



รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง การปรับปรุงประสิทธิภาพคมตัดใบมีดสำหรับกะเทาะเปลือกถั่ว
ดาวอินคา
A performance Improvement of cutting blade bark
the Inca peanuts

คณะผู้วิจัย

นายธีรยุทธ กาญจนแสงทอง
นายสุธรรม ศิวารุธ

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
งบประมาณรายได้ประจำปี 2562
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

โครงการวิจัยเรื่อง การปรับปรุงประสิทธิภาพคอมพิวเตอร์ไบนารีสำหรับกะเพาเปลือกแก้วดาวอินคา





รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง

การปรับปรุงประสิทธิภาพคมตัดใบมีดสำหรับกะเทาะเปลือกถั่วดาว
อินคา

A performance improvement of cutting blade bark the
Inca peanuts

คณะผู้วิจัย

นายธีรยุทธ

กาญจนแสงทอง

นายสุธรรม

ศิวาวุธ

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณรายได้ประจำปี 2562

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

คณะผู้วิจัย : นายธีรยุทธ กาญจนแสงทอง
นายสุธรรม ศิวารุธ
ชื่องานวิจัย : การปรับปรุงประสิทธิภาพคมตัดใบมีดสำหรับกะเทาะเปลือกถั่วดาวอินคา
หน่วยงาน : สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บทคัดย่อ

เมล็ดถั่วดาวเป็นพืชที่ให้คุณค่าทางโภชนาการต่อมนุษย์ เช่น โอเมก้า 3, 6, 9 และมีน้ำมันที่มีความเข้มข้นสูง มีไขมันไม่อิ่มตัวถึง 98 % มีสารต่อต้านอนุมูลอิสระ วิตามิน และวิตามิน E มีโปรตีนสูงและ กรดอะมิโน ที่จำเป็นต่อร่างกายของมนุษย์ ซึ่งปัจจุบันการปลูกถั่วดาวอินคาได้รับความนิยมในการปลูกค่อนข้างมากในแถบภาคกลางของประเทศไทย โดยส่วนใหญ่การส่งขายเมล็ดถั่วดาวอินคาของเกษตรกรจะใช้วิธีการกะเทาะเปลือกเมล็ดถั่วดาวอินคาส่งขายไปยังผู้รับซื้อสินค้า ซึ่งให้ผลตอบแทนค่อนข้างสูง แต่สำหรับในขั้นตอนการกะเทาะเปลือกจะต้องมีเครื่องกะเทาะเปลือกซึ่งมีชุดใบมีดกะเทาะเปลือกเพื่อให้ได้เมล็ดถั่วดาวอินคาที่ไม่มีเปลือกติดมา ซึ่งการกะเทาะเปลือกถั่วด้วยเครื่องจักร เมื่อใช้ไปนานๆ ใบมีดชุดกะเทาะเปลือกถั่วจะเกิดการสึกหรอเกิดขึ้นได้และส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือกถั่วดาวอินคาลดลง และบางครั้งหากมีการสึกหรอของชุดใบมีดมากต้องทำการเปลี่ยนชุดใบมีดชุดกะเทาะเปลือกใหม่ทดแทนซึ่งทำให้เกิดต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นของเกษตรกรอีกด้วย

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการปรับปรุงประสิทธิภาพคมตัดใบมีดสำหรับกะเทาะเปลือกถั่วดาวอินคา วัสดุที่ใช้ในการทดลองนี้คือ เหล็กกล้าคาร์บอน S50C ถูกเชื่อมพอกผิวแข็งที่ขอบชิ้นงานด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสปกคลุมโดยมีกระแส 135 และ 150 A ร่วมกับเทคนิคการเติมลวดร้อนไส้ฟลักพอกแข็งมีกระแสระหว่าง 80-180 A จากนั้นเนื้อเชื่อมถูกนำมาตัดเพื่อวิเคราะห์สัดส่วนอัตราการเงา และนำมาทำการทดสอบสมบัติทางกลการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา ซึ่งผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

ผลการทดลองพบว่า การเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสปกคลุมร่วมกับเทคนิคการเติมลวดร้อนไส้ฟลักพอกแข็ง สามารถทำการปรับปรุงผิวคมตัดใบมีดและเพิ่มปริมาณของเนื้อเชื่อมทดแทนส่วนที่สึกหรอได้เป็นอย่างดี แต่อาจมีรอยความไม่ต่อเนื่องเกิดขึ้นบริเวณเนื้อเชื่อม สัดส่วนอัตราการเงาที่ทำให้การหลอมลึกดีในการทดลองนี้ คือ กระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลส 150 A กับกระแสการเติมลวดร้อน 120-140 A ค่าความแข็งของเนื้อเชื่อมมีค่าความแข็งสูงซึ่งสามารถช่วยป้องกันการสึกหรอของคมตัดใบมีดได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : ใบมีดคมตัด กระบวนการเชื่อมลวดร้อนอาร์กทั้งสแตนเลสโดยเหล็กปกคลุม ลวดไส้ฟลักซ์

Name : Mr.Teerayut Karnchanaseangthong
Mr.Sutham Siwawut
Research : A performance Improvement of cutting blade bark the Inca
Title : peanuts
Organization : Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Krungthep

Abstract

Inca peanuts seeds are plants that provide nutrition to humans such as 3, 6, 9 Omega and have a high concentration of oil. It contains the 98% unsaturated fat, contains antioxidant, E vitamin, high protein and amino acids that are essential to the human body. Currently, Inca peanuts seeds have popularly planted in the central region of Thailand. However, the farmers sold the Inca peanuts have to use the method for cleaving on Inca peanuts seeds to a sales to the buyer, so there is providing a returning high benefit, but the process peeling for a cleaving machine need to have a set of cutting blade to cleave Inca peanuts, and there is no a shell attached with Inca peanuts seeds. Moreover, when there is used cleaving machine for Inca peanuts seeds for a long time, the blades of cleaving machine can wear out and can affect the efficiency of cutting blade cleaving the Inca peanuts etc.

Therefore, the purpose of this research was a performance Improvement of cutting blade barking the Inca peanuts. The used material in this experiment is S50C grade carbon steel, it was welded hard facing by build up at the edges of workpiece. Hot-wire gas tungsten arc welding process have 135 and 150 currents of GMAW and used 80-180 currents of hot wire. There is using flux-cored filler wire into weld pool after that specimens were made to cut cross section of the specimens to observe ratio of dilution. There are testing mechanical properties and metallurgical examination too. The experimental results can be summarized as follows

The results showed that the hot-wire gas tungsten arc welding versus flux-cored filler wire. It can improve the cutting blade surface and increase the amount of welded metal of welded bead extremely but sometimes it may be to have discontinuous occurring in welded bead from flux-cored filler wire while dilution rate give a good welding condition in this experiment. It is the 150 ampere of gas tungsten arc welding current with the 120-140 ampere of hot-wire filler currents, then the hardness of the weld bead has a high hardness which can be helped to prevent the wearing of the cutting edge very well.

Keywords: Cutting edge blades, Hot-wire GTAW, Flux cored wire

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สถาบันการวิจัยและพัฒนา และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยงบประมาณรายได้ประจำปี 2562 ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สามารถดำเนินการ และบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ขอขอบพระคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ในการทดลอง ทำให้การทดลองสามารถดำเนิน การไปได้อย่างราบรื่น

สุดท้าย คณะผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอน จนทำให้คณะผู้วิจัยมีโอกาสในการทำวิจัยนี้ นอกจากนี้ขอกราบขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่มีความเกี่ยวข้องกับการงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งคณะผู้วิจัยไม่ได้เอ่ยนามถึง ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบแต่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ธีรยุทธ กาญจนแสงทอง
สุธรรม ศิวารุธ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	5
2.1 การเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสปีคคูลัมและเทคนิคเติมลวดร้อน (Hot-wire GTAW)	5
2.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงสะท้อน	6
2.3 กระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสปีคคูลัม Gas Tungsten Arc Welding: GTAW)	8
2.4 แก๊สสปีคคูลัมที่ใช้กับการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสปีคคูลัม	11
2.5 ส่วนประกอบในบริเวณรอยเชื่อม	12
2.6 ทฤษฎีการทดสอบสมบัติทางกล	16
2.7 ทฤษฎีการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา	18
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	23
3.1 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย	23
3.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกล	28
3.3 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานตรวจสอบทางโครงสร้างโลหะวิทยา	31
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์งานวิจัย	33
4.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างกระแสนเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสปีคคูลัมกับกระแสนเชื่อมลวดร้อนไส้ฟลัก (Hot wire)	33
4.2 ผลการศึกษาสมบัติทางกลของรอยเชื่อม	36
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	
5.1 สรุปผลการทดลอง	38
5.2 ข้อเสนอแนะ	38
บรรณานุกรม	39
ภาคผนวก ก	41

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การเลือกใช้แก๊สปกคลุมให้เหมาะสม	12
2.2	รายละเอียดของน้ำยากัดขึ้นตรวจสอบ	20
3.1	ส่วนผสมทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนัก %)	24
3.2	เงื่อนไขตัวแปรการเชื่อม	27



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 เมล็ดถั่วดาวอินคา	1
1.2 กรรมวิธีการชุบแข็งคมตัดใบมีด	2
2.1 ตัวอย่างของกระบวนการเชื่อม Hot-wire GTAW	5
2.2 องค์ประกอบของการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสปีคและเทคนิคเติมลวดร้อน	6
2.3 ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	7
2.4 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์สำหรับงานทางโลหะวิทยา	8
2.5 การทำงานของการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสปีค	9
2.6 ข้อแตกต่างของกระแสไฟเชื่อมทั้ง 3 ประเภท	10
2.7 องค์ประกอบของการเชื่อม Hot-Wire GTAW	10
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแผนภาพสมดุลกับบริเวณต่างๆที่เกิดในรอยเชื่อม	13
2.9 การคำนวณอัตราการเจริญ	14
2.10 บริเวณที่ไม่ผสมใกล้ขอบรอยเชื่อม	16
2.11 ลักษณะห้วงเขตเพอร์รูปพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมที่มีมุมปลายแหลม 136° และลักษณะรอยกัดที่ได้จากการทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์	17
2.12 การหาค่าเฉลี่ยของเส้นทแยงมุมพื้นที่รอยกัดเฉียง 136°	18
2.13 เครื่องอัดขึ้นงานขึ้นรูปแบบร้อน	19
2.14 ลักษณะการขัดกระดาษทราย	19
2.15 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	21
3.1 ขั้นตอนแนวคิดของโครงการวิจัย	23
3.2 ขนาดชิ้นงานทดสอบเชื่อมของเหล็กกล้าคาร์บอน S50C	24
3.3 เครื่องเชื่อม GTAW ที่ใช้ในการทดลอง	25
3.4 เครื่อง Hot-wire feeder	25
3.5 ชุดทางเดินรางแนวเชื่อมแบบอัตโนมัติ	26
3.6 แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม	26
3.7 กระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสปีคและเทคนิคการป้อนเติมลวดร้อน (Unit :mm)	27
3.8 การเชื่อมพอกผิวแข็ง Hot-wire GTAW บนสันเหล็กสำหรับคมตัดใบมีด	28
3.9 การออกแบบชิ้นงานทดลองแบบปากวี	28
3.10 การตัดชิ้นงานด้วยเครื่อง wire cut	29
3.11 การตัดแบ่งชิ้นงานทดสอบแรงดึง	29
3.12 ตำแหน่งการวัดค่าความแข็งในชิ้นงานเชื่อม	30
3.13 การจับยึดชิ้นงานเข้ากับเครื่องด้วยปากกาจับยึดของเครื่องทดสอบแรงดึง	30
3.14 เครื่องขึ้นรูปชิ้นงานด้วยความร้อนด้วยผงเบเคไลต์	31
3.15 ชิ้นงานตรวจสอบด้วยบนเครื่องจานหมุน	31
3.16 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	เปรียบเทียบความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมระหว่างกระแสน้ำเชื่อมอาร์กทั้งสแตน 135 A กับกระแสน้ำเชื่อมลวดร้อน 80-180 A	33
4.2	การเปรียบเทียบการหลอมลึกระหว่างกระแสน้ำเชื่อมอาร์กทั้งสแตน 150 A กับ กระแสน้ำเชื่อมลวดร้อนไส้ฟลักซ์ 80-180 A	34
4.3	การเปรียบเทียบสัดส่วนอัตราการใช้ของกระแสน้ำเชื่อมอาร์กทั้งสแตน กับกับกระแสน้ำเชื่อมลวดร้อนไส้ฟลักซ์	34
4.4	โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม	35
4.5	การเปรียบเทียบค่าความแข็งที่บริเวณตำแหน่งต่างๆของแนวเชื่อม	36
4.6	รอยฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบ	37
4.7	ลักษณะของรอยแตกของรอยเชื่อมจากการทดสอบแรงกระแทก	37



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ถั่วดาวอินคา (Sacha Inchi or Inca peanuts) จัดเป็นพืชที่ให้น้ำมันอยู่ในตระกูลของ Euphorbiaceae มีถิ่นกำเนิดในป่าลุ่มน้ำอะเมซอน ในประเทศเปรู ทวีปอเมริกาใต้ ซึ่งเป็นพืชที่ให้คุณค่าทางโภชนาการต่อมนุษย์ เช่น โอเมก้า 3, 6, 9 และมีน้ำมันที่มีความเข้มข้นสูง มีไขมันไม่อิ่มตัวถึง 98 % มีสารต่อต้านอนุมูลอิสระ วิตามิน และวิตามิน E มีโปรตีนสูงและ กรดอะมิโน ที่จำเป็นต่อร่างกายของมนุษย์ [1, 2] แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยสามารถปลูกถั่วดาวอินคาได้แล้ว ในแถบภาคกลาง เช่น สุพรรณบุรี และการปลูกถั่วดาวกำลังได้รับความนิยมค่อนข้างสูงซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจตัวใหม่ที่ให้ผลผลิตต่อไร่สูง ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาดสูง โดยการปลูกถั่วดาวอินคาประมาณ 7-8 เดือน ก็สามารถเก็บผลผลิตขายได้แล้ว เช่น ดอก และฝักแก่ที่ไม่กะเทาะเปลือก แต่มีราคาค่อนข้างถูกกว่าฝักกะเทาะเปลือก ประมาณ 2 เท่า ซึ่งโดยส่วนใหญ่เกษตรกรชาวสวนถั่วอินคานิยมกะเทาะเปลือกขาย แต่ในขั้นตอนการกะเทาะเปลือกจะต้องมีเครื่องกะเทาะเปลือกซึ่งมีชุดใบมีดกะเทาะเปลือก เพื่อให้ได้เมล็ดถั่วดาวอินคาที่ไม่มีเปลือกติดมา ซึ่งการกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องจักร เมื่อใช้ไปนาน ใบมีดชุดกะเทาะเปลือกถั่วเกิดการสึกหรอเกิดขึ้นได้และส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือกถั่วดาวอินคาลดลง

โดยปกติทั่วไปแล้วคมตัดใบมีดจะถูกทำให้แข็งขึ้นด้วยกรรมวิธีการชุบแข็ง (Heat treatment) [3] เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความสามารถในการตัดเฉือน ดังแสดงในรูปที่ 2 วัสดุที่ใช้ทำใบมีดจะต้องที่มีคุณสมบัติสามารถในการชุบแข็งได้ดี เช่น เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด S45C S50C เป็นต้น ซึ่งราคาค่อนข้างสูง



รูปที่ 1 เมล็ดถั่วดาวอินคา [4]



รูปที่ 2 กรรมวิธีการเชื่อมเชิงคมตัดใบมีด

ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาใช้เทคนิคการเชื่อมพอกผิวเชิงเฉพาะที่บริเวณคมตัดใบมีดขึ้นด้วยกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดหุ้มฟลักซ์ (Shield metal arc welding, SMAW) หรือการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมมิก/แมก (GMAW) ซึ่งช่วยลดต้นทุนและเวลาในการเปลี่ยนอะไหล่ทดแทน และง่ายต่อการซ่อมบำรุง [5-8] [9-11] อย่างไรก็ตามการเชื่อมพอกผิวเชิงเฉพาะบริเวณคมตัดใบมีดหากการเชื่อมกำหนดปัจจัยงานเชื่อมที่ไม่เหมาะสมแล้ว รอยเชื่อมพอกผิวเชิงดังกล่าวอาจเกิดการแตกร้าวหลุดออกจากใบมีดโดยเฉพาะบริเวณใต้ผิวรอยเชื่อมหรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคบริเวณกระแทกร้อน (HAZ) ที่มีความแข็งแรงลดลง เนื่องด้วยการกระจายความร้อนขณะเชื่อมที่ไม่เหมาะสม อย่างเช่นกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดหุ้มฟลักซ์ซึ่งควบคุมได้ลำบาก ซึ่งเหล่านี้จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อการลดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนใบมีดอย่างรุนแรงได้ จากการศึกษาที่ผ่านมา [12-15] พบว่าการประยุกต์ใช้กระบวนการเชื่อมอาร์ก ร่วมกับเทคนิคการเติมลวดร้อน (Hot wire) กับงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การเชื่อมต่องานหนาด้วยรอยต่อร่องแคบ (Narrow gap arc welding) [16-19] การเชื่อมวัสดุต่างชนิด การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและความเร็วในการเชื่อม การเชื่อมพอกผิวเชิง เป็นต้น โดยเฉพาะการเชื่อมอาร์กด้วยแก๊สปกคลุมร่วมกับการเติมลวดร้อน (Hot-wire GTAW) มีรายงานว่าให้ผลของคุณภาพรอยต่อ (Weld quality) ดีขึ้นและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคบริเวณกระแทกร้อนที่น้อยกว่ากระบวนการเชื่อมทั่วไป เช่น กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดหุ้มฟลักซ์และการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมมิก/แมก เนื่องจากใช้ความร้อนนำเข้า (Heat input) ในการเชื่อมต่ำ เพราะวิธีการนี้สามารถควบคุมความร้อนได้อย่างอิสระต่อกันระหว่างการอาร์กและลวดอุ่นร้อนเติมแนวเชื่อม [12] โดยวิธีการเชื่อมนี้ยังไม่พบรายงานที่มีการประยุกต์ใช้กับการพอกผิวเชิงคมตัดใบมีดเครื่องกะเทาะเปลือกถั่วดาวอินคา

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเกี่ยวกับการปรับปรุงประสิทธิภาพคมตัดใบมีดสำหรับกะเทาะเปลือกถั่วดาวอินคาด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสปกคลุมร่วมกับการเติมลวดร้อนไส้ฟลักซ์พอกเชิง เพื่อพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพคมตัดใบมีดสำหรับกะเทาะเปลือกถั่วดาวอินคา

เพื่อเป็นแนวทางในการเชื่อมซ่อมบำรุงที่เหมาะสมสำหรับใบมีดสำหรับกะเทาะเปลือกถั่วดาวอินคาในอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้การเติมลวดร้อนไส้ฟลักพอกแข็งกับกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสปีคกลุ่มบนคมตัดมีดเครื่องย่อยถั่วดาวอินคา

1.2.2 เพื่อศึกษาความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมพอกแข็งอาร์กทั้งสแตนเลสสปีคกลุ่มร่วมกับเติมลวดร้อนไส้ฟลัก

1.2.3 เพื่อศึกษาเปอร์เซ็นต์การเจือจาง (Dilution) ของแนวเชื่อมพอกแข็งอาร์กทั้งสแตนเลสสปีคกลุ่มร่วมกับเติมลวดร้อนไส้ฟลักและสมบัติทางกล

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

การปรับปรุงผิวคมตัดใบมีดสำหรับเครื่องกะเทาะเปลือกถั่วดาวอินคาด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสปีคกลุ่มร่วมกับเทคนิคการเติมลวดร้อนไส้ฟลักพอกแข็ง มีขอบเขตการศึกษาดังนี้

1.3.1 ชิ้นงานทดสอบเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด S50C

1.3.2 ศึกษาโลหะเนื้อเชื่อม (Weld metal) คือ ลวดเชื่อมพอกผิวแข็ง JIS : YF3B-C-700 SC-700H

1.3.3 ทดสอบและวิเคราะห์ผลกระทบทางโครงสร้างจุลภาคในเนื้อเชื่อมพอกแข็งและบริเวณกระทบร้อน

1.3.4 วิเคราะห์อัตราการเจือจาง (Dilution ratio) เนื่องจากกระบวนการเชื่อม Hot wire-GTAW

1.3.5 ทดสอบสมบัติทางกล เช่น แรงดึง ความแข็ง

1.3.6 ศึกษากระแสเชื่อมและความเร็วเดินเชื่อม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถทราบถึงปัจจัยในการพอกผิวแข็งบนคมตัดใบมีดสำหรับเครื่องกะเทาะเปลือกด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสปีคกลุ่มร่วมกับเทคนิคการเติมลวดร้อน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและถ่ายทอดองค์ความรู้การเชื่อมพอกผิวแข็งแก่ภาคเกษตรกรชาวสวนถั่วอินคา

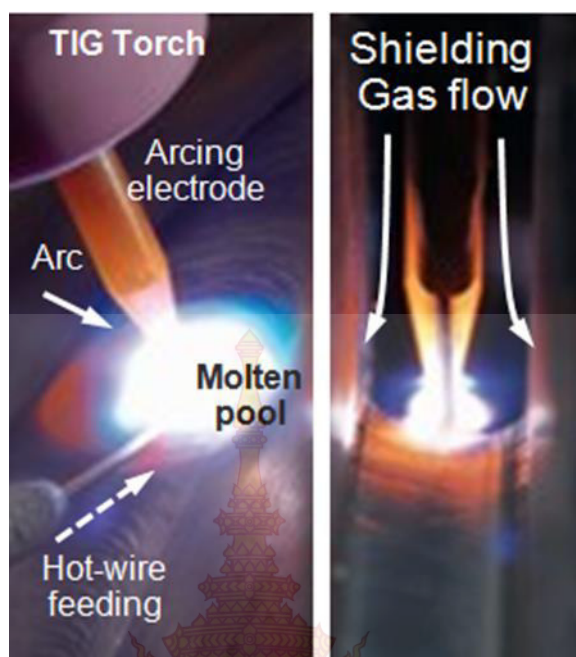
1.4.2 แก้ปัญหาในการดำเนินงานของหน่วยงานที่ทำการวิจัย เป็นการเพิ่มศักยภาพการวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสปีคกลุ่มร่วมกับเทคนิคการเติมลวดร้อน ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

1.4.3 บริการความรู้แก่ภาคธุรกิจเพื่อนำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ โดยการจัดเตรียมข้อมูล วิธีการและผลการทดลองเบื้องต้น ที่สามารถนำเสนอให้แก่ภาคเกษตรกรชาวสวนถั่วอินคา และสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อทำการซ่อมบำรุงได้ทันที

1.4.4 เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต โดยคาดว่าผลการทดลองที่ได้จะเป็นหนึ่งทางเลือกในการใช้เป็นข้อมูลพิจารณาการใช้กระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสปีคกลุ่มร่วมกับเทคนิคการเติมลวดร้อนพอกผิวแข็งในการเชื่อมซ่อมชิ้นส่วนเครื่องกะเทาะเปลือกถั่วดาวอินคา เพื่อลดเวลาการทำการทดลองหรือการเลือกใช้ตัวแปรการเชื่อมต่างๆ เพื่อให้ได้ตัวแปรการเชื่อมที่มีความเหมาะสมต่อไป และทำให้ได้แนวเชื่อมที่มีประสิทธิภาพสูงที่มีต้นทุนการผลิตต่ำขึ้น

1.4.5 พัฒน่องค์ความรู้พื้นฐานของกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสปีคกลุ่มร่วมกับเทคนิคการเติมลวดร้อนในงานคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน และ การนำไปใช้ประยุกต์ใช้งาน เพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนางานวิจัยต่อไป และสามารถเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการภายใน ประเทศหรือตีพิมพ์ในวารสารภายในประเทศอย่างน้อย 1 เรื่อง เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับประเทศหรือตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติอย่างน้อย 1 เรื่อง





รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสปีดและเทคนิคเติมลวดร้อน

กระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสปีดและเทคนิคเติมลวดร้อนนี้ใช้ความร้อนนำเข้าไปในการเชื่อม เนื่องจากวิธีการนี้สามารถควบคุมความร้อนขณะเชื่อมได้อย่างอิสระต่อกันระหว่างการหลอมละลายของโลหะงาน (Base metal) และลวดอุณหภูมิร้อนเติมแนวเชื่อม (Hot wire) ซึ่งทำให้ผลกระทบต่อโครงสร้างจุลภาคในแนวเชื่อมลดลง โดยเฉพาะบริเวณกระแทก (HAZ) ทั้งยังส่งเสริมอัตราการเติมเนื้อเชื่อมสูงกว่ากระบวนการเชื่อมทั่วไปด้วย ดังในรูปที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบของการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสปีดและเทคนิคเติมลวดร้อน

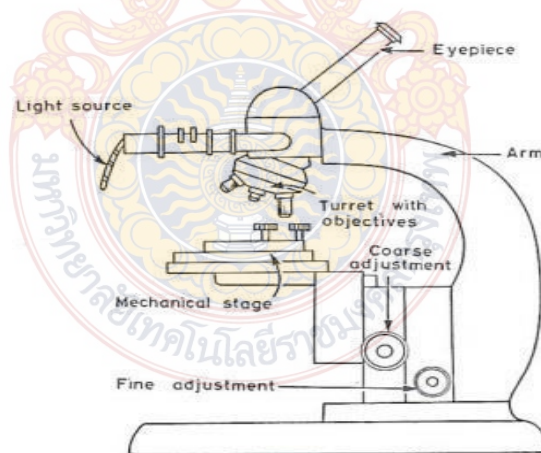
2.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงสะท้อน [20]

ก. สมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) ของโลหะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโลหะและการจัดเรียงตัวของอะตอมในโลหะ การศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาของโลหะเป็นขั้นตอนพื้นฐานที่สำคัญในการตรวจสอบคุณภาพ ตลอดจนใช้เป็นหลักฐานเบื้องต้นในการวิเคราะห์หาสาเหตุของความเสียหายของชิ้นส่วนโลหะนั้นๆ การศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยา แบ่งเป็น

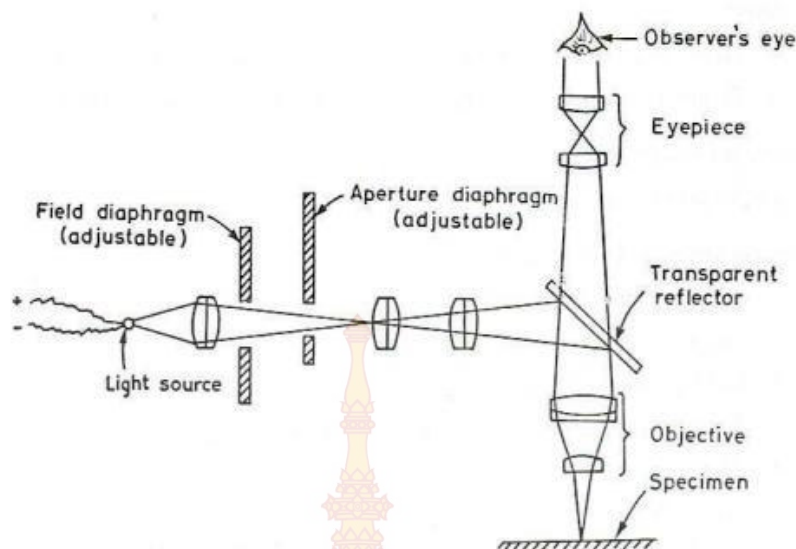
ข. การตรวจสอบในระดับมหภาค (Macroscopic Examination) เป็นการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาของตัวอย่างชิ้นงานโดยใช้กำลังขยายต่ำกล่าวคือ เมื่อเตรียมชิ้นงานโดยการขัดหยาบ ขัดละเอียด ขัดเงา (Polishing) และกัดกรด (Etching) แล้วสามารถตรวจสอบได้โดยตาเปล่า (Visual Inspection) หรืออาจใช้กำลังขยายได้ไม่เกิน 10 เท่า

ค. การตรวจสอบในระดับจุลภาค (Microscopic Examination) เป็นการตรวจสอบโครงสร้างของชิ้นงานโลหะโดยใช้กำลังขยายที่สูงขึ้นกล่าวคือ ตั้งแต่ 10 เท่าเป็นต้นไป ซึ่งอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างในระดับจุลภาค คือ กล้องจุลทรรศน์สำหรับงานทางโลหะวิทยา

(Metallurgical Microscope) หรือกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ดังแสดงรูปที่ 2.3 โดยจะมีกำลังขยายอยู่ระหว่าง 10-1,000 เท่าที่กำลังขยายสูงช่วยทำให้การจำแนกชนิดของเฟส (Phase) โครงสร้าง (Structure) ที่ปรากฏอยู่ รวมถึงลักษณะรูปร่าง และขนาดของเฟส หรือโครงสร้าง นั้นๆ ในชิ้นงานตัวอย่างได้ง่ายขึ้น ในบางกรณีที่โครงสร้าง หรือเฟสที่ปรากฏในตัวอย่างชิ้นงานมีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถตรวจสอบได้ที่ระดับกำลังขยาย 10-1,000 เท่า จึงต้องมีการเลือกใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่มีศักยภาพสูง ในที่นี้คือมีกำลังขยายที่มากกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง และใช้แหล่งกำเนิดแสงจากลำแสงอิเล็กตรอนดังนั้นกล้องชนิดนี้จึงได้ชื่อว่า “กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน” (กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้งานในทางโลหะกรรมมีอยู่ 2 ชนิดคือ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน) กล้องจุลทรรศน์สำหรับงานทางโลหะวิทยา หรือกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงมีอยู่หลายลักษณะด้วยกันกล้องจุลทรรศน์ที่เรานำมาใช้ คือกล้องจุลทรรศน์ชนิดที่ฐานแท่นรองรับชิ้นงานตัวอย่างสามารถเลื่อนไป-มาได้ดังรูปที่ 2.4 การทำงานของกล้องจุลทรรศน์แสดงดังรูปที่ 2.4 กล้องจุลทรรศน์ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงซึ่งจะส่งลำแสงผ่านเลนส์รวมแสงไปตกกระทบแผ่นแก้วสะท้อนแสง (Transparent Reflector) ทำให้แสงดังกล่าวตกลงในลักษณะที่ตั้งฉากกับผิวชิ้นงาน ผิวชิ้นงานที่ได้ผ่านการเตรียมมาแล้วก็จะสะท้อนแสงกลับขึ้นไปผ่านเลนส์วัตถุ (Objective Lenses) แล้วผ่านเลนส์ตา (Eyepiece) ก่อนจะผ่านเข้าตา (Observer's Eye) ทำให้เห็นภาพขยายของโครงสร้างชิ้นงานดังกล่าว



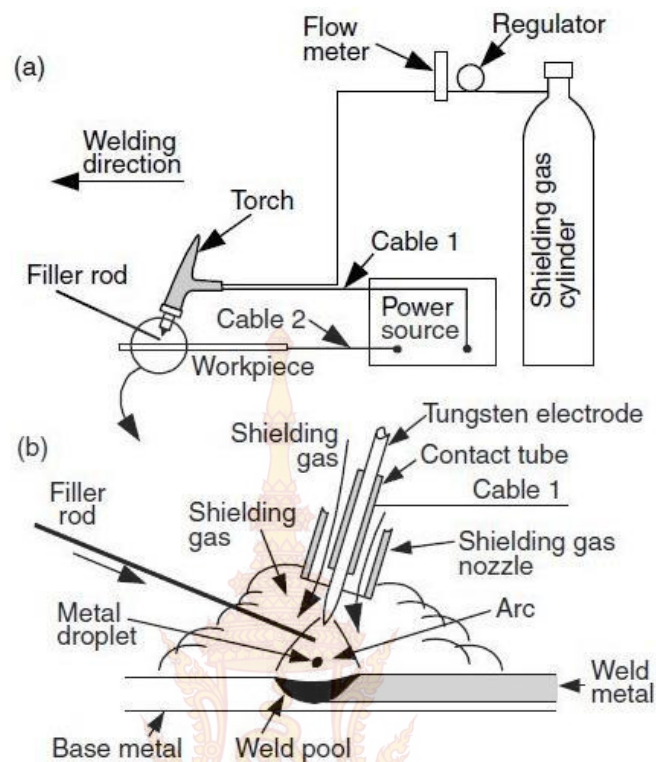
รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง [20]



รูปที่ 2.4 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์สำหรับงานทางโลหะวิทยา [20]

2.3 กระบวนการเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สปกคลุม Gas Tungsten Arc Welding: GTAW)

หลักการของกระบวนการเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สปกคลุมเป็นกระบวนการหลอม (Melt) รอยต่อโลหะ (Joint Metal) โดยให้ความร้อนกับรอยต่อโลหะด้วยการอาร์ก (Arc) ระหว่างอิเล็กโทรดทังสเตน (Non-consumable tungsten electrode) กับวัสดุ (Materials) (ดังแสดงในรูปที่ 2.5) หัวเชื่อม (Torch) ที่ใช้ยึดเนื้อเชื่อมทังสเตนต่อเข้ากับท่อบรรจุแก๊สปกคลุม (Shielding gas) และมีสายไฟเชื่อมต่อกับเครื่องเชื่อม (Power source) ดังรูปที่ 2.5 a) อิเล็กโทรดทังสเตนอยู่ในท่อทองแดงที่มีน้ำหล่อเย็น เรียกว่า "Contact tube" ดังรูปที่ 2.5 b) ซึ่งต่อเข้ากับสายไฟเชื่อม (Cable 1) น้ำหล่อเย็นนี้ช่วยป้องกันการเกิดความร้อนที่สูงขึ้นขณะใช้กระแสไฟเชื่อม (Welding current) จากเครื่องเชื่อมที่ไหลเข้าไปในอิเล็กโทรดทังสเตนและช่วยระบายความร้อนให้กับอิเล็กโทรดทังสเตนชิ้นงาน (Work piece) ต่อเข้ากับสายอีกด้านหนึ่ง (Cable 2) ของเครื่องเชื่อม แก๊สปกคลุมไหลผ่านเข้าไปในหัวเชื่อม และออกมาทางรูหัวฉีด (Nozzle) แล้วพุ่งตรงไปยังบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อม (Weld pool) เพื่อให้การเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สปกคลุมป้องกันได้ดีกว่ากระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding: GMAW)



รูปที่ 2.5 การทำงานของการเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สปกคลุม

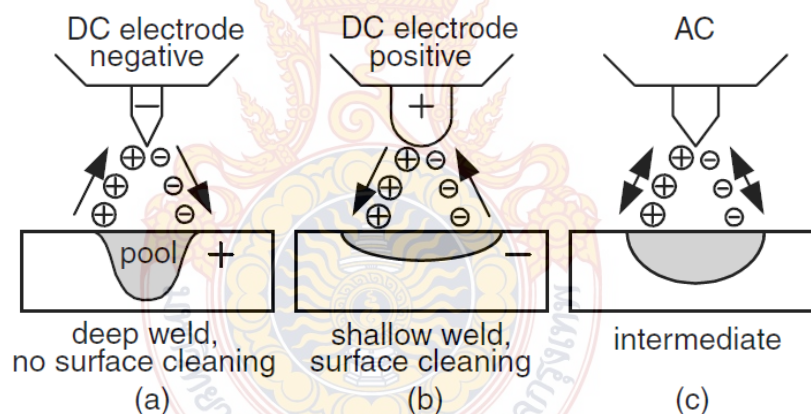
ทั้งนี้เพราะแก๊สเฉื่อย (Inert gas) เช่นแก๊สอาร์กอน (Argon) หรือฮีเลียม (Helium) มีสมบัติเป็นแก๊สปกคลุมที่ดีและแก๊สปกคลุมนี้ไหลพุ่งไปยังบ่อหลอมละลายโดยตรง ด้วยเหตุที่ใช้แก๊สเฉื่อยจึงเรียกว่า “การเชื่อมทิก (Tungsten Inert Gas : TIG)” ในบางครั้งก็สามารถนำแก๊สชนิดอื่น ที่ไม่ใช่แก๊สเฉื่อยในปริมาณน้อยเข้าไปผสมเป็นแก๊สปกคลุมได้ ถ้าต้องการเชื่อมโดยใช้ลวดเติม (Filler rod) เช่น ชิ้นงานที่มีความหนาที่สามารถที่จะป้อนลวดได้ทั้งแบบป้อนด้วยมือ (Manual) หรือป้อนลวดแบบอัตโนมัติ (Automatic) ได้

ก. ประเภทของกระแสไฟเชื่อมและขั้วเชื่อม (Welding current and polarity)

1) กระแสไฟตรงเนื้อเชื่อมต่อขั้วลบ (Direct current electrode negative : DCEN) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่ากระแสไฟขั้วตรง (Straight polarity) เป็นขั้วกระแสไฟเชื่อมที่ใช้กันทั่วไปในกระบวนการเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สปกคลุม ซึ่งอิเล็กโทรด (Electrode) จะต่อเข้ากับขั้วลบของเครื่องเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 2.6 a ทำให้อิเล็กตรอน (Electron) ไหลจากเนื้อเชื่อมทังสเตนและวิ่งเข้าช่องอาร์กไปยังชิ้นงานที่เป็นขั้วบวกและการไหลของอิเล็กตรอนในลักษณะนี้จึงทำให้มีนัยสำคัญที่สัมพันธ์กับปริมาณของพลังงาน ซึ่งเรียกว่า “Work function” ก็คืออิเล็กตรอนจะถูกบังคับให้ไหลมาจากอิเล็กโทรด และเมื่ออิเล็กตรอนวิ่งเข้าไปในชิ้นงานแล้วปริมาณของพลังงานที่เทียบเท่ากับ Work function ก็จะถูกปล่อยออกมา และด้วยเหตุผลนี้เองที่เป็นเหตุผลว่าทำไมกระบวนการเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สปกคลุมด้วยกระแสไฟ DCEN จึงมีความร้อนเกิดขึ้นที่ชิ้นงานในจุดที่เกิดการอาร์กมาก (ประมาณ 2/3) และเกิดความร้อนที่ปลายเนื้อเชื่อมน้อยกว่า (ประมาณ 1/3) ดังนั้นจากความสัมพันธ์ในลักษณะดังกล่าวจึงทำให้

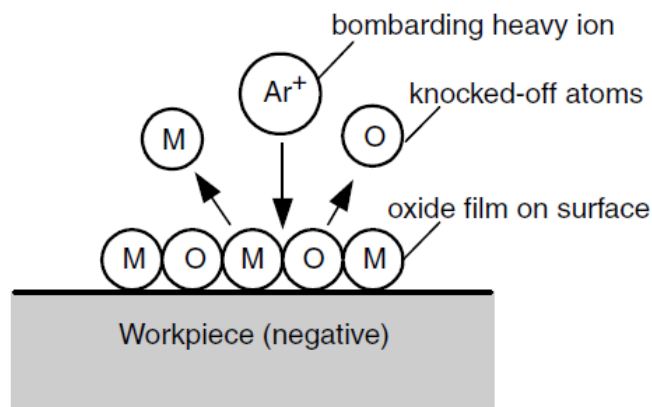
แนวเชื่อมที่ได้จากการเชื่อมด้วยกระแส DCEN มีความลึกและแคบ กระแส DCEN เหมาะสำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าสแตนเลส (Stainless steel), ทองแดงผสม (Copper alloys), นิกเกิลผสม (Nickel alloys), ทิตาเนียม (Titanium), เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low carbon steel), และเหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High carbon steel)

2) กระแสไฟตรงเนื้อเชื่อมต่อขั้วบวก (Direct current electrode positive : DCEP) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กลับขั้ว (Reverse polarity) การต่อขั้วไฟเชื่อมแบบนี้เนื้อเชื่อมจะต่อเข้ากับขั้วบวกของเครื่องเชื่อมดังรูปที่ 2.6 b ผลกระทบของความร้อนจากการไหลของอิเล็กตรอนจะอยู่ที่เนื้อเชื่อมทั้งสแตนมากกว่าชิ้นงาน ดังนั้นแนวเชื่อมที่ได้จึงตื้นและกว้างในการเชื่อมด้วยกระแส DCEP จึงต้องใช้แท่งทั้งสแตนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและใช้น้ำหล่อเย็นกับหัวเชื่อมเพื่อป้องกันแท่งทั้งสแตนหลอมจากความร้อนสูง ส่วนอ็อกไซด์ของแก๊สปกคลุมจะวิ่งเข้าชิ้นงานอย่างแรงดังรูปที่ 2.7 จนทำให้ชั้นบาง ๆ ของออกไซด์ (Oxide film) แยกออกจากผิวชิ้นงานจึงเป็นการทำความสะอาดผิวหน้าชิ้นงาน ดังนั้นการเชื่อมด้วยกระแส DCEP



รูปที่ 2.6 ข้อแตกต่างของกระแสไฟเชื่อมทั้ง 3 ประเภท

Cleaning action (electrode positive)



รูปที่ 2.7 การทำความสะอาดผิวหน้าชิ้นงานด้วยกระแส DCEP

จึงสามารถใช้เชื่อมโลหะแผ่นบางที่มีออกไซด์เกาะบนผิวหน้าหนาๆได้เช่น อลูมิเนียม (Aluminium) และ แมกนีเซียม (Magnesium) ซึ่งไม่ต้องการการหลอมละลายลึกมาก

กระแสไฟสลับ (Alternating current :AC) การเชื่อมด้วยกระแส AC นี้จะให้ผลดีทั้งการหลอมละลายลึก (Penetration) และการทำความสะอาดออกไซด์ที่เกาะอยู่บนผิวหน้าชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 2.6 c ดังนั้นการเชื่อมจึงเหมาะสำหรับเชื่อมอลูมิเนียมผสม (Aluminium alloy)

ข) อิเล็กโทรด (Electrode) อิเล็กโทรดทั้งสแตนที่มี 2% เชอเรียม (2% Thorium) หรือ เซอร์โคเนียม (Zirconium) จะมีการไหลของอิเล็กตรอนประสิทธิภาพการนำไฟฟ้าและต้านทานต่อสิ่งสกปรกได้ดีกว่าอิเล็กโทรดทั้งสแตนบริสุทธิ์ (Pure tungsten) การเริ่มต้นอาร์กง่ายและการอาร์กคงที่

2.4 แก๊สปกคลุมที่ใช้กับการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุม

ใช้แก๊สเฉื่อยซึ่งเป็นแก๊สที่ไม่ทำปฏิกิริยาเคมี แก๊สส่วนใหญ่ที่ใช้เป็นแก๊สปกคลุมคือ อาร์กอน , ฮีเลียม, แก๊สอาร์กอนผสมฮีเลียม หรือมีแก๊สชนิดอื่นผสมเพียงเล็กน้อย

ก) แก๊สอาร์กอน (Ar) เป็นแก๊สที่ปกตินิยมใช้กันมากให้การอาร์กที่นุ่มนวล การส่งถ่ายประจุไฟฟ้าที่ดี มีการกินลึกของแนวเชื่อมที่ดี มีผิวงานที่สะอาดมากกว่าแก๊สฮีเลียม มีขอบเขตของผลความร้อนที่เกิดจากการเชื่อมที่แคบ

ข) แก๊สฮีเลียม (He)

- เป็นตัวนำความร้อนที่ดีกว่าแก๊สอาร์กอน 9 เท่า
- ให้การกินลึกที่กว้างและลึก
- ให้คุณภาพงานเชื่อมที่ดีสำหรับอะลูมิเนียม-ทองแดง การให้ความร้อนก่อนการเชื่อมยัง

ไม่จำเป็นและสามารถเชื่อมได้อย่างรวดเร็วแต่ให้กระแสอาร์กที่ไม่ค่อยดี

- ให้แรงเคลื่อนในการเชื่อมสูงที่จำเป็น ให้กระแสอาร์กไม่คงที่
- แก๊สฮีเลียมไม่แลกเปลี่ยนตามกฎ “การแลกเปลี่ยนกับอาร์กอน การเชื่อมต้องใช้แก๊ส

ฮีเลียม

ค) แก๊สไฮโดรเจน (H)

- เป็นตัวนำความร้อนที่ดีมากกว่าอาร์กอนถึง 11 เท่า
- โดยทั่วไปใช้เพียง 2-5 % ของอาร์กอน
- ให้การกินลึก ดีกว่า
- ไม่เหมาะกับการเชื่อมอะลูมิเนียม

ทั้งนี้แก๊สปกคลุมจะใช้ได้ดีหรือเหมาะสมขึ้นอยู่กับท่าเชื่อมขนาดความโตของหัวฉีดกระแสไฟ และชนิดของแก๊สดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การเลือกใช้แก๊สปกคลุม

Gas	Chemical Sybl	Molecular Weight (g/mol)	Specific Gravity with Respect to Air at 1 atm and 0°C	Density (g/L)	Ionization Potential (eV)
Argon	Ar	39.95	1.38	1.784	15.7
Carbondioxide	CO ₂	44.01	1.53	1.978	14.4
Helium	He	4	0.1368	0.178	24.5
Hydrogen	H ₂	2.016	0.0695	0.09	13.5
Nitrogen	N ₂	28.01	0.967	1.25	14.5
Oxygen	O ₂	32	1.105	1.43	13.2

2.5 ส่วนประกอบในบริเวณรอยเชื่อม

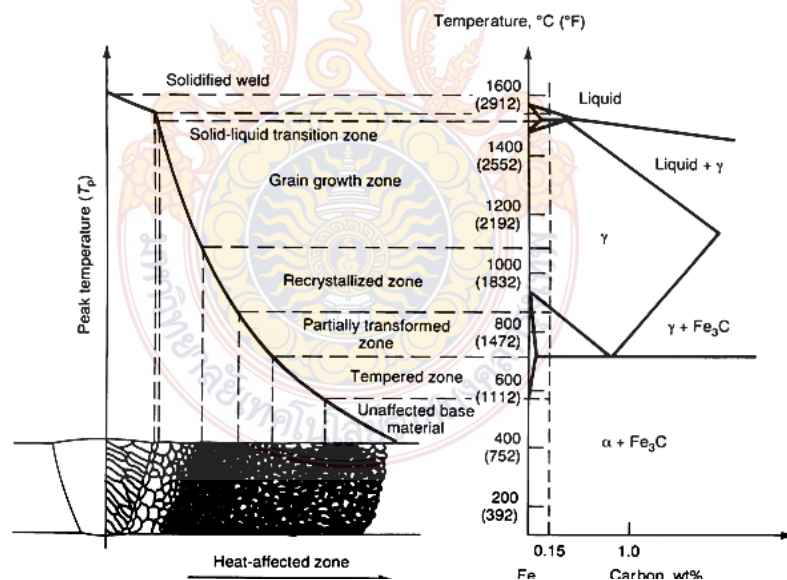
ขอบเขตบริเวณต่างๆ ในรอยเชื่อมแบบหลอม Formation of The Partially Melted Zone ในรอยเชื่อมประสานเมื่อทำการวิเคราะห์ที่หน้าตัดรอยเชื่อมจะปรากฏบริเวณต่างๆ เช่น บริเวณหลอมละลาย (Fusion zone) มีการหลอมเหลวและแข็งตัวกลายเป็นรอยเชื่อม การเกิดบริเวณกระทบร้อน (Heat affected zone; HAZ) ที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเชื่อม และบริเวณโลหะชิ้นงาน (Base Material) คือ บริเวณที่ถัดออกจากบริเวณกระทบร้อนและไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อนจากกระบวนการเชื่อม

บริเวณหลอมละลาย คือ บริเวณที่เกิดจากการหลอมละลายของโลหะและแข็งตัวกลับกลายเป็นรอยเชื่อมการแข็งตัวของโลหะจะมีการสร้างโครงสร้างผลึก (Crystal structure) และขยายตัวไปเรื่อยๆ หรือที่รู้จักกันว่า “เกรน” โดยส่วนผสมทางเคมีของโลหะจะส่งผลต่อลักษณะการแข็งตัว เช่น การเติมนิกเกิลในเหล็ก ซึ่งพบมากในสแตนเลส สามารถทำให้ลักษณะการแข็งตัวของเหล็กเปลี่ยนจากการแข็งตัวเป็นเฟอร์ไรต์ (Ferrite) กลายเป็นแข็งตัวเป็นออสเตนไนต์ (Austenite) หรือเปลี่ยนโครงสร้างผลึกจาก BCC เป็น FCC ซึ่งจะส่งผลต่อการแตกร้าวขณะร้อนของเหล็กดังกล่าวได้ บริเวณกระทบร้อนจะได้รับผลกระทบหลักๆ มาจากรูปแบบการได้รับความร้อนจากการเชื่อมเนื่องจากส่วนผสมทางเคมีของบริเวณกระทบร้อนจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับบริเวณหลอมละลายที่ส่วนผสมทางเคมีสามารถเปลี่ยนแปลงได้จากการเติมลวดหรือการเลือกใช้แก๊สปกคลุม (Shielding) บริเวณกระทบร้อนของชิ้นงานจะมีโครงสร้างจุลภาคแตกต่างจากทั้งบริเวณหลอมละลายและบริเวณโลหะชิ้นงาน ทั้งนี้ โครงสร้างจุลภาคจะขึ้นอยู่กับประเภทและส่วนผสมของชิ้นงานเช่นกัน

ก) การแบ่งบริเวณต่างๆ ในรอยเชื่อม The partially melted zone (PMZ) ในอดีตการแบ่งบริเวณต่างๆ ในรอยเชื่อมจะแบ่งในลักษณะเดียวกันกับที่กล่าวไว้ข้างต้นคือ แบ่งเป็นบริเวณหลอมละลายและบริเวณกระทบร้อนอย่างไรก็ตาม เมื่อเวลาผ่านไปและมีการวิจัยทดลองมากขึ้น ได้มีผลสังเกตการณ์ที่ละเอียดมากยิ่งขึ้นจึงทำให้การแบ่งบริเวณต่างๆ ในรอยเชื่อมสามารถแบ่งเป็นบริเวณย่อยๆ ได้อีกดังนี้

- 1) บริเวณหลอมละลาย (Fusion zone)
 - บริเวณผสม (Composite zone)
 - บริเวณเปลี่ยนแปลง (Transition zone)
 - บริเวณที่ไม่ผสม (Unmixed zone)
- 2) บริเวณกระทบร้อน (Heat affected zone)
 - บริเวณหลอมบางส่วน (Partially melted zone)
 - บริเวณกระทบร้อนจริง (True heat affected zone)
 - บริเวณกระทบร้อนเกรนหยาบ (Coarse grain heat affected zone)
 - บริเวณกระทบร้อนวิกฤต (Inter critical heat affected zone)
 - บริเวณกระทบร้อนเกรนละเอียด (Fine grain heat affected zone)

บริเวณต่างๆ ที่เกิดขึ้นในรอยเชื่อม สามารถที่จะวิเคราะห์เปรียบเทียบกับแผนภาพสมดุล (Phase Diagram) ได้ในลักษณะเดียวกันกับการวิเคราะห์ทางโลหะวิทยา



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแผนภาพสมดุลกับบริเวณต่างๆที่เกิดขึ้นในรอยเชื่อม

ข) บริเวณผสม (Composite zone) เป็นบริเวณที่กินบริเวณมากที่สุดภายในบริเวณหลอมละลาย (Fusion zone) คือ บริเวณที่โลหะหลอมละลายและแข็งตัวอีกครั้งหนึ่งกลายเป็นรอยเชื่อม โครงสร้างจุลภาคของบริเวณของบริเวณผสมจะขึ้นอยู่กับส่วนผสมทางเคมีและสภาวะการแข็งตัว (Solidification conditions) ของน้ำโลหะ ส่วนผสมทางเคมีของรอยเชื่อมสามารถเปลี่ยนแปลงได้ผ่านการเติมเนื้อเชื่อมหรือการใช้ก๊าซปกคลุม ทั้งนี้ส่วนผสมที่เปลี่ยนไปอาจจะทำให้โครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติของรอย

เชื่อมเปลี่ยนไปได้ ในทำนองเดียวกันอัตราการเย็นตัวจะส่งผลต่อสภาวะการแข็งตัวของโลหะ โดยจะเห็นได้จากโครงสร้างจุลภาคที่เปลี่ยนแปลงไป

บริเวณหลอมละลายของรอยเชื่อมสามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 ประเภท ดังต่อไปนี้

1) การเชื่อมโดยไม่เติมลวด (Autogeneous) จะพบได้จากการเชื่อมโดยกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสเปคคูลัม (GTAW) บนชิ้นงานบางๆ ที่ไม่จำเป็นจะต้องทำการเติมลวดเติม หรือการเชื่อมลำอิเล็กตรอน (Electron beam welding)

2) การเชื่อมโดยใช้ลวดเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) คือ การเชื่อมด้วยการใช้ลวดเติมที่มีส่วนผสมทางเคมีเหมือนกันหรือใกล้เคียงกัน ทำให้ส่วนผสมทางเคมีของรอยเชื่อมไม่แตกต่างจากโลหะชิ้นงาน เช่น การใช้ลวดเติม ER316L สำหรับเชื่อมสแตนเลสเกรด 316L เป็นต้น

3) การเชื่อมโดยใช้ลวดที่แตกต่างกัน (Heterogeneous) จะเป็นการใช้ลวดเติมที่มีส่วนผสมทางเคมีที่แตกต่างจากโลหะชิ้นงาน ทั้งนี้เพื่อเพิ่มสมบัติทางกลทางเคมี รวมทั้งความสามารถในการเชื่อมของวัสดุนั้นๆ เช่น การใช้ลวดเติม ER4043 ในการเชื่อมอลูมิเนียมเกรด 6061 หรือการใช้ลวดเติมกลุ่ม Ni ในการเชื่อม สแตนเลส การเชื่อมโดยใช้ลวดที่แตกต่างกันจะได้รับความนิยมจำนวนมากเนื่องจากโลหะชิ้นงานส่วนใหญ่มีส่วนผสมทางเคมีที่ไม่เหมาะสมกับการเชื่อม ทำให้ความสามารถในการเชื่อมต่ำ ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาการใช้เนื้อเชื่อมหรือลวดเติมที่แตกต่างกันจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกล ปรับปรุงความสามารถในการเชื่อม เช่น ลดโอกาสการแตกร้าวขณะร้อน รวมทั้งเพิ่มความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนหรือความสามารถต้านทานการเสียดสีให้กับรอยเชื่อม เช่น การเชื่อมพอกด้วยสแตนเลส หรือการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยเนื้อเชื่อมที่แข็งกว่า อย่างไรก็ตาม การเจือจาง (Dilution) ระหว่างการหลอมของโลหะชิ้นงานและลวดเติมที่จะต้องผสมกันจำเป็นจะต้องได้รับการควบคุมอย่างระมัดระวัง เนื่องจากสัดส่วนการผสมระหว่างโลหะชิ้นงานและลวดเติมจะมีผลต่อลักษณะการแข็งตัว โครงสร้างจุลภาค และคุณสมบัติต่างๆ ของบริเวณหลอมละลายได้ เช่น ในกรณีของการเชื่อมสแตนเลสรูปแบบการแข็งตัว (Solidification mode) ของบริเวณหลอมละลายในการเชื่อม สแตนเลสอาจจะเปลี่ยนจากการแข็งตัวเป็นเฟอร์ไรต์ก่อน (FA) มาเป็นออสเตนไนต์ก่อน (FA) ซึ่งมีโอกาสในการเกิดการแตกร้าวขณะร้อนได้มากยิ่งขึ้น หรือความแข็งของชิ้นงานเชื่อมพอกผิวแข็งลดลงในกรณีที่อัตราการเจือจางมาก เนื้อเชื่อมถูกเจือจางลงจากการที่ชิ้นงานหลอมละลายมาผสมมากเกิดไป ทำให้ไม่สามารถต้านทานการเสียดสีได้ตามที่ได้ออกแบบไว้และ การเจือจางสามารถคำนวณได้ในรูปที่ 2.9 ดังต่อไปนี้

$$\text{Dilution (\%)} = \frac{A + C}{A + B + C} \times 100$$

รูปที่ 2.9 การคำนวณอัตราการเจือจาง

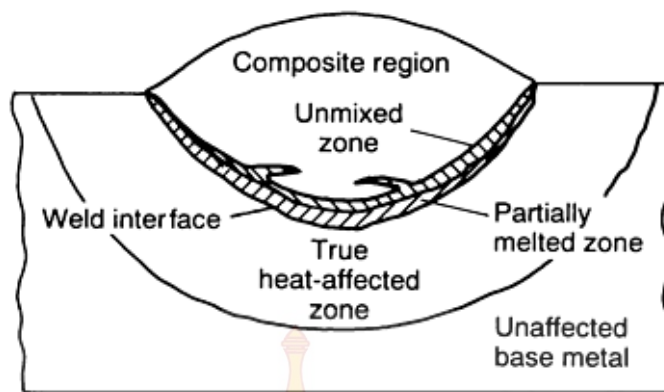
จากสมการดังกล่าว สัดส่วนการเจือจางของบริเวณโลหะขึ้นงานที่หลอมละลายต่อบริเวณรอยเชื่อมทั้งหมด โดยทั่วไปแล้วการเจือจางของการเชื่อมอาร์กจะกำหนดไว้ที่ 10-40% ส่วนในการเชื่อมแบบไม่เติมลวดจะมีการเจือจางที่ 100% และการเจือจางของการเชื่อมพอกผิวแข็งจะกำหนดไว้ที่ไม่เกิน 20% หรือต่ำกว่านั้น ในบริเวณหลอมละลาย เกรนของโลหะที่แข็งตัวจะเริ่มแข็งตัวและขยายตัวเข้าสู่ตรงกลางรอยเชื่อม โดยจะทำให้เกิดขอบเกรนในลักษณะต่างๆ กัน

4) ขอบเกรนย่อยจากการแข็งตัว (Solidification subgrain boundaries ; SSGBs) คือ ขอบเกรนของเซลล์ (Cell) ที่มีต้นกำเนิดและขยายตัวออกมาในทิศทางที่ขยายตัวได้ง่าย (Easy growth direction) โดยเป็นการขยายตัวของเกรนต่อออกมาจากเกรนของขึ้นงานในบริเวณกระบร้อน การแข็งตัวจะเป็นไปในระดับจุลภาค (Case2) ทำให้การบิดเบี้ยวของการเรียงตัวโครงสร้างผลึก (Crystallographic misorientation) ต่ำ

5) ขอบเกรนจากการแข็งตัว (Solidification grain boundaries; SGBs) คือ ขอบเกรนที่เกิดจากการที่เกรนย่อยขยายตัวจากทิศทางที่ขยายตัวได้ง่ายจนกระทั่งมาบรรจบกันในลักษณะของการแข่งขัน (Competitive growth) มีการบิดเบี้ยวของการเรียงตัวโครงสร้างผลึกสูงเนื่องมาจากการขยายตัวของเกรนย่อยจะต่อออกมาจากเกรนของบริเวณกระบร้อน ซึ่งมีการเรียงตัวกันหลายทิศทาง และเกรนย่อยที่ขยายตัวออกมาจะมีทิศทางเดียวกันกับทิศทางของเกรนเดิม ทำให้เกรนย่อยมีหลายทิศทางไปด้วย เมื่อเกรนย่อยแต่ละทิศทางมีชนกันทำให้เกิดขอบเกรนจากการแข็งตัว และมีการบิดเบี้ยวของโครงสร้างผลึกสูง เรียกการแข็งตัวแบบนี้ไปในระดับมหภาค (Case3)

6) ขอบเกรนเคลื่อนย้าย (Migrate grain boundaries; MGBs) คือ ขอบเกรนที่เคลื่อนออกมาจากบริเวณที่เคยอยู่ มีการบิดเบี้ยวของการเรียงตัวโครงสร้างผลึกเช่นเดียวกันกับขอบเกรนจากการแข็งตัว การเคลื่อนย้ายขอบเกรนจะเกิดขึ้นเพื่อเป็นการลดพลังงานบริเวณขอบเกรน เช่น การทำให้ขอบเกรนเป็นเส้นตรงเพื่อลดระดับพลังงานที่สูงในขอบเกรนที่ไม่ตรง การเคลื่อนย้ายขอบเกรนอาจจะทำให้เกิดการกวาด (Sweeping) สิ่งเจือปน (inclusions) มารวมกันไว้ที่ขอบเกรนเคลื่อนย้าย ทำให้จุดหลอมเหลวบริเวณดังกล่าวต่ำลง ซึ่งจะเพิ่มโอกาสเกิดการแตกร้าวขึ้นได้

ค. บริเวณที่ไม่ผสม (Unmixed zone) ในรูปที่ 2.10 คือ บริเวณของเนื้อเชื่อมที่อยู่ถัดจากบริเวณขอบรอยเชื่อมเข้ามาทางกึ่งกลางของรอยเชื่อมเป็นบริเวณที่โลหะขึ้นงานหลอมละลายและแข็งตัวกลับกลายเป็นของแข็งอีกครั้งหนึ่ง โดยที่ไม่มีการผสมกับเนื้อเชื่อมหรือลวดเติมแต่อย่างใด ในทางทฤษฎี บริเวณที่ไม่ผสมจะเกิดขึ้นอยู่ในทุกๆ รอยเชื่อม เนื่องจากจะต้องมีโลหะขึ้นงานหลอมเหลวและเป็นฟิล์มชั้นบางๆ ที่บริเวณขอบรอยเชื่อมโลหะหลอมเหลวที่บริเวณกลางรอยเชื่อมจะมีความเร็วเนื่องจากตัวแปรกำหนดที่ใช้ในการเชื่อม (Welding parameters) ซึ่งความเร็วดังกล่าวจะลดลงโดยเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของรอยเชื่อมที่พิจารณา เช่น บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม (Weld center line) จะมีอัตราการแข็งตัวเท่ากับความเร็วในการเชื่อม (Travel speed) ในขณะที่บริเวณขอบรอยเชื่อมจะมีอัตราการแข็งตัวต่ำ และความเร็วของของเหลวจะมีค่าใกล้เคียงกับศูนย์ ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นชั้นฟิล์มและไม่ผสมกับเนื้อเชื่อมหรือลวดเติมดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น



รูปที่ 2.10 บริเวณที่ไม่ผสมใกล้ขอบรอยเชื่อม

ตัวแปรที่มีส่วนในการเกิดบริเวณที่ไม่ผสมสามารถแยก ได้ดังต่อไปนี้

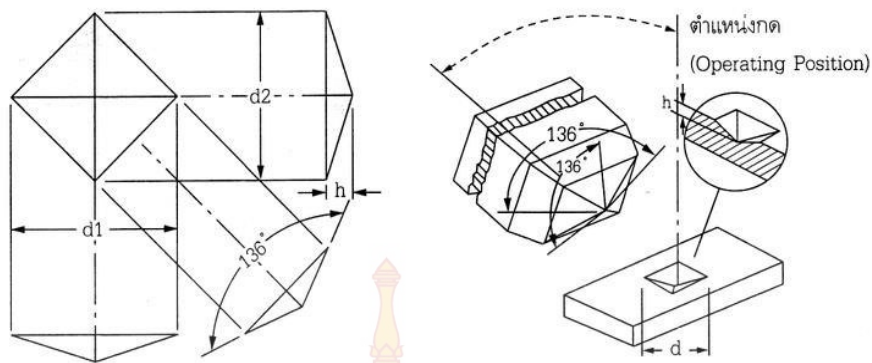
1) ส่วนผสมทางเคมีของโลหะชิ้นงานและลวดเติมรวมทั้งสมบัติทางกายภาพ มีผลต่อจุดหลอมเหลวและคุณสมบัติของของเหลว โลหะชิ้นงานที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าโลหะเชื่อมจะมีส่วนทำให้เกิดบริเวณที่ไม่ผสมได้มากกว่า อย่างไรก็ตามความหนืดของของเหลวก็มีผลเช่นกัน โลหะชิ้นงานที่หลอมเหลวและมีความหนืดมาก รวมทั้งการไม่ผสมกันระหว่างโลหะเชื่อมและโลหะงานก็มีส่วนที่จะทำให้เกิดบริเวณที่ไม่ผสมได้มากขึ้น

2) กระบวนการเชื่อมที่ใช้ความหนาแน่นของพลังงานสูง (High energy density) เช่น การเชื่อมด้วยลำอิเล็กตรอน หรือการเชื่อมด้วยเลเซอร์ จะมีความร้อนเข้า (Heat input) ที่ต่ำกว่า มีการกระจายอุณหภูมิ (Temperature gradient) ที่ชันรวมทั้งการโลหะหลอมเหลวมีการเคลื่อนไหวที่รุนแรง ทำให้การเกิดบริเวณที่ไม่ผสมที่น้อยกว่า กระบวนการเชื่อมอาร์ก เช่น การเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสปีค (GTAW) การเชื่อมมิกแมกซ์ (GMAW)

3) เงื่อนไขในการเชื่อมการกระจายอุณหภูมิส่งผลต่อความกว้างของบริเวณที่ไม่ผสม เนื่องจากเป็นตัวกำหนดบริเวณหรือความกว้างของโลหะชิ้นงานที่จะถูกหลอมเหลวโดยความร้อนจากการเชื่อม นอกจากนี้การไหลของโลหะหลอมเหลวผลกระทบด้วยเช่นกัน หากของโลหะหลอมเหลวไหลด้วยความรุนแรง บริเวณที่โลหะชิ้นงานหลอมก็จะผสมกับโลหะเชื่อมได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้น ช่วยป้องกัน การเกิดบริเวณที่ไม่ผสม

2.6 ทฤษฎีการทดสอบสมบัติทางกล

2.6.1 การทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ (Micro vickers hardness testing) และใน www.gordengland.co.uk (2006) กล่าวว่า เป็นการใช้อุปกรณ์เพอร์มิตฐานสี่เหลี่ยมที่มีมุมปลายแหลม 136° กดลงบนผิววัสดุชิ้นทดสอบด้วยแรงกดคงที่ขนาด 1 กรัมแรง (gf) ถึง 2 กรัมแรง (kgf) หรือ 1 ถึง 2000 กรัมแรง จากนั้นวัดขนาดรอยกดด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายระหว่าง 100X ถึง 500X ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุดในงานเชื่อม โดยความลึกของรอยกดประมาณ $1/7$ ของความยาวเส้นทแยงมุมดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ลักษณะหัวกดเพชรรูปพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมที่มีมุมปลายแหลม 136° และลักษณะรอยกดที่ได้จากการทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์

ง. การคำนวณหาความแข็งจุลภาคแบบไมโครวิกเกอร์ การคำนวณหาความแข็งจุลภาคแบบไมโครวิกเกอร์ จะใช้สูตรในการคำนวณเช่นเดียวกับค่าความแข็งวิกเกอร์

$$\text{ความแข็งจุลภาค (Micro hardness: MH)} = \frac{\text{แรงกดที่ใช้ทดสอบ (F)}}{\text{พื้นที่รอยกดที่ผิวทดสอบ (A)}}$$

$$\text{พื้นที่รอยกดหรือพื้นที่ผิวเอียงของรอยบุ๋ม (A)} = \text{พื้นที่สามเหลี่ยม 2 รูป}$$

$$= 2 \times \left(\frac{1}{2} \times d \times \frac{d}{2} \right)$$

$$= \frac{d^2}{2}$$

$$\text{แรงกด (F)} = 2 \times F \times \sin \frac{136^\circ}{2}$$

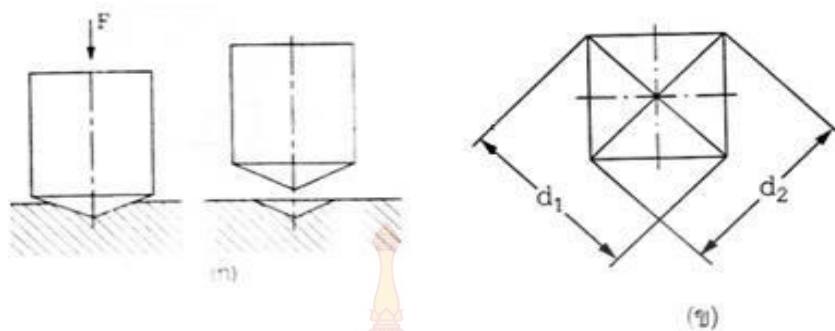
$$\text{ความแข็งจุลภาควิกเกอร์ (MHV)} = \frac{\text{แรงกดที่ใช้ทดสอบ (F)}}{\text{พื้นที่รอยกดที่ผิวทดสอบ (A)}}$$

$$\text{แทนค่า} = \frac{2 \times F \times \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2}$$

$$= \frac{1.8544 \times F}{d^2}$$

F = แรงกดที่ใช้ทดสอบ (มีหน่วยเป็น กิโลกรัมแรง (kgf), นิวตัน (N), ปอนด์แรง (lbf))

d = ค่าเฉลี่ยของเส้นทแยงมุมทั้งสอง d_1 และ $d_2 = \frac{d_1 + d_2}{2}$ (มีหน่วยเป็น μm , mm , cm หรือนิ้ว)



รูปที่ 2.12 การหาค่าเฉลี่ยของเส้นทแยงมุมพื้นที่รอยกดเฉียง 136°

2.7 ทฤษฎีการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

2.7.1 ณรงค์ ธรรมโชติ ได้อธิบายหลักการขึ้นเรือนชิ้นงานแบบร้อน (Hot mounting) โดยการใช้เทอร์โมเซตติงเรซินหรือเทอร์โมพลาสติกเรซินชนิดผงอัดและหลอมด้วยความร้อนแล้วปล่อยให้แข็งตัวรอบชิ้นงาน เรซินที่ใช้ในกลุ่มนี้ ได้แก่ เบเคไลต์ (Bekelite) หรือ เรซินฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์ และเรซินไดอัลลิฟทาทาเลต

โดยวิธีการขึ้นเรือนแบบร้อนนี้ใช้เครื่องอัดที่มีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ แม่พิมพ์โลหะ (Metal mold) รูปทรงกระบอกมีระบบแรงดันใช้ลมหรือน้ำมัน ระบบหล่อเย็น ระบบการให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์โลหะซึ่งช่วยลดความต้านทานสามารถตั้งอุณหภูมิได้ ดังรูปที่ 2.13 แสดงส่วนประกอบแม่พิมพ์ขึ้นเรือนชิ้นงานแบบร้อน

ในขั้นตอนการปฏิบัติขึ้นเรือนชิ้นงานแบบร้อน เริ่มต้นจากชิ้นงานให้มีขนาดเล็กกว่าแม่พิมพ์โลหะรูปทรงกระบอกตามที่ผู้ตรวจสอบต้องการ จากนั้นนำชิ้นงานมาวางตรงกึ่งกลางฐานดันชิ้นงานออก แล้วนำผงเบเคไลต์ มาใส่ลงในแม่พิมพ์ตามความเหมาะสมของผู้ตรวจสอบ จากนั้นปิดฝาแม่พิมพ์โลหะ แล้วทำการปรับตั้งเวลาอัตโนมัติในการให้ความร้อนไปจนถึงอุณหภูมิสูงจนถึงผงเบเคไลต์หลอมละลายหลังจากนั้นเครื่องอัดขึ้นรูปชิ้นงาน จากนั้นระบบน้ำหล่อเย็นจะเริ่มทำงานจนอุณหภูมิเย็นตัวลง จากนั้นเปิดฝาเครื่องอัดจะได้ชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปแบบร้อนแสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 เครื่องอัดชิ้นงานขึ้นรูปแบบร้อน

2.7.2 การขัดหยาบชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างโลหะวิทยา

ขั้นตอนการขัดผิวชิ้นตรวจสอบโครงสร้างโลหะวิทยา เริ่มต้นขัดด้วยกระดาษทรายหยาบที่ทำจากผงซิลิคอนคาร์ไบด์ ตั้งแต่เบอร์ 240 300 400 600 800 1,000 จากนั้นขัดด้วยกระดาษทรายละเอียด เบอร์ 1,200 ตามลำดับ ในขั้นตอนการขัดจะต้องเปิดน้ำอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้น้ำชำระล้างเศษสิ่งสกปรก ขณะทำการขัดชิ้นงาน เช่น ผงโลหะและซิลิคอนคาร์ไบด์ออกให้หมด และเมื่อต้องการเปลี่ยนกระดาษทรายแผ่นต่อไป ควรขัดชิ้นตรวจสอบไปอีกแนวทางหนึ่งสลับกันเป็นตารางกับแนวเดิม ทำเช่นนี้จนถึงกระดาษทรายแผ่นสุดท้าย แสดงดังในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ลักษณะการขัดกระดาษทราย

2.7.3 การขัดมันชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างโลหะวิทยา เป็นขั้นตอนสุดท้ายเพื่อขจัดรอยขีดข่วนที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการขัดผิวด้วยกระดาษทรายให้เรียบมันวาว ผ้าขัดที่ใช้ส่วนใหญ่ ได้แก่ ผ้าใบ ผ้าสักหลาด ผ้าไนลอน และหนังซามัวร์ เป็นต้น

ผงขัดที่ใช้ในการขัดมัน เป็นผงขัดที่มีความละเอียดสูง ได้แก่ ผงขัดออกไซด์ (Oxide polishing) เช่น อลูมิเนียมออกไซด์หรืออลูมินา และผงขัดเพชร (Diamond polishing : DP) ขนาดตั้งแต่ 9-0.1 μm

2.8.4 การกัดด้วยน้ำยา (Etching) ชิ้นตรวจสอบที่ถูกขัดจนเป็นมันแล้วนั้นจะต้องล้างด้วยแอลกอฮอล์ จากนั้นจะถูกนำไปกัดด้วยน้ำยา ซึ่งจะเป็นน้ำยาอะไรนั้นต้องขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะที่ต้องการตรวจสอบ เช่น ถ้าเป็นเหล็กจะใช้กรดไนตริก ร้อยละ 2-4 ผสมแอลกอฮอล์ตัวอย่างของน้ำยากัด

ผิวตรวจสอบของโลหะบางชนิด น้ำยาเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของโลหะชนิดต่างๆ แยกออกเป็น 2 ประเภทคือ น้ำยาที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างของเหล็ก และน้ำยาที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างของโลหะนอกกลุ่มเหล็ก ดังตารางที่ 2.2 นี้ จะประกอบด้วยรายละเอียดของชื่อ น้ำยาชนิดต่างๆ ตลอดจนส่วนผสมของน้ำยาเหล่านั้น นอกจากนี้ยังได้บอกเวลาในการกัดด้วยน้ำยาเหล่านั้นอีกด้วย

วิธีการกัดขึ้นรอยด้วยสารละลาย กระทำได้หลายวิธีด้วยกัน คือ

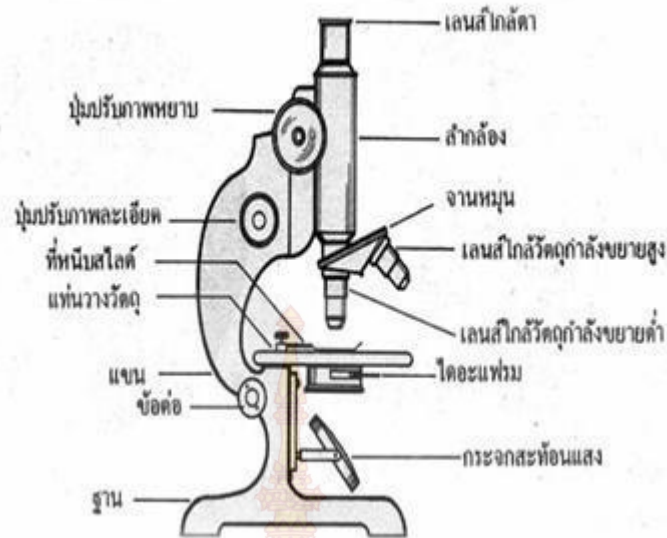
- 1) วิธีการจุ่ม เป็นการนำเอาชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการขัดผิวมันและทำความสะอาดมาแล้วกัดขึ้นรอยด้วยสารละลายโดยการจุ่มผิวหน้าที่ต้องการตรวจสอบ
- 2) วิธีการหยด เป็นการกัดขึ้นรอยด้วยสารละลายโดยการหยดน้ำยาเคมีลงบนผิวหน้าชิ้นงาน โดยหงายผิวชิ้นงานด้านที่ต้องการตรวจสอบแล้วหยดน้ำยาเคมีลงบนผิวชิ้นงาน
- 3) วิธีการจุ่มในน้ำยาเคมี 2 ชนิด เป็นการกัดขึ้นรอยด้วยสารละลายโดยการกัดนำ (Pre-etching) ก่อนโดยใช้น้ำยาเคมีชนิดหนึ่ง แล้วจึงกัดอีกครั้งหนึ่งด้วยน้ำยาเคมีชนิดหนึ่ง
- 4) วิธีการทา เป็นการกัดขึ้นรอยด้วยสารละลายโดยการใช้ผ้าสำลี หรือแปรงขนสัตว์จุ่มน้ำยาเคมีทาบนผิวหน้างานให้ทั่ว

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดของน้ำยากัดขึ้นตรวจสอบ

น้ำยากัดผิวตรวจสอบ	ส่วนผสม	โลหะที่ตรวจสอบ	การใช้งาน
กรดไนตริกและไฮโดรคลอริก (Nitric acid and hydrochloric)	กรดไนตริก (HNO_3) 3 มิลลิลิตร, ไฮโดรคลอริก (HCl) 10 มิลลิลิตรและเมทิลแอลกอฮอล์ 100 มิลลิลิตร	เหล็กเครื่องมือ เหล็กกล้าคาร์บอน	จุ่มขึ้นตรวจสอบ นาน 10-30 วินาที

2.7.5 การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์เป็นการใช้กล้องจุลทรรศน์ตรวจสอบดูโครงสร้างภายในเนื้อโลหะ อาจเป็นการตรวจสอบดูโครงสร้างมหภาค หรือ โครงสร้างจุลภาค กล้องจุลทรรศน์ สำหรับดูโครงสร้างภายในเนื้อโลหะที่ใช้กันมากมี 2 ชนิด คือ กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscopes) และกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน (Electron microscopes)

1) หลักการของกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง คือใช้หลักการให้แสงจากแหล่งกำเนิด (Light source) ผ่านไปตามท่ออิลลูมินาชั่น (Illumination tube) ไปกระทบกับแผ่นกระจกสะท้อนแสง (Plane glass reflector) ให้แสงหักเหไปยังเลนส์วัตถุ แสงจะตกกระทบกับผิวหน้าชิ้นงานทดสอบแล้วสะท้อนกลับไปที่เลนส์วัตถุ (Objective lens) ผ่านแผ่นกระจกสะท้อนแสงไปยังเลนส์ตา (eyepiece lens) และแสงไปกระทบนัยสตา ทำให้สามารถมองเห็นภาพโครงสร้างจากกล้องจุลทรรศน์แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สร้อยา ลิ้มนา [7] ได้ทำการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคและความแข็งแรงของผิวเชื่อมพอกของเหล็กกล้าผสมต่ำ AISI 4340 ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ กรรมวิธีการเชื่อมมิก/แมก และกรรมวิธีการเชื่อมไส้ฟลักซ์ ผลการวิจัยพบว่า โครงสร้างจุลภาคของเนื้อเชื่อมจากกรรมวิธีการเชื่อมไส้ฟลักซ์ (FCAW) ให้ปริมาณโครงสร้าง Acicular ferrite สูงกว่าซึ่งเป็นผลให้การต้านทานการแตกหักเนื่องจากความล้าได้ดี

ยงยุทธ ดุลยกุล และคณะ [8] ได้ศึกษาถึงพฤติกรรมการสึกหรอของการเชื่อมพอกผิววัสดุเหล็ก AS3678 เกรด 350 ด้วยกระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ กระบวนการเชื่อมแบบมิก/แมกและกระบวนการเชื่อมไส้ ฟลักซ์ จุดประสงค์ของการทดลองคือต้องการเปรียบเทียบผลของการเชื่อมจากกระบวนการเชื่อมที่แตกต่างกัน โดยการทดสอบด้วยการสึกหรอแบบขัดสี การทดลองเชื่อมกระทำในสภาพปกติ ชิ้นงานหลังจากการเชื่อมจะนำไปทดสอบเป็นเวลา 50 ชั่วโมงต่อชิ้น ผลการวิจัยพบว่าเนื้อเชื่อมจากกระบวนการเชื่อมพอกผิวทั้ง 3 วิธีการ จะให้ค่าการทนต่อการสึกหรอแบบขัดสีที่ต่างกัน โดยกระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์จะให้ค่าการทนต่อการสึกหรอแบบขัดสีได้มากที่สุด โดยเฉพาะบริเวณเนื้อเชื่อมจะมีพฤติกรรมการทนต่อการสึกหรอได้ดีกว่ากระบวนการเชื่อมด้วยวิธีอื่นๆ และจะให้ค่าความแข็งได้มากที่สุดที่ 213.4 HV ส่วนกระบวนการเชื่อมแบบมิก/แมก จะให้ค่าการทนต่อการสึกหรอได้น้อยสุด โดยมีค่าความแข็งน้อยสุดที่ 174.8 HV ผลสรุปกระบวนการเชื่อมพอกผิวด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์จะให้ผลของการเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมเหล็ก AS3678 เกรด 350 ซึ่งจะเป็นแนวทางในการเลือกกระบวนการเชื่อมพอกผิวสำหรับการนำไปใช้งานเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่เหมาะสม

ยุต เอี่ยมสะอาด และคณะ [5] ได้ศึกษาการสร้างแม่พิมพ์โดยเลือกแม่พิมพ์ฉีดยางที่ขึ้น รูปด้วยกระบวนการเติมเนื้อ โลหะโดยจะปรับปรุงผิวความแข็งแรงของแม่พิมพ์และออกแบบเพื่อลดการเติมเนื้อ โลหะในการสร้างแม่พิมพ์แต่ยังสามารถรับแรงฉีดในสภาวะปกติได้โดยเปรียบเทียบกับ

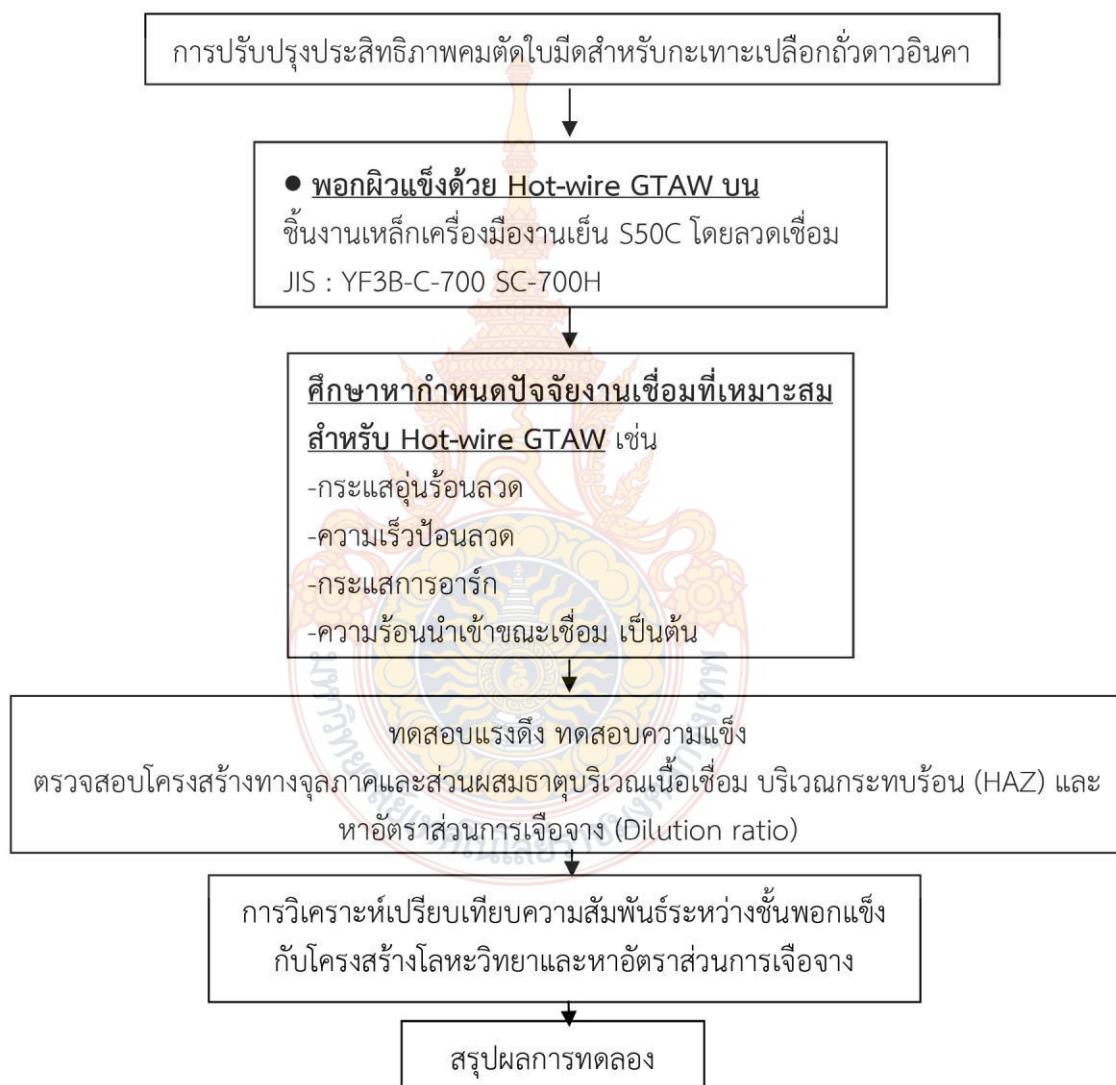
งานวิจัยที่มีมา จากการศึกษาเมื่อนำลวดเชื่อมพอกแข็งเกรด DWH350 (มาตรฐาน JIS Z3326 YF2A-C-350) เติมสลับชั้น กับเนื้อลวด ER70s - 6 (มาตรฐาน AWS) ทำเป็นชั้นทดสอบนำไปทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและนำค่าไปใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์พบว่าการสร้างแม่พิมพ์ฉีดด้วยกระบวนการเติมเนื้อ วัสดุแบบสลับนี้จะเพิ่มคุณสมบัติความแข็งแรงของแม่พิมพ์ที่สูงขึ้น และเนื้อปริมาตรของวัสดุที่ใช้ในการเติมลดลงเมื่อเทียบกับแม่พิมพ์ชนิดเดียวกันแต่ใช้วัสดุ ER70S - 6 ชนิดเดียวในการเติมเนื้อ

Ming-Der Jean และคณะ [10] ได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ช่วยในการวิเคราะห์การพัฒนาการกระบวนการเชื่อมพอกเหล็ก SKD 61 โดยใช้ high-energy plasma-transferred ในการเชื่อม แล้วใช้ Artificial neural network วิเคราะห์ปัจจัยในการเชื่อมรวมถึงพื้นผิวที่เกิดภายหลังจากการเชื่อม ซึ่งผลที่ได้จากการเชื่อมรวมถึงผลที่ได้จากการทำนายมีความใกล้เคียงกับงานจริง โดยผิวของการเชื่อมพอกมีขนาดที่เล็กและมีความละเอียดดีอันเนื่องจากพลังงานความร้อนที่สูงและจากแบบจำลองมีค่าผิดพลาดใกล้เคียงความเป็นจริงมากประมาณ $9.95 \times 10^{-13} \mu\text{m}$ ขณะที่ Katsuyoshi Hiroshi, Sakin และ J. S. CHEN [12, 13, 21] ได้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้ Hot-wire ในการเชื่อมงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การเชื่อมต่องานหนาด้วยรอยต่อร่องแคบ (Narrow gap arc welding) การเชื่อมวัสดุต่างชนิด การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและความเร็วในการเชื่อม การเชื่อมพอกผิวแข็ง เป็นต้น [17-24] รวมทั้งได้รายงานวิจัยดังกล่าวแสดงถึงการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยงานเชื่อมที่มีผลต่อคุณภาพแนวเชื่อม เช่น ขั้วไฟฟ้า ลักษณะพลัส ความถี่ ชนิดของแก๊สปกคลุม เป็นต้น ซึ่งประโยชน์ของเทคนิคการเชื่อมนี้สามารถสรุปผลได้ดังนี้คือ อัตราการเติมเนื้อเชื่อมสูง ใช้ความร้อน heat input ต่ำ และให้คุณภาพงานเชื่อมที่สูง เนื่องจากกระบวนการเชื่อม GTAW เป็นต้น

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานทดลองงานวิจัย

การปรับปรุงประสิทธิภาพคมตัดใบมีดสำหรับกะเทาะเปลือกถั่วดาวอินคาโดยมีขั้นตอนแนวคิดของการดำเนินการวิจัยครั้งนี้แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนแนวคิดของโครงการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย

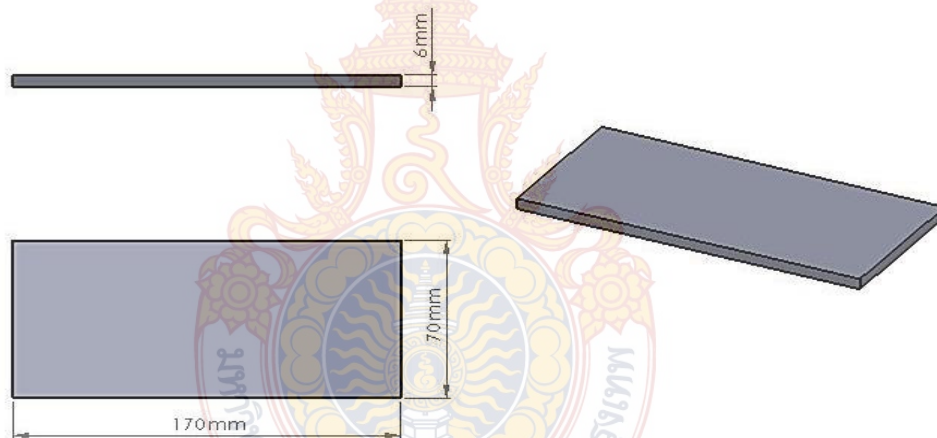
3.1.1 วัสดุทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เกรด S50C แผ่นรีดถูกตัดเตรียมเป็นชิ้นงานเชื่อมด้วยวิธีการเลื่อยให้มีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยชิ้นงานมีขนาดความกว้าง 70 mm

ความยาว 150 mm และความหนา 6 mm จากนั้นทำการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 220 -320 เพื่อทำการลบคมตัดหรือครีบกึ่งที่เกิดจากการตัด ก่อนขึ้นงานทดลองจะถูกเชื่อมต้องทำการเจียระไนผิวด้วยเครื่องเจียระไน ยี่ห้อ Chevalier FSG-3A818 และเช็คทำความสะอาดชิ้นงานเชื่อมด้วยอะซิโตนแสดงดังรูปที่ 3.2 ขณะที่ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุขึ้นงานทดลองเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน S50C ได้จากการตรวจสอบด้วยวิธี Optical Emission Spectroscopy (OES) ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนัก %)

Materials	C	Si	Mn	P	S	W	Cr	Fe
S50C	0.47	0.24	0.76	0.01	0.005	-	-	Bal.
JIS : YF3B-C-700 SC-700H	0.7	0.6	1.3	-	-	0.4	5.2	Bal.



รูปที่ 3.2 ขนาดขึ้นงานทดสอบเชื่อมของเหล็กกล้าคาร์บอน S50C

3.1.2 เครื่องเชื่อมที่ใช้สำหรับการทดลองนี้จะเป็นเครื่องเชื่อม GTAW เป็นเครื่องเชื่อมที่สามารถใช้ไฟฟ้าระบบ AC / DC ระบบควบคุมโดยใช้ปุ่มกดที่หน้าเครื่องขับเคลื่อนหัวเชื่อมอัตโนมัติตามแนวเชื่อมลักษณะรอยเชื่อมแบบไม่เต็มลวด ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องเชื่อม GTAW ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.3 เครื่อง Hot-wire feeder ระบบการให้ความร้อนแก่ลวดป้อนเติม เทคนิคการเติมลวดร้อนนี้ใช้ความร้อนนำเข้า (Heat input) ในการเชื่อมต่ำ เนื่องจากวิธีการนี้สามารถควบคุมความร้อนขณะเชื่อมได้อย่างอิสระต่อกันระหว่างการหลอมละลายของโลหะงาน (Base metal) และลวดอุ่นร้อนเติมแนวเชื่อม (Hot wire) ซึ่งทำให้ผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคในแนวเชื่อมน้อย โดยเฉพาะบริเวณกระทบร้อน (HAZ) ทั้งยังส่งเสริมอัตราการเติมเนื้อเชื่อมสูงกว่ากระบวนการเชื่อมทั่วไปด้วย ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เครื่อง Hot-wire feeder

3.3.1 ชุดอุปกรณ์ทางเดินรางแนวเชื่อม เป็นระบบการทำงานแบบอัตโนมัติช่วยในการเชื่อมงาน และหาช่วยหาอัตราความเร็วในการเชื่อม ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ชุดทางเดินรางแนวเชื่อมแบบอัตโนมัติ

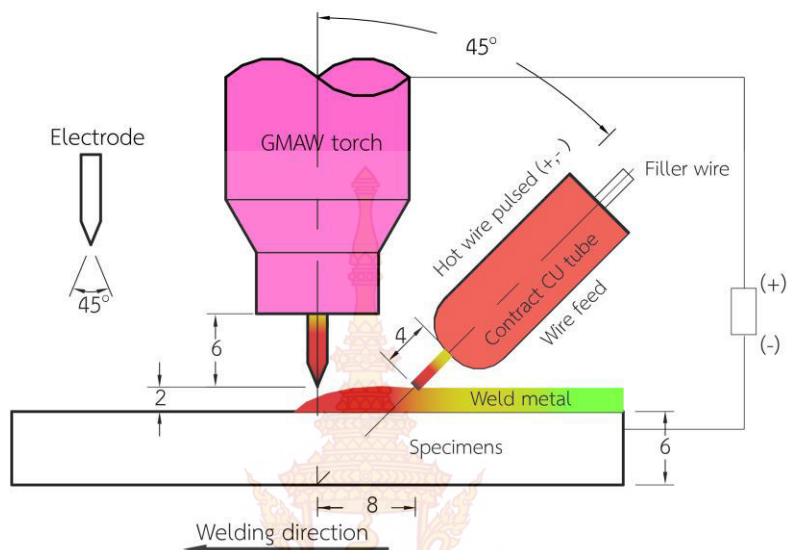
3.1.5 ชุดอุปกรณ์แก๊สที่ใช้ปกคลุมแนวเชื่อมและบ่อหลอมละลายเพื่อไม่ให้อากาศโดยรอบเข้าไปทำปฏิกิริยาในขณะเชื่อมซึ่งเป็นแก๊สผสมที่มีอัตราส่วนผสมดังนี้ คือ 80% Ar+20% CO₂ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม

3.1.6 กรรมวิธีการเชื่อมที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ การเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุม ร่วมกับเทคนิคการป้อนเติมสวดร้อน โดยรูปแบบการเชื่อม คือ การเชื่อมแบบเดินแนวบนชิ้นงาน (Bead-on-Plate) เพื่อหาอัตราการเงาของสวดเชื่อม ดังรูปที่ 3.7 แสดงแผนผังขั้นตอนลักษณะการติดตั้งการ

จับยึดชิ้นงานสำหรับเชื่อมและมุมปลายของแท่งทั้งสอง ทำมุมเอียงกับหัวเชื่อม 45° โดยทำการกำหนดเงื่อนไขตัวแปรการเชื่อมดังตารางที่ 3.2

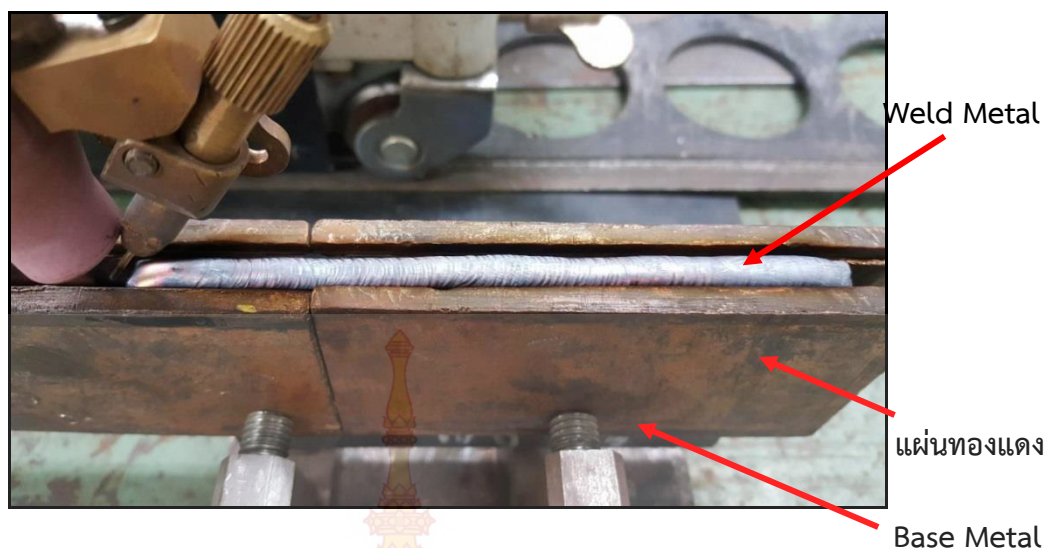


รูปที่ 3.7 กระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสองชิ้นแก่สปกคลุมร่วมกับเทคนิคการป้อนเติมลวดร้อน (Unit :mm)

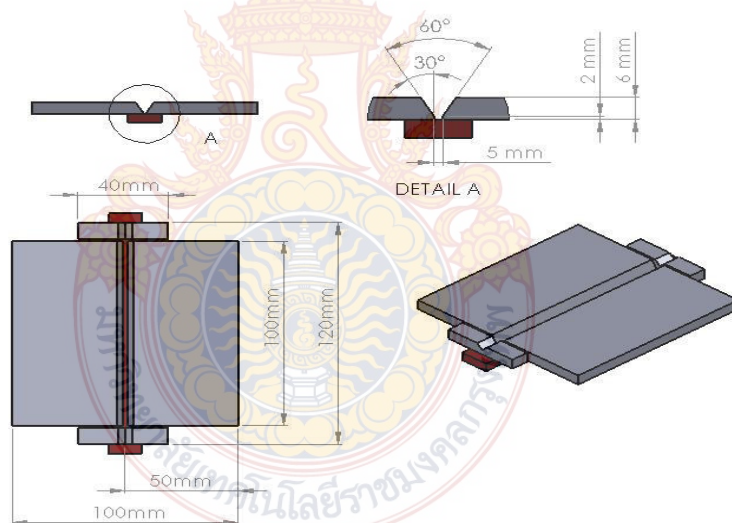
ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขตัวแปรการเชื่อม

Welding current	95, 135 และ 150 (A) (DCEN)
Hot wire current	80, 100, 120, 140, 160 และ 180 (A)
Filler wire	SC-700H Ø 1.2 mm
Wire feed	2. m/min
Shielding gas	Pure argon
Gas flow rate	12 L/min
Electrode extension	6 mm
Arc length	2 mm
Welding speed	0.83 mm/sec
Ceramic nozzle	Ø 10 mm

หลังจากนั้นทำการเชื่อมพอกผิวแข็ง Hot-wire GTAW บนสันเหล็กสำหรับคมตัดใบมีดเกรด S50C ด้วยกระแสเชื่อมที่ให้อัตราการเผื่อจางดีที่สุด แสดงตัวอย่างดังรูป 3.8 จากนั้นทำการบากร่องเอียงเพื่อนำขึ้นมาต่อชนบากร่องเวียดังรูปที่ 3.9



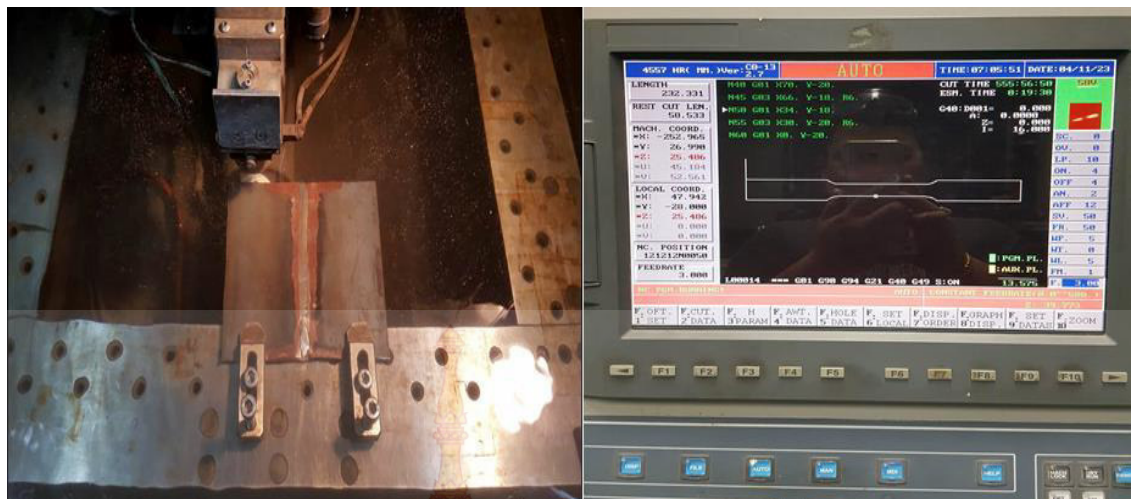
รูปที่ 3.8 การเชื่อมพอกผิวแข็ง Hot-wire GTAW บนสนเหล็กสำหรับคมตัดใบมีด



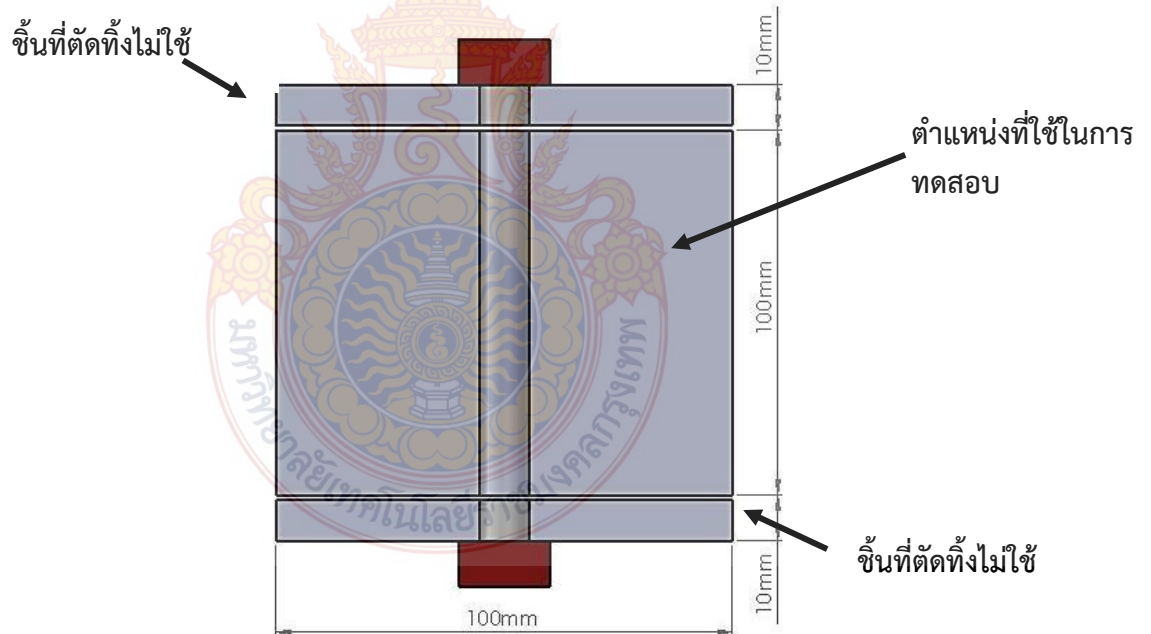
รูปที่ 3.9 การออกแบบชิ้นงานทดลองแบบบาววี

3.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกล

3.2.1 ทำการตัดชิ้นงานด้วยเครื่อง wire cut เพื่อการทดสอบสมบัติทางกลดังรูปที่ 3.10 และตัดชิ้นงานตำแหน่งที่ใช้ในการทดสอบดังรูปที่ 3.11

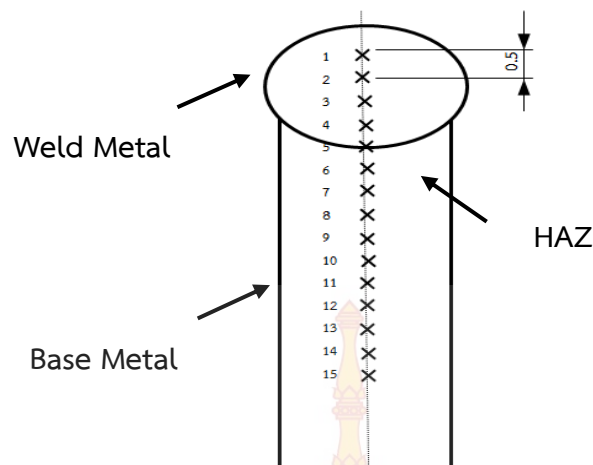


รูปที่ 3.10 การตัดชิ้นงานด้วยเครื่อง wire cut



รูปที่ 3.11 การตัดแบ่งชิ้นงานทดสอบแรงดึง

3.2.2 การทดสอบหาค่าความแข็ง (Hardness Test) ตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา โดยจะกำหนดตำแหน่งการทดสอบบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม (Weld Metal) บริเวณกระหนาบร้อน (HAZ) และเนื้อโลหะงาน (Base Metal) วิธีการวัดความแข็งด้วยเครื่องทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์ใช้หัวเพชรฐานพีระมิด ที่ใช้แรงกด 0.5 kgf. เวลาในการกด 15 วินาที โดยกดห่างลงมา 0.5 มิลลิเมตร จากด้านบนชิ้นทดสอบลงมา โดย ทั้งหมด 15 จุดโดยมีระยะห่างระหว่างจุด จุดละ 0.5 มิลลิเมตร โดยทำการศึกษาแนวเชื่อมที่มีความสมบูรณ์และนำมาเขียนกราฟค่าความแข็งที่ได้



รูปที่ 3.12 ตำแหน่งการวัดค่าความแข็งแรงในชิ้นงานเชื่อม

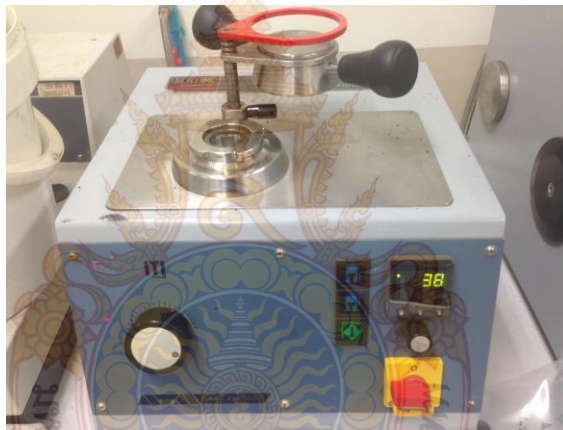
3.2.3 การทดสอบด้านแรงดึงแนวเชื่อมตามมาตรฐาน ASTM-E8 (Subsize) แบบการทดสอบแรงดึงโดยเริ่มแรกทำการเปิดเครื่อง Universal Tensile Test และทำการเซ็ตเครื่องนำชิ้นงานจับยึดเข้ากับเครื่องด้วยปากกาจับยึดชิ้นงานของเครื่องทดสอบแรงดึงเซ็ตค่าต่างๆเป็นศูนย์ก่อนทำการดึง แสดงดังรูปที่ 3.13 การเตรียมดึงชิ้นงานที่อุณหภูมิห้อง 24.8 C ความชื้นที่ 52 %RH จากนั้นทำการ Start เพื่อเริ่มทำการดึงชิ้นงานทดสอบด้วยความเร็วคงที่จนชิ้นงานขาดออกจากกัน และกดยุติการทำงานบันทึกข้อมูลที่ได้อ่านเครื่องทดสอบแรงดึงนำชิ้นงานออก นำผลการทดลองมาสรุป



รูปที่ 3.13 การจับยึดชิ้นงานเข้ากับเครื่องด้วยปากกาจับยึดของเครื่องทดสอบแรงดึง

3.3 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานตรวจสอบทางโครงสร้างโลหะวิทยา

3.3.1 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างบริเวณตำแหน่งต่างๆของรอยเชื่อม โดยชิ้นงานตรวจสอบถูกตัดแบ่งตามขวางของทิศทางแนวเชื่อม จากนั้นทำการขึ้นรูปชิ้นงานตรวจสอบด้วยเครื่องขึ้นรูปชิ้นงานด้วยความร้อน (Hot mount) ด้วยผงเบเคไลต์ (Bakelite) แสดงดังรูปที่ 3.14 จากนั้นขัดชิ้นงานตรวจสอบด้วยกระดาษทรายบนเครื่องจานหมุนแสดงดังรูปที่ 3.15 ก) และข) และกัดกรดด้วยสารละลายไนตอล 2% ตามมาตรฐาน ASTM E407 รอยต่อเชื่อมถูกตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงแสดงดังรูปที่ 3.16 ณ ตำแหน่งบริเวณแนวเชื่อม (Weld zone) บริเวณพื้นที่กระทบร้อนทั้งสองด้าน (Heat affected zone) และบริเวณโลหะเชื่อม (Base metal) ทั้งสองวัสดุเพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง ณ ตำแหน่งต่างๆ หลังจากการเชื่อมต่อชน



รูปที่ 3.14 เครื่องขึ้นรูปชิ้นงานด้วยความร้อนด้วยผงเบเคไลต์

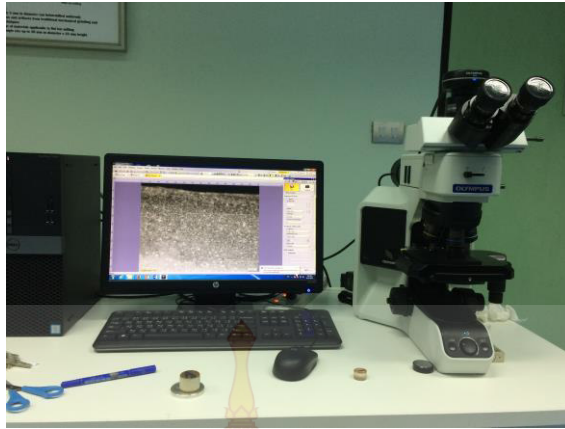


ก) ขัดด้วยกระดาษทราย



ข) ขัดด้วยผ้าสักหลาด

รูปที่ 3.15 ชิ้นงานตรวจสอบด้วยบนเครื่องจานหมุน



รูปที่ 3.16 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

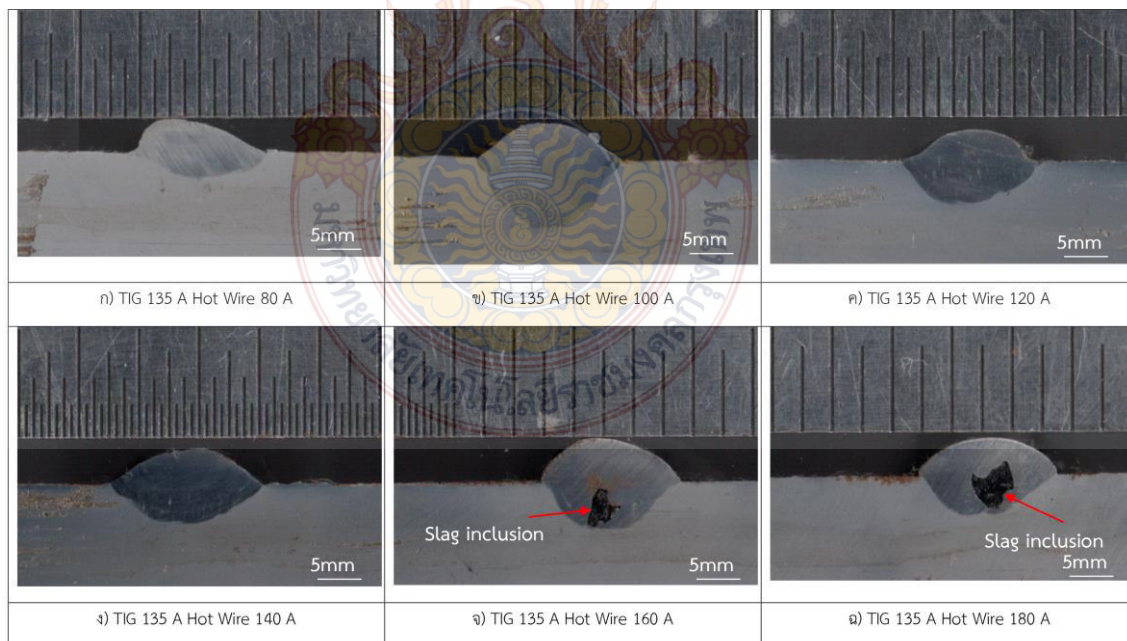


บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์งานวิจัย

4.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตนโดยแก๊สปกคลุมกับกระแสการเติมลวดร้อนไส้ฟลัก (Hot wire)

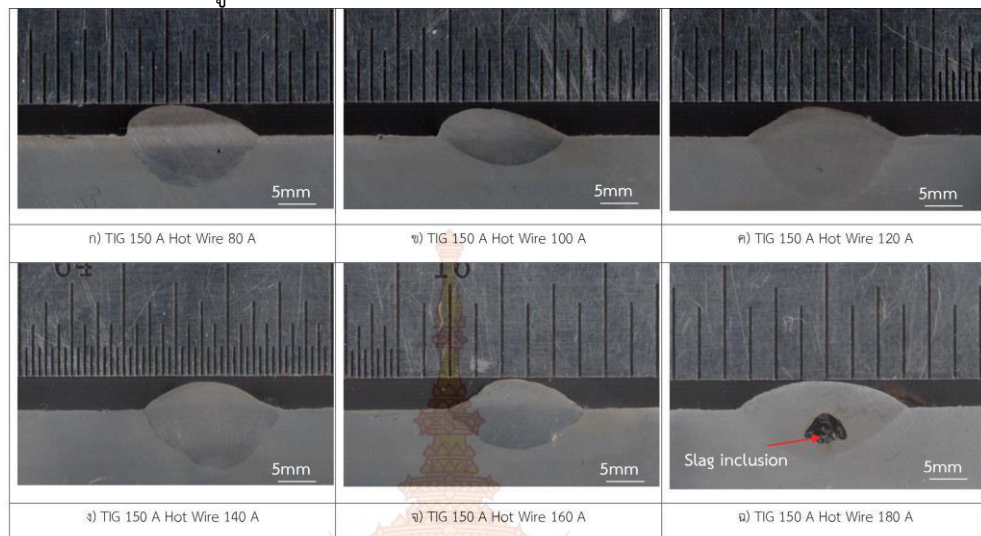
รูปที่ 4.1 แสดงผลการเปรียบเทียบความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมระหว่างกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตนร่วมกับกระแสการเติมลวดร้อน พบว่า เมื่อทำการเติมลวดร้อนที่กระแส 80-120 A ดังรูปที่ 4.1 (ก-ง) ไม่พบรอยความไม่ต่อเนื่อง (discontinuous) บนรอยเชื่อม ในขณะที่ทดลองปรับกระแสการเติมลวดร้อนไส้ฟลักเพิ่มขึ้นเป็น 140-180 A เมื่อทำการตรวจสอบพบว่า มีรอยความไม่ต่อเนื่องเกิดขึ้นที่กระแส 160 และ 180 A แสดงดังรูปที่ 4.1 จ)และ ฉ) ซึ่งจากการตรวจสอบพินิจด้วยสายตาพบว่าเป็นลักษณะ slag inclusion ที่บริเวณตำแหน่งกันบ่อหลอม โดยสาเหตุเกิดจากการที่ฟลักของลวดเติมลอยตัวขึ้นสู่ชั้นผิวบนของแนวเชื่อมไม่ทันเพื่อเป็น Slag ปกคลุมแนวเชื่อมจึงทำให้เกิดรอยความไม่ต่อเนื่องและส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของเชื่อมอย่างชัดเจน



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมระหว่างกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตน 135 A กับกระแสการเติมลวดร้อน 80-180 A

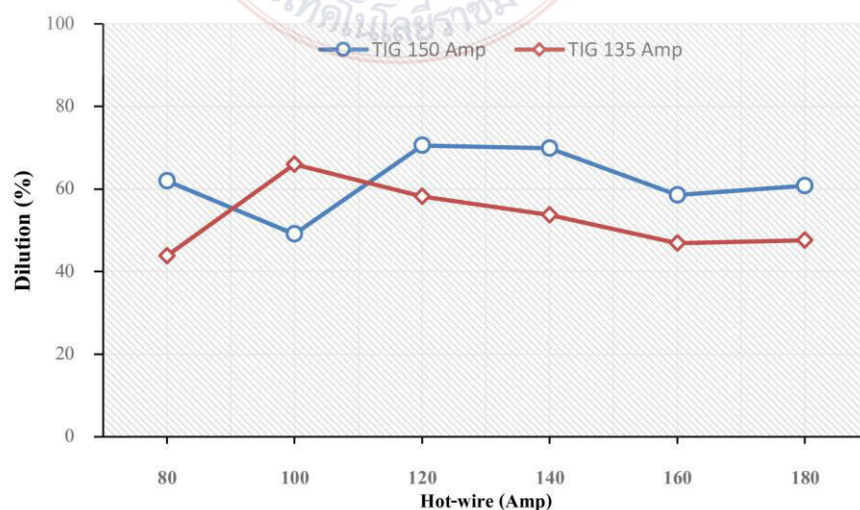
ในขณะที่รูปที่ 4.2 เป็นการปรับเปลี่ยนกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุมโดยใช้กระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นเป็น 150 A ผลการตรวจสอบความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมพบว่า การใช้กระแสเชื่อมของลวดเติมไส้ฟลัก 80-160 A ไม่พบรอยความไม่ต่อเนื่องใดๆบนแนวเชื่อมที่ทำการตัดตรวจสอบ อย่างไรก็ตามเมื่อ

ทำการตรวจสอบรอยความไม่ต่อเนื่องที่กระแสนของลวดเติม 180 A พบว่ามีรอยความไม่ต่อเนื่อง slag inclusion เกิดขึ้นแสดงดังรูป 4.2 น



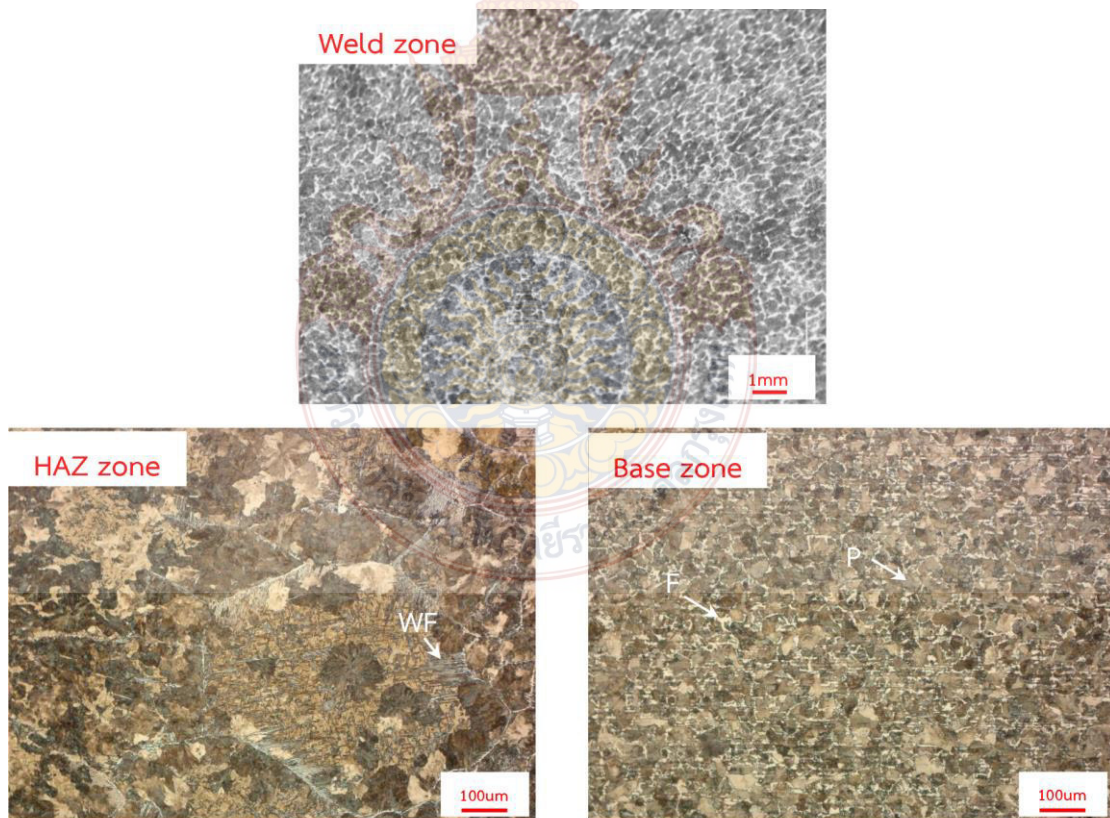
รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบการหลอมโลหะระหว่างกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตน 150 A กับกระแสการเติมลวดร้อนไส้ฟลัก 80-180 A

รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบสัดส่วนอัตราการเจือจางพบว่า ที่กระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตน 135 A พบว่ามีแนวโน้มสัดส่วนอัตราการเจือจางลดลงเมื่อกระแสของการเติมลวดร้อนไส้ฟลักเพิ่มขึ้นในขณะที่ กระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตน 150 A พบว่าสัดส่วนของอัตราการเจือจางมีแนวโน้มคงที่เมื่อกระแสของการเติมลวดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่าสัดส่วนอัตราการเจือจางที่ดีที่สุดของการทดลองนี้คือ กระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตน 150 A กับกระแสการเติมลวดร้อนไส้ฟลัก 120 A

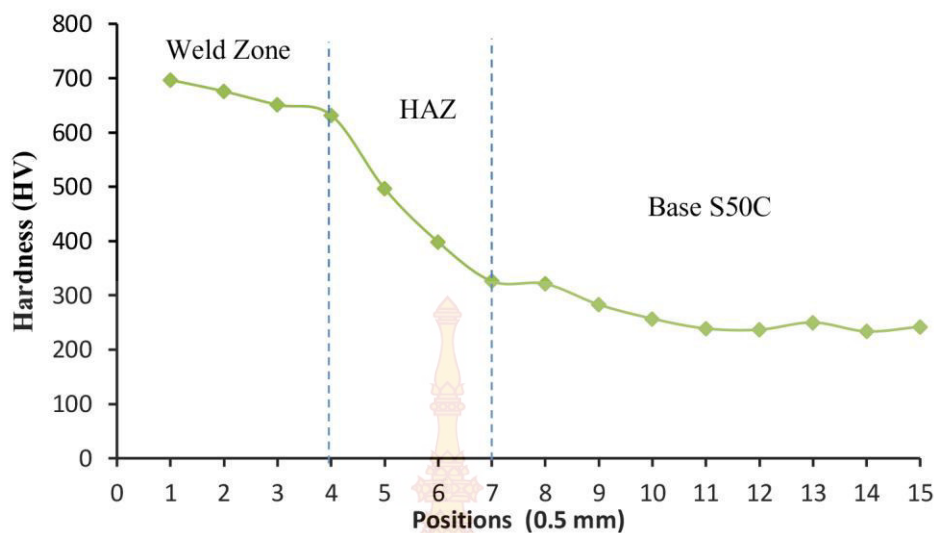


รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบสัดส่วนอัตราการเจือจางระหว่างกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตนกับกระแสการเติมลวดร้อนไส้ฟลัก

รูปที่ 4.4 แสดงผลการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของรอยเชื่อมแต่ละบริเวณของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสะพาน 150 A กับกระแสการเติมลวดร้อนไส้ฟลัก 120 A ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ คือ บริเวณโลหะขึ้นงานพบว่ามีลักษณะของโครงสร้างทางจุลภาคประกอบไปด้วย Pearlite (P) ซึ่งมีเกรนสมมาตรสีน้ำตาลทั่วทั้งรูปภาพและปะปนกับโครงสร้าง Ferrite (F) มีลักษณะเส้นสีขาวล้อมขอบเกรนสีน้ำตาลดังรูปภาพ Base zone ในขณะที่บริเวณกระทบร้อน (Heat affected zone) มีลักษณะเกรน Pearlite สีน้ำตาลขนาดไม่สมมาตรกันและมีโครงสร้าง Ferrite อยู่ตามขอบเกรนสีน้ำตาล แต่มีลักษณะเหมือนปลายเข็มแหลมพุ่งเข้าหาโครงสร้าง Pearlite ซึ่งการเกิดลักษณะของรูปร่างแบบนี้เรียกโครงสร้างแบบนี้ว่า Widmanstatten ferrite สาเหตุในการเกิดโครงสร้างแบบนี้อาจเกิดอัตราการเย็นตัวอย่างรวดเร็วของแนวเชื่อมซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อความเปราะของแนวเชื่อมก็เป็นได้ อย่างไรก็ตามที่บริเวณเนื้อเชื่อม Weld zone มีลักษณะเป็นโครงสร้างรูปแบบสีดำเรียวและมีสีขาวอยู่ล้อมรอบโครงสร้างสีดำ ซึ่งการเกิดลักษณะโครงสร้างแบบนี้อาจมาจากส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมก็เป็นได้



รูปที่ 4.4 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าความแข็งที่บริเวณตำแหน่งต่างๆของแนวเชื่อม

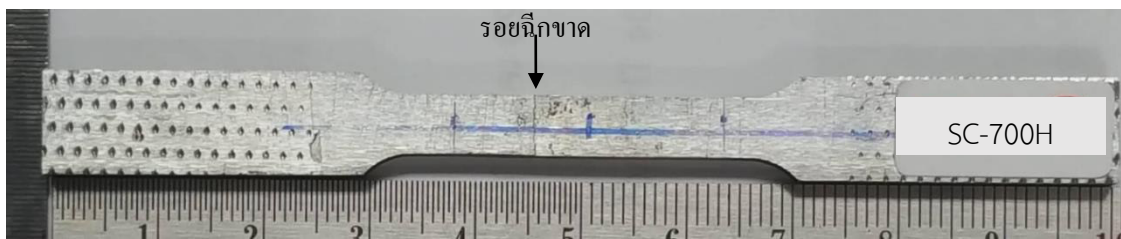
รูปที่ 4.5 แสดงค่าทดสอบความแข็งของแนวเชื่อมที่กระแสอาร์กทั้งสะเทิน 150 A กับกระแสการเติม ลวดร้อนไส้ฟลัก 120 A พบว่าบริเวณโลหะขึ้นงานของเหล็กกล้าคาร์บอนมีค่าความแข็งอยู่ในช่วงระหว่าง 200-300 HV และเมื่อกดเข้าใกล้บริเวณกระแทกร้อนพบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามตำแหน่งที่ ใกล้บ่อหลอมเชื่อมหรือ Weld zone ซึ่งมีค่าอยู่ประมาณ 300-650 HV .ในขณะที่บริเวณเนื้อเชื่อมพบว่า มีความแข็งอยู่ในช่วงประมาณ 650-700 HV อย่างไรก็ตามที่บริเวณเนื้อเชื่อมมีค่าความแข็งสูงสามารถ ช่วยป้องกันการสึกหรอของคมตัดใบมีดได้อีกด้วย

4.2 ผลการศึกษาสมบัติทางกลของรอยเชื่อม

4.2.1 ผลการทดสอบแรงดึง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบแรงดึงของแนวเชื่อมตามขวาง

	ชิ้นงาน	Thickness(mm)	Width(mm)	Gauge Length(mm)	Max_Stress (N/mm ²)
ค่าเฉลี่ย	SC-700H	5.05	5.66	25.0800	657.304

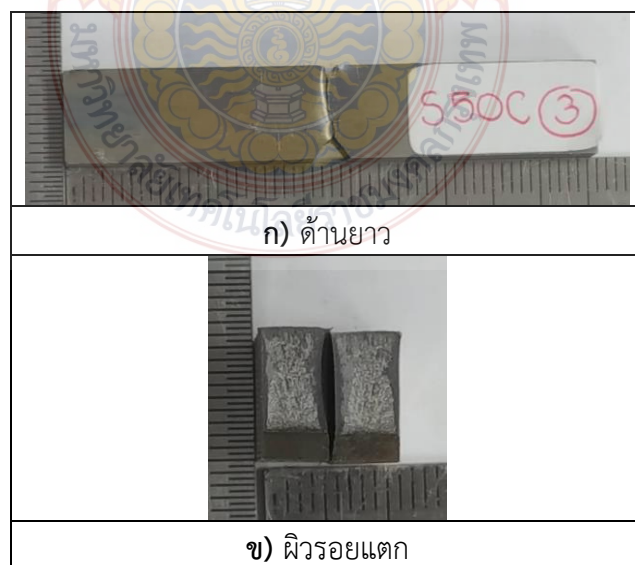


รูปที่ 4.6 รอยฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบ

จากตารางที่ 4.1 แสดงค่าการทดสอบแรงดึงของแนวเชื่อมที่กระแสอาร์กทั้งสะเทิน 150 A กับกระแสการเติมลวดร้อนไส้ฟลัก 120 A พบว่า มีค่าความเค้นสูงอยู่ที่ 657.304 N/mm^2 ในขณะที่รอยฉีกขาดเกิดขึ้นตรงกึ่งกลางแนวเชื่อม ซึ่งลักษณะรอยฉีกขาดเป็นลักษณะเส้นตรงตั้งฉากกับทิศทางตามยาวของชิ้นงานทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.6

4.2.2 ผลการทดสอบแรงกระแทก

จากรูปที่ 4.7 ลักษณะรอยแตกหักจากการทดสอบแรงกระแทกตรงบริเวณรอยเชื่อมที่กระแสอาร์กทั้งสะเทิน 150 A กับกระแสการเติมลวดร้อนไส้ฟลัก 120 A พบว่าลักษณะของรอยแตกมีลักษณะคล้ายการแตกหักแบบกิ่งเปราะกิ่งเหนียวโดยรูป 4.6 ก) แสดงการเปลี่ยนรูปเล็กน้อย และรูป ข) แสดงลักษณะผิวขรุขระเล็กน้อย



รูปที่ 4.7 ลักษณะของรอยแตกของรอยเชื่อมจากการทดสอบแรงกระแทก

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การปรับปรุงผิวคมตัดใบมีดสำหรับเครื่องกะเทาะเปลือกถั่วดาวอินคาด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสปีคกลุ่มร่วมกับเทคนิคการเติมลวดร้อนไส้ฟลักพอกแข็ง จากนั้นนำชิ้นงานเชื่อมที่ได้มาตรวจสอบรอยบกพร่องต่างๆในเนื้อเชื่อม และทดสอบสมบัติทางกล จากการทดสอบและวิเคราะห์ผลในบทดังกล่าวที่ผ่านมา สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

1) การเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสปีคกลุ่มร่วมกับเทคนิคการเติมลวดร้อนไส้ฟลักพอกแข็ง สามารถทำการปรับปรุงผิวคมตัดใบมีดและเพิ่มปริมาณของเนื้อเชื่อมทดแทนส่วนที่สึกหรอได้เป็นอย่างดี แต่อาจมีรอยความไม่ต่อเนื่องเกิดขึ้นบริเวณเนื้อเชื่อม เช่น slag inclusion ที่เกิดจากฟลักของลวดเชื่อมได้

2) ในการศึกษาสัดส่วนอัตราการใช้ของตัวแปรในการทดลองนี้ระหว่างกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตน 135 และ 150 A กับกระแสการเติมลวดร้อนไส้ฟลัก 80-180 A คือ กระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตน 150 A กับกระแสการเติมลวดร้อน 120-140 A ให้สัดส่วนอัตราการใช้และการหลอมล็กดี

3) ผลการทดสอบค่าความแข็งของเนื้อเชื่อมมีค่าความแข็งสูงซึ่งสามารถช่วยป้องกันการสึกหรอของคมตัดใบมีดได้ดี

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยต่อไปควรมีการศึกษาความต้านทานการสึกหรอของเนื้อเชื่อมไส้ฟลักพอกแข็ง เพื่อดูอัตราส่วนการสึกหรอต่อตัวแปรการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสปีคกลุ่มร่วมกับเทคนิคการเติมลวดร้อนเพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกใช้สำหรับการเชื่อมซ่อมแซมชิ้นส่วนคมตัดใบมีดและชิ้นส่วนต่างๆได้อีกด้วยต่อไป

บรรณานุกรม

- [1] ธนกฤต ศิลปธรากุล, "ประสิทธิผลของอาหารเสริมจากน้ำมันถั่วดาวอินคาในรูปปรับประทานต่อการทำงานของสมองตานสติปัญญา," presented at the การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 3 ก้าวสู่ทศวรรษที่ 2: บูรณาการงานวิจัยใช้องค์ความรู้สู่ความยั่งยืน, วิทยาลัยนครราชสีมา อ. เกอเมอิ่ง จังหวัดนครราชสีมา 2559.
- [2] S. Yehuda, S. Rabinovitz, and D. I. Mostofsky, *Essential fatty acids are mediators of brain biochemistry and cognitive functions* vol. 56, 1999.
- [3] สุธรรม ศิวารุ และนายเอกชัย รอดพิสา, "การออกแบบและพัฒนาเครื่องย่อยยางรถยนต์เก่า," สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ, 2554.
- [4] Piuchkaset. Inca Peanuts [Online]. Available: www.puechkaset.com
- [5] คุณยุต เอี่ยมสอาด สิริชัย จีรวงศ์นุสรณ์ และ จังหวัด เจริญสุข, "การปรับปรุงคุณสมบัติความแข็งแรงแม่พิมพ์โดยกระบวนการเติมเนื้อวัสดุแบบสลับชั้น," in การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48, กรุงเทพฯ., 2553.
- [6] สมพร พงศ์จร และ ประภาศ เมืองจันทร์บุรี, เทคโนโลยีการเชื่อมสมัยใหม่สำหรับวิศวกร. สถาบันพัฒนาครูอาชีวศึกษา, 2540.
- [7] สรธยา ลิ้มนา, "การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคและความแข็งแรงของผิวเชื่อมพอกของเหล็กกล้าผสมต่ำ AISI 4340 ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ กรรมวิธีการเชื่อมมิก/แมก และกรรมวิธีการเชื่อมไส้ฟลักซ์," มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, , 2553.
- [8] ยงยุทธ ดุลยกุล เดช เหมือนขาว และสมยศ กวางตุง, "ศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของการเชื่อมพอกผิววัสดุเหล็ก AS3678 เกรด 350," presented at the การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2555, ชะอำ เพชรบุรี ประเทศไทย, 2555.
- [9] S. H. Avner., *Introduction to Physical Metallurgy*, 1974.
- [10] M.-D. Jean, S.-Y. Tu, and J.-T. Wang, "Analysis of hard-facing appearance of specific powdered superalloys for PTA-coating processes," *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 14, pp. 307-314, June 01 2005.
- [11] M. Vedani, B. Previtali, G. M. Vimercati, A. Sanvito, and G. Somaschini, "Problems in laser repair-welding a surface-treated tool steel," *Surface and Coatings Technology*, vol. 201, pp. 4518-4525, 2007/01/15/ 2007.
- [12] K. Hori, H. Watanabe, T. Myoga, and K. Kusano, "Development of Hot Wire TIG Welding Methods Using Pulsed Current to Heat Filler Wire
—Research on Pulse Heated Hot Wire TIG Welding Processes (Report 1)—," *QUARTERLY JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY*, vol. 21, pp. 362-373, 2003.

- [13] J. T. Salkin, "Hot Wire Gas Tungsten Arc Welding: An Overview of process," in *International & AWS Welding Show Hot Wire Welding and Cladding Conference*, 2007.
- [14] K. Shinozaki, M. Yamamoto, K. Kadoi, S. Tsuchiya, H. Watanabe, and T. Nagashima, "Investigation of Narrow Gap Hot-wire Laser Welding Phenomena," *Preprints of the National Meeting of JWS*, vol. 2010f, pp. 175-175, 2010.
- [15] K. Shinozaki, M. Yamamoto, K. Kadoi, H. Watanabe, S. Kurachi, A. Nishijima, *et al.*, "Development of Multi-pass Welding Technology using Narrow Gap Hot-wire Laser Welding Process for Nickel-based Superalloys," *Preprints of the National Meeting of JWS*, vol. 2010f, pp. 176-176, 2010.
- [16] M. Yamamoto, K. Shinozaki, K. Kadoi, D. Fujita, T. Inoue, M. Fukahori, *et al.*, "Development of Hot-wire Laser Welding Method for Lap Joint of Steel Sheet with Wide Gap," *QUARTERLY JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY*, vol. 29, pp. 58s-61s, 2011.
- [17] R. Phaoniam, M. Yamamoto, K. Shinozaki, M. Yamamoto, and K. Kadoi, "Development of a Heat Source Model for Narrow-gap Hot-wire Laser Welding," *QUARTERLY JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY*, vol. 31, pp. 82s-85s, 2013.
- [18] R. Phaoniam, K. Shinozaki, M. Yamamoto, K. Kadoi, S. Tsuchiya, and A. Nishijima, "Development of a highly efficient hot-wire laser hybrid process for narrow-gap welding—welding phenomena and their adequate conditions," *Welding in the World*, vol. 57, pp. 607-613, September 01 2013.
- [19] K. S. R. Phaoniam, M. Yamamoto, K. Kadoi, A. Nishijima, and M. Yamamoto,, "Solidification cracking susceptibility of modified 9 Cr1 Mo steel weld metal during hot-wire laser welding with a narrow gap groove," presented at the International institute of welding (IIW), 66th Annual Assembly, GERMANY 2013.
- [20] การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงสะท้อน [Online]. Available:
http://eng.sut.ac.th/meta/images/stories/Lab_3_Microstructural_Exami
- [21] Y. L. J. S. CHEN, X. R. LI, AND Y. M. ZHANG., "Gas Tungsten Arc Welding Using an Arcing Wire," *WELDING JOURNAL*, pp. 261-269, 2012.



ก.1 ข้อมูลการตรวจสอบการเจือจาง

TIG 150 Amp

กระแสเชื่อม Hot wire	Dilution (%)
80	62
100	49
120	71
140	70
160	59
180	61

TIG 135 Amp

กระแสเชื่อม Hot wire	Dilution (%)
80	44
100	66
120	58
140	54
160	47
180	48