือ การชุบแข็ง (Hardening) การอบคืนไฟ (Tempering) และการอบอ่อน (Annealing) ผลการทดสอบพบว่า กระบวนการทางความร้อนที่ให้ค่าความแข็งแรงกระแทกสูง คือ กระบวนการทางความร้อน การอบอ่อน มีค่าความแข็งแรงกระแทกประมาณ 3.2 J ขณะที่กระบวนการทางความร้อนที่ให้ค่าความแข็งแรงกระแทกต่ำ คือ การชุบแข็ง มีค่าความแข็งแรงประมาณ 2.8 J แสดงดังในรูปที่ 4.7 และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความแข็งแรงกระแทกที่สูงสุด

ของกระบวนการทางความร้อนกับชิ้นงานเชื่อมที่ไม่ผ่านทางกระบวนการทางความร้อนที่กระแสเชื่อม 175 A ความเร็วเดินเชื่อม 200 mm/min พบว่าค่าความแข็งแรงกระแทกที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนมีค่าความแข็งแรงกระแทกต่ำกว่าประมาณ 87 เปอร์เซ็นต์ และหลังจากนั้นนำชิ้นงานแตกหักที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนมาทำการตรวจสอบ

4.7 ลักษณะการพังทลายของชิ้นที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment)



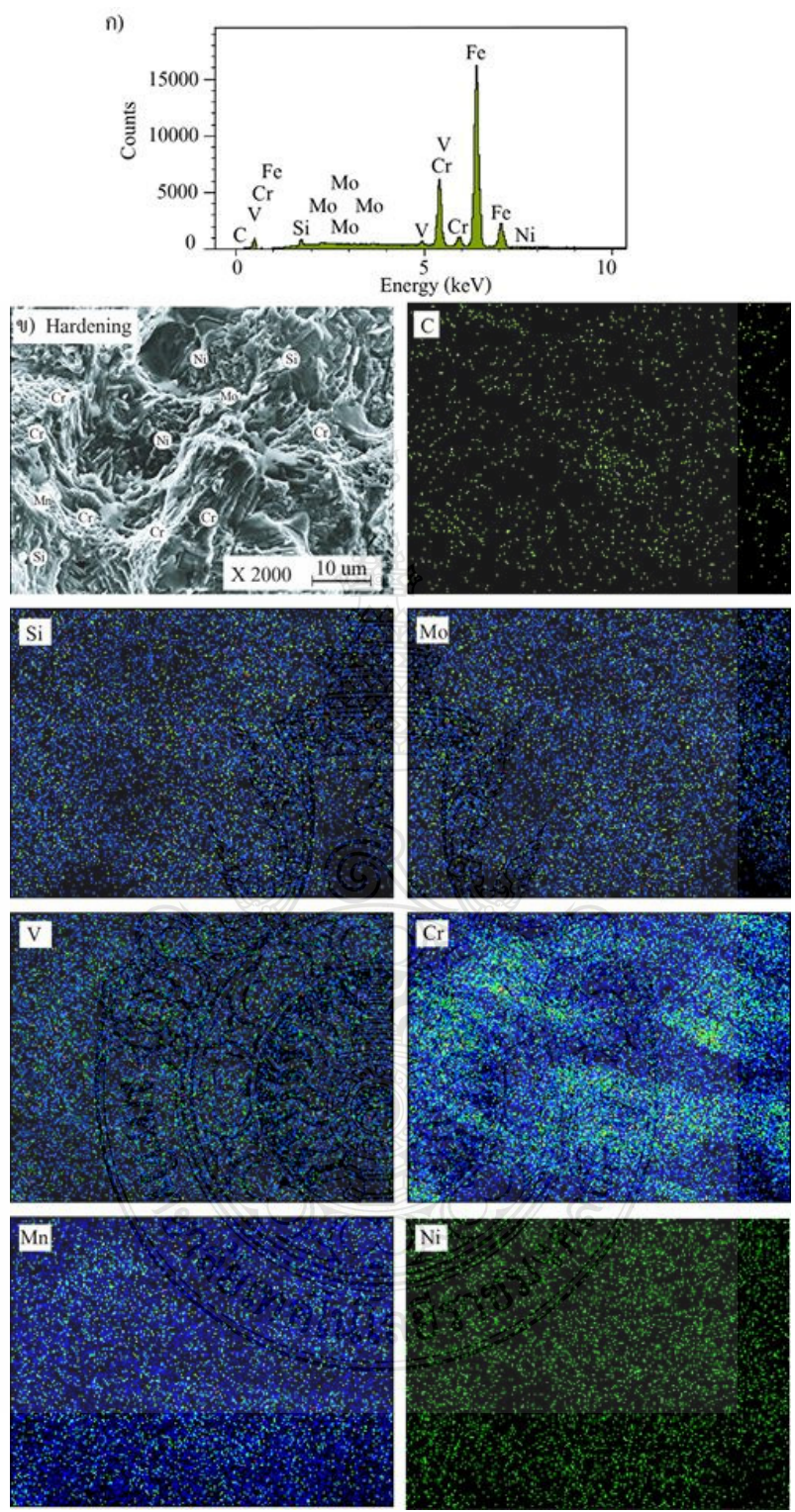
รูปที่ 4.8 ลักษณะการพังทลายของชิ้นที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน (ก) การชุบแข็ง (Hardening) (ข) การอบคืนไฟ (Tempering) (ค) การอบอ่อน (Annealing)

รูปที่ 4.8 ผลการตรวจสอบลักษณะการพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน พบว่า ลักษณะการพังทลายของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน การชุบแข็ง

(Hardening) ที่มีค่าความแข็งแรงกระแทกต่ำ มีลักษณะการพังทลายมีพื้นที่บางส่วนมันวาว (Shiny) ดัง ลูกรศสีขาวซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.8 (ก) ขณะที่ชิ้นงานที่ผ่านการอบคืนไฟ (Tempering) แสดงดังรูปที่ 4.8 (ข) พบว่า ลักษณะการพังทลายของพื้นผิวมีลักษณะเป็นเม็ดกลมๆขนาดเล็ก และเกิดช่องว่าง (Voids) แสดงดังลูกรศสีขาวซึ่งชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อน (Annealing) พบว่า ลักษณะการพังทลายคล้ายกับ แตกหักระหว่างเกรน (Transgranular fracture) และมีรูปร่างการแตกหักคล้ายกับก้นหอย (Shells) แสดงดังลูกรศสีขาว ขณะที่ชิ้นงานที่แสดงดังรูปที่ 4.8 (ค) และเมื่อนำมาขยายรูปบริเวณพื้นที่สีเหลืองสีแดง พบว่าการแตกหักจะมีลักษณะแบนเรียบมีการแผ่กระจายเป็นเส้นคล้ายสายน้ำ [26] และมีความ สอดคล้องกับงานวิจัยของ H.Hadraba et.al. [27] ที่ทำการศึกษาการแปลงสภาพของการแตกหัก ระหว่างเกรนในเหล็กนิกเกิลโครเมียม (NiCr) ในการเปลี่ยนแปลงระดับช่วงเวลากการอบอ่อนเย็นตัว โดยการทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปีบากร่องวี (Charpy V-Notch)

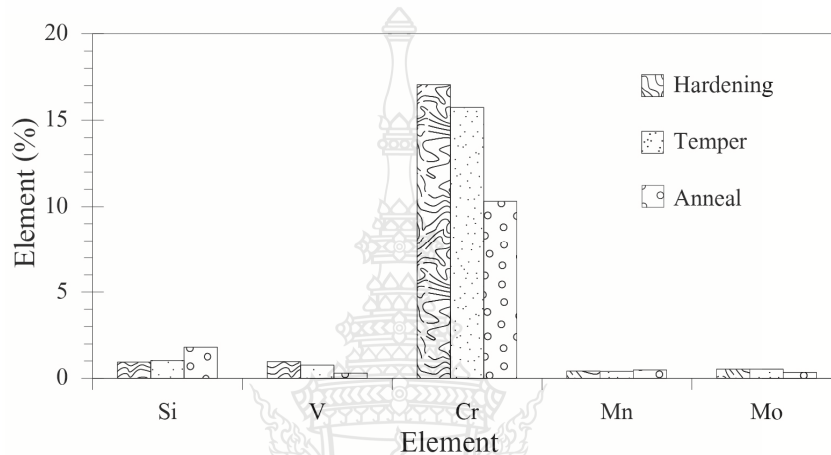
4.8 ผลตรวจสอบการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุด้วยเทคนิค EPMA-Mapping EPMA รอยพังทลายที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment)

รูปที่ 4.9 นำชิ้นงานการพังทลายที่ผ่านการทดสอบความแข็งแรงกระแทกมาทำการ ตรวจสอบการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุด้วยเทคนิค EPMA-Mapping EPMA ที่มีค่าความ แข็งแรงกระแทกต่ำที่แสดงดังรูปที่ 4.7 โดยผ่านกระบวนการชุบแข็ง (Hardening) ผลการตรวจสอบ พบปริมาณธาตุต่างๆ คือ คาร์บอน ซิลิกอน โมลิบดีนัม โครเมียม แมงกานีส และ นิกเกิล แสดงดังรูป ที่ 4.9 (ก) แต่เมื่อสังเกตปริมาณการกระจายตัวของธาตุพบว่าธาตุโครเมียมมีการกระจายปริมาณมาก บางจุดบนบริเวณพื้นที่การพังทลายที่เป็นพื้นที่มันวาว (Shiny) แสดงตำแหน่งการกระจายตัวของธาตุ ดังรูปที่ 4.9 (ข) ขณะที่ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุของชิ้นงานที่พังทลาย ผ่านการอบคืนไฟแสดงดังรูปที่ 4.10 พบว่าธาตุโครเมียมมีการกระจายของธาตุปริมาณมากบางจุดบน บริเวณพื้นที่การพังทลายแสดงดังรูปที่ 4.10 (ก) และแสดงสัญลักษณ์ของธาตุบนพื้นที่การแตกหักที่ พบการกระจายตัวของธาตุดังรูปที่ 4.10 (ข) และชิ้นงานการพังทลายที่ผ่านการอบอ่อนและผ่าน ทดสอบความแข็งแรงกระแทกที่มีค่าความแข็งแรงสูงแสดงผลการตรวจสอบการวิเคราะห์การ กระจายตัวของธาตุต่างๆ ดังรูปที่ 4.11 (ก) และพบปริมาณธาตุกระจายตัวอยู่บริเวณพื้นที่การพังทลาย คล้ายกับรูปที่ 4.8 และ รูปที่ 4.9 แต่เมื่อสังเกตของธาตุโครเมียมที่ตรวจสอบการกระจายตัวพบว่ามีธาตุ โครเมียมอยู่ที่บริเวณเส้นคล้ายสายน้ำปริมาณมากและแสดงสัญลักษณ์ที่พบธาตุต่างๆบริเวณพังทลาย แสดงดังรูปที่ 4.11 (ข) และเมื่อทำการตรวจสอบด้วยการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุพบเห็นค่า ความแตกต่างของธาตุ ซิลิกอน โมลิบดีนัม โครเมียม แมงกานีส ได้นำมาทำกราฟวิเคราะห์



รูปที่ 4.9 การตรวจสอบวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุด้วยเทคนิค EPMA-Mapping EMPA รอย พังทลายการชุบแข็ง (Hardening)

ความแตกต่างของธาตุที่ตรวจสอบแสดงดังรูปที่ 4.12 พบว่าชิ้นงานเชื่อมที่ผ่านการชุบแข็ง (Hardening) ที่มีค่าความแข็งแรงกระแทกต่ำมีปริมาณธาตุโครเมียมและโมลิบดีนัมสูงขณะที่ชิ้นงานที่มีค่าความแข็งแรงกระแทกสูงพบว่ามีปริมาณของธาตุโครเมียมและ โมลิบดีนัมต่ำซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Srinivasan [28] ที่ได้กล่าวว่าการเพิ่มขึ้นของธาตุโครเมียม (Cr) และ โมลิบดีนัม (Mo) ส่งต่อค่าความแข็งที่สูงขึ้นบริเวณแนวเชื่อม ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบความแข็งที่จะกล่าวในหัวข้อ 4.9 ต่อไป

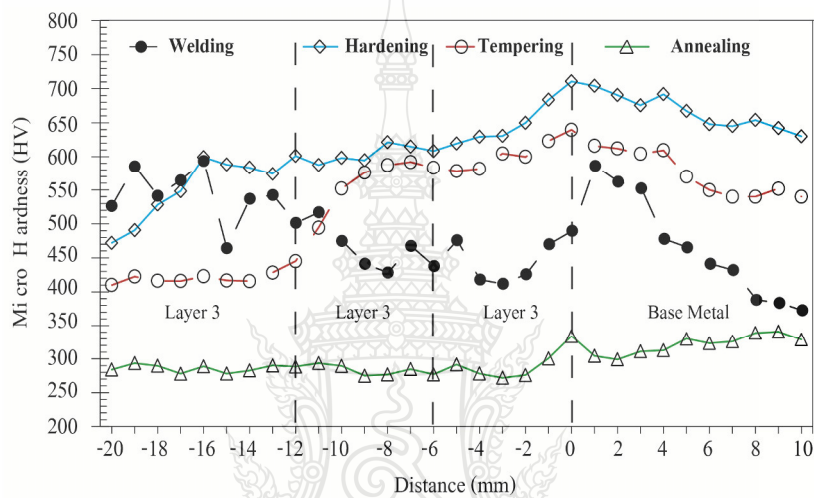


รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบปริมาณการกระจายตัวของธาตุด้วยเทคนิค EPMA-Mapping EMPA ของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment)

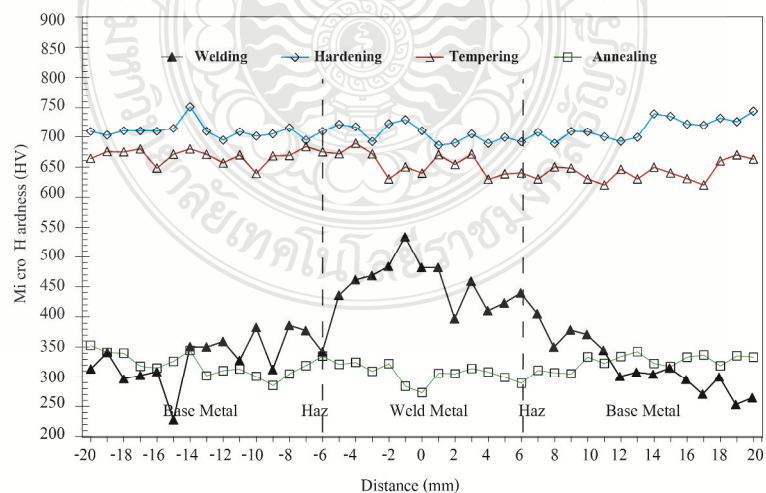
4.9 การเปรียบเทียบความแข็งของรอยเชื่อมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment)

รูปที่ 4.13 แสดงผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าความแข็งของรอยเชื่อมแบบไมโครวิกเกอร์ ในทิศทางตั้งฉากกับรอยเชื่อมของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment) ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 mm/min กระแสเชื่อม 175-220 A พบว่า ที่ตำแหน่งจุดเริ่มต้นทดสอบโลหะฐาน (Base Metal) ตำแหน่ง 10 ค่าความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็ง (Hardening) และอบคืนไฟ (Tempering) มีค่าความแข็งสูง ประมาณ 650 HV และ 550 HV ขณะที่ชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อน (Annealing) มีค่าความแข็งต่ำประมาณ 320 HV และเมื่อทำการทดสอบความแข็งจนถึงแนวเชื่อมที่ 3 (Layers 3) ที่ตำแหน่ง- 20 ค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่ผ่านการการชุบแข็งและอบคืนไฟพบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มลดต่ำลงขณะที่ชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนค่าความแข็งมีแนวโน้มสม่ำเสมอทุกชั้นแนวเชื่อม ขณะรูปที่ 4.14 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งของรอยเชื่อมในทิศทางขนานกับแนว

เชื่อม พบว่า ค่าความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งและอบคืนไฟมีค่าความแข็งสูงใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงประมาณ 650-750 HV ตลอดทุกตำแหน่งของรอยเชื่อม ในขณะที่ชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนมีค่าความแข็งต่ำอยู่ในช่วงประมาณ 300-350 HV ทุกตำแหน่งรอยเชื่อม การที่ค่าความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนต่ำนั้นผู้วิจัยคาดว่าน่าจะมาจากการลดลงของปริมาณธาตุโครเมียม (Cr) และ โมลิบดีนัม (Mo) ซึ่งผลการตรวจสอบเปรียบเทียบปริมาณการกระจายตัวของธาตุด้วยเทคนิค EPMA-Mapping EMPA ของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment) ดังรูปที่ 4.12 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Srinivasan ที่ได้กล่าวไว้ดังหัวข้อ 4.8



รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบความแข็งของรอยเชื่อมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment) ทดสอบแบบแนวตั้ง



รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบความแข็งของรอยเชื่อมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment) ทดสอบแบบแนวนอน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยการทดลองการเชื่อมซ่อมแบบอาร์กโลหะแก๊สปกคลุมเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น SKD 11 ใช้ตัวแปรกระแสเชื่อม (Welding Current) 175-220 A ความเร็วเดินเชื่อม (Welding Speed) 150-350 mm/min และใช้แก๊สปกคลุม 80%Ar + 20%CO₂ แล้วนำชิ้นงานค่าตัวแปรที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองเชื่อมนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment) คือ กระบวนการชุบแข็ง (Hardening) กระบวนการอบคืนไฟ (Tempering) และกระบวนการอบอ่อน (Annealing) แล้วทดสอบหาสมบัติทางกลและตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา ผลการทดลอง โดยมีสรุปดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 กระแสเชื่อมและความเร็วเดินเชื่อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ความแข็งแรงกระแทกหรือค่าดูดซับพลังงานลดลง ตัวแปรการเชื่อมซ่อมแบบอาร์กโลหะแก๊สปกคลุมเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น SKD 11 ที่ให้ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงสุด คือ กระแสเชื่อม 175 A และความเร็วเดินเชื่อม 200 mm/min มีค่าประมาณ 24 J

5.1.2 กระบวนการทางความร้อนส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงกระแทกหรือค่าดูดซับพลังงานลดลง

5.1.3 กระบวนการทางความร้อนที่ให้ค่าความแข็งแรงกระแทกหรือค่าดูดซับพลังงานดีที่สุดคือ การอบอ่อน มีค่าความแข็งแรงกระแทกประมาณ 3.2 J

5.1.4 การอบชุบชิ้นงานเชื่อมส่งผลทำให้ธาตุ โครเมียม และ โมลิบดีนัม มีการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวในโลหะเชื่อมและมีปริมาณสูงในโลหะเชื่อมที่ผ่านการชุบแข็งทำให้ค่าความแข็งแรงมีแนวโน้มสูง

5.2 ข้อเสนอแนะ

การทดลองศึกษาอิทธิพลตัวแปรในการเชื่อมซ่อมแบบอาร์กโลหะแก๊สปกคลุมเหล็กกล้า เครื่องมืองานเย็น SKD 11 เกิดปัญหาในระหว่างการทดลองจึงต้องมีการปรับปรุงหรือใช้ในการทดลองในคราวต่อไป โดยมีข้อเสนอแนะไว้ในการพิจารณาดังนี้

5.2.1 ในการทดลองศึกษาครั้งต่อไปควรทดลองเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมที่หลากหลาย และเป็นกระบวนการเชื่อมที่ใช้กันโดยแพร่หลายในปัจจุบันเพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกลต่อ และ โครงสร้างจุลภาคต่อตัวแปรในกระบวนการเชื่อมตัวอื่น ๆ

5.2.2 ในระหว่างการเชื่อมเกิดกระแสไฟไม่คงที่เนื่องจากลักษณะการใช้ไฟของโรงงานไม่ สมดุลย์ เกิดไฟตก ทำให้การอาร์กของชิ้นงานเกิดข้อขัดข้องของกระแสไฟส่งผลต่อการหลอมละลาย ในระหว่างการอาร์กในการเชื่อม



รายการอ้างอิง

- [1] ชาญชัย ทรัพย์ากร ประสิทธิ์ สวัสดิศรพร และวิรุฬ ประเสริฐวรนนท์, “การออกแบบแม่พิมพ์”, พิมพ์ครั้งที่ 30. 2555. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด ที. เอส. บี. โปรดักส์, 2555.
- [2] สำนักงานบริหารโครงการพัฒนาอุตสาหกรรมแม่พิมพ์, <http://www.thaimould.com> (Online) Available: www.thaimould.com, (25 กรกฎาคม 2556)
- [3] J.C. Lee, H.J. Kang, W.S. Chu, S.H. Ahn, “Repair of Damaged Mold Surface by Cold Spray Method,” *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol 56, pp. 557-580, 2007.
- [4] M. Pleterki, J. Tusek, T. Muhic, L. Kosec, “Laser Cladding of Cold-Work Tool Steel by Pulse Shaping.” *J.Mater.Sci.Technol*, Vol 27(8), pp. 707-713, 2011.
- [5] Y. Sun, S. Hanaki, M. Yamashita, H. Uchida, H. Tsujii, “Fatigue behavior and fractography of laser-processed hot work tool steel.” *Vacuum* 73, pp. 655-660, 2004.
- [6] C. Zhang, X. Song, P. Lu, X. Hu, “Effect of Microstructure on Mechanical Properties in Weld-repaired High Strength Low Alloy Steel.” *Materials and Design* .36, pp.233-242, 2012.
- [7] C. Fan, M. C. Chen, C. M. Chang, W. Wu, “Microstructure change caused by $(Cr,Fe)_{23}C_6$ carbides in high chromium Fe–Cr–C hardfacing alloys.” *Surface&Coatings Technology Vol 201*, pp. 908-912, 2006.
- [8] H. X. Deng, H. J. Shi, S. Tsuruoka, H. C. Yu, B. Zhong, “Influence of welding technique and temperature on fatigue properties of steel deposited with Co-based alloy hardfacing coating.” *International Journal of Fatigue*, Vol 35, pp. 63-70, 2012.
- [9] C. M. Chang, Y. C. Chen, W. Wu, “Microstructural and Abrasive Characteristics of High Carbon Fe-Cr-C Hardfacing Alloy.” *Tribology International*, Vol 43, pp. 929-934, 2010.
- [10] สถาบันเหล็กกล้า, <http://www.isit.or.th> (Online) Available: www.isit.or.th (14 พฤศจิกายน 2556)
- [11] สมบูรณ์ เต็งหงส์เจริญ, งานเชื่อม โลหะ2, ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ, หน้า 87-94.
- [12] Md.Ibrahim Khan, “Review of conventional Welding Processes ,” in *Welding Science and Technology*. Edition 2007, New Age International (P) Ltd., Publishers, pp.16.
- [13] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, ศิริชัย ต่อสกุล, อนินท์ มีมนต์ และนรพร กลั่นประชา, *วัสดุวิศวกรรม*. กรุงเทพฯ: เซนเกจเลนนิ่ง, หน้า 328-337, 2550.

- [14] สุวัฒน์ ภูเกา, “การศึกษาอิทธิพลตัวแปรงานเชื่อมมิกต่อสมบัติของรอยต่อระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 430,” ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2553.
- [15] ชูชาติ ด้วงสงค์, *การทดสอบงานเชื่อมแบบทำลายสภาพ*, สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, 2555.
- [16] ขงยุทธ ดุลยกุล, “การศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยกระแสเชื่อมและส่วนผสมของแก๊สคลุมที่แตกต่างกันโดยกรรมวิธีการเชื่อมแม่เหล็ก” มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2551.
- [17] ปรินญา แสงทอง, “ผลการแปรพารามิเตอร์การเชื่อม MIG ต่อโครงสร้างและสมบัติของงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2549.
- [18] D. Iordachescu, L. Quintino, R. Miranda, G. Pimenta. “Influence of shielding gases and process parameters on metal transfer and bead shape in MIG brazed joints of the thin zinc coated steel plates.” *Materials & Design*, Vol 27, pp.381-390, 2006.
- [19] D.Brandon, and W.D. Kaplan, *Joining Processes*, An introduction. New York. John Wiley & Sons, 1997.
- [20] อนุสิทธิ์ อ่ำไพโรบลย์, “ปัจจัยที่เหมาะสมของการเชื่อมแบบอาร์คโลหะก๊าซคลุม” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น, 2550.
- [21] ภักดี ดำเนินผล, “การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในกระบวนการเชื่อมมิก ต่อโครงสร้างจุลภาค และสมบัติเชิงกลเหล็กกล้า ออสเทนนิติก AISI 304,” มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี 2552.
- [22] Japanese Standards Association, *JIS Handbook Ferrous Material&Metallurgy L:JIS Z 3101 (1990)*, Japan:Japanese Standards Association, pp.454-456. 1997.
- [23] L. J. Yang, R. S. Chandel and M. J. Bibby, “The effects of process variables on the weld deposit area of submerged arc welds.” *Weld J*, Vol 72, pp. 11–8, 1993.
- [24] Winarto and Dedi Priadi, “Effect of preheating and buttering on cracking susceptibility and wear resistance of hardfaced HSLA steel deposit.” *Japan Science and Technology Vol.31, No.4* pp. 202-205, 2013.
- [25] N.Yasavol, A.Abdollah-zadeh, M.T.Vieira, H.R.Jafarian, “Microstructure evolution and texture development in a friction stir-processed AISI D2 tool steel.” *Applied Surface Science, Vol. 293*, pp 151-159, 2014.

- [26] J.Qinglei, Li Yajiang, W. Juan and Z. Lei. “Characterization on strength and toughness of welded joint for Q550 steel.” *Bull Mater Sci, Vol 34, No. 1*, pp 1611-167, 2011.
- [27] H. Hadraba, O. Nemeč, I. Dlouhy, “Conversion of transgranular to intergranular fracture in NiCr steels.” *Engineering Fracture Mechanics, Vol 75*, pp 3677–3691. 2008.
- [28] P.Bala Srinivasan, V. Muthupandi, W. Dietzel, V.Sivan, “An assessment of impact strength and corrosion behaviour of shielded metal arc welded dissimilar weldments between UNS 31803 and IS 2062 steels.” *Materials and Design Vol. 27* pp. 182–191, 2006.



ภาคผนวก



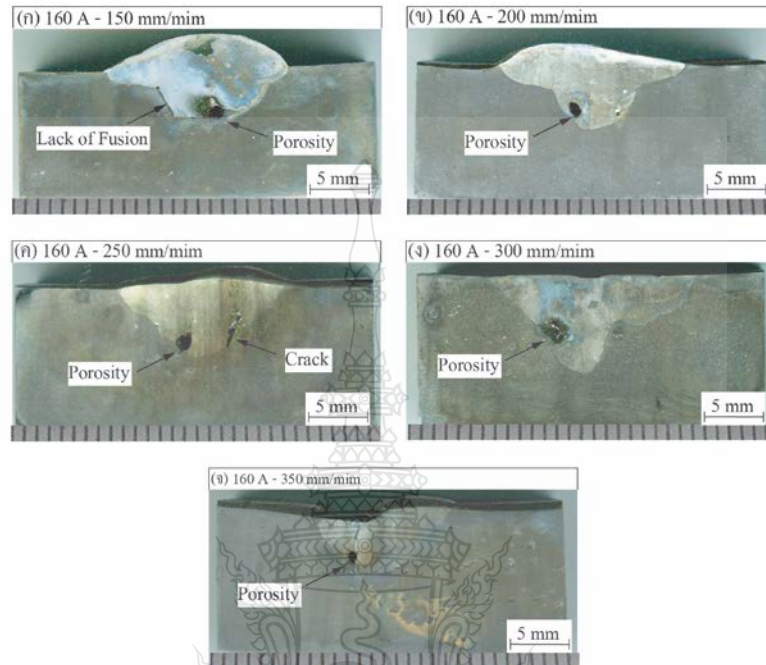
ภาคผนวก ก

ลักษณะ โครงสร้างมหาภาคและ โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม

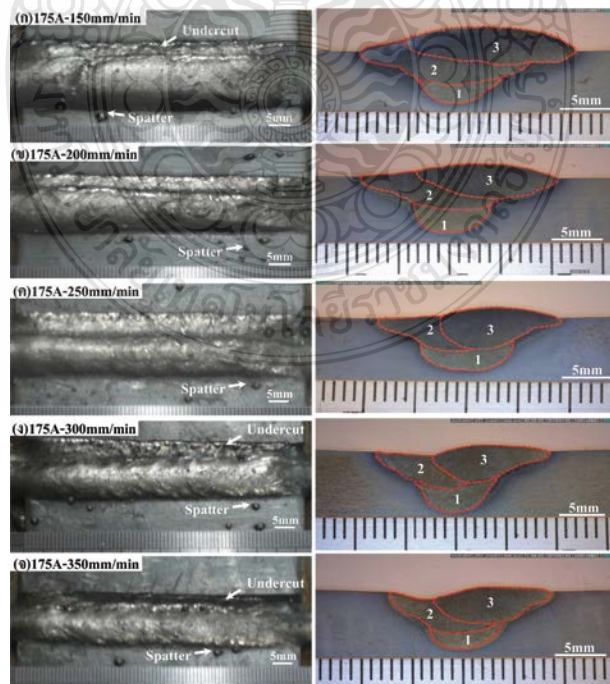


ก.1 ลักษณะโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อม

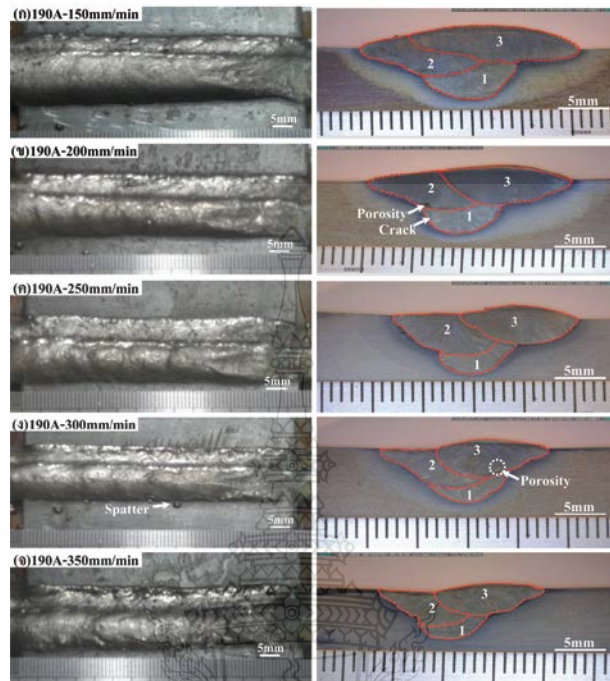
รูปที่ ก.1.1 โครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 160 A ความเร็วเดินเชื่อม 150 – 350 mm/min



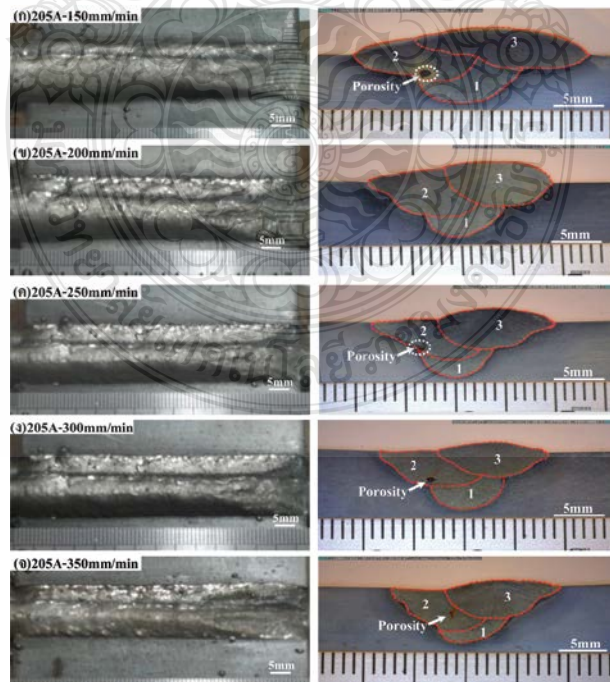
รูปที่ ก.1.2 โครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 175 A ความเร็วเดินเชื่อม 150 – 350 mm/min



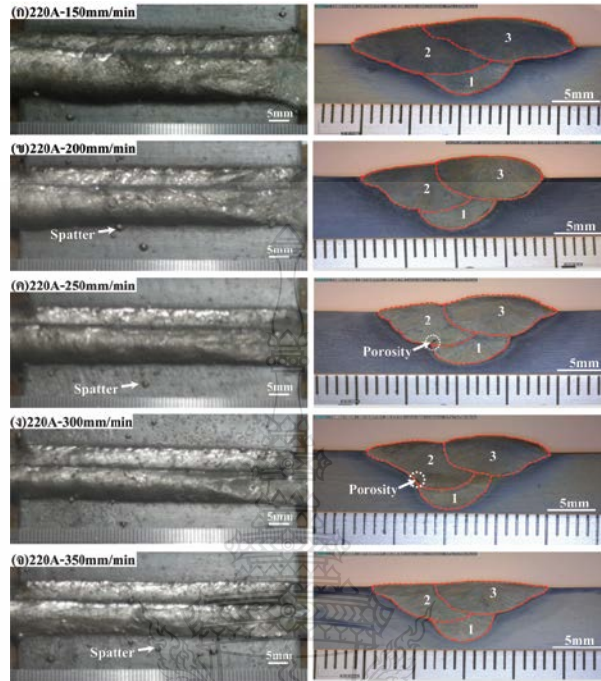
รูปที่ ก.1.3 โครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 190 A ความเร็วเดินเชื่อม 150 – 350 mm/min



รูปที่ ก.1.4 โครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 205 A ความเร็วเดินเชื่อม 150 – 350 mm/min

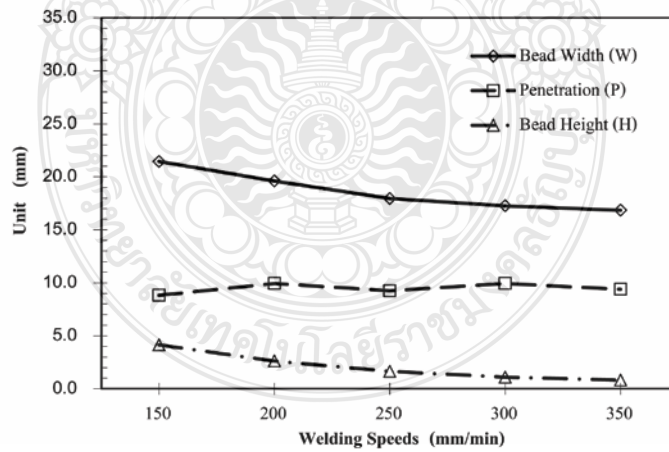


รูปที่ ก.1.5 โครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 220 A ความเร็วเดินเชื่อม 150 – 350 mm/min

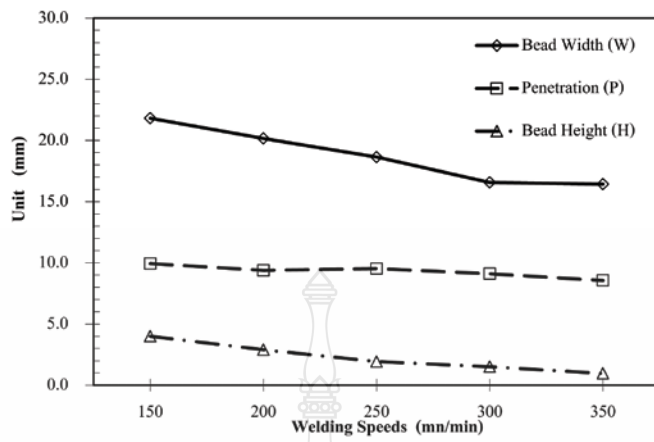


ก.2 การตรวจสอบความกว้าง ความสูง และการหลอมละลายลึก

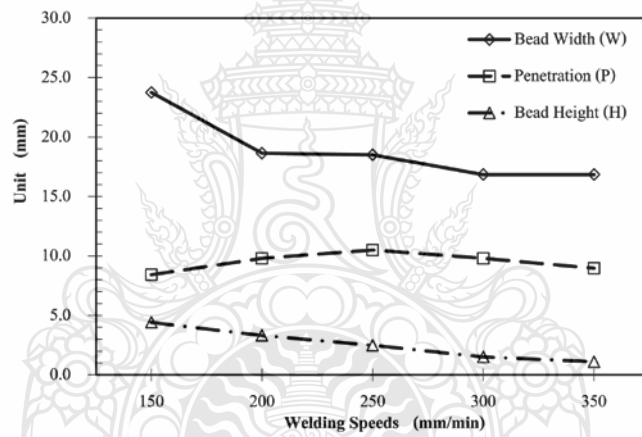
รูปที่ ก.2.1 กระแสเชื่อม 175 A ความเร็วเดินเชื่อม 150 – 350 mm/min



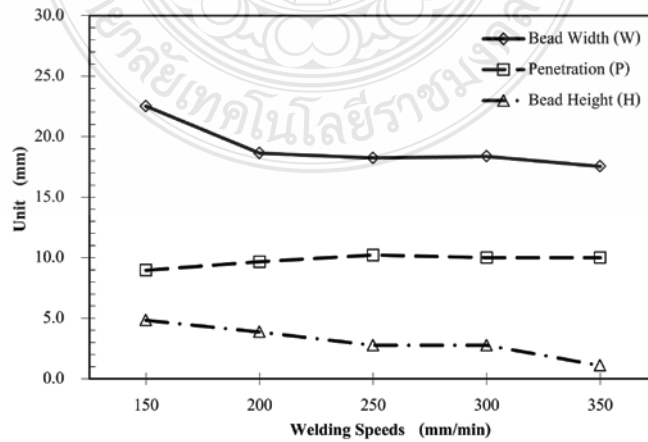
รูปที่ ก.2.2 กระแสเชื่อม 190 A ความเร็วเดินเชื่อม 150 – 350 mm/min



รูปที่ ก.2.3 กระแสเชื่อม 205 A ความเร็วเดินเชื่อม 150 – 350 mm/min

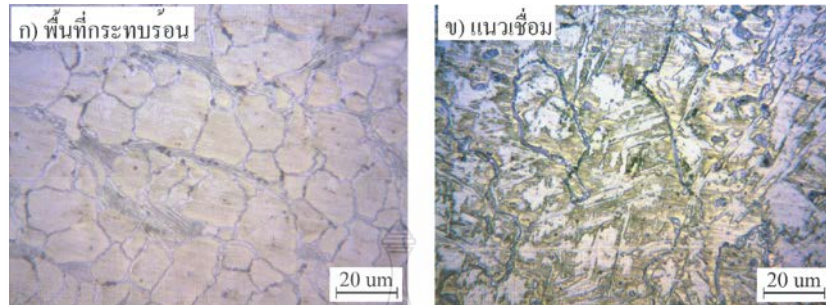


รูปที่ ก.2.4 กระแสเชื่อม 205 A ความเร็วเดินเชื่อม 150 – 350 mm/min

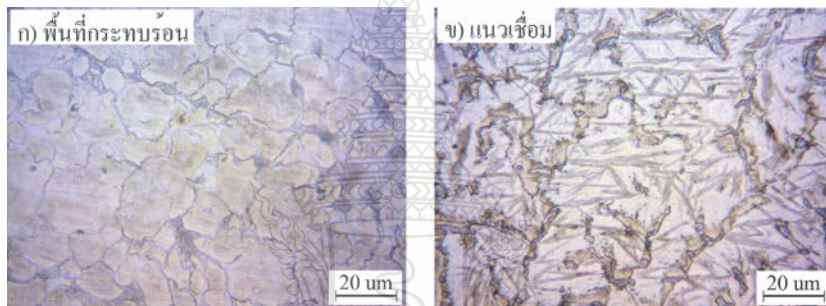


ก.3 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม

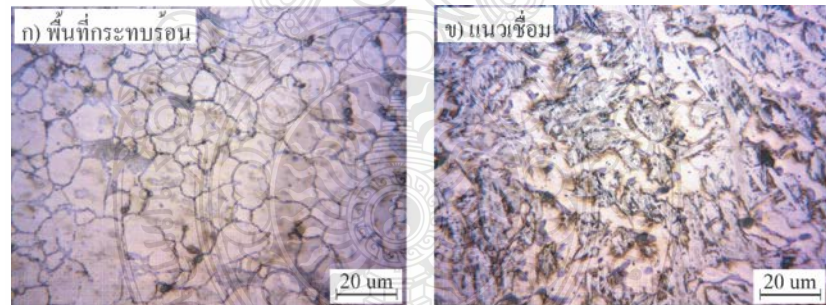
รูปที่ ก.3.1 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 175 A ความเร็วเดินเชื่อม 150 mm/min



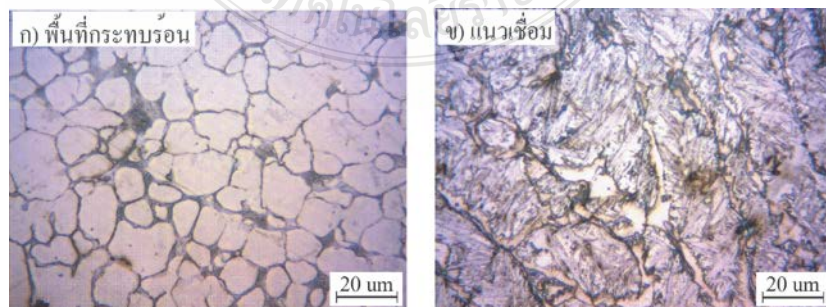
รูปที่ ก.3.2 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 175 A ความเร็วเดินเชื่อม 200 mm/min



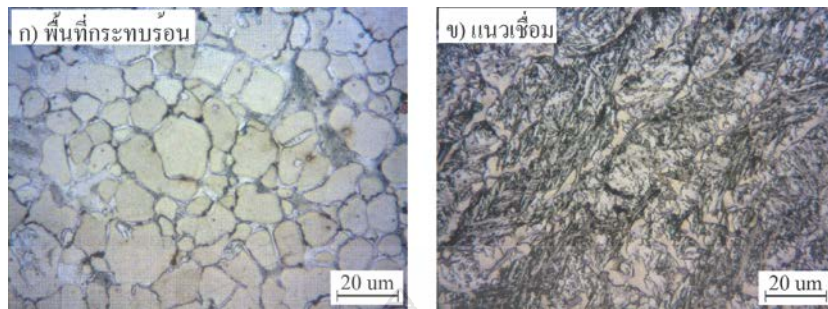
รูปที่ ก.3.3 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 175 A ความเร็วเดินเชื่อม 250 mm/min



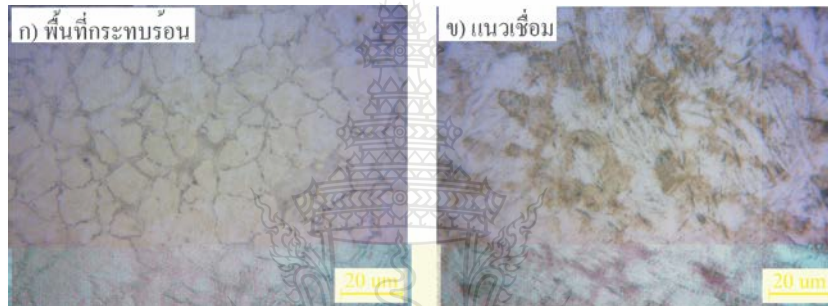
รูปที่ ก.3.4 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 175 A ความเร็วเดินเชื่อม 300 mm/min



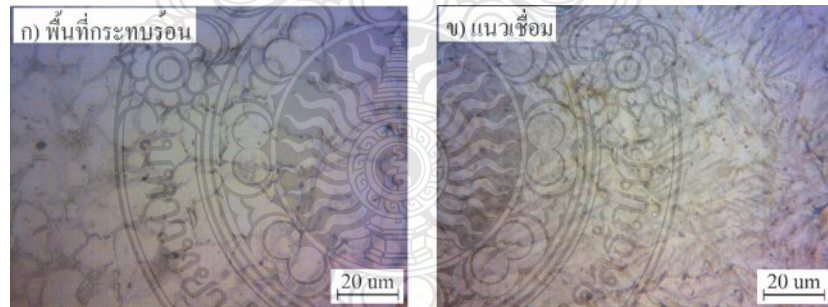
รูปที่ ก.3.5 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 175 A ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm/min



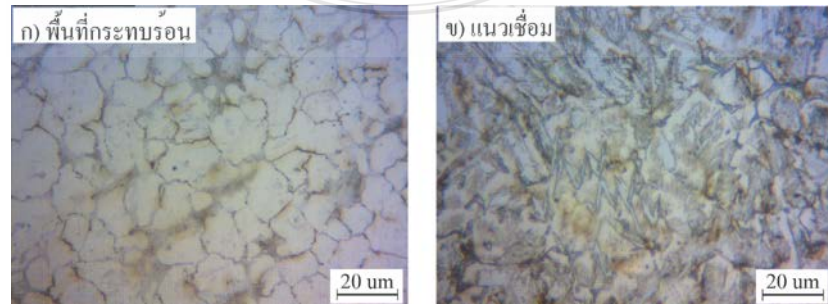
รูปที่ ก.3.6 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 190 A ความเร็วเดินเชื่อม 150 mm/min



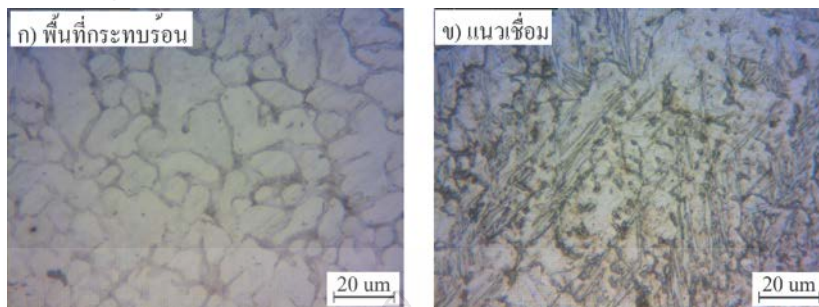
รูปที่ ก.3.7 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 190 A ความเร็วเดินเชื่อม 200 mm/min



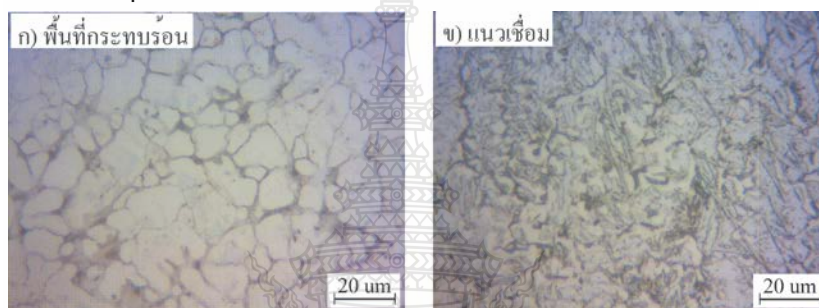
รูปที่ ก.3.8 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 190 A ความเร็วเดินเชื่อม 250 mm/min



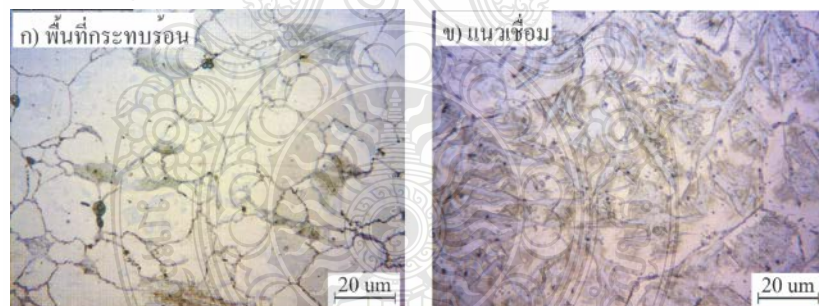
รูปที่ ก.3.9 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 190 A ความเร็วเดินเชื่อม 300 mm/min



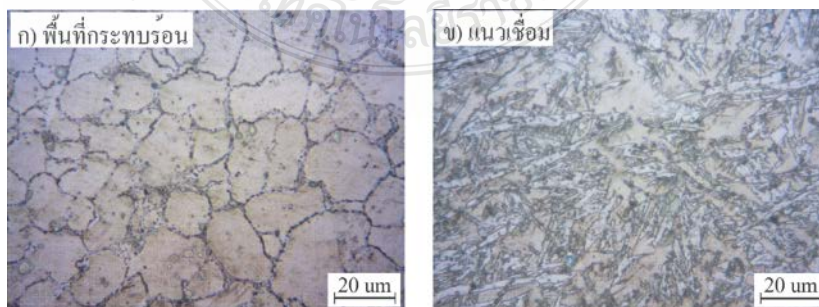
รูปที่ ก.3.10 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 190 A ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm/min



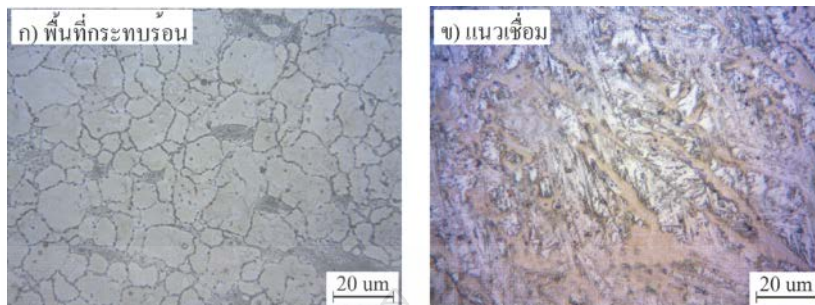
รูปที่ ก.3.11 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 205 A ความเร็วเดินเชื่อม 150 mm/min



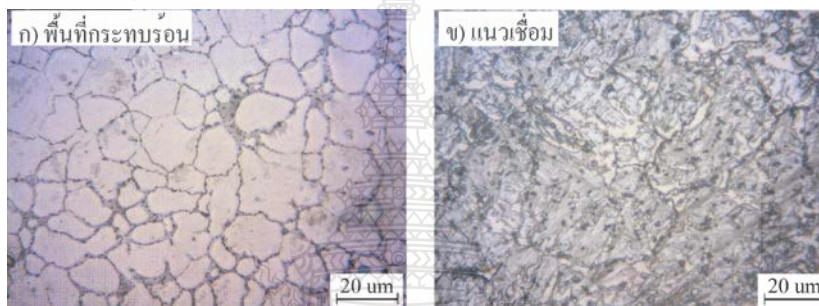
รูปที่ ก.3.12 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 205 A ความเร็วเดินเชื่อม 200 mm/min



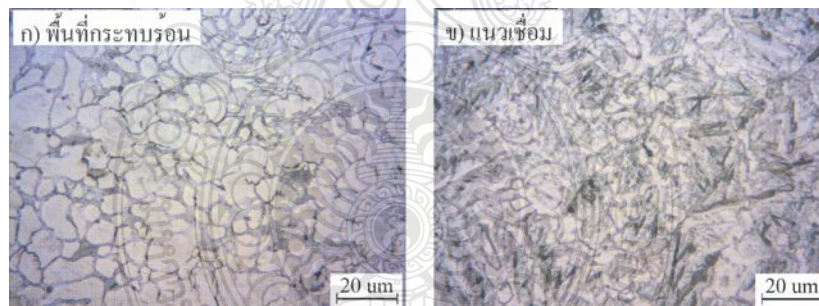
รูปที่ ก.3.13 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 205 A ความเร็วเดินเชื่อม 250 mm/min



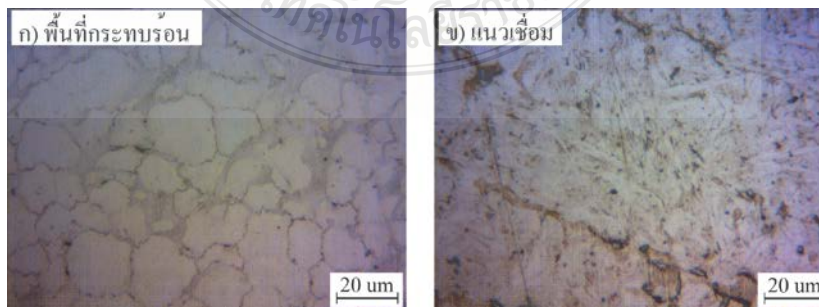
รูปที่ ก.3.14 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 205 A ความเร็วเดินเชื่อม 300 mm/min



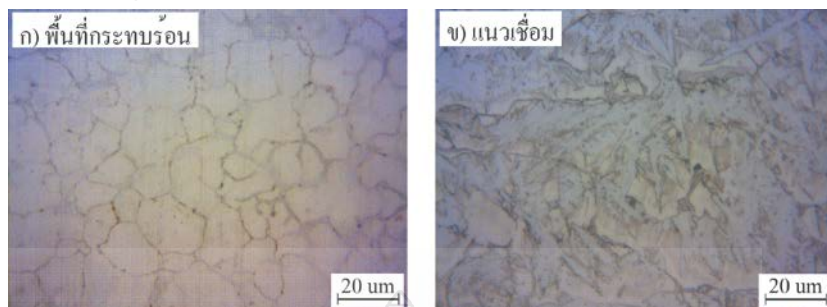
รูปที่ ก.3.15 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 205 A ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm/min



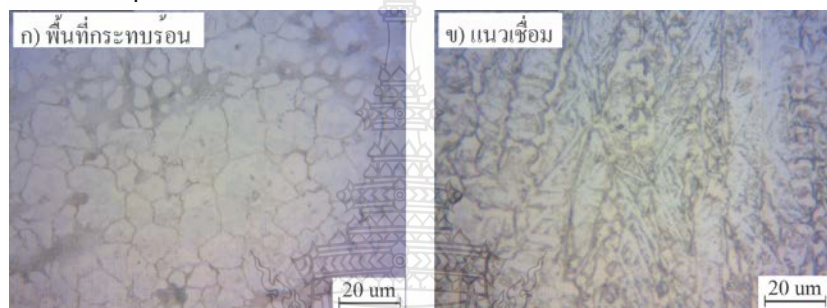
รูปที่ ก.3.16 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 220 A ความเร็วเดินเชื่อม 150 mm/min



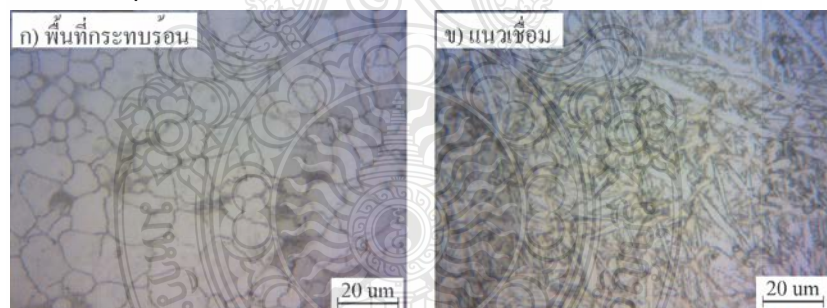
รูปที่ ก.3.17 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 220 A ความเร็วเดินเชื่อม 200 mm/min



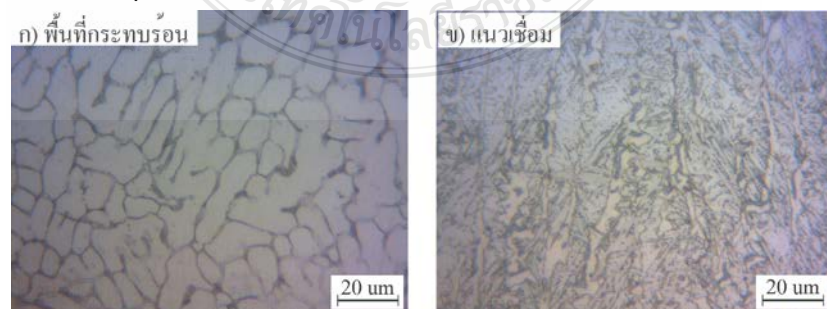
รูปที่ ก.3.18 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 220 A ความเร็วเดินเชื่อม 250 mm/min



รูปที่ ก.3.19 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 220 A ความเร็วเดินเชื่อม 300 mm/min



รูปที่ ก.3.20 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 220 A ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm/min

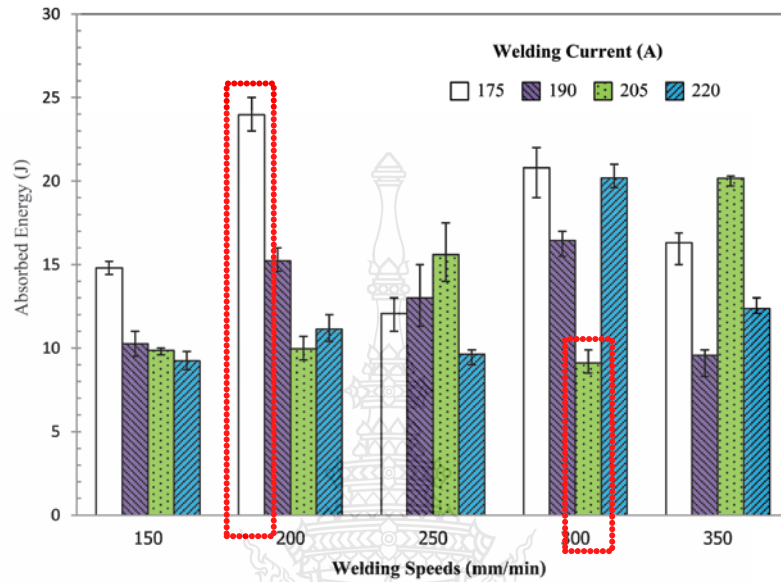




ภาคผนวก ข
ผลการทดสอบสมบัติทางกล

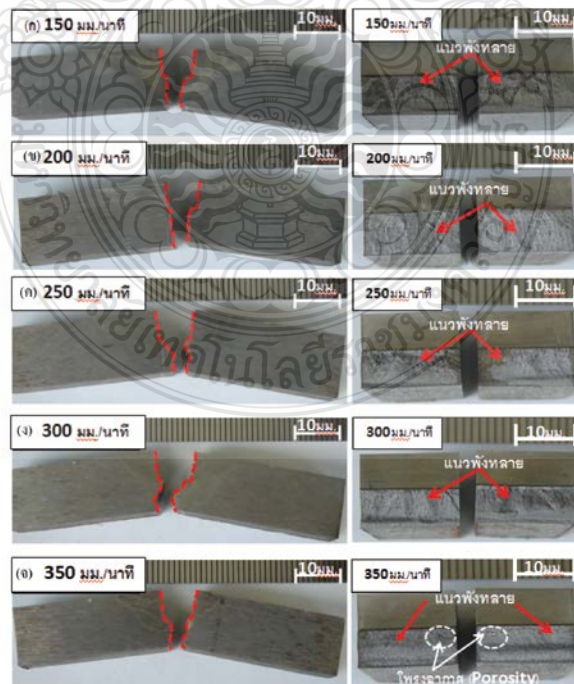
ข.1 ค่าทดสอบแรงกระแทก

รูปที่ ข.1.1 ค่าความแข็งแรงกระแทกของแนวเชื่อมที่ กระแสเชื่อม 175-220 A ความเร็วเดินเชื่อม 150 – 350 mm/min

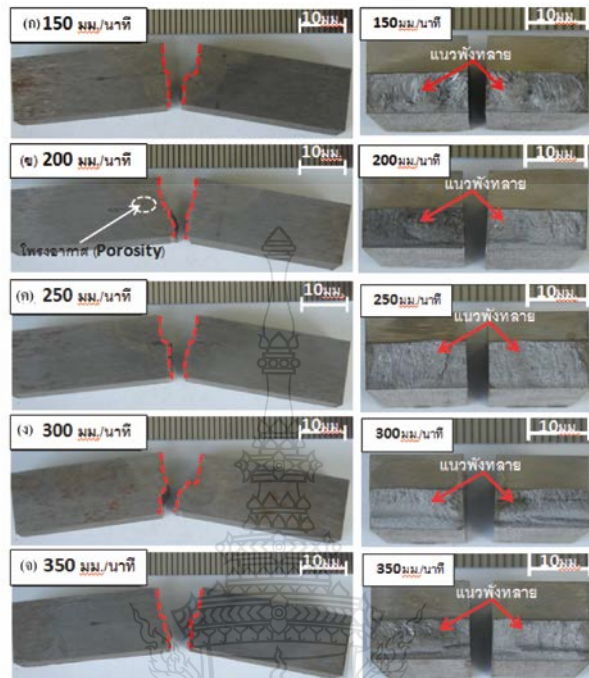


ข.2 ลักษณะการพังทลายของแนวเชื่อม

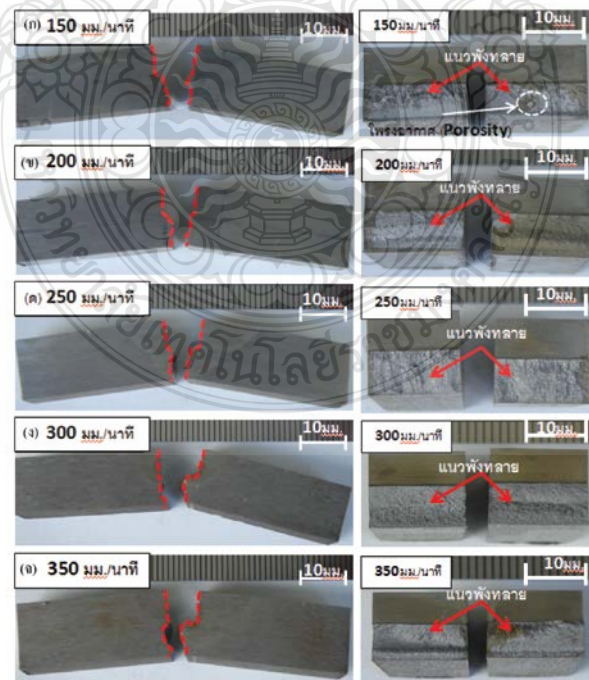
รูปที่ ข.2.1 ลักษณะการพังทลายของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 175 A ความเร็วเดินเชื่อม 150–350 mm/min



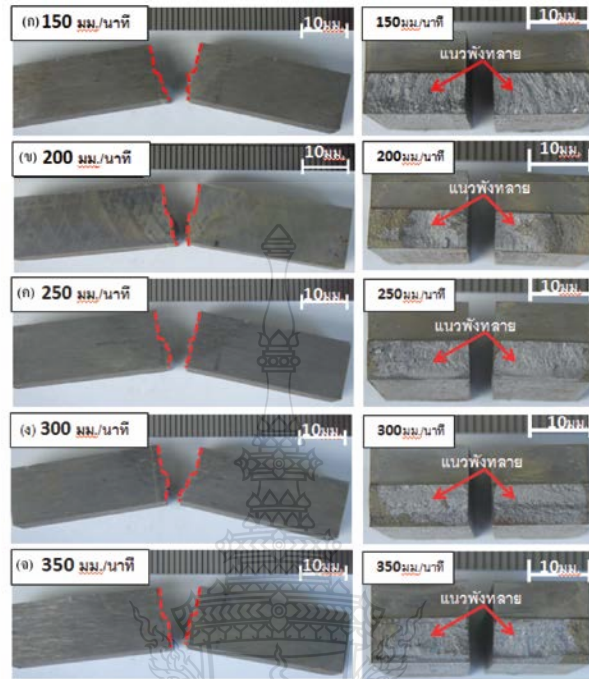
รูปที่ ข.2.2 ลักษณะการพังทลายของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 190 A ความเร็วเดินเชื่อม 150–350 mm/min



รูปที่ ข.2.3 ลักษณะการพังทลายของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 205 A ความเร็วเดินเชื่อม 150–350 mm/min

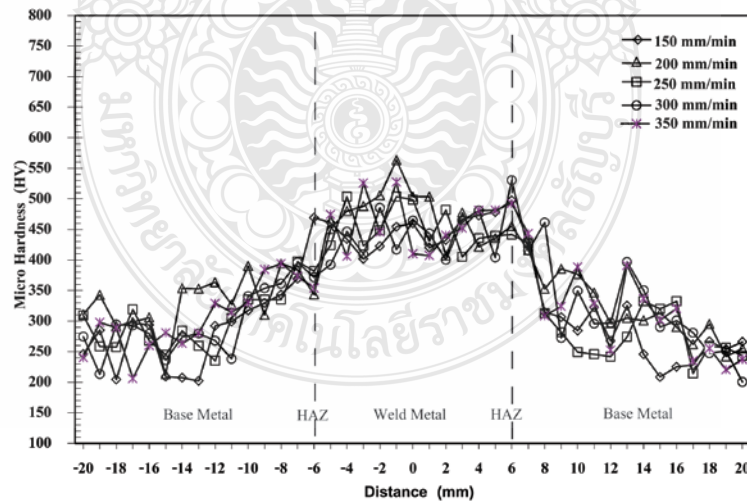


รูปที่ ข.2.4 ลักษณะการพังทลายของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 220 A ความเร็วเดินเชื่อม 150–350 mm/min

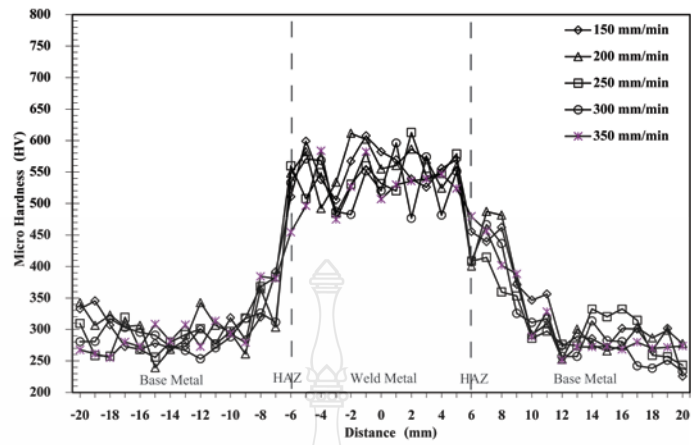


ข.3 ค่าความแข็งของรอยเชื่อมทดสอบแบบแนวนอน

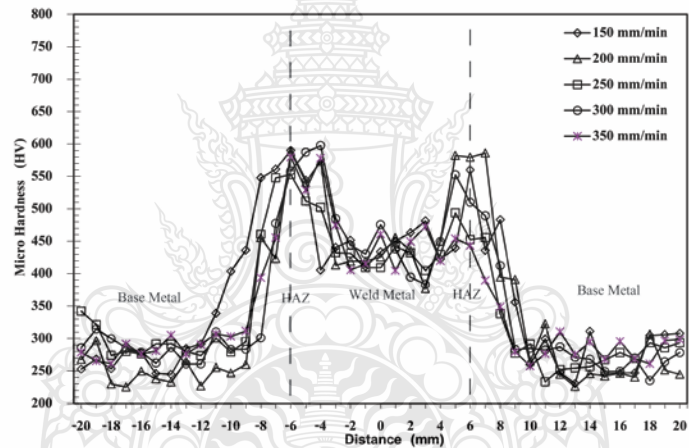
รูปที่ ข.3.1 ค่าความแข็งของรอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 175 A ความเร็วเดินเชื่อม 150 – 350 mm/min



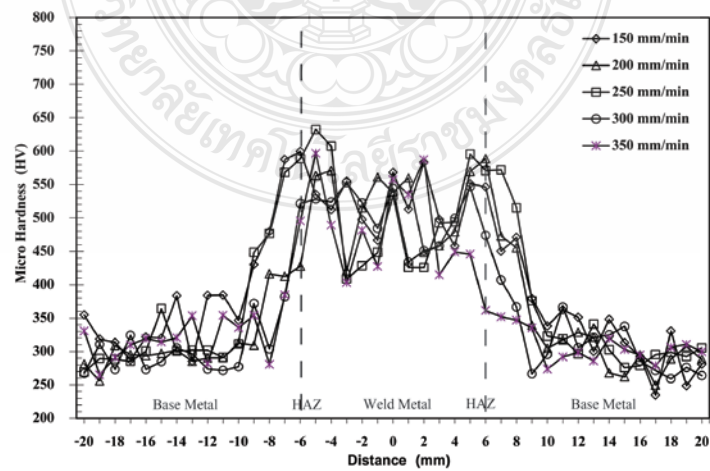
รูปที่ ข.3.2 ค่าความแข็งของรอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 190 A ความเร็วเดินเชื่อม 150 – 350 mm/min



รูปที่ ข.3.3 ค่าความแข็งของรอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 205 A ความเร็วเดินเชื่อม 150 – 350 mm/min

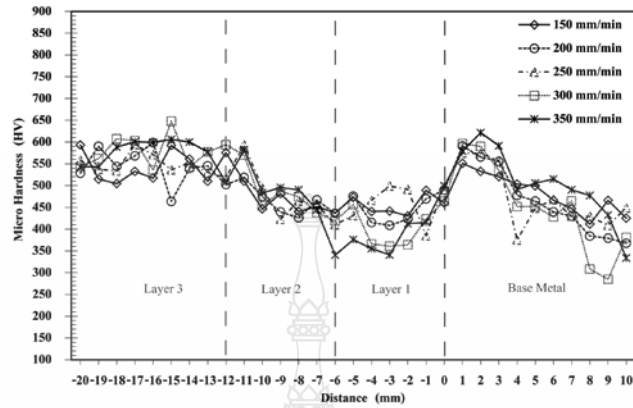


รูปที่ ข.3.4 ค่าความแข็งของรอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 220 A ความเร็วเดินเชื่อม 150 – 350 mm/min

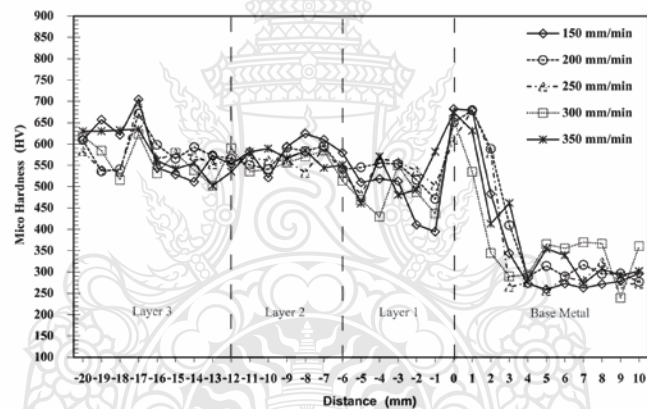


ข.4 ค่าความแข็งของรอยเชื่อมทดสอบแบบแนวตั้ง

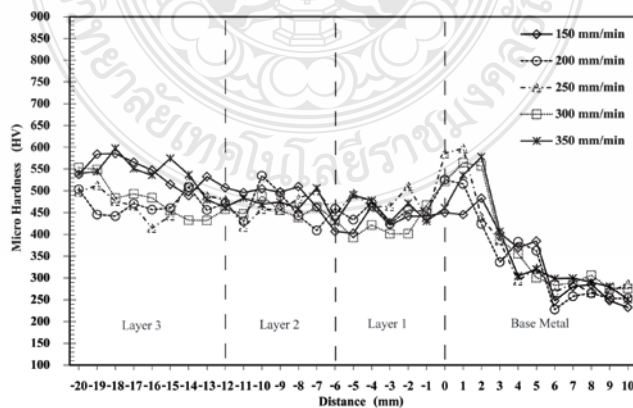
รูปที่ ข.4.1 ค่าความแข็งของรอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 175 A ความเร็วเดินเชื่อม 150 – 350 mm/min



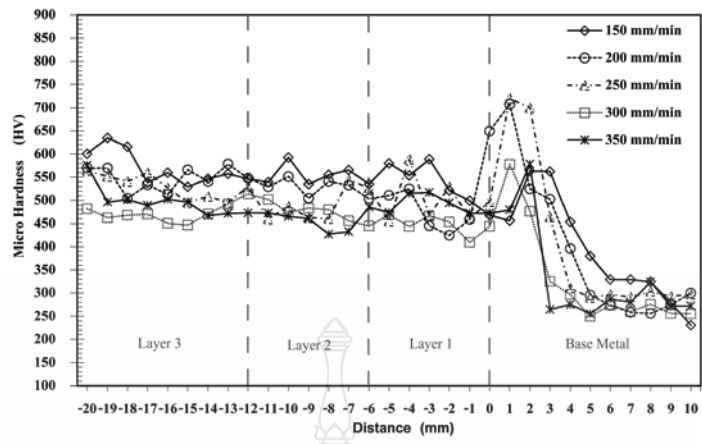
รูปที่ ข.4.2 ค่าความแข็งของรอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 190 A ความเร็วเดินเชื่อม 150 – 350 mm/min



รูปที่ ข.4.3 ค่าความแข็งของรอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 205 A ความเร็วเดินเชื่อม 150 – 350 mm/min



รูปที่ ข.4.4 ค่าความแข็งของรอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 220 A ความเร็วเดินเชื่อม 150 – 350 mm/min

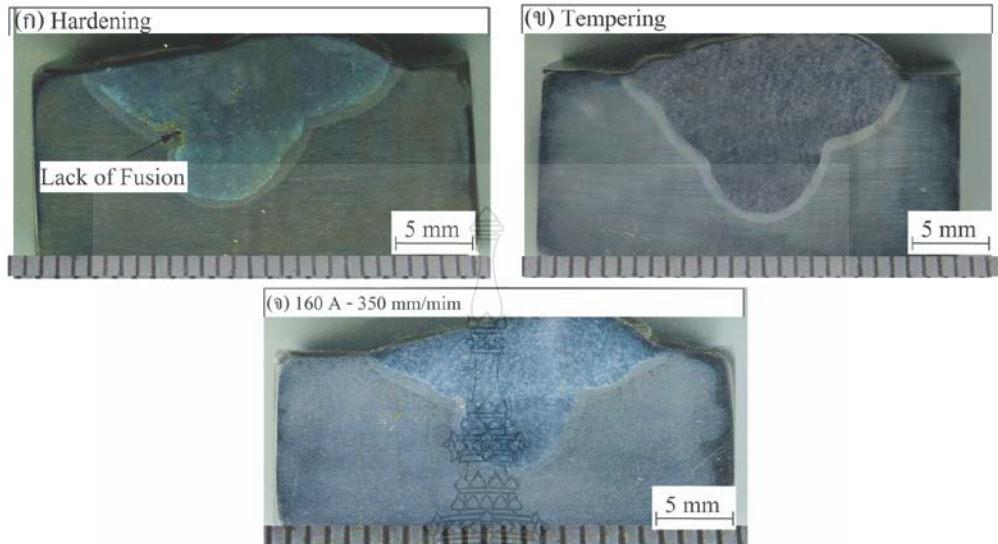


ภาคผนวก ค
ผลการทดสอบชิ้นงานผ่านกระบวนการทางความร้อน



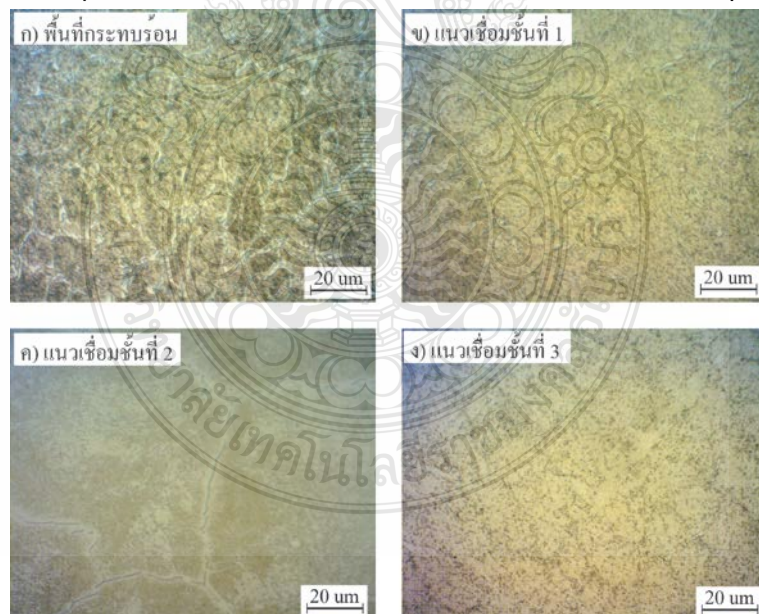
ค.1 ลักษณะโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อม

รูปที่ ค.1.1 โครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน

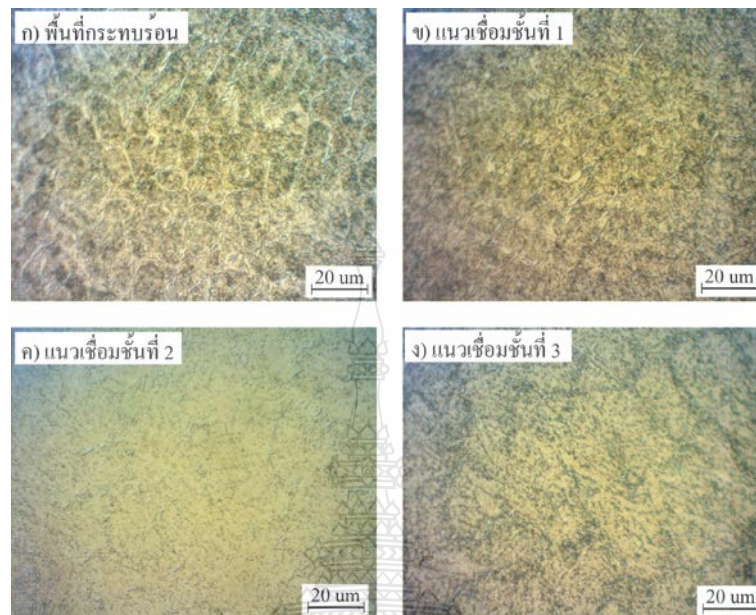


ค.2 ลักษณะโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อม

รูปที่ ค.2.1 โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนการชุบแข็ง (Hardening)



รูปที่ ค.2.2 โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนการอบคืนไฟ (Tempering)



รูปที่ ค.2.3 โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนการอบอ่อน (Annealing)





บทคัดย่อ
Abstract

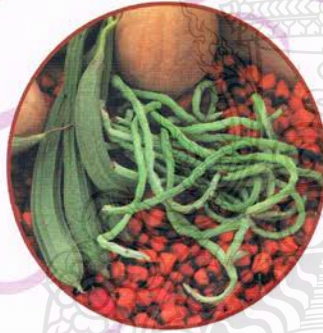


การประชุมวิชาการแห่งชาติ ครั้งที่ 10

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

The 10th KU-KPS Conference

6 - 7 ธันวาคม 2556



ตามรอยพระยุคลบาท

เกษตรศาสตร์กำแพงแสน



การศึกษาเปรียบเทียบขีดความสามารถแข่งขันห่วงโซ่อุปทาน ระหว่างตลาดน้ำวัดลำพญา และตลาดบางหลวง ร.ศ.122	147
กำลังแรงอัดแกนเดียวของวัสดุผสมกับแบบเหลวจากกากดินขาว	149
เสถียรภาพของเบียร์เสริมแรงด้วยจีโอเท็กซ์ไทล์ และใช้ส่วนผสมทราย-ยางรถยนต์ ใช้แล้วย่อยเป็นดินถม	151
บ่มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำโดยการนำความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้	153
การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ DRG กับความแข็งแรงของยางก้อนถ้วย	155
การประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยปรับตั้งอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ของฮีวพาเวอร์เตอร์	157
การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนแบบถ่านหินบด ชนิดความดันต่ำกว่าวิกฤติด้วยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต	159
ศึกษาการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สชีวภาพโดยใช้วิธีดูดซับและดูดซึม	161
การผลิตน้ำมันชีวมวลจากกากเมล็ดกาแฟร่วมกับน้ำและเอทานอล ภาวะได้วิกฤติ : ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 Na ₂ CO ₃ และ KOH	163
การศึกษาการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนร่วมกับ พลังงานความร้อนทิ้งเหลือใช้	165
* อิทธิพลกระแสเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมต่อความแข็งแรงกระแทกเหล็กกล้า JIS SKD 11	167
ออกแบบและพัฒนาแพคเกจไม้น้ำโดยใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ	169
แบบจำลองการคำนวณพลศาสตร์ของไหลของอากาศที่ไหลผ่านผิวท่อเขาวงกต	171
การออกแบบโครงสร้างการควบคุมแบบทั้งโรงงานของกระบวนการไฮโดรดีอัลดีเลชัน	173
* ผลกระทบของความเร็วรอบและเวลาทดแบริ่งต่อค่าความต้านทานแรงดึงเฉือนของ การเชื่อมเสียดทานกวนแบบจุด รอยต่อเกยอลูมิเนียมผสม AA 5052 กับทองแดง C1 1000	175
การลดเสียงของมอเตอร์พัดน้ำฝน	177
การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันชีวมวลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาผสม CoMo/MCM-41 และ CoMo/Al ₂ O ₃	179
การศึกษาการหล่อเย็นปริมาณน้อยที่มีผลต่อความหยาบผิวในการตัดปาดผิวเหล็ก SKD61	181
ระบบตรวจสอบการจราจรข้อมูลและโปรเซสของเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย	183
ระบบการจัดเก็บข้อมูลปริมาณพลังงานทดแทนร่วมในระยะไกล	185
เครื่องบันทึกสถานะคนขับรถจักร AL STHOM พลังงานแสงอาทิตย์	187
ระบบควบคุมเครื่องเชื่อมไฟฟ้าอัตโนมัติ	189
การศึกษาผลของแรงดันเกินทรานเซียนต์ต่อความต้านทานระหว่างเหล็กดินกับดิน ภายใต้กระแสฮัมพัลส์	191
หม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง	193
เครื่องคัดและนับมะนาวอัตโนมัติด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล	195
การศึกษาการเจาะรูวัสดุอินโคเนล 718 ด้วยกระบวนการกัดเซาะด้วยไฟฟ้าระดับไมโคร	197
ผลกระทบของการต่อตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำลงดินที่จุดนิวทรัลเพื่อลดแรงดันตกชั่วขณะ ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	199

ดร.สุรศักดิ์ บุญแต่ง
รองศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ โสภธลภา
ดร.พิทยากร ลิ้มทอง
รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิสุนทร นันทกิจ
รองศาสตราจารย์ ดร.อภิศักดิ์ โพธิ์มั่น
อ.ดร.วิรุทธิ์ วีรสาร
รองศาสตราจารย์ ดร.งามชื่น รัตนดิถก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วสุ อมฤตสุทธิ

ผู้ทรงคุณวุฒิ สาขาวิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

รองศาสตราจารย์ประเทือง อุษาปิจูทธิ
รองศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศศิริกุล
รองศาสตราจารย์วิชา หมั่นทำกา
อ.ดร.วันรัฐ อัมคุลลาภาชิม
อ.ดร.วัชรพล ชยประเสริฐ
อ.ดร.อาทิตย์ พวงลมแปติ
อ.เนงลักษณ์ สมนันตรัฐ
อ.ศุภชัย กุลมุตวิวัฒน์
อ.สิรินาฏ น้อยพิทักษ์

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

รองศาสตราจารย์ปานเนตร ศิริสมบุญ
รองศาสตราจารย์ลาทีป รัตนกาลกร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วณิชฐ์ ศรุทศนันท์
อ.ดร.เทวรัตน์ ศรีอำนาจ
อ.ดร.กระวี ศรีอำนาจ
อ.ดร.เกรียงไกร แชนมสีม่วง
อ.ดร.ศุภกิตต์ สายสุนทร
อ.ดร.นักรบ นาคประดม
อ.ดร.ณัฐพงศ์ รัตนเดช
อ.ดร.นฤมล บุญกระจ่าง

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

รศ.ดร.บัญญัติ ขวัญเย็น

รศ.ดร.วราวุธ วุฒิวานิชย์
ผศ.ดร.เอกสิทธิ์ โฉมิตลกุลชัย
อ.ดร.สมชาย ดอนแจตย์
อ.ดร.จิระกานต์ ศิริวิชญ์ไมตรี
อ.ดร.วิษณุวัฒน์ แต่สมมติ
ผศ.ดร.พงศธร โสภานันท์
อ.ยุทธนา ตาละลักษมณ์
อ.ดร.ไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์
อ.ดร.สถาพร เตมีพัฒนพงษ์

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

อ.ดร.วิษณุ ศรีวงษา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อารียา กุทธิมา
อ.ดร.พรรณพิมพ์ พุทธิรักษา มะเปี่ยม
อ.ดร.วัชร เลือดี
ดร.ลานิตย์ดา เตียวต้อย

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ ชำของ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เขาว์ อินทร์ประสิทธิ์
รองศาสตราจารย์ ดร.จิงลิณี โสธรวิทย์
อ.ดร.กอบศักดิ์ กาญจนางศกุล

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

อ.ดร.หยาดฝน ทะนงการกิจ
อ.ดร.นฤมล จินดาพรรณ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

อ.ดร.ณัฐดนัย ตันทิวพันธ์
อ.ดร.หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทศนพ กำเนิดทอง
ดร.ประสาน สถิตเรืองศักดิ์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

- อ.ดร.นันทวัฒน์ ขมหวาน
- อ.ดร.ปนัดดา กลกิจวิวัฒน์
- อ.ดร.สมชาย ประยงค์พันธ์

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนาตล คงลมบูรณ์
- อ.ดร.กิตติ ทริพย์ประสม
- อ.ดร.ทวิช พูลเงิน
- อ.ดร.นที สุริยานนท์

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทธิพงษ์ อดิเรมณีกุล
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมรฤทธิ พุทธิพิพัฒน์ขจร
- อ.ดร. กายรัฐ เจริญราษฎร์
- อ.ดร.ปาริฉัตร เสริมวุฒิสาร
- อ.ดร.ศิวดล เจริญพัฒนากุล

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรรณกมล เต็มดี
- อ. ดร. กลางใจ สิทธิถาวร
- อ. ดร. รวิศร บานชื่น
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รังสรรค์ ชัยศรีเจริญ
- อ.ดร. โสภณ ผู้มีจรรยา

ผู้ทรงคุณวุฒิ สาขาศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

- รองศาสตราจารย์บรรจบ ภิญโญคำ
- รองศาสตราจารย์ประสงค์ ตันพิชัย
- รองศาสตราจารย์สกลันต์ มหานิยม
- รองศาสตราจารย์ นาวาอากาศโท สุมิตร สุวรรณ
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์จันดี ศรีสวนแดง
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์อภิชาติ ใจอารีย์
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรินทร์ ชุมสาย ณ อยุธยา
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริชัย ศรีพรหม
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์วินัย พูลศรี
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์มยุรี กนอมสุข

อิทธิพลกระแสเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมต่อความแข็งแรงกระแทกเหล็กกล้า JIS SKD 11

Effect of Gas Metal Arc Welding Current on JIS SKD 11 Steel Impact Strength

ดำรงคัมิตร์ เขียนขุนทด¹ สุริยา ประสมทอง² สุวัฒน์ ภูเภา³ เจษฎา แก้ววิชิต¹ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์²

Damronkmit Hiankhunthod¹ Suriya Prasomthong² Suwat Phoopao³ Jesada Kaewwichit¹ Kittipong Kimapong²

บทคัดย่อ

การเชื่อมเป็นวิธีการซ่อมแม่พิมพ์ที่เสียหายเนื่องจากการใช้งานให้สามารถกลับมาใช้งานใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพในงานอุตสาหกรรม ด้วยเหตุนี้การเลือกกระบวนการเชื่อมที่เหมาะสมในการเชื่อมซ่อมแม่พิมพ์ที่เสียหายจึงเป็นงานสำคัญที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง บทความนี้มีจุดประสงค์ในการนำเสนอการประยุกต์การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมในการเชื่อมซ่อมเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น JIS-SKD11 และทำการศึกษาอิทธิพลกระแสเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติของโลหะเชื่อม วัสดุในการทดลอง คือเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น JIS-SKD11 ที่มีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าและบากร่องตัววีที่กึ่งกลางของแผ่น แผ่นงานสี่เหลี่ยมผืนผ้าเหล็กกล้า JIS-SKD11 ถูกทำการเชื่อมด้วยการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมจำนวน 3 ชั้นในร่องบากตัววีด้วยกระแสเชื่อมที่แตกต่างกัน รอยเชื่อมที่ได้ถูกนำไปทำการทดสอบความแข็งแรงกระแทกและการตรวจสอบโครงสร้างโลหะวิทยา ผลการทดลองโดยสรุปพบว่า การเพิ่มขึ้นของกระแสไฟส่งผลทำให้เกิดการลดความแข็งแรงกระแทกลดลง และเพิ่มความนูน ความกว้าง และการซึมลึกของแนวเชื่อม สภาวะการเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงสุดประมาณ 8.2J คือกระแสเชื่อม 205A

Abstract

A welding is an important method to repair a mold that was failed in service and could applied effectively in industries. Therefore, an optimization of welding parameter process for repair welding of the mold defect became an important work and also was developed continuously. This article aims to present an application of metal arc welding for repair welding JIS-SKD11 cold work tool steel and effect study of welding current that could affect the weld metal properties. A material used in this study was JIS-SKD11 that was mechanically repaired to be a rectangular shape and prepared a V groove at a center line of a plate. The rectangular plate of JIS-SKD11 steel was 3 layers gas metal arc welded at a given V groove by a variety of welding currents. The welded joints were impact strength tested and metallographic investigated. The experiment results are as follows. Increase of welding current affected to decrease of impact strength of joint and increase of welding line geometries such as weld concave, weld bead and weld penetration. The optimized welding current that indicated the impact strength of 8.2J was welding current of 205A.

Keywords: Metal inert gas welding, Cold work tool steel,

E-mail address: Lekkorat2514@Hotmail.com

¹ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Pathumthani 12110

คำนำ

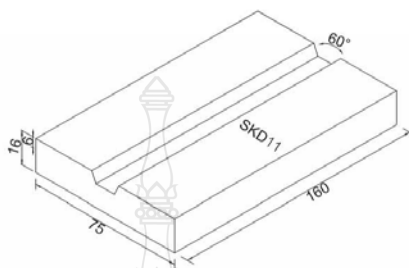
ปัจจุบันอุตสาหกรรมแม่พิมพ์โลหะ เป็นอุตสาหกรรมสำคัญในการพัฒนาประเทศ เนื่องจากแม่พิมพ์ เป็นเครื่องมือสำคัญในการขึ้นรูปชิ้นส่วนสำคัญในการผลิต ยกตัวอย่าง เช่น แม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปฝากระป๋องรถยนต์ หรือแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปกรอบโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น การขึ้นรูปวัสดุด้วยแม่พิมพ์ คือ การให้แรงกระทำต่อวัสดุเพื่อ ทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างตามรูปร่างโพรงแบบของแม่พิมพ์ หากทำการขึ้นรูปวัสดุด้วยวิธีการนี้เกิดขึ้น ในระยะเวลาที่ยาวนานมักทำให้เกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากการใช้งาน ส่งผลทำให้เกิดการสึกหรอ การเสียรูป การแตกร้าว หรือการพังทลายของผิวแม่พิมพ์ หรืออุปกรณ์ประกอบต่างๆ ความเสียหายนี้ทำให้แม่พิมพ์นั้นไม่สามารถทำการขึ้นรูปต่อไป และจำเป็นต้องนำไปทำการเปลี่ยนชิ้นส่วนใหม่ที่สภาพดีกว่าเข้าไปทดแทนชิ้นส่วนเก่า ที่เกิดการชำรุดเสียหาย วิธีการนี้สามารถทำได้ดีและทำให้แม่พิมพ์โลหะมีประสิทธิภาพในการทำงานเท่ากับหรือใกล้เคียงแม่พิมพ์โลหะก่อนการชำรุดเสียหาย แต่ขณะเดียวกันค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่อครั้งมีราคาสูง ด้วยเหตุนี้การเชื่อมซ่อมจึงเป็นวิธีการที่ถูกนำมาใช้ในการบำรุงรักษาแม่พิมพ์เพราะมีข้อเด่นในเรื่องค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่อครั้งซึ่งมีราคาต่ำ

ที่ผ่านมาวิธีการในการซ่อมพื้นผิวที่เกิดการเสียหายด้วยวิธีการต่างๆ ที่ให้ข้อมูลที่คาดว่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการซ่อมผิวแม่พิมพ์โลหะที่เกิดการสึกหรอ เสียรูป แตก ร้าว หรือพังทลายได้ เช่น การเชื่อมพื้นผิวแม่พิมพ์เหล็กกล้าแม่พิมพ์ที่ไม่ระบุเกรดด้วยการพ่นเย็นผงอลูมิเนียม (Lee et al. 2007) หรือการใช้เลเซอร์ในการเชื่อมผิวแม่พิมพ์เหล็กกล้าเครื่องมือ D2 (Pleterski et al. 2011) หรือการเชื่อมเลเซอร์เหล็กกล้าเครื่องมือ P20 ด้วยเลเซอร์ การเชื่อมเลเซอร์ Nd:YAG ผิวแม่พิมพ์เหล็กกล้า JIS-SKD6 (Sun et al.2004) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม กระบวนการเชื่อมเลเซอร์เป็นกรรมวิธีการเชื่อมที่ต้นทุนต่อหน่วยสูง ทำให้ยากต่อการประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่ต้องการเชื่อมซ่อมแม่พิมพ์โลหะ นอกจากนี้ในการเชื่อมซ่อมผิวชิ้นส่วนในงานอุตสาหกรรมอาจใช้กรรมวิธีการเชื่อมซ่อมอื่นๆ เช่น การเชื่อมซ่อมพอกผิวแข็งด้วยวิธีการเชื่อมอาร์กโลหะปกคลุม (Shielded metal arc welding) (Zhang et al.2006; Fan et al. 2006) หรือการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุม (Gas tungsten arc welding, GTAW) (Deng et al. 2012; Chang et al 2010) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม กระบวนการเชื่อมทั้งสองมีข้อจำกัดในการเชื่อมซ่อมที่ต้องการช่างเชื่อมซ่อมที่มีฝีมือและทักษะประสบการณ์สูงในการปฏิบัติงาน ดังนั้นการเตรียมการก่อนการเชื่อมต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษ ขณะที่การเชื่อมอาร์กโลหะปกคลุม (Gas metal arc welding, GMAW) ซึ่งเป็นกรรมวิธีการเชื่อมที่มีความยุ่งยากน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การเชื่อมที่กล่าวผ่านมา มีความสามารถปฏิบัติงานในรูปแบบการเชื่อมอัตโนมัติได้ การเชื่อมแบบนี้เป็นวิธีการเชื่อมที่มีข้อเด่น คือ สามารถทำการเชื่อมได้รวดเร็วและต่อเนื่อง ประหยัดเวลาในการทำความสะอาดเพราะไม่มี แสลงปกคลุมแนวเชื่อม หากใช้วิธีการนี้ในการเชื่อมซ่อมคาดว่าจะอาจทำให้สมบัติของโลหะเชื่อมมีค่าใกล้เคียงกับโลหะหลักเดิมและสามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามการเชื่อมซ่อมแม่พิมพ์โดยการใช้วิธีการเชื่อมอาร์กโลหะปกคลุมไม่ได้มีรายงานไว้ หากมีการศึกษาวิธีการเชื่อมนี้อาจทำให้เกิดประโยชน์ในการใช้งานต่อไปได้

ด้วยเหตุผลที่กล่าวมานี้ ผู้วิจัยจึงมีกรอบแนวคิดที่จะศึกษาอิทธิพลของกระแสเชื่อมมิก (MIG) เหล็ก เครื่องมืองานเย็น JIS SKD 11 ที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงกระแทก เพื่อให้ได้สมบัติทางกลของเนื้อโลหะเชื่อมมีค่าใกล้เคียงกับโลหะหลัก สามารถใช้ในการขึ้นรูปโลหะอื่นๆ ได้ และสามารถประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุทดลองใช้เหล็ก SKD 11 ขนาด กว้าง 75 x ยาว 160 x หนา 16 mm ดังรูปที่ 1 และสมบัติทางเคมีดังตารางที่ 1 ใช้ลวดเชื่อม MIG R600 B แก๊สปกคลุม Ar 80% ผสมแก๊ส CO₂ 20% ทำการบากร่องขึ้นงานทำมุมรวม 60 องศา ด้วยเครื่องจักรกลตามมาตรฐาน AWS D1.1/D1.1 M:2600

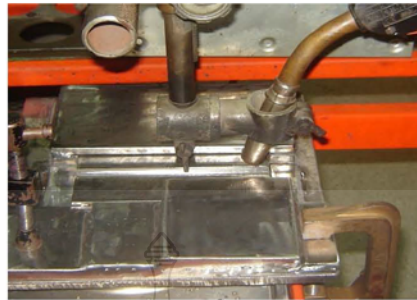


รูปที่ 1 ขนาดชิ้นทดลองในการเชื่อม (หน่วย : mm)

ตารางที่ 1 แสดงสมบัติทางเคมีของเหล็ก SKD 11 และ ของลวดเชื่อมที่ใช้ในการทดลอง (%)

ธาตุผสม	SKD 11	ลวดเชื่อม
%C	1.48	0.45
%Si	0.3	3.0
%Mn	0.2	0.4
%Cr	11.0	9.2
%Mo	0.77	-
%V	0.68	-
%S	-	-
%Ni	-	0.17

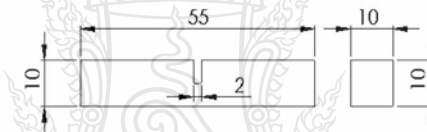
นำชิ้นงานที่ได้ทำการอบคลายความเค้น ด้วยอุณหภูมิ ต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤติ ประมาณ 50 –110 องศาเซลเซียส ที่ 650 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการอบ 3 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวในเตา จากนั้นนำชิ้นงานไปทำการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการเผาแช่ 3 ชั่วโมง แล้วทำการชุบด้วยน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งาน เพื่อให้ชิ้นงานมีความแข็งที่ 50-55 HRC แล้วนำชิ้นงานที่ผ่านการชุบ แล้วไปอบคืนไฟ ด้วยอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อปรับโครงสร้างที่ผ่านกระบวนการชุบแข็งต่อจากนั้นนำชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการอบอ่อน เพื่อให้โลหะกลับสู่โครงสร้างเดิมเพื่อป้องกันการแตกร้าวหลังจากการเชื่อม โดยอบที่อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวในเตา ก่อนทำการเชื่อมให้ความร้อนชิ้นงาน (Pre-Heat) ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส แล้วทำการเชื่อมชิ้นงานโดยเปลี่ยนแปลงตัวแปร คือ กระแสในการเชื่อม 175 190 205 และ 220 A กำหนดความเร็วเดินเชื่อมที่ 300 mm/min แรงดันไฟฟ้า 27.5 V และใช้การถ่ายโอนน้ำโลหะแบบสเปรย์ (Spray Transfer) ดังรูปที่ 2 แสดงการจับยึดชิ้นงานในการเชื่อม



รูปที่ 2 การจับยึดชิ้นงานในการเชื่อม

2.1 ทดสอบแรงกระแทก

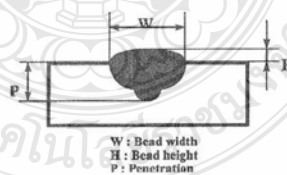
เตรียมชิ้นงานทดสอบตัดด้วยเครื่องตัดและหล่อเย็นและทำการกัดด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ (CNC) ตามมาตรฐาน ASTM E23-00 และทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทก (Impact Testing Machine) โดยใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ (Speed) 5.2 ม./วินาที และน้ำหนักในการตี (Load Impact) 350 J หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการเชื่อมชิ้นงานตามตัวแปรที่กำหนดนำชิ้นงานมาตัดขวางตั้งฉากทิศทางการเชื่อมแล้วนำมาปาดผิวเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM E23-00 ชิ้นงานทำการบากร่องแบบ U-notch (Type C) ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ชิ้นทดสอบแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM E23-00 บากร่องแบบ U-notch (หน่วย : mm)

2.2 ตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อม

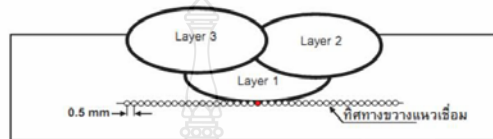
ชิ้นทดสอบถูกตัดในทิศทางตั้งฉากกับเนื้อแนวเชื่อม ด้วยเครื่องตัดแบบหล่อเย็น จากนั้นนำชิ้นทดสอบมาขัดกระดาษทรายและทำการกัดกรด (Etching) ด้วยสาร ละลายเอทานอล (95%) 100 มิลลิลิตร กรดไนตริก 1-5 มิลลิลิตร ตามมาตรฐาน ASTM E407 แล้วตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Optical Micro Scope) ที่มีกำลังขยายต่ำกว่า 10 เท่า และวัดค่าความกว้างแนวเชื่อม ค่าความลึกของแนวเชื่อม และค่าความนูนของแนวเชื่อมดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลักษณะการวัดขนาดบริเวณแนวเชื่อม (Yang et al.1993; Erdal et al.2007)

2.3 ตรวจสอบความแข็งของแนวเชื่อม

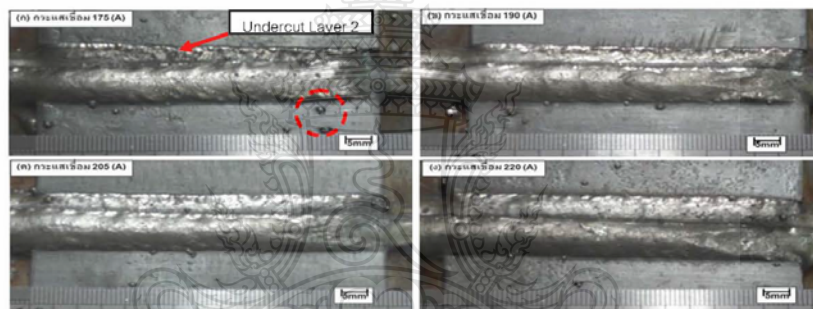
การวัดความแข็งของแนวเชื่อมจะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E92 โดยใช้เครื่องทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์กดลากผ่านเป็นเส้นตรงขวางแนวเชื่อมจากด้านซ้ายมาทางด้านขวาผ่านบริเวณพื้นที่หน้าตัดกระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) บริเวณพื้นที่ของเนื้อแนวเชื่อม (Weld Zone) และเนื้อโลหะเชื่อม (Base Metal) ในบริเวณตำแหน่งด้านล่างของขอบแนวเชื่อมชั้นที่ 1 (Fusion Boundary First Layer) มีระยะห่างของรอยกด 0.5 mm โดยใช้แรงกด 10 kgf. และใช้เวลาในการกดแช่ประมาณ 10 วินาที ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงระยะตำแหน่งการทดสอบความแข็ง (HV)

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 ผิวหน้าแนวเชื่อม

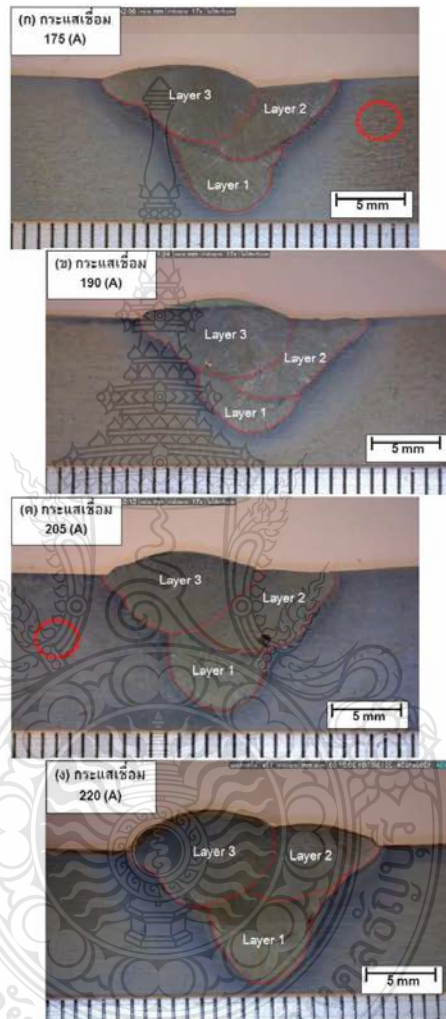


รูปที่ 6 ผิวหน้าแนวเชื่อม ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 mm/min ที่เชื่อมด้วยกระแส ต่างๆ

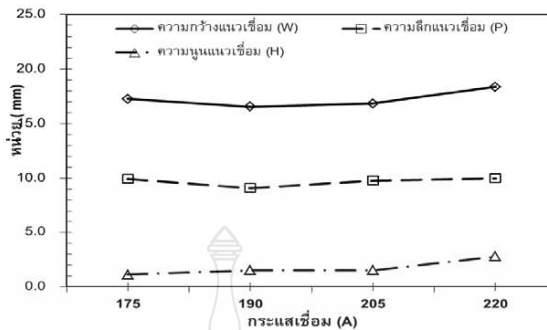
รูปที่ 6 แสดงผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแส 175 190 205 และ 220 A ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 mm/min พบว่า เมื่อกระแสในการเชื่อมต่ำแนวเชื่อมมีลักษณะของรอยเชื่อมที่ไม่ต่อเนื่องของชั้นที่ 3 และเกิดเม็ดโลหะ (Spatter) บนผิวชิ้นงานมีลักษณะโตแสดงด้วยวงกลมเส้นประสีแดงดังรูปที่ 6 (ก) และเกิดรอยแหงนขอบแนว (Undercut) บนผิวแนวเชื่อมบริเวณแนวเชื่อมชั้นที่ 2 ที่กระแสเชื่อมต่ำ คือ 175 A ดังรูปที่ 6 (ก) ขณะที่กระแสในการเชื่อมสูงการเกิดรอยแหงนขอบแนว (Undercut) นั้นหายไปไม่เกิดรอยแหงนขอบแนว เม็ดโลหะมีขนาดเล็ก จำนวนเม็ดโลหะลดลง และรอยต่อแนวเชื่อมมีลักษณะสม่ำเสมอต่อเนื่องบริเวณชั้นแนวเชื่อมที่ 3 แสดงดังรูปที่ 6 (ง) ที่กระแสเชื่อม 220 A รูปที่ 7 แสดงโครงสร้างมหภาคที่เชื่อมด้วยกระแสต่างๆ ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 mm/min พบว่า การเชื่อมด้วยกระแส 175 A ลักษณะโครงสร้างมหภาคบริเวณแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ไม่พบจุดบกพร่อง แต่พบว่าชิ้นงานเชื่อมเกิดการโค้งงอแสดงดังรูปที่ 7 (ก) ขณะที่การเชื่อมด้วยกระแส 190 A พบว่าลักษณะโครงสร้างมหภาคบริเวณแนวเชื่อมพบจุดบกพร่องโพรงอากาศ(Porosity)เกิดขึ้นชั้นแนวเชื่อมที่ 3 แสดงด้วยวงกลมเส้นประสีแดงดังรูปที่ 7 (ข) และโครงสร้างมหภาคที่เชื่อมด้วยกระแส 205 A พบว่าเกิดจุดบกพร่องโพรงอากาศมีขนาดใหญ่และมีรอยแตกร้าว(Crack) บริเวณชั้นแนวเชื่อมที่ 2 แสดงด้วยวงกลมเส้น

การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 10

แปะสีแดงดังรูปที่ 7 (ค) ขณะการเชื่อมด้วยกระแสสูงที่สุดที่ 220 พบว่า โครงสร้างมหภาคบริเวณแนวเชื่อมชั้นที่ 1 มีจุดบกพร่องลักษณะยาวแสดงด้วยวงกลมเส้นแปะสีแดงดังรูปที่ 7 (ง) รูปที่ 8 ค่าการวัดขนาดของแนวเชื่อม พบว่า ค่าความกว้างของแนวเชื่อมมีค่าแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเมื่อกระแสเชื่อมสูงขึ้น



รูปที่ 7 โครงสร้างมหภาคความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 mm/min ที่เชื่อมด้วยกระแสไฟ ต่างๆ

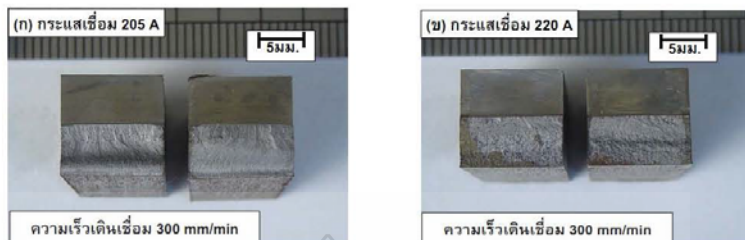


รูปที่ 8 ค่าการวัดขนาดแนวเชื่อม

รูปที่ 9 ค่าทดสอบความแข็งแรงกระแทกที่เชื่อมด้วยกระแส 175 190 205 และ 220 A ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 mm/min พบว่าค่าความแข็งแรงกระแทกเมื่อเชื่อมด้วยกระแส 175 A และ 190 A มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเพิ่มสูงขึ้นอีกที่กระแสเชื่อม 205 A และลดต่ำลงที่กระแสเชื่อม 220 A สภาวะการเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงสุดประมาณ 8.2 J ที่กระแสเชื่อม 205 A และรูปที่ 10 แสดงลักษณะการพังทลายบริเวณรอยเชื่อมด้วยการตรวจสอบแบบมหภาคด้วยสไลด์ตาเป็นองค์ พบว่า ค่าทดสอบแรงกระแทกที่มีค่าสูงสุดที่กระแสเชื่อม 205 A จุดการพังทลายของชิ้นทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบเว้าและนูนบริเวณแตกหักแสดงดังรูปที่ 10 (ก) ขณะที่ชิ้นทดสอบแรงกระแทกที่มีค่าต่ำสุดที่กระแสเชื่อม 220 A จุดบริเวณการพังทลายของพื้นผิวชิ้นงานทดสอบไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแสดงดังรูปที่ 10 (ข) อย่างไรก็ตามเพื่อความเข้าใจที่ถูกต้องต้องทำการศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope : SEM) ต่อไป เพื่อที่สามารถเปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างของโครงสร้างได้ชัดเจนยิ่งขึ้น



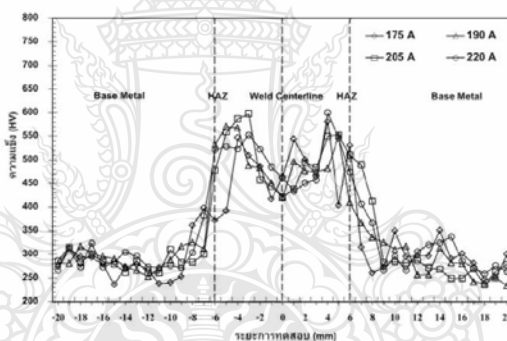
รูปที่ 9 ค่าทดสอบความแข็งแรงกระแทกที่เชื่อมด้วยกระแส 175 - 220 A ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 mm/min



(ก) ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงสุด และ (ข) ค่าความแข็งแรงกระแทกต่ำสุด

รูปที่ 10 เปรียบเทียบลักษณะการพังทลายบริเวณรอยเชื่อม

รูปที่ 11. ผลการทดสอบค่าความแข็งที่เชื่อมด้วยกระแส 175 190 205 และ 220 A ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 mm/min พบว่า ค่าความแข็งของบริเวณโลหะเชื่อม (Weld Metal) ที่ระยะการทดสอบ -6 ถึง 6 มีค่าความแข็งสูงกว่าบริเวณโลหะเดิม (Base Metal) ทั้งสองด้าน ทุกกระแสเชื่อม ขณะที่บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม (Weld Centerline) ค่าความแข็งมีแนวโน้มลดต่ำกว่าบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat Effect Zone : HAZ) ทั้งสองด้าน ซึ่งผลการทดลองมีแนวโน้มสอดคล้องกับงานวิจัยของ P.Sathiya et al. ได้รายงานว่าค่าความแข็งบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมที่ลดลงเนื่องจากมีผลกระทบจากการแข็งตัวอย่างรวดเร็วของโลหะเชื่อม (P.Sathiya et al. 2012) ขณะที่บริเวณโลหะเดิมทั้งสองด้านมีค่าความแข็งที่ใกล้เคียงกันทุกกระแสเชื่อม



รูปที่ 11 เปรียบเทียบค่าความแข็งที่เชื่อมด้วยกระแส 175 190 205 และ 220 A ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 mm/min

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาลักษณะของกระแสเชื่อมมิก (MIG) เหล็กเครื่องมืองานเย็น JIS SKD 11 ที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงของกระแสเชื่อมต่ำหรือสูงเกินไปส่งผลต่อลักษณะความต่อนื่องผิวรอยเชื่อมและส่งผลต่อค่าความกว้าง ความลึก ความนูนของบริเวณรอยเชื่อม
2. การเพิ่มขึ้นของกระแสเชื่อมส่งผลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกลดลง สภาวะการเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงสุดประมาณ 8.2 J คือ กระแสเชื่อม 205 A ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 mm/min และมีค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อมสูงกว่าโลหะเดิม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณ แผนกวิชาช่างเชื่อมโลหะวิทยาลัยเทคนิคสระบุรี และสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิสุพรรณบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์อำนวยความสะดวก อุปกรณ์เครื่องมือ เครื่องจักรในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ASTM International., Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials E 23-00," Annual Book of ASTM Standard, Volume 03.01, 1996. : 1-25.
- ASTM International., "Standard Practice for Microetching Metals and Alloys E 407-99," Annual Book of ASTM Standard, Volume 03.01, 1996. pp. 1-21.
- Chang, C.M., Chen, Y. C. Wu, W. 2010. Microstructural and Abrasive Characteristics of High Carbon Fe-Cr-C Hardfacing Alloy. *Tribology International* 43: 929-934.
- Deng, H. X., Shi, H. J., Tsuruoka, S., Yu, H. C., Zhong, B. 2012. Influence of Welding Technique and Temperature on Fatigue Properties of Steel Deposited with Co-based Alloy Hardfacing Coating. *International Journal of Fatigue* 35: 63-70.
- Erdal. Karadeniz., Ugur. Ozsarac., Ceyhan. Yildiz.,2007. The effect of process parameters on penetration in gas metal arc welding process. *Material and Design* 28: 649-656
- Fan, C., Chen, M.C., Chang, C.M., Wu, W. 2006 Microstructure change caused by (Cr,Fe)23C6 Carbides in High Chromium Fe-Cr-C Hardfacing Alloys. *Surface & Coatings Technology* 201: 908-912.
- Lee, J.C., Kang, H.J., Chu, W.S., Ahn, S.H. 2007. Repair of Damaged Mold Surface by Cold-Spray Method. *Annals of the CIRP* 56/1: 577-580.
- Pleterski, M., Tusek, J., Muhic, T. and Kosec, L. 2011. Laser Cladding of Cold-Work Tool Steel by Pulse Shaping. *J. Mater. Sci. Technol* 27(8): 707-713.
- P.Sathiya, Mahendra Kumar Mishra, B. Shanmugarajan, 2012. Effect of shielding gases on microstructure and mechanical properties of super austenitic stainless steel by hybrid welding. *Material and Design* 33: 203-2012.
- Sun, Y., Hanaki, S., Yamashita, M., Uchida, H., Tsujii, H. 2004. Fatigue behavior and fractography of laser-processed hot work tool steel. *Vacuum* 73: 655-660.
- Yang LJ et al. 1993 The effects of process variables on the weld deposit area of submerged arc welds. *Weld J.*72: 11-8
- Zhang, C., Sing, X., Lu, P., Hu, X. 2006. Effect of Microstructure on Mechanical Properties in Weld-repaired High Strength Low Alloy Steel. *Materials and Design* 36: 233-242.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายดำรงค์มิตร เขียนขุนทด
วัน เดือน ปีเกิด	25 มิถุนายน 2514
ที่อยู่	424/2 ถนน พหลโยธิน ตำบลปากเพรียว อำเภอเมือง จังหวัด สระบุรี 18000
การศึกษา	ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
ประสบการณ์การทำงาน	ครูชำนาญการ วิทยาลัยเทคนิคสระบุรี แผนกวิชาช่างเชื่อมโลหะ พ.ศ.2539 - ปัจจุบัน

