



รหัสโครงการ SUT-717-57-12-66

รายงานการวิจัย

การศึกษาผลกระทบของกระบวนการเชื่อมต่อสมบัติทางกลของการเชื่อมพอก
ผิวแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยทังสเตนคาร์ไบด์หลอมเหลว

**A study of the effect of welding process on mechanical properties of
hardfacing carbon steel with fused tungsten carbide**

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รหัสโครงการ SUT-717-57-12-66

รายงานการวิจัย

การศึกษาผลกระทบของกระบวนการเชื่อมต่อสมบัติทางกลของการเชื่อมพอก
ผิวแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยทังสเตนคาร์ไบด์หลอมเหลว

**A study of the effect of welding process on mechanical properties of
hardfacing carbon steel with fused tungsten carbide**

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

อาจารย์ ดร. จงกล ศรีธร

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2557

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน 2558

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดีจากความกรุณาและอนุเคราะห์ช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ผศ.ดร. อิศรทัต พึ่งอัน ที่กรุณาเป็นที่ปรึกษาให้คำแนะนำปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง รวมถึงแนวทางการดำเนินงานที่ถูกต้อง

การจัดทำงานโครงการฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ดีจากความช่วยเหลือและความร่วมมือจาก นายอาชญาสิทธิ์ กาญจนจินดา นายนนทวัฒน์ ชัยเกียรติยศ นายอนุวัฒน์ วรรณโกสิน นายคำพูน พรหมสุภา นักศึกษาปริญญาตรี และ นักศึกษาปริญญาโท ที่ช่วยเก็บข้อมูลและดำเนินการทดลองที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีผู้ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้ พร้อมทั้งขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของกระบวนการเชื่อมต่อสมบัติทางกลของการเชื่อมพอกผิวแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยทั้งสแตนคาร์ไบด์หลอมเหลว โดยทำการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยกระบวนการเชื่อมทิกและกระบวนการเชื่อมแก๊สบนเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และใช้ลวดเติมทั้งสแตนคาร์ไบด์ในการพอกผิวแข็ง โดยจะทำการเชื่อมชิ้นงานโดยใช้ความเร็วและกระแสไฟที่ต่างกันเพื่อศึกษาว่าความเร็วและกระแสว่ามีผลต่อคุณสมบัติทางกลที่เปลี่ยนไปหรือไม่ ผลการทดลองที่ได้คือ การเชื่อมชิ้นงานด้วยกระแสไฟที่ 110A ให้ลักษณะแนวเชื่อมที่สมบูรณ์และมีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมทั้งความสูงและความกว้างของแนวเชื่อม และความเร็วในการเชื่อม 11.2 เซนติเมตรต่อนาที ที่กระแส 110 A จะให้แนวเชื่อมที่มีลักษณะการซึมลึกดี ผิวรอยเชื่อมเป็นเกร็ดสวยงาม เหมาะสมต่อการเชื่อมที่สุด ส่วนกระแสไฟต่ำและสูงเกินไปส่งผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อม เนื่องจากการหลอมละลายไม่สมบูรณ์ทำให้ไม่เหมาะกับการเชื่อม จากการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีนและการเชื่อมแบบทิกพบว่า การเชื่อมพอกผิวแข็งเต็มหน้าบนชิ้นงานเหล็กกล้า SS400 แบบการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยแก๊สอะเซทิลีน จะมีค่าความแข็งผิวอยู่ที่ 868.86 HV ซึ่งมากกว่าการเชื่อมพอกผิวแข็งแบบทิกที่มีความแข็งอยู่ 664.56 HV เพราะบริเวณผิวของรอยเชื่อมพอกผิวแข็งแบบแก๊สอะเซทิลีน จะมีการกระจายตัวของเม็ดทั้งสแตนคาร์ไบด์อยู่บริเวณผิวของรอยเชื่อม ส่วนการเชื่อมพอกผิวแข็งแบบทิกการกระจายตัวของเม็ดทั้งสแตนคาร์ไบด์จะอยู่บริเวณท้องของแนวเชื่อม โครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมจะประกอบด้วยเฟอร์ไรต์และเพอร์ไรต์ที่มีเกรนละเอียด ทั้งนี้ความเร็วในการเชื่อมจะส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลของชิ้นงานเชื่อมอีกด้วย

Abstract

The objective of this research is to study the effect of welding process on mechanical properties of hard facing carbon steel with fused tungsten carbide. The hard facing welds were performed by oxyacetylene and gas tungsten arc welding. Various experiments are carried out by that processes. For GTAW, the current are varied from 90 to 120 ampere at constant welding speed. Carburizing flame is used in oxyacetylene welding process. The result is exhibited that at the current of 110 ampere the distribution of tungsten carbide in weld metal is even. The hardness of the welds using OAW is higher than that of GTAW process which is 868.86 HV and 664.56 HV in respectively due to the distribution of tungsten carbide at the bottom of the welds. For the welds microstructure of both processes are consisted of ferrite and pearlite with fine grain structure. In addition, the welding speed has an effect on the microstructure and mechanical properties of the welds.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ.....	ข
Abstract.....	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีการเชื่อมพอกผิวโลหะ	4
2.2 หลักการเชื่อมโลหะด้วยแก๊สออกซิอะเซทิลีน	8
2.3 หลักการเชื่อมแก๊ส	11
2.4 หลักการเชื่อมโลหะแบบทิก	14
2.5 ข้อมูลพื้นฐานของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400	17
2.6 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา (Metallurgical Investigation)	17
2.7 การทดสอบสมบัติทางกล (Mechanical Testing)	18
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 การศึกษาและวิธีดำเนินการ	
3.1 องค์ประกอบการวางแผนงานก่อนเริ่มลงมือปฏิบัติ	22
3.2 แผนการดำเนินงานวิจัย (Gantt chart)	23
3.3 เครื่องมือวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	23
3.4 การกำหนดปัจจัยและการออกแบบการทดลอง	26
3.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	28

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์และอภิปรายผลการทดลอง	
4.1 การตรวจสอบโครงสร้างแบบมหภาค (Macrostructure Investigation).....	32
4.2 การทดสอบความแข็ง (Hardness Testing)	33
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	65
5.2 ข้อเสนอแนะ	68
เอกสารอ้างอิง.....	69
ภาคผนวก	71

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1	
ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย (พ.ค. 57 – มิ.ย. 58) ระยะเวลา 1 ปี 2 เดือน.....	3
บทที่ 2	
ตารางที่ 2.1 ชนิดของแก๊สเชื้อเพลิงและค่าความร้อนสูงสุด.....	9
บทที่ 3	
ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย (Gantt chart).....	23
ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ในการเชื่อมแก๊สอะเซทิลีน.....	27
ตารางที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์ในการเชื่อมทิก.....	27
บทที่ 4	
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลค่าความแข็งในแนวนอน (Horizontal) ของกระแสไฟ 90A.....	34
ตารางที่ 4.2 มุลค่าความแข็งในแนวนอน (Horizontal) ของกระแสไฟ 100A.....	35
ตารางที่ 4.3 ข้อมูลค่าความแข็งในแนวนอน (Horizontal) ของกระแสไฟ 110A.....	36
ตารางที่ 4.4 ข้อมูลค่าความแข็งในแนวนอน (Horizontal) ของกระแสไฟ 120A.....	37
ตารางที่ 4.5 ข้อมูลค่าความแข็งในแนวตั้ง (Vertical) ของกระแสไฟ 90A.....	39
ตารางที่ 4.6 ข้อมูลค่าความแข็งในแนวตั้ง (Vertical) ของกระแสไฟ 100A.....	40
ตารางที่ 4.7 ข้อมูลค่าความแข็งในแนวตั้ง (Vertical) ของกระแสไฟ 110A.....	41
ตารางที่ 4.8 ข้อมูลค่าความแข็งในแนวตั้ง (Vertical) ของกระแสไฟ 120A.....	42
ตารางที่ 4.9 ข้อมูลค่าความแข็งบริเวณเม็ดทั้งสแตนคาร์ไบด์	44
ตารางที่ 4.10 ข้อมูลค่าความแข็งบริเวณเนื้อทั้งสแตนคาร์ไบด์.....	45
ตารางที่ 4.11 ข้อมูลค่าความแข็งที่ความเร็ว 15.3 cm/min กระแสไฟ 110A แนวนอน.....	47
ตารางที่ 4.12 ข้อมูลค่าความแข็งที่ความเร็ว 11.2 cm/min กระแสไฟ 110A แนวนอน.....	48
ตารางที่ 4.13 ข้อมูลค่าความแข็งที่ความเร็ว 9.2 cm/min กระแสไฟ 110A แนวนอน.....	49
ตารางที่ 4.14 ข้อมูลค่าความแข็งที่ความเร็ว 15.3 cm/min กระแสไฟ 110A.....	51
ตารางที่ 4.15 ข้อมูลค่าความแข็งที่ความเร็ว 11.2 cm/min ของกระแสไฟ 110A แนวตั้ง.....	52
ตารางที่ 4.16 ข้อมูลค่าความแข็งที่ความเร็ว 9.2 cm/min ของกระแสไฟ 110A แนวตั้ง.....	53

สารบัญตาราง (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4	
ตารางที่ 4.17 ข้อมูลค่าความแข็งบริเวณเมื่ค้ดทั้งสเดนคาร์ไบด์ในความเร็วต่าง ๆ.....	54
ตารางที่ 4.18 ข้อมูลค่าความแข็งบริเวณเนื้อทั้งสเดนคาร์ไบด์ในความเร็วต่าง ๆ.....	55
ตารางที่ 4.19 ข้อมูลค่าความแข็งของการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีน.....	56
ตารางที่ 4.20 ข้อมูลค่าความแข็งของการเชื่อมแบบทิก.....	57
ตารางที่ 4.21 ข้อมูลค่าความแข็งของการเชื่อมแบบทิกในแนวเชื่อม.....	59
ตารางที่ 4.22 ข้อมูลค่าความแข็งของการเชื่อมแบบแก๊สอะเซทิลีนในแนวเชื่อม.....	59
ตารางที่ 4.23 ข้อมูลค่าความแข็งของการเชื่อมแบบทิกในบริเวณกระทบร้อน (HAZ).....	60
ตารางที่ 4.24 ข้อมูลค่าความแข็งของการเชื่อมแบบแก๊สอะเซทิลีนในบริเวณ กระทบร้อน (HAZ).....	61
ตารางที่ 4.25 ข้อมูลค่าความแข็งของการเชื่อมแบบทิกในบริเวณเนื้อเหล็ก (BM).....	62
ตารางที่ 4.26 ข้อมูลค่าความแข็งของการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีนในบริเวณเนื้อเหล็ก.....	62
บทที่ 5	
ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบกระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อมกับค่าความแข็ง.....	64
ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบความเร็วที่ใช้ในการเชื่อมกับค่าความแข็ง.....	65
ตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติกับค่าความแข็งของการเชื่อมแบบทิกและการเชื่อม ด้วยแก๊สอะเซทิลีน.....	66

สารบัญภาพ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 2	
รูปที่ 2.1 การเชื่อมพอกผิวแข็งโดยการใช้อั้วเชื่อมแก๊ส (OXY-ACETYLENE).....	6
รูปที่ 2.2 ลักษณะของเปลวไฟและตำแหน่งพอกผิวแข็ง.....	7
รูปที่ 2.3 วิธีการเชื่อมพอกผิวแข็งเดินหน้า (FORE HAND).....	7
รูปที่ 2.4 วิธีการเชื่อมพอกผิวแข็งถอยหลัง (BACK HAND).....	7
รูปที่ 2.5 หลักการเชื่อมโลหะด้วยแก๊สออกซิอะเซทิลีนแบบไม่เติมลวด.....	8
รูปที่ 2.6 หลักการเชื่อมโลหะด้วยแก๊สออกซิอะเซทิลีนแบบเติมลวด.....	8
รูปที่ 2.7 ลักษณะของเปลวลวด.....	10
รูปที่ 2.8 ลักษณะของเปลวกลาง.....	11
รูปที่ 2.9 ลักษณะของเปลวเพิ่ม.....	11
รูปที่ 2.10 การเชื่อมเหล็กเหนียวด้วยแก๊ส.....	13
รูปที่ 2.11 ประลองผลิตอะเซทิลีน.....	13
รูปที่ 2.12 ถังผลิตอะเซทิลีนใช้เองพร้อมท่อป้องกันไฟกลับ.....	14
รูปที่ 2.13 ขวดบรรจุอะเซทิลีนสำเร็จ.....	14
รูปที่ 2.14 การเชื่อมทิก (TIG).....	15
รูปที่ 2.15 เครื่องเชื่อมTIG แบบ Transformer-Rectifier.....	16
รูปที่ 2.16 ลักษณะหัวกดและรอยกดของการทดสอบความแข็ง Vickers.....	19
บทที่ 3	
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	22
รูปที่ 3.2 เครื่องเชื่อมที่ใช้ในการทดลอง.....	24
รูปที่ 3.3 ชุดอุปกรณ์การเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีน.....	24
รูปที่ 3.4 ลวดเชื่อมทั้งสเตนคาร์ไบด์.....	24
รูปที่ 3.5 เครื่องตัด Wire Cut.....	25
รูปที่ 3.6 เครื่องอัดเรซิน.....	25
รูปที่ 3.7 เครื่องขัดกระดาษทรายแบบจานหมุน.....	25
รูปที่ 3.8 เครื่องขัดผงอะลูมินา (Al ₂ O ₃).....	26
รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส.....	26
รูปที่ 3.10 ขนาดชิ้นงานทดลองเชื่อม.....	28

สารบัญภาพ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3	
รูปที่ 3.11 ชิ้นงานที่ทำการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีน.....	28
รูปที่ 3.12 ชิ้นงานที่ทำการเชื่อมแบบทิก.....	29
รูปที่ 3.13 ชิ้นงานที่ตัดแบ่งมาทดสอบ.....	29
รูปที่ 3.14 ขนาดชิ้นงานที่นำไปตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา.....	29
รูปที่ 3.15 ตำแหน่งของจุดทดสอบความแข็ง.....	31
บทที่ 4	
รูปที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของการเชื่อมที่กระแสไฟ 90A.....	32
รูปที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของการเชื่อมที่กระแสไฟ 100A.....	32
รูปที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพของการเชื่อมที่กระแสไฟ 110A.....	33
รูปที่ 4.4 ลักษณะทางกายภาพของการเชื่อมที่กระแสไฟ 120A.....	33
รูปที่ 4.5 ระยะเวลาทดสอบความแข็งในแนวนอน (Horizontal).....	33
รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟกับค่าความแข็งในแนว (Horizontal).....	38
รูปที่ 4.7 ระยะเวลาทดสอบความแข็งในตั้ง (Vertical).....	39
รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟกับค่าความแข็งในแนวตั้ง (Vertical).....	43
รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟกับค่าความแข็งบริเวณเม็ดทั้งสเดนคาร์ไบด์.....	44
รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟกับค่าความแข็งบริเวณเนื้อทั้งสเดนคาร์ไบด์.....	45
รูปที่ 4.11 ระยะเวลาทดสอบความแข็งการเปรียบเทียบความเร็วกับค่าความแข็ง.....	46
รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับค่าความแข็งในแนวนอน (Horizontal).....	46
รูปที่ 4.13 ระยะเวลาทดสอบความแข็งการเปรียบเทียบความเร็วกับค่าความแข็งในแนวตั้ง.....	51
รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับค่าความแข็งในแนว (Vertical).....	51
รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับค่าความแข็งบริเวณเม็ดทั้งสเดนคาร์ไบด์.....	55
รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับค่าความแข็งบริเวณเนื้อทั้งสเดนคาร์ไบด์.....	56
รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการเชื่อมกับค่าความแข็งในแนวตั้ง.....	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4	
รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการเชื่อมแบบทิกและการเชื่อม ด้วยแก๊สอะเซทิลีนในแนวเชื่อม(WM).....	60
รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการเชื่อมแบบทิกและการเชื่อม ด้วยแก๊สอะเซทิลีนในบริเวณกระทบร้อน(HAZ).....	61
รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการเชื่อมแบบทิกและการเชื่อม ด้วยแก๊สอะเซทิลีนในบริเวณเนื้อเหล็ก(BM).....	62
รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ค่าความแข็งระหว่างการเชื่อมแบบทิกและการเชื่อม ด้วยแก๊สอะเซทิลีน.....	63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเชื่อมพอกผิวแข็งเป็นกรรมวิธีในการปรับปรุงคุณสมบัติของพื้นผิวของเครื่องมืออุปกรณ์และอุปกรณ์ต่างๆ โดยการเชื่อมวัสดุพอกผิวแข็งลงบนวัสดุพื้นจำพวกเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำหรือเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและทนต่อการสึกหรอให้กับวัสดุพื้น โดยที่วัสดุพื้นไม่สูญเสียคุณสมบัติด้านความเหนียวลง [1-2] วัสดุที่ใช้ในการเชื่อมพอกผิวแข็งมีด้วยกันหลายชนิด ซึ่งส่วนใหญ่ใช้เพื่อป้องกันการเกิดการสึกหรอของชิ้นงาน ส่วนใหญ่เป็นการเชื่อมพอกเพื่อให้เกิดโครงสร้างจุลภาพที่มีลักษณะของคาร์ไบด์ลงในโครงสร้างพื้นของออสเทนไทน์ในชิ้นงานเพื่อทนต่อการเสียดสี[3]โดยที่คุณสมบัติในการต้านทานการเสียดสีขึ้นกับปัจจัยหลายปัจจัยเช่น ชนิด รูปร่างและการกระจายตัวของเฟสของแข็ง รวมทั้งความเหนียวและลักษณะของเมทริกซ์ที่เกิดขึ้น [4]

ในการเชื่อมพอกผิวแข็งจำเป็นต้องเลือกชนิดของวัสดุที่นำมาพอกผิวแข็ง กระบวนการเชื่อมที่ใช้ และลักษณะในการออกแบบแนวการพอกผิวแข็ง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อคุณสมบัติของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมพอกผิวแข็ง

ในการเชื่อมพอกผิวแข็งสามารถใช้เทคนิคในการเชื่อมได้หลายเทคนิค เช่น การเชื่อมแก๊สออกซิอเซทีลีน (Oxyacetylene gas welding: OAW) การเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สทูลุม (Gas tungsten arc welding :GTAW) การเชื่อมเชื่อมอาร์กโลหะปกคลุม (Gas metal arc welding :GMAW) การเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม (Shield metal arc welding :SMAW) และการเชื่อมอาร์กใต้ฟลักซ์ (Submerged arc welding: SAW) ในการเลือกใช้วิธีการเชื่อมที่แตกต่างกันจะให้ประสิทธิภาพในการเชื่อม (welding efficiency) อัตราการซึมลึก (Dilution ratio) และต้นทุนในการเชื่อม (Welding cost) แตกต่างกันจึงต้องมีการเลือกใช้วิธีการเชื่อมให้เหมาะสมกับลักษณะงาน [5]

ผิวหน้าของการเชื่อมพอกผิวแข็ง (Hardfacing Deposit) สามารถเป็นวัสดุได้หลากหลายขึ้นอยู่กับประเภทของลวดหรือวัสดุที่เติมลงไป เช่น การมีอนุภาคของคาร์ไบด์อยู่บนผิวงาน [6]ซึ่งในกรณีนี้จะเป็นคาร์ไบด์ประเภทต่าง ๆ โดยกระบวนการเชื่อมพอกจะใช้กระบวนการเชื่อมทิก สำหรับกระบวนการเชื่อมอื่นก็สามารถทำได้เช่นเดียวกัน เช่น การเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ [7]หรือการเชื่อมด้วยการเชื่อมแก๊ส [8] เช่นเดียวกัน

นอกจากการได้รับความแข็งแรงจากการเกิดคาร์ไบด์แล้ว [9,10] ยังอาจจะได้รับความแข็งแรงมาจากการเปลี่ยนแปลงเฟส ในที่นี้คือการเกิดเฟสมาร์เทนไซต์ (Martensite) นั่นเอง การเลือกใช้ประเภทของความแข็งที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับประเภทของงานที่ต้องการใช้ เช่น กรณีของการสึกหรอแบบเลื่อนไถล (Sliding Wear) นั้น การเกิดเฟสที่มีความแข็งอย่างเดียวในลักษณะของมาร์เทนไซต์นั้นเพียงพอต่อการใช้แล้วที่ไม่มีแรง

กระแทกเกิดขึ้น แต่หากมีแรงกระแทกเกิดขึ้น การเกิดเฟสในลักษณะนี้จะไม่เหมาะสมเนื่องจากเปราะและแตกร้าวง่าย ทำให้เสี่ยงต่อการหลุดล่อนของชั้นพอกผิวแข็งออกมา ดังนั้นการเกิดความแข็งที่มาจากคาร์ไบด์จะเหมาะสมกว่า

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งเหล็กกล้าคาร์บอน โดย วัสดุที่ใช้ในการพอกผิวแข็งจะเป็นกลุ่มคาร์ไบด์ (Carbide) โดยศึกษาถึงกรรมวิธีการเชื่อม ซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติของชิ้นงานที่ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการเชื่อมพอกผิวแข็งโดยเน้นศึกษาไปทางวิธีการเชื่อมด้วยแก๊สออกซิเจนอะเซทิลีน (OXY ACETYLENE WELDING : OAW) กับกระบวนการเชื่อมแบบ TIG (GAS TUNGSTEN ARC WELDING : GTAW)

1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งบนเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยทั้งสแตนคาร์ไบด์ต่อสมบัติทางกลโดยการทดสอบความแข็ง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของการศึกษางานวิจัยประกอบด้วย การเชื่อมโดยเน้นศึกษาวิธีการเชื่อมด้วยแก๊สออกซิเจนอะเซทิลีน (OXY ACETYLENE WELDING : OAW) กับกระบวนการเชื่อมแบบ TIG (GAS TUNGSTEN ARC WELDING : GTAW) และการทดสอบ การเชื่อมทั้ง 2 แบบ โดยเหล็กที่ใช้เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 โดยมีตัวแปรในการเชื่อมคือ กระแสไฟ ความเร็วในการเชื่อม เปลวไฟ และแก๊สปกคลุม โดยใช้หลักการการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยการเติมลวดทั้งสแตนคาร์ไบด์เพื่อเพิ่มความแข็ง

1.4 แผนการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 วิธีการดำเนินงาน

- 1.4.1.1 ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีงานวิจัยเกี่ยวกับงานเชื่อม
- 1.4.1.2 เลือกวัสดุที่ต้องการเชื่อมและออกแบบงานเชื่อม
- 1.4.1.3 เชื่อมชิ้นงานทดสอบตามแบบที่ได้วางไว้
- 1.4.1.4 ทำการเชื่อมพอกผิวแข็ง
- 1.4.1.5 วิเคราะห์สมบัติทางกล และวัดความแข็ง
- 1.4.1.6 สรุปผลการทดลองและส่งรายงานการวิจัย

1.4.2 สถานที่ทำการวิจัย

- 1.4.2.1 อาคารเครื่องมือ 1 (โรงเครื่องมือกล) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- 1.4.2.2 อาคารเครื่องมือ 6 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตาราง 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย (พ.ค. 57 – มิ.ย. 58) ระยะเวลา 1 ปี 2 เดือน

รายละเอียด	เดือน											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ก. การเตรียมการ												
1.4.1.1 ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีงานวิจัยเกี่ยวกับงานเชื่อม ↔												
1.4.1.2 เลือกวัสดุที่ต้องการเชื่อมและออกแบบงานเชื่อม ↔												
ข. การลงมือปฏิบัติ												
1.4.1.3 เชื่อมชิ้นงานทดสอบตามแบบที่วางไว้ ↔												
1.4.1.4 ทำการเชื่อมพอกผิวแข็ง ↔												
ค. การประมวลผลและการวิเคราะห์ข้อมูล												
1.4.1.5 วิเคราะห์สมบัติทางกล และวัดความแข็ง ↔												
ง. การเขียนรายงานและการเผยแพร่ผลงาน												
1.4.1.6 สรุปผลการทดลองและส่งรายงานการวิจัย ↔												

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ทราบถึงคุณสมบัติทางกลของชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมแก๊สออกซิเจนอะเซทิลีน (OAW) และการเชื่อมทิก (TIG)
2. ผลการวิจัยที่ได้รับอาจจะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและประเทศต่อไป
3. ผลที่ทำกรวิจัยเป็นองค์ความรู้ หรือรูปแบบวิธีการที่นำไปสู่การวิจัยในระยะต่อไป
4. เป็นแนวทางการเลือกใช้กรรมวิธีการเชื่อมที่เหมาะสมกับคุณสมบัติของชิ้นงานที่ต้องการ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษากระบวนการหาข้อมูลครั้งนี้ กลุ่มผู้ทำการศึกษาได้ค้นคว้าหาข้อมูลและหลักการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการครั้งนี้ รวมถึงทั้งหาข้อมูลของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางประกอบการศึกษาจนบรรลุเป้าหมายตามที่ได้กำหนดไว้ จึงมีหัวข้อดังนี้

- 2.1 ทฤษฎีการเชื่อมพอกผิวโลหะ
- 2.2 หลักการเชื่อมโลหะด้วยแก๊สออกซิอะเซทิลีน
- 2.3 หลักการเชื่อมแก๊ส
- 2.4 หลักการเชื่อมทิก
- 2.5 ข้อมูลพื้นฐานของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400
- 2.6 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา (Metallurgical Investigation)
- 2.7 การทดสอบสมบัติทางกล (Mechanical Testing)
- 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการเชื่อมพอกผิวโลหะ [11]

2.1.1 การเชื่อมพอกผิวโลหะ

การตกแต่งผิวโลหะเป็นวิธีการพิเศษวิธีหนึ่ง ซึ่งทำได้โดยใช้วัสดุโลหะชนิดเดียวกันหรือต่างกัน เคลือบบนชิ้นงานที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น เคลือบโลหะ โลหะผสม เซรามิก พลาสติก การเคลือบบนผิวอาจเป็นลักษณะผิวงานไม่หลอมละลายรวมกับโลหะซึ่งนำไปเคลือบ เช่น การชุบสังกะสี ชุบเงิน และชุบดีบุก หรือผิวโลหะชิ้นงานหลอมละลายรวมกับโลหะซึ่งนำมาเคลือบติด โลหะผสมมักถูกนำมาเคลือบกับชิ้นงานด้วยกรรมวิธีการพอกผิวโลหะนั้นเป็นวิธีทำให้โลหะซึ่งนำมาพอกนั้นหลอมละลายติดกับผิวของโลหะชิ้นงาน เมื่อทำการพอกผิวและได้ความแข็งกรรมวิธีนี้เรียกว่า “การพอกผิวแข็ง”(HARD SURFACING)

2.1.2 หลักการเชื่อมพอกผิวโลหะ

การทำให้เกิดชั้นโลหะผสมอย่างถูกต้องบนผิวโลหะชิ้นงาน เพื่อให้ชิ้นงานนั้นคงทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี ทนต่อการสึกหรอจากการเสียดสีซึ่งอาจเกิดจากโลหะด้วยกัน หรือโลหะชิ้นงานกับวัสดุอื่น ตลอดจนทนต่อการแตกร้าวหรือแตกหักเหล็กกล้าและเหล็กกล้าผสม ส่วนมากสามารถพอกผิวแข็งได้ เว้นแต่เหล็กกล้าผสมวานาเดียมสูง และเหล็กไฮสปีด

2.1.3 การพิจารณาความแข็ง

ปกติการพอกผิวโลหะจะพิจารณาคุณสมบัติความแข็งของวัสดุชิ้นงานชนิดเหล็กกล้าผสมคาร์บอนต่ำ (LOW CARBON STEEL ALLOY) ชิ้นงานนั้นจะมีความเหนียวและทนแรงกระแทกไม่แตกร้าว แต่เมื่อมีความเหนียวก็ต้องมีความอ่อนและสึกหรอได้ง่าย ดังนั้นการแก้ไขทำได้โดยการพอกผิวหน้าด้วยโลหะแข็งด้วยทั้งสแตนคาร์ไบด์ความแข็งเป็นคุณสมบัติของโลหะทนต่อการกระทำของเครื่องมือตัด ดังนั้นการพอกผิวจำเป็นต้องเลือกวัสดุแข็งตามลักษณะสภาพการใช้งานแต่ละประเภท ทั่วไปมีเครื่องมือทดสอบความแข็งอยู่ 3 ชนิดคือ

1. BRINELL SCALE
2. ROCKWELL SCALE
3. SHORE SCLERO SCOPE

2.1.4 การตรวจสอบความแข็ง

การตรวจสอบความแข็งควรตรวจสอบโดยใช้เครื่องทดสอบเท่าที่หาได้ แต่ถ้าไม่มีเครื่องมือตรวจสอบก็ควรใช้การตะไบ

2.1.4.1 โลหะมีความแข็งประมาณ 100 บิลเนล หรือ 60 รอคเวลบี (60 HRB) ได้แก่ โลหะประเภทเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (LOW CARBON STEEL ALLOY) ง่ายต่อการแปรรูป

2.1.4.2 โลหะมีความแข็งประมาณ 200 บิลเนล หรือ 15 รอคเวลซี (15 HRC) ได้แก่ โลหะประเภทเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (MIDIUM CARBON STEEL ALLOY) ง่ายต่อการตัดและแปรรูป

2.1.4.3 โลหะมีความแข็งประมาณ 300 บิลเนล หรือ 30 รอคเวลซี (30 HRC) ได้แก่ โลหะประเภทโลหะผสมสูงซึ่งยากต่อการตัดและแปรรูป

2.1.4.4 โลหะมีความแข็งประมาณ 400 บิลเนล หรือ 40 รอคเวลซี (40 HRC) ได้แก่ โลหะประเภทเหล็กเครื่องมือ (TOOL STEEL) การตัดโลหะประเภทนี้ต้องใช้เครื่องมือตัดที่มีความสามารถสูง

2.1.4.5 โลหะมีความแข็งประมาณ 500 บิลเนล หรือ 50 รอคเวลซี (50 HRC) ได้แก่ โลหะเหล็กเครื่องมือ โลหะพวกนี้แทบตัดไม่ได้

2.1.4.6 โลหะมีความแข็งประมาณ 600 บิลเนล หรือ 60 รอคเวลซี (60 HRC) ได้แก่ โลหะประเภทเครื่องมือแข็ง โลหะประเภทนี้ไม่สามารถตัดได้

2.1.5 วิธีการพอกผิวโลหะ

การพอกผิวแข็งมี 6 วิธีคือ

- 2.1.5.1. เชื่อมด้วยแก๊ส (GAS WELDING)
- 2.1.5.2. เชื่อมด้วยวิธีทิก TIG (TUNGSTEN INERT GAS ARC WELDING)
- 2.1.5.3. AUTOMIC – HYDROGEN ARC WELDING
- 2.1.5.4. เชื่อมด้วยไฟฟ้า (SMAW)
- 2.1.5.5. กานพ่นผงโลหะ (METAL SPRAYING)

2.1.5.6. ระบบพลาสมา (PLASMA ARC WELDING)

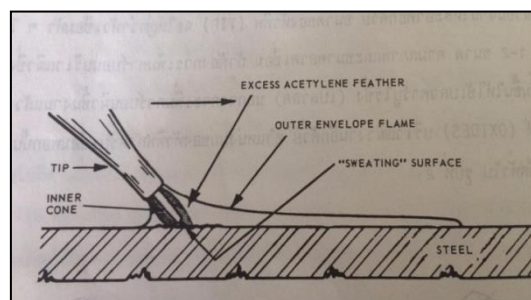
2.1.6 ข้อพิจารณาเลือกวิธีการพอกผิวแข็งด้วยแก๊ส

- เพื่อพอกผิวชิ้นงานให้เกิดวัสดุพอกเป็นชั้นบางๆตามต้องการ และตกแต่งผิวชิ้นงานครั้งสุดท้าย
- เพื่อเพิ่มความแข็งบริเวณผิวของวัสดุชิ้นงาน โลหะให้ทนต่อการเสียดสี โดยใช้เปลวลด (CARBURIZING FLAME) เพิ่มคาร์บอนบนผิวชิ้นงานด้วย
- การอุ่นชิ้นงานก่อนและหลังการเชื่อมต้องควบคุมอย่างระมัดระวังด้วยเปลวไฟ (OXY-ACETYLENE) เพื่อลดปัญหาความแตกร้าวของวัสดุพอก
 - ใช้งานสำหรับโลหะชิ้นงานที่ไม่ใช่เหล็ก
 - วิธีเชื่อมแบบนี้จะช่วยให้วัสดุพอกผิวแข็งละลายพอกได้ดี

เมื่อต้องการพอกผิวชิ้นงานไม่ให้มีตำหนิ ควรใช้วิธีการเชื่อมแบบทิก (TIG) อย่างไรก็ตามชิ้นงานโลหะก่อนนำมาพอกผิวแข็งจะต้องทำความสะอาดอย่างดี การพอกด้วย TIG จะต้องเพิ่มค่าอุปกรณ์และค่าแรง การพอกด้วย TIG ยังช้ากว่าการพอกด้วยวิธีอื่นแต่ยังมีคนนิยมใช้อยู่มาก เพราะการเชื่อมนี้ให้คุณภาพสูง ส่วนใหญ่จะเป็นชิ้นงานสำคัญ

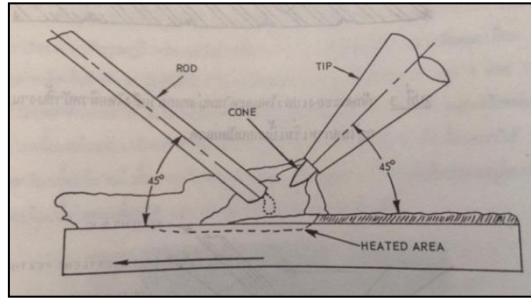
2.1.7 กรรมวิธีพอกผิวแข็งโลหะด้วยแก๊สออกซิ-อะเซทิลีน (OXY-ACETYLENE)

วิธีเชื่อมนี้ได้รับผลดีสำหรับช่วยอุ่นชิ้นงาน (PREHEATED) ขณะเชื่อมและยังช่วยจัดผิวชิ้นงานให้สะอาดอีกด้วย ขนาดของหัวทิพ (TIP) จะใหญ่กว่าหัวเชื่อมทั่วไปประมาณ 1-2 ขนาด ตามสภาพและขนาดลวดเชื่อม ถ้าต้องการเพิ่มคาร์บอนบริเวณผิวซึ่งพอกเพื่อให้แข็งเพิ่มขึ้นให้ใช้เปลวคาร์บูไรซิง (เปลวลด) นอกจากจะเพิ่มคาร์บอนผิวงานแล้ว ยังช่วยลดออกไซด์ (OXIDES) บริเวณผิวงานอีกด้วย ตำแหน่งมุมของหัวทิพสำหรับเชื่อมพอกนั้น เหมือนกับเชื่อมแก๊สทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 2.1

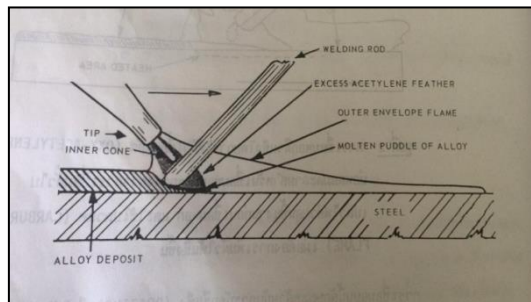


รูปที่ 2.1 การเชื่อมพอกผิวแข็งโดยการใช้หัวเชื่อมแก๊ส (OXY-ACETYLENE)

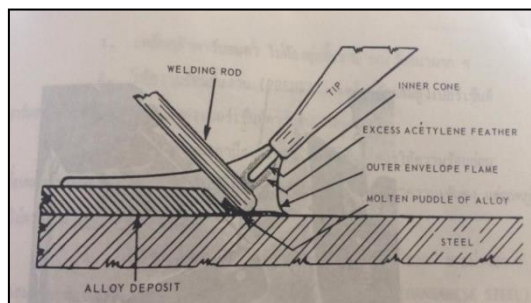
บ่อหลอมละลายสำหรับเชื่อมพอกนี้จะกว้างกว่าการเชื่อมทั่วไปเปลวไฟช่วยอุ่นชิ้นงานก่อนเชื่อมพอก และใช้เปลวลด (CARBURIZING FAME) เมื่อต้องการเพิ่มผิวให้แข็งขึ้นการเชื่อมแบบนี้ลักษณะคล้ายกับการบัดกรีแข็ง (BRAZING)คือให้ความร้อนบนชิ้นงานบริเวณที่ต้องการพอกร้อนจนกระทั่งแดงเกือบละลาย สังกะสีได้จากผิวหน้าของชิ้นงานจะเย็นเป็นมัน อุณหภูมิประมาณ 1200 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะของเปลวไฟและตำแหน่งพอกผิวแข็ง



รูปที่ 2.3 วิธีการเชื่อมพอกผิวแข็งเดินหน้า(FORE HAND)



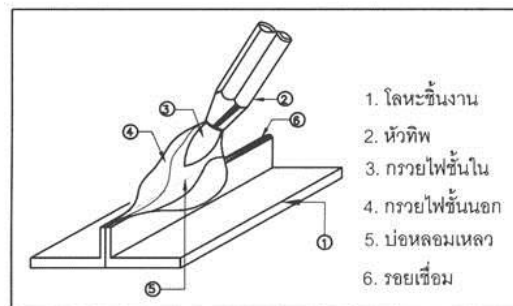
รูปที่ 2.4 วิธีการเชื่อมพอกผิวแข็งถอยหลัง (BACK HAND)

สำหรับการอุ่นชิ้นงานก่อนเชื่อมพอกนั้น (PREHEAT) มีความสำคัญมากประการหนึ่ง ที่ควรใช้ชอล์กขีดวัดอุณหภูมิ หรืออะไรก็ได้ที่สามารถวัดระดับอุณหภูมิได้ แม้ว่าลักษณะการเชื่อมพอกเหมือนกับการบัดกรีแข็ง

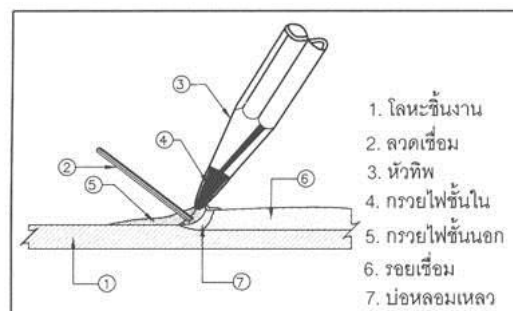
ก็ตามผู้ปฏิบัติต้องใช้เทคนิคและความสามารถพอสมควร (ดังแสดงในรูปที่ 2.3 และ รูปที่ 2.4) เมื่อนำวิธีเชื่อมพอกด้วยแก๊สไปใช้เชื่อมพอกเหล็กหล่อซึ่งเชื่อมพอกยากเพราะผิวของเหล็กหล่อเมื่อร้อนจะไม่แข็งเหมือนเหล็กทั่วไป และวัสดุพอกจะไม่แน่นไหลได้ง่ายวิธีเชื่อมควรใช้ลวดเชื่อมพอกไปเพียงบริเวณจุดร้อนที่สุดเป็นระยะๆ เพื่อให้เกิดบ่อหลอมละลายและสามารถเติมเนื้อโลหะเชื่อมได้ เพราะเปลือกผิวของชิ้นงานหล่อนั้นแข็ง

2.2 หลักการเชื่อมโลหะด้วยแก๊สออกซิอะเซทิลีน [12]

กรรมวิธีการเชื่อมโลหะด้วยแก๊สออกซิอะเซทิลีน (OXY ACETYLENE WELDING : OAW) เป็นกรรมวิธีการเชื่อมโลหะแบบหลอมเหลว โดยใช้ความร้อนจากเชื้อเพลิงซึ่งเป็นแก๊สผสมระหว่างแก๊สอะเซทิลีนกับแก๊สออกซิเจนบริสุทธิ์เปลวไฟจากการเผาไหม้จะเกิดความร้อนในปริมาณสูง ทำให้ชิ้นงานหลอมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยที่ลวดเชื่อมจะเติมหรือไม่เติมก็ได้ขึ้นอยู่กับความหนาของงานและชนิดของรอยต่อ โดยมีหลักการเชื่อมโลหะด้วยแก๊สออกซิอะเซทิลีนแบบไม่เติมลวดดังแสดงในรูปที่ 2.5 และ หลักการเชื่อมโลหะด้วยแก๊สออกซิอะเซทิลีนแบบเติมลวดดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 หลักการเชื่อมโลหะด้วยแก๊สออกซิอะเซทิลีนแบบไม่เติมลวด



รูปที่ 2.6 หลักการเชื่อมโลหะด้วยแก๊สออกซิอะเซทิลีนแบบเติมลวด

2.2.1 ชนิดของแก๊สเชื้อเพลิงและค่าความร้อนสูงสุด

แก๊สเชื้อเพลิงมีหลายชนิดถ้าผสมกับออกซิเจนแล้วจะให้ความร้อนที่สูงขึ้นกว่าการเผาไหม้ปกติ สำหรับในอุตสาหกรรมการเชื่อมโลหะด้วยแก๊สนั้น แก๊สผสมระหว่างแก๊สออกซิเจนกับแก๊สอะเซทิลีนเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะให้ค่าความร้อนสูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ชนิดของแก๊สเชื้อเพลิงและค่าความร้อนสูงสุด

ชนิดของแก๊สเชื้อเพลิง	ความร้อนสูงสุดโดยประมาณ
ออกซิเจน + อะเซทิลีน	3,480 0C หรือ 6,300 0F
ออกซิเจน + ไฮโดรเจน	2,980 0C หรือ 5,400 0F
ออกซิเจน + โพรเพน	2,930 0C หรือ 5,300 0F
ออกซิเจน + มีเทน	2,760 0C หรือ 5,000 0F
อากาศ + อะเซทิลีน	2,500 0C หรือ 4,532 0F
อากาศ + โพรเพน	1,750 0C หรือ 3,182 0F

2.2.2 เปลวไฟในการเชื่อมโลหะด้วยแก๊สออกซิอะเซทิลีน

การเชื่อมแก๊สเป็นกรรมวิธีการเชื่อมโลหะที่ใช้กันมานาน ซึ่งในปัจจุบันก็ยังคงได้รับความนิยมกันแพร่หลาย ความร้อนจากการเผาไหม้ระหว่างแก๊สออกซิเจนและแก๊สอะเซทิลีนให้เปลวไฟที่มีความร้อนสูงประมาณ 6,300 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ 3,480 องศาเซลเซียสเพียงพอที่จะทำให้โลหะแต่ละชนิดหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อเย็นตัวลงโลหะสองชิ้นจะติดกันมีความแข็งแรงเท่ากับหรือมากกว่าเนื้อโลหะเดิม เปลวไฟที่ใช้สำหรับเชื่อมจะมีองค์ประกอบ ดังนี้

2.2.2.1 สมบัติของเปลวไฟเปลวไฟที่ใช้ในการเชื่อมโลหะด้วยแก๊สออกซิอะเซทิลีนจะต้องมี สมบัติดังนี้

2.2.2.2 มีอุณหภูมิสูงเพียงพอที่จะหลอมละลายชิ้นงาน

2.2.2.3 มีปริมาณความร้อนเพียงพอเมื่อต้องการ

2.2.2.4 ต้องไม่มีสิ่งสกปรกจากเปลวไฟหรือนำวัตถุอย่างใดอย่างหนึ่งเข้ามารวมตัวกับเนื้อโลหะที่หลอมละลาย

2.2.2.5 เปลวไฟต้องไม่เพิ่มธาตุคาร์บอนลงในเนื้อโลหะซึ่งจะทำให้คุณสมบัติของโลหะเปลี่ยนไป

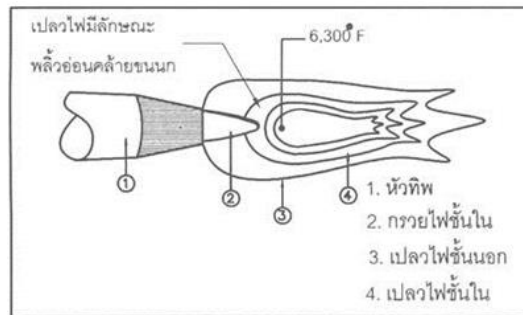
2.2.2.6 เปลวไฟต้องไม่เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานในทางเคมี

2.2.3 ชนิดของเปลวไฟ

เพื่อให้มีความเหมาะสมกับโลหะงานแต่ละชนิดเปลวไฟในการเชื่อมจึงแบ่งออกเป็น 3 ชนิดดังนี้

2.2.3.1 เปลวลดหรือเปลวคาร์บอนมาก (Carburizing Flame)

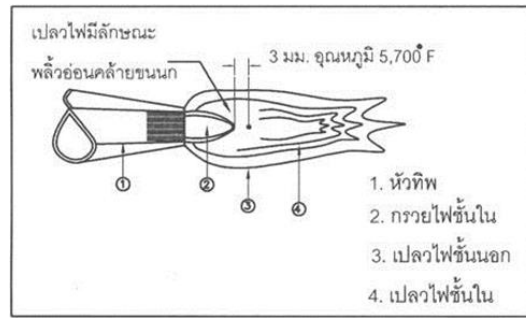
เป็นเปลวที่ได้จากการเผาไหม้ของแก๊สออกซิเจนและแก๊สอะเซทิลีนผสมกัน โดยมีปริมาณของแก๊สอะเซทิลีนมากกว่าแก๊สออกซิเจน เปลวชั้นนอกมีลักษณะเป็นเปลวยาวมีสีส้มล้อมรอบเปลวชั้นใน ซึ่งมีความยาวครึ่งหนึ่งของเปลวชั้นนอก เปลวชั้นในจะมีลักษณะพลิวเหมือนขนนก ในระยะที่ห่างจากกรวยไฟประมาณ 3 มิลลิเมตร จะมีอุณหภูมิ 5,700 องศาฟาเรนไฮต์ (2,800 องศาเซลเซียส) การเผาไหม้จะมีแก๊สอะเซทิลีนเหลืออยู่จำนวนหนึ่ง จึงเหมาะสำหรับเชื่อมงานที่ต้องการเติมคาร์บอนที่ผิวโลหะหรือเชื่อมโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก ซึ่งต้องใช้อุณหภูมิในการหลอมไม่สูงมากนักเช่นอะลูมิเนียม แมกนีเซียมและใช้ในการบัดกรีแข็งโดยมีลักษณะของเปลวดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ลักษณะของเปลวลด

2.2.3.2 เปลวกลาง (Neutral Flame)

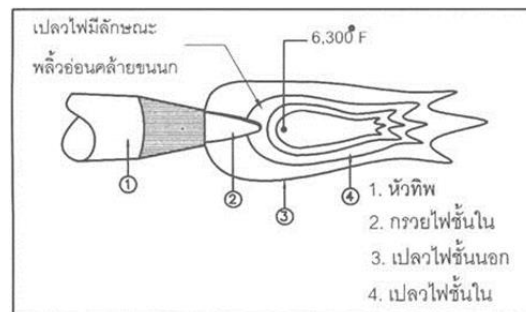
เป็นเปลวที่ได้มาจากการผสมกันระหว่างแก๊สออกซิเจนกับอะเซทิลีนในอัตราส่วน 1:1 การเผาไหม้สมบูรณ์ประกอบด้วยเปลวไฟ 2 ชั้น ชั้นในเป็นกรวยปลายมีระยะห่างจากปลายกรวยประมาณ 3 มม. จะมีอุณหภูมิประมาณ 6,000 องศาฟาเรนไฮต์หรือ 3,150 องศาเซลเซียสเมื่อนำเปลวไฟนี้ไปเผาโลหะที่เป็นเหล็กจะหลอมละลายเป็นบ่อน้ำโลหะคล้ายน้ำเชื่อมเมื่อเย็นลงจะได้แนวเชื่อมที่สะอาดมีความแข็งแรงเปลวไฟชนิดนี้จึงเหมาะสำหรับการเชื่อมและตัดโลหะโดยเฉพาะเหล็กเนื่องจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จึงไม่เกิดการเติมธาตุคาร์บอนลงในรอยเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะของเปลวกลาง

2.2.3.3 เปลวเพิ่มหรือเปลวออกซิเจนมาก (Oxidizing Flame)

เป็นเปลวไฟที่ได้มาจากการผสมกันระหว่างแก๊สออกซิเจนกับแก๊สอะเซทิลีนโดยปรับให้ออกซิเจนมากกว่าอะเซทิลีน ลักษณะเปลวมี 2 ชั้น เปลวชั้นในเป็นรูปกรวยแหลมหดสั้นเปลวนี้มีอุณหภูมิสูงกว่าเปลวอีก 2 ชนิด ที่กล่าวมาคือ มีอุณหภูมิประมาณ 6,300 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ 3,480 องศาเซลเซียส เมื่อทำการเชื่อมจะเกิดประกายไฟหรือสะเก็ดไฟกระเด็นออกมาจากบ่อหลอมเหลว ทำให้เกิดฟองอากาศไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เชื่อมเหล็กเพราะการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะมีออกซิเจนหลงเหลืออยู่และจะถูกเติมลงในเนื้อเหล็ก ทำให้แนวเชื่อมเปราะแต่นิยมนำไปใช้ในการตัดโลหะแผ่นบาง ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลักษณะของเปลวเพิ่ม

2.3 หลักการเชื่อมแก๊ส [13]

การเชื่อมแก๊ส หมายถึง เป็นกระบวนการเชื่อมแบบหลอมละลายชนิดหนึ่ง โดยอาศัยความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของแก๊สเชื้อเพลิงและออกซิเจน ทำให้โลหะงานหลอมละลายติดกัน ในการหลอมละลายติดกันของโลหะนั้นจะเติมโลหะหรือให้โลหะหลอมละลายติดกันเองได้ แก๊สที่ใช้ในการเชื่อมประกอบด้วยออกซิเจน (O₂) และแก๊สอะเซทิลีน (C₂H₂) หรือบางครั้งเรียกการเชื่อมนี้ว่า ออกซิ-อะเซทิลีน (Oxyacetylene Welding: OAW) แก๊สเชื้อเพลิงที่สามารถใช้ในกระบวนการเชื่อมแก๊สนั้นมีหลายชนิด เช่น แก๊สอะเซทิลีน แก๊สโพรเพน แก๊สไฮโดรเจน เป็นต้น แก๊สอะเซทิลีนนิยมนำมาใช้งานมาก เพราะทำให้ปริมาณความร้อนสูงถึง 3,480 องศาเซลเซียส และลวดเชื่อมที่ใช้เดิมมีความยาว 90 มม. โด 1.6-9.5 มม. ซึ่งเป็นโลหะชนิด

เดียวกันกับโลหะงานที่จะทำการเชื่อมในการผสมระหว่างออกซิเจน กับ แก๊สอะเซทิลีน ในอัตราส่วนต่าง ๆ จะได้ชนิดของเปลวไฟเชื่อมแก๊สมี 3 ชนิด และเปลวไฟทั้ง 3 ชนิดนี้จะให้ความร้อนต่างกันคือ

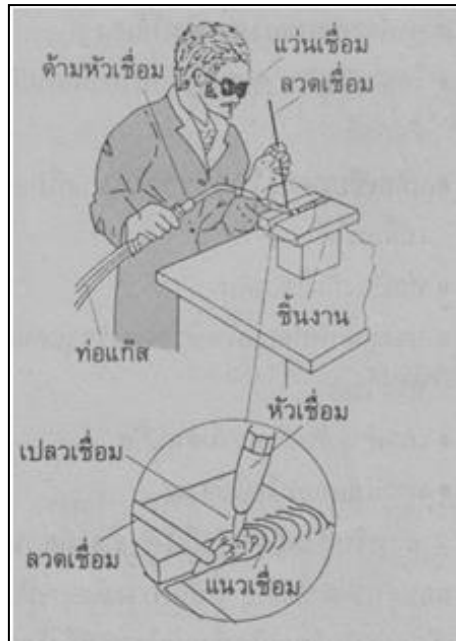
1. เปลวคาร์บูไรซิ่ง (Carburizing Flame) ให้ความร้อนประมาณ 3,150 องศาเซลเซียส
2. เปลวกลาง (Neutral Flame) ให้ความร้อนประมาณ 3,315 องศาเซลเซียส
3. เปลวออกซิไดซิ่ง (Oxidizing Flame) ให้ความร้อนประมาณ 3,480 องศาเซลเซียส

2.3.1 คุณลักษณะงานเชื่อมแก๊สและการใช้แก๊สอะเซทิลีน

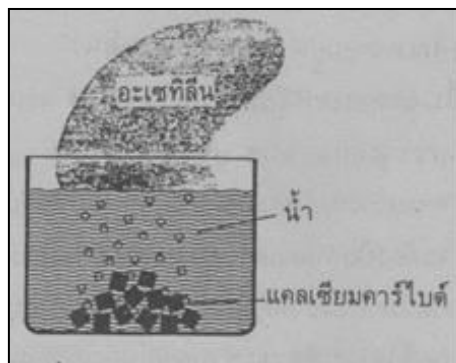
การเชื่อมโลหะด้วยแก๊สออกซิเจนอะเซทิลีน เป็นการเชื่อมซึ่งจัดอยู่ในประเภทงานเชื่อมหลอมเหลววิธีหนึ่ง แหล่งความร้อนที่ให้กับชิ้นงานได้จากพลังงานทางเคมีซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ระหว่างแก๊สอะเซทิลีน ซึ่งเป็นแก๊สเชื้อเพลิงและแก๊สออกซิเจน อุณหภูมิจากการเผาไหม้ นั้นสูงมากพอที่จะหลอมละลายโลหะงานได้ การเผาไหม้จะสมบูรณ์มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของแก๊สทั้งสองและอัตราส่วนผสมที่พอเหมาะถ้าแก๊สทั้งสองบริสุทธิ์และอัตราส่วนที่เหมาะสมเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ให้ความร้อนสูงถึง 3,200 °C และจะไม่มีเขม่าหรือควัน

ปัจจุบันงานเชื่อมโลหะด้วยวิธีนี้สามารถเชื่อมโลหะได้แทบทุกชนิด มีหลักการที่ไม่ยุ่งยาก และมีข้อดีกว่างานเชื่อมหลอมเหลวอื่น ๆ เพราะแหล่งกำเนิดความร้อนชิ้นงานที่จะเชื่อม และลวดเชื่อมแยกจากกัน ทำให้ปฏิบัติงานเป็นไปด้วยความสะดวกรวดเร็ว นอกจากนั้นความดันของแก๊สจากเปลวไฟเชื่อม ยังสามารถใช้เป็นตัวควบคุมน้ำโลหะที่กำลังหลอมเหลวในขณะที่เชื่อมตำแหน่งต่าง ๆ ได้ดีอีกด้วย อีกประการหนึ่ง เปลวไฟชิ้นนอกจะทำหน้าที่เป็นม่านบังอากาศบริเวณรอบ ๆ ซึ่งจะเป็นส่วนป้องกันไม่ให้ออกซิเจนจากบรรยากาศเข้าไปรวมตัวกับน้ำโลหะที่แนวเชื่อมได้แนวเชื่อมจะมีความแข็งแรงมากนอกจากนั้นเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมก็ไม่ยุ่งยากและราคาไม่แพงและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย

2.3.3.1 เชื่อมเหล็กเหนียวด้วยแก๊ส

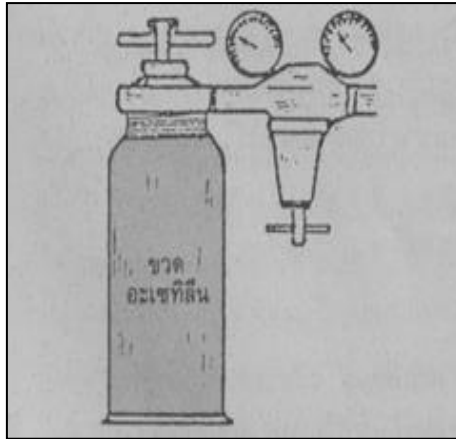


รูปที่ 2.10 การเชื่อมเหล็กเหนียวด้วยแก๊ส

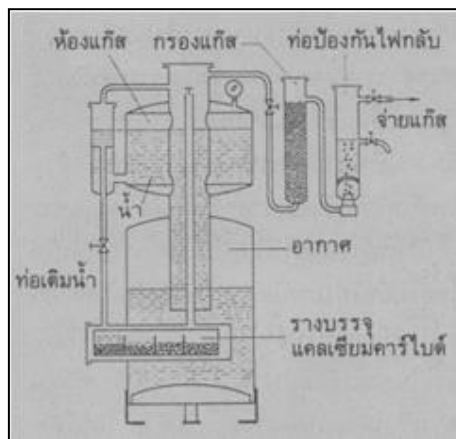


รูปที่ 2.11 ประลองผลิตอะเซทิลีน

งานเชื่อมโลหะด้วยแก๊สสองชนิดนี้ สามารถใช้เชื่อมโลหะขนาดบางมากไปจนถึงขนาดหนาประมาณ 20 มม. แต่ในทางปฏิบัติแล้ว นิยมใช้เชื่อมชิ้นงานขนาดเล็กหรือบางเท่านั้น ชิ้นงานที่หนามักจะเชื่อมโดยการอาร์คด้วยไฟฟ้าหรือวิธีอื่นซึ่งจะสะดวกกว่า โดยเฉพาะถ้าเป็นเหล็กเหนียวทั่วไป สามารถเชื่อมได้โดยไม่มีข้อยุ่งยากใดๆ แต่ถ้าเป็นโลหะอื่นนอกเหนือออกไปจำเป็นต้องใช้ฟลักซ์ (Flux) ช่วย ในขณะที่เชื่อมประกอบกับการใช้เทคนิคในการเชื่อมที่แตกต่างกันออกไปด้วยโลหะดังกล่าวนี้ เช่น ทองเหลือง ทองแดง อะลูมิเนียม สแตนเลส ฯลฯ



รูปที่ 2.12 ถังผลิตอะเซทิลีนใช้เองพร้อมท่อป้องกันไฟกลับ



รูปที่ 2.13 ขวดบรรจุอะเซทิลีนสำเร็จ

2.3.3.2 อะเซทิลีนผลิตใช้เอง

ถังผลิตแก๊สหรือถังเตรียมใช้เองมีหลายแบบและขนาดต่าง ๆ กันตามขนาดและความต้องการของปริมาณแก๊สที่ใช้การผลิตโดยนำเอาสารแคลเซียมคาร์ไบด์ซึ่งมีลักษณะเป็นก้อน ๆ สีเทา ๆ มาจุ่มลงในน้ำก็จะได้แก๊ส อะเซทิลีน

2.4 หลักการเชื่อมโลหะแบบทิก [14]

กรรมวิธีการเชื่อมโลหะแบบทิก (TIG - GTAW) คือ ความร้อนที่ทำให้โลหะหลอมละลายนั้น เกิดจากการอาร์ค ระหว่างแท่งทังสเตนอิเล็กโทรด (Tungsten electrode) กับชิ้นงาน ขณะเดียวกันบริเวณที่เกิดการอาร์ค จะมีแก๊สเฉื่อย (Inert gas) ปกคลุมบริเวณนั้น เพื่อป้องกันออกซิเจน ไนโตรเจน และความชื้นในอากาศเข้ามา รวมกับโลหะที่กำลังหลอมละลาย ซึ่งเรียกว่า เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจนกระทั่งความร้อนจากการอาร์ค หลอมละลายโลหะชิ้นงานในบริเวณดังกล่าว จนเกิดเป็นบ่อหลอมละลาย ดังนั้นเมื่อบ่อหลอมละลายเกิดขึ้น

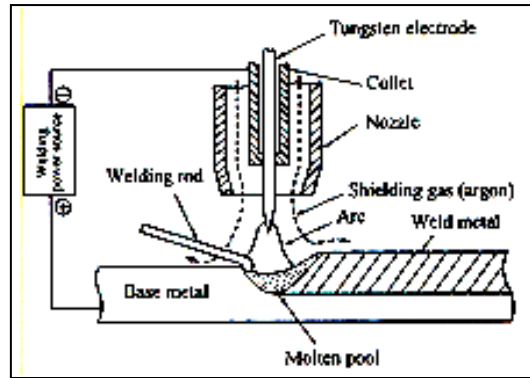
ในบริเวณรอยต่อใดๆ ก็จะทำให้ชิ้นงานนั้นหลอมติดกัน แต่เนื่องจากแท่งทังสเตนอิเล็กโทรดเป็นวัสดุที่ไม่ละลายหรือไม่สิ้นเปลือง (Non Consumable Electrode) จึงจำเป็นต้องเติมโลหะลวดเชื่อม (Filer metal) ลงไปในบ่อหลอมละลายนั้นด้วย กรณีที่ทำการเชื่อมโลหะบางๆ อาจไม่จำเป็นต้องเติมโลหะลวดเชื่อม (Filer metal) ก็ได้ การเชื่อม TIG สามารถเชื่อมเหล็กที่มีความหนาตั้งแต่ 0.79 มิลลิเมตร ถึง 4 มิลลิเมตร ได้



รูปที่ 2.14 การเชื่อมทิก (TIG)

2.4.1 เครื่องเชื่อม (Power Source)

เครื่องเชื่อมทิก ควรเป็นเครื่องเชื่อมที่มีการออกแบบเป็นพิเศษ ซึ่งต้องมีระบบความถี่สูง (H.F) และสวิตซ์อัตโนมัติ (Solenoid Valve) สำหรับการควบคุมการไหลของแก๊ส เพื่อให้สมบูรณ์ในการหลอมละลายการเชื่อม และการระบายความร้อนของหัวเชื่อมรวมตัวกันอยู่ในเครื่องด้วย โดยทั่วไปเครื่องเชื่อมจะเป็นแบบทรานฟอเมอร์-เรกติไฟเออร์ (Transformer - Rectifier) ขับด้วยมอเตอร์หรือเครื่องยนต์ก็ได้ รวมไปถึงเครื่องเชื่อมแบบ Inverter ที่สามารถนำมาใช้งานได้สะดวกและมี ฟังก์ชันเพื่อใช้ให้สะดวกมากยิ่งขึ้น ในแบบทรานฟอเมอร์-เรกติไฟเออร์นั้น ผู้ปฏิบัติสามารถเลือกกระแสไฟฟ้าเชื่อมตามลักษณะงานได้คือ กระแสตรงขั้วลบ (DCEN, DC-) และ กระแสตรงขั้วบวก (DCEP, DC+) หรือ กระแสสลับ (AC) สำหรับระบบความถี่สูงนั้นช่วยให้การเริ่มต้นในการอาร์คง่ายขึ้น



รูปที่ 2.15 เครื่องเชื่อมTIG แบบ Transformer-Rectifier

2.4.2 ระบบกระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อม

ระบบกระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อมกระแสไฟที่นิยมใช้ในกระบวนการเชื่อมทิกนั้นมี 3 แบบด้วยกันคือ

2.4.2.1 กระแสตรงขั้วลบ (Direct Current Electrode Negative) DCEN.

2.4.2.2 กระแสตรงขั้วบวก (Direct Current Electrode Positive) DCEP.

2.4.2.3 กระแสสลับความถี่สูง (Alternating Current & High Frequency) ACHF.

2.4.3 ตัวแปรของกระบวนการเชื่อมทิกมีหลายตัวแปรดังนี้

2.4.3.1 กระแสไฟฟ้า (Arc Current) เป็นตัวที่ควบคุมการซึมลึกของการเชื่อม ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมนั้นจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงานที่ต้องการเชื่อมและประเภทของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ก็มีผลต่อลักษณะของบ่อหลอมด้วยเช่นกัน

2.4.3.2 แรงดันไฟฟ้า (Arc Voltage) เป็นแรงดันไฟฟ้าระหว่างหัวทังสเตนกับชิ้นงานค่าแรงดันไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้า ลักษณะรูปร่างของหัวทังสเตน ระยะห่างระหว่างหัวทังสเตนกับชิ้นงานและชิ้นงานและชนิดของแก๊สปกคลุมที่ใช้

2.4.3.3 ความเร็วในการเชื่อม (Travel Speed) มีผลกระทบต่อการซึมลึกในการเชื่อม ถ้าความเร็วในการเชื่อมเร็วเกินไปอาจทำให้ลวดเชื่อมไม่สามารถหลอมรวมเข้ากับชิ้นงานได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการป้อนลวดด้วย

2.4.3.4 อัตราการป้อนลวด (Wire Feed Rate) เป็นความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมลงไปบ่อหลอม ถ้าป้อนลวดช้าเกินไปจะทำให้ลวดเชื่อมไม่สามารถหลอมรวมเข้ากับชิ้นงาน (undercut) การแตกร้าว (cracking)

2.4.4 แก๊สสำหรับใช้ปกคลุมแนวเชื่อม

สมบัติพื้นฐานของแก๊สปกคลุมรอยเชื่อมได้แก่

2.4.4.1 สามารถปกคลุมบริเวณอาร์ค ป้องกันอากาศภายนอกเข้ามาทำปฏิกิริยาและความสกปรกกับโลหะหลอมเหลว เช่น ไนโตรเจน ออกซิเจนและความชื้น

2.4.4.2 สมบัติทางความร้อน ได้แก่ การนำความร้อน การพาความร้อน ซึ่งมีอิทธิพลต่อแรงเคลื่อนอาร์คและมีผลต่อรูปร่างรอยเชื่อม

2.4.4.3 การเกิดปฏิกิริยา บริเวณผิวหน้าชิ้นงาน เช่นปฏิกิริยาทำความสะอาดชิ้นงานเพื่อกำจัดออกไซด์ออก

2.5 ข้อมูลพื้นฐานของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 [15]

เหล็กเกรด SS400 มี Specification อยู่ในมาตรฐาน ญี่ปุ่น JIS G3101 ปี ค.พ.1987 ส่วนผสมทางเคมีใกล้เคียงกับเกรด SS41 ใน JIS G3101 ปี ค.พ.1996 หรือ ปี ค.พ.2001 ซึ่งควบคุมส่วนผสมฟอสฟอรัส (P) ไม่เกิน 0.050 เปอร์เซ็นต์ และซัลเฟอร์ (S) ไม่เกิน 0.050 เปอร์เซ็นต์ มีความแข็งประมาณ 116 - 152 HB เหล็กที่ชุบแข็งมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการประกอบหรือขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เหล็กได้แก่ ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลการเกษตร งานท่อเหล็กต่าง ๆ รวมถึงเป็นการผลิตชิ้นส่วนรถบรรทุก

มีความต้านแรงดึง 400-510 N/mm². ความต้านแรงดึงจุดครากต่ำสุด 245 N/mm². (สำหรับความหนาน้อยกว่าหรือเท่ากับ 16 มิลลิเมตร) ร้อยละการยืดตัวต่ำสุด 21 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับเหล็กแผ่นที่ความหนาน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 มิลลิเมตร) ความหนาตั้งแต่ 0.140 - 3.200 มิลลิเมตรและความกว้างตั้งแต่ 600 - 1550 มิลลิเมตร

ปัจจุบันผลิตได้ตั้งแต่ความหนา 1.000 - 19.000 มิลลิเมตร ที่ความกว้าง 750 - 1550 มิลลิเมตร ส่วนความยาวนั้นก็ขึ้นอยู่กับน้ำหนัก ความกว้าง และความหนาของเหล็กม้วน

2.6 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา (Metallurgical Investigation) [16]

2.6.1 การศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยา แบ่งเป็น

2.6.1.1 การตรวจสอบในระดับมหภาค (Macro-scopic examination) เป็นการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาของตัวอย่างชิ้นงานโดยใช้กำลังขยายต่ำกล่าวคือ เมื่อเตรียมชิ้นงานโดยการขัดหยาบ ขัดละเอียด ขัดเงา (Polishing) และกัดกรด (Etching) แล้วสามารถตรวจสอบได้โดยตาเปล่า (Visual inspection) หรืออาจใช้กำลังขยายได้ไม่เกิน 10 เท่า

2.6.1.2 การตรวจสอบในระดับจุลภาค (Micro - scopic examination) เป็นการตรวจสอบโครงสร้างของชิ้นงานโลหะโดยใช้กำลังขยายที่สูงขึ้นกล่าวคือ ตั้งแต่ 10 เท่าเป็นต้นไป ซึ่งอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างฯ ในระดับจุลภาค คือ กล้องจุลทรรศน์สำหรับงานทางโลหะวิทยา (Metallurgical microscope) หรือกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope) โดยจะมีกำลังขยายอยู่ระหว่าง 10-1,000 เท่า ที่กำลังขยายสูงช่วยให้การจำแนกชนิดของเฟส (Phase) โครงสร้าง (Structure) ที่ปรากฏอยู่ รวมถึงลักษณะรูปร่าง และขนาดของเฟส หรือโครงสร้างนั้นๆ ในชิ้นงานตัวอย่างได้ง่ายขึ้น ในบางกรณีที่

โครงสร้าง หรือเฟสที่ปรากฏในตัวอย่างชิ้นงานมีขนาดที่เล็กมากจนไม่สามารถตรวจสอบได้ที่ระดับกำลังขยาย 10-1,000 เท่า จึงต้องมีการเลือกใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่มีศักยภาพสูงในที่นี้คือมีกำลังขยายที่มากกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง และใช้แหล่งกำเนิดแสงจากลาแสงอิเล็กตรอนดังนั้นกล้องชนิดนี้จึงได้ชื่อว่า “กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน” (กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้งานในทางโลหะกรรมมีอยู่ 2 ชนิดคือกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน)

2.7 การทดสอบสมบัติทางกล (Mechanical Testing) [17]

2.7.1 การทดสอบความแข็ง(Hardness Testing)

การทดสอบความแข็งแบบ Vickers เป็นการทดสอบความแข็งโดยใช้หัวกดเพชรรูปพีรามิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็ก ซึ่งมีองศาของปลายแหลม 136 องศา และน้ำหนักกดที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 5-120 กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับความแข็งของโลหะที่ทดสอบ ซึ่งทำให้วิธีนี้มีข้อได้เปรียบกว่า Brinell คือ ไม่ต้องคำนึงถึงอัตราส่วน P/D2 และข้อจำกัดในด้านความหนาของชิ้นงานทดสอบเนื่องจากหัวกดเพชรมีขนาดเล็กมากกว่าการทดสอบนี้มีหลักการเดียวกันกับการทดสอบความแข็ง Brinell คือค่าความแข็งที่ได้คิดจากน้ำหนักกดที่กระทำต่อพื้นที่ของรอยกดการใช้งานจึงสามารถวัดค่าความแข็งได้ตั้งแต่โลหะที่นิ่มมาก (HV ประมาณ 5) จนถึงโลหะที่แข็งมากๆ (VHN ประมาณ 1500) โดยไม่ต้องเปลี่ยนหัวกด

$$\text{พื้นที่รอยกด} = \frac{d^2}{2 \sin(136^\circ/2)}$$

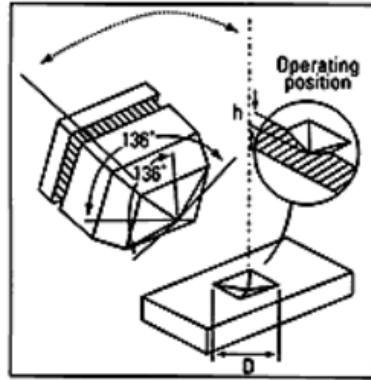
$$\text{ซึ่งจะมีค่าโดยประมาณ} = \frac{d^2}{1.8544}$$

ดังนั้นค่าความแข็ง Vickers หัวกดเพชรพีรามิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส DPH (Vickers Diamond Pyramid Hardness) หรือ HV (Vickers Hardness)จะมีค่าดังสมการ

$$\text{จากความแข็ง Vickers} = \frac{\text{แรงกด}}{\text{พื้นที่รอยกด}}$$

$$\text{จะได้ DPH} = \frac{1.854F}{d^2}$$

เมื่อ DPH คือความแข็ง Vickers (kg/mm²) F คือน้ำหนักกด (kg) และ d คือความยาว เส้นทแยงมุมเฉลี่ย (mm)



รูปที่ 2.16 ลักษณะหัวกดและรอยกดของการทดสอบความแข็ง Vickers

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 การปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการเชื่อมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ : กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

ฐิติภรณ์ ภูเพ็งใจ พรเทพ ขอบฉายเกียรติ

ได้ทำการวิจัยนี้เพื่อปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการเชื่อมผลิตภัณฑ์ SR Type ให้มีจำนวนของเสียลดลง เมื่อทำการลำดับความสำคัญของปัญหาด้วยแผนภาพพาเรโต ปัญหาการเกิดรอยเชื่อมด้านข้างไม่สมบูรณ์มีจำนวนมากที่สุด เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐาน ดังนั้นจึงดำเนินการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่ทำให้เกิดรอยเชื่อมด้านข้างไม่สมบูรณ์โดยใช้แผนภาพเหตุและผล พบว่าปัจจัยการทำฟลักซ์ D และการทำฟลักซ์ E ส่งผลให้เกิดรอยเชื่อมด้านข้างไม่สมบูรณ์ จึงใช้หลักการออกแบบการทดลองในการกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมกับการดำเนินการเชื่อมผลิตภัณฑ์ SR Type ของโรงงานกรณีศึกษา ผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยการทำฟลักซ์ D และการทำฟลักซ์ E ในปริมาณที่เหมาะสม (3 ถึง 5 มิลลิกรัม) จะทำให้ชิ้นงานเชื่อมมีคุณภาพตามมาตรฐานมากที่สุด และจากการกำหนดรูปแบบการทำงานที่นำเสนอโดยใช้หลักการการศึกษาการทำงาน พบว่าจำนวนชิ้นงานที่เกิดรอยเชื่อมด้านข้างไม่สมบูรณ์จากรูปแบบการทำงานที่นำเสนอลดลง จากวิธีการทำงานปัจจุบันคิดเป็นร้อยละ 93.28 [18]

2.8.2 ความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กกล้า AISI 4140 ที่เคลือบผิว ด้วยไอทางกายภาพ

พรวสา วงศ์ปัญญา

ได้ทำการวิจัยความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กกล้า AISI 4140 ที่เคลือบผิวด้วยการเคลือบไอทางกายภาพ จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือศึกษาความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กกล้า AISI 4140 ที่เคลือบผิวด้วยการเคลือบไอทางกายภาพ โดยศึกษาผลของความหยาบผิวของเหล็กกล้า AISI 4140 ก่อนเคลือบและผลของค่าความเป็น กรด-ด่าง ของสารละลายที่มีต่อความต้านทานการกัดกร่อนในเบื้องต้น จากการวิจัยพบว่าชิ้นงานเหล็กกล้า AISI 4140 ที่ถูกเคลือบผิวด้วยโครเมียมไนไตรด์และชิ้นงานเหล็กกล้า AISI 4140 ที่ถูกเคลือบผิวด้วยไทเทเนียมไนไตรด์มีความต้านทานการกัดกร่อนที่ใกล้เคียงกันและดีกว่าชิ้นงานเหล็กกล้าที่ไม่ถูกเคลือบที่ทุกค่าพีเอช โดยความหยาบของเหล็กกล้า 4140 ก่อนการเคลือบผิวที่ลดลงและสารละลายที่มีค่าพีเอชเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ชิ้นงานมีความต้านทานการกัดกร่อนดีขึ้น นอกจากนี้พบว่าพื้นผิวของชิ้นงานเหล็กกล้า AISI 4140 ที่ถูกเคลือบผิวด้วยโครเมียมไนไตรด์และชิ้นงานเหล็กกล้า AISI 4140 ที่ถูกเคลือบผิวด้วยไทเทเนียมไนไตรด์หลังทดสอบการกัดกร่อนมีพื้นที่ที่ถูกกัดกร่อนและปริมาณผลิการกัดกร่อนที่น้อยกว่า ชิ้นงานที่ไม่ถูกเคลือบผิว [19]

2.8.3 พฤติกรรมการสึกหรอแบบขัดสีของผิวเชื่อมพอกผิวแข็งบนเหล็ก AISI 1020

สุพร อุทธิภักดี

ได้ทำวิจัยการศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอแบบขัดสีของชั้นผิวเชื่อมพอกแข็ง โดยกรรมวิธีการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ใช้ลวดเชื่อมพอกแข็ง มาตรฐาน DIN8555 กลุ่มที่10 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.00 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นกรรมวิธีอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มความแข็งของชั้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอน AISI1020 ทั้งนี้เพื่อป้องกันการสึกหรอแบบขัดสี การทดสอบการสึกหรอเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM G65 ผลิตภัณฑ์ A ทดสอบแบบ Dry Sand Rubber Wheel : (DSRW) ค่าความแข็งของชั้นผิวเชื่อมพอกแข็งของลวดเชื่อม E10-UM-65-GR สูงกว่าชั้นผิวเชื่อมพอกผิวแข็งลวดเชื่อม E10-UM-60-GR และ ผลการทดสอบการสึกหรอของชั้นผิวเชื่อมพอกแข็งพบว่า ชั้นผิวแนวเชื่อมที่มีแนวเชื่อม 2 ชั้น ของลวดเชื่อม E10-UM-65-GR มีการต้านทานการสึกหรอแบบขัดสีสูงกว่าชั้นผิวเชื่อมพอกแข็งของลวดเชื่อม E10-UM-65-GR ชั้นผิวเชื่อม 3 และ 1 และชั้นผิวเชื่อมพอกแข็งของลวดเชื่อม E10-UM-60-GR ชั้นผิวเชื่อม 3, 2 และ 1 ตามลำดับ [20]

2.8.4 การเปรียบเทียบความแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางระหว่างการอบชุบ และการเชื่อม พอกผิวสำหรับงานด้านทานการเสียดสี

ศุขอังคณา ดี, โฆกุล วิริยาธนะนาโชติ, วัชรินทร์ อระบุตร, จุฑารัตน์ สมสุข และ เบญจมาศ เบญจรัฐ
ได้ทำการวิจัยการเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการอบชุบ และการเชื่อมพอกผิว ต่อความแข็งของเหล็กกล้า
คาร์บอนปานกลาง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้เพิ่มความด้าน
การสึกหรอสำหรับชิ้นงานเครื่องจักรกล อาทิ สกรูรีดอัด สกรูบด ที่ผลิตจากเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง ที่
มักประสบปัญหาการสึกหรอแบบขัดสีค่อนข้างสูงในระหว่างการใช้งาน เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางที่
ศึกษา คือเพลาเกรด S45C ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว มีค่าความแข็งเฉลี่ย 230HV ส่วนผสม ทางเคมี
0.5%C, 0.64Mn, 0.32Cr และ 0.23Si การทดลองชุดที่หนึ่ง ทำการทดลองอบชุบ 3 แบบ คือ ออสเทมเปอร์รี้ง
, มาร์เทมเปอร์รี้ง และ ชุบน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 850 OC และ 900 OC พบว่า การชุบน้ำมันให้ค่าความแข็ง
เพิ่มขึ้นสูงสุด โครงสร้างจุลภาคที่ปรากฏคือ เฟอร์ไรต์ เบนไนท์ และ มาร์เทนไซต์ ค่าความแข็งสูงสุด 510
HV เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 120 การทดลองชุดที่สองเป็นการทดสอบการเชื่อมพอกผิวด้วยลวดเชื่อม
มาตรฐาน DIN 8555 ซึ่งเป็นเกรดสำหรับเชื่อมพอกผิวแข็ง พบว่าลวดเชื่อม ชนิดที่ 1 มาตรฐาน DIN 8555: E
10-UM-60R ส่วนประกอบทางเคมี 4.3%C, 35%Cr โครงสร้างจุลภาคเนื้อเชื่อมประกอบด้วยมาร์เทนไซต์
และโครเมียมคาร์ไบด์ มีค่าความแข็งค่อนข้างสูงประมาณ 751.8 HV คิดเป็นเพิ่มขึ้นร้อยละ 227 และ
ลวดเชื่อมชนิด ชนิดที่ 2 มาตรฐาน DIN 8555: E 1-UM--350 ส่วนประกอบทางเคมี 0.16%C, 1.55%Cr,
0.43%Si 1.32%Mn มีค่าความแข็งเฉลี่ย 308 HV เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 34 [21]

บทที่ 3

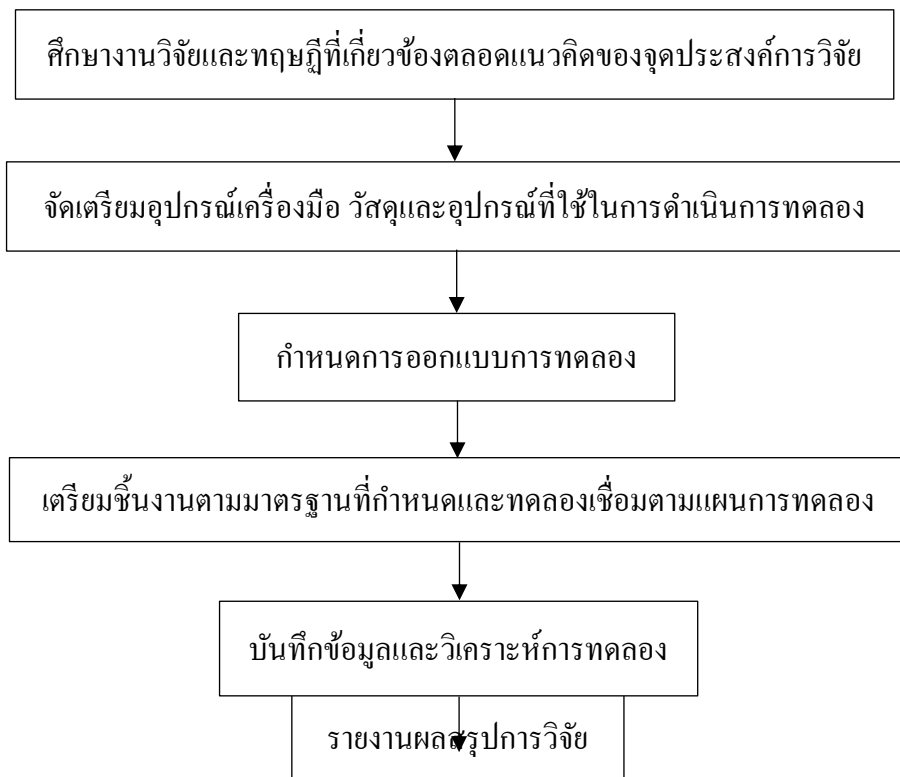
การศึกษาและวิธีดำเนินการ

ในการศึกษางานและดำเนินการวิจัยในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในหัวข้อเรื่อง “การศึกษาผลกระทบของกระบวนการเชื่อมต่อสมบัติทางกลของการเชื่อมพอกผิวแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยทั้งสแตนคาร์ไบด์” โดยขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1. ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องตลอดแนวคิดและจุดประสงค์ของการวิจัย
2. จัดเตรียมเครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการทดลอง
3. กำหนดการออกแบบการทดลอง
4. เตรียมชิ้นงานตามมาตรฐานที่กำหนดและทดลองเชื่อมตามแผนการทดลอง
5. บันทึกข้อมูล วิเคราะห์และสรุปผลของการวิจัยจากการทดลองผลกระทบของ

กระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งบนเหล็กกล้าคาร์บอน

3.1 องค์ประกอบการวางแผนงานก่อนเริ่มลงมือปฏิบัติ



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2 แผนการดำเนินงานวิจัย (Gantt chart)

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย (Gantt chart) (พ.ค. 57 – มิ.ย. 58) ระยะเวลา 1 ปี 2 เดือน

รายละเอียด	เดือน											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ก. การเตรียมการ												
1.4.1.1 ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีงานวิจัยเกี่ยวกับงานเชื่อม	←→											
1.4.1.2 เลือกวัสดุที่ต้องการเชื่อมและออกแบบงานเชื่อม		←→										
ข. การลงมือปฏิบัติ												
1.4.1.3 เชื่อมชิ้นงานทดสอบตามแบบที่วางไว้												
1.4.1.4 ทำการเชื่อมพอกผิวแข็ง												
ค. การประมวลผลและการวิเคราะห์ข้อมูล												
1.4.1.5 วิเคราะห์สมบัติทางกล และวัดความแข็ง												
ง. การเขียนรายงานและการเผยแพร่ผลงาน												
1.4.1.6 สรุปผลการทดลองและส่งรายงานการวิจัย												

3.3 เครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยได้รับการสนับสนุนและอำนวยความสะดวกจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีการอบรมความปลอดภัยและการใช้เครื่องมือที่ถูกต้องหลักวิธี โดยรับสิทธินักศึกษาโครงการวิจัยได้ใช้เครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์ ประกอบไปด้วย

3.3.1 เครื่องเชื่อมทิก

เครื่องเชื่อมเป็นระบบ Transformer-Rectifier เครื่องหมายการค้า HOBART (รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.2 เครื่องเชื่อมที่ใช้ในการทดลอง

3.3.2 ชุดอุปกรณ์การเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีน (รูปที่ 3.3)



รูปที่ 3.3 ชุดอุปกรณ์การเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีน

3.3.3 วัสดุทดลองเชื่อม

วัสดุทดลองเชื่อมเป็นเหล็กรีดร้อน (Hot Rolled Steel) ตามมาตรฐาน JIS เกรด SS400 เป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในงานโครงสร้างทั่วไป มีส่วนผสมทางเคมีและคุณสมบัติทางกล แสดงในภาคผนวก ก

3.3.4 ลวดเชื่อม

ลวดเชื่อมที่ใช้ในการทดลอง เป็นลวดเชื่อมทังสเตนคาร์ไบด์ (รูปที่ 3.4)



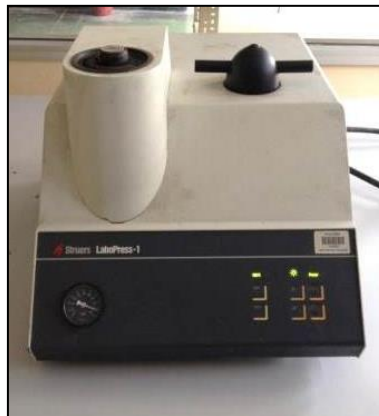
รูปที่ 3.4 ลวดเชื่อมทังสเตนคาร์ไบด์

3.3.5 เครื่องตัด Wire Cut รุ่น CHARMILLES TECHNOLOGIES (รูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.5 เครื่องตัด Wire Cut

3.3.6 เครื่องอัดชิ้นงานด้วยเรซิน (Hot Mounting Presses) (รูปที่ 3.6)



รูปที่ 3.6 เครื่องอัดเรซิน

3.3.7 เครื่องขัดกระดาษทรายแบบจานหมุน (รูปที่ 3.7)



รูปที่ 3.7 เครื่องขัดกระดาษทรายแบบจานหมุน

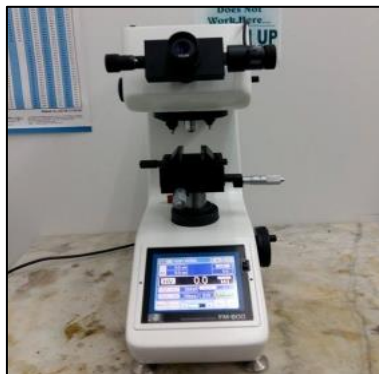
3.3.8 เครื่องขัดผงอะลูมินา (Al₂O₃) (รูปที่ 3.8)



รูปที่ 3.8 เครื่องขัดผงอะลูมินา (Al₂O₃)

3.3.9 เครื่องมือในการทดสอบสมบัติทางกล

เครื่องทดสอบความแข็ง เป็นเครื่องทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งของชิ้นทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ (Micro Vickers) เครื่องหมายการค้า FUTURE-TECH โมเดล FM-800 สามารถอ่านผลการทดสอบจากเครื่อง โดยตรงเป็นตัวเลขดิจิทัล หัวกดเพชรมุม 136 องศาใช้วัดความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ (รูปที่ 3.9)



รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์

3.4 การกำหนดปัจจัยและการออกแบบการทดลอง

จุดประสงค์ในการทดลองในครั้งนี้ เพื่อศึกษาผลกระทบของกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งบนเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยทั้งสแตนคาร์ไบด์ โดยลักษณะวิธีการเชื่อมด้วยแก๊สออกซิเจนอะเซทิลีน (OXY ACETYLENE WELDING : OAW) กับกระบวนการเชื่อมแบบ TIG (GAS TUNGSTEN ARC WELDING : GTAW) ต่อสมบัติทางกลโดยการทดสอบความแข็ง ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดปัจจัยในการทดลองดังนี้

3.4.1 ปัจจัยที่กำหนดค้ำให้คงที่ในการเชื่อม

- 3.4.1.1 เครื่องเชื่อมและชุดอุปกรณ์ควบคุมการเชื่อม
- 3.4.1.2 วัสดุชิ้นงานทดลองเชื่อม เหล็กกล้าคาร์บอนตามมาตรฐาน JIS เกรด SS400
- 3.4.1.3 ลวดเชื่อมทั้งสแตนคาร์ไบด์
- 3.4.1.4 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา
- 3.4.1.5 การทดสอบสมบัติทางกล การวัดความแข็ง ตามมาตรฐาน E92
- 3.4.1.6 ค่าพารามิเตอร์ในการเชื่อม ดังแสดงในตารางที่ 3.2 และ ตารางที่ 3.3

3.4.2 ปัจจัยที่กำหนดค้ำในการเชื่อม

- 3.4.2.1 การเปรียบเทียบกระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อมกับค่าความแข็ง
- 3.4.2.2 การเปรียบเทียบความเร็วที่ใช้ในการเชื่อมกับค่าความแข็ง
- 3.4.2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติกับค่าความแข็งของการเชื่อมแบบทิกและการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีน

ค่าพารามิเตอร์ในการเชื่อมแก๊สอะเซทิลีนและค่าพารามิเตอร์ในการเชื่อมทิก ดังแสดงในตารางที่ 3.2 และ ตารางที่ 3.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ในการเชื่อมแก๊สอะเซทิลีน

ค่าพารามิเตอร์ในการเชื่อม	ค่า
เปลวไฟเชื่อม	Carburizing
แรงดันออกซิเจน (ปอนด์/ตารางนิ้ว)	3-5
แรงดันอะเซทิลีน (ปอนด์/ตารางนิ้ว)	3-5
มุมของหัวเชื่อม (องศา)	15
อัตราความเร็วในการเชื่อม (เซนติเมตร/นาที)	9.2, 11.2, 15.3

ตารางที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์ในการเชื่อมทิก

ค่าพารามิเตอร์ในการเชื่อม	ค่า
กระแสเชื่อม (แอมป์)	90, 100, 110, 120
แรงดันเชื่อม (โวลต์)	35
มุมของหัวเชื่อม (องศา)	15
อัตราความเร็วในการเชื่อม (เซนติเมตร/นาที)	9.2, 11.2, 15.3

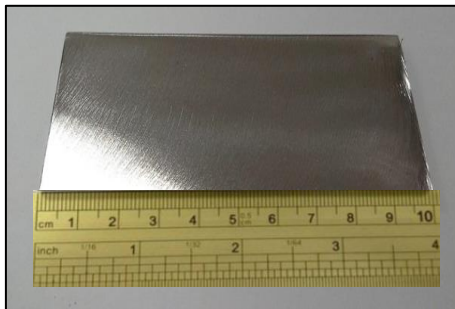
หมายเหตุ มุมของหัวเชื่อมจะควบคุมให้ทำมุม 15 องศาับแนวตั้ง และความเร็วในการเชื่อมจะควบคุมโดยใช้การจับเวลาในการเชื่อมเทียบกับระยะของแนวเชื่อม โดยช่างเชื่อมที่มีความชำนาญในการเชื่อมคนเดิมตลอดการวิจัย

3.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เพื่อเป็นการลดความแปรปรวนของข้อมูล ที่อาจเกิดขึ้นจากปัจจัยต่างๆ ของการดำเนินงาน เช่น การเตรียมชิ้นงานทดลอง การเชื่อมชิ้นงานทดลอง ตลอดจนการตรวจสอบและทดสอบชิ้นงานภายหลังจากการเชื่อม จึงกำหนดขั้นตอนของการดำเนินงานวิจัยให้เป็นไปตามมาตรฐานและข้อกำหนดต่างๆ ของงานเชื่อม ดังนี้

3.5.1 การเตรียมชิ้นงานทดลอง

การเตรียมชิ้นงานทดลอง โดยตัดชิ้นงานการทดลองเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด SS400 ให้ได้ขนาด 40x100x4 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.10



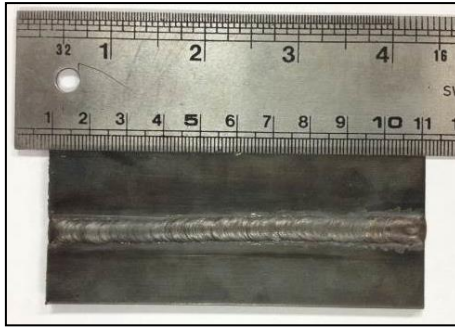
รูปที่ 3.10 ขนาดชิ้นงานทดลองเชื่อม

3.5.2 การเชื่อมชิ้นงานทดลอง

จากนั้นทำการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีนและการเชื่อมแบบทิกด้วยลวดเชื่อมทั้งเสตนคาร์ไบด์ลงบนแผ่นเหล็กกล้า SS400 ที่ได้ตัดเตรียมไว้ ดังรูปที่ 3.11 และรูปที่ 3.12



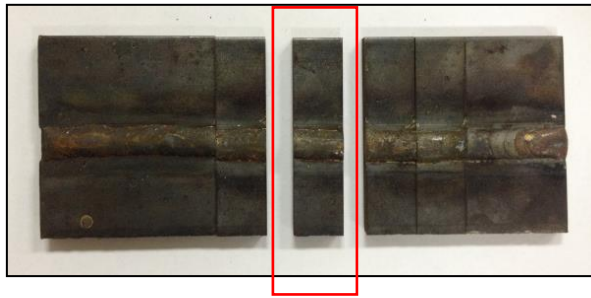
รูปที่ 3.11 ชิ้นงานที่ทำการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีน



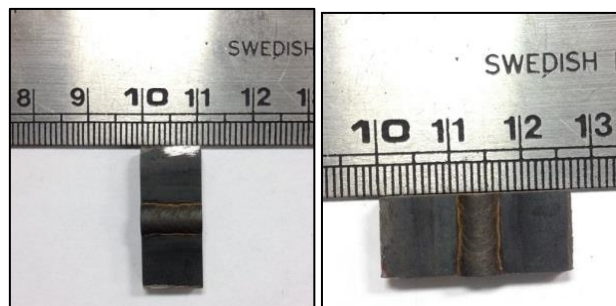
รูปที่ 3.12 ชิ้นงานที่ทำการเชื่อมแบบทิก

3.5.3 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

ในส่วนของการตรวจสอบโครงสร้างโลหะวิทยานั้น จะใช้วิธีการตรวจสอบโครงสร้าง การเตรียมชิ้นงานมีวิธีการดำเนินงาน คือ นำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อมเรียบร้อยแล้ว มาตัดแบ่งเป็นชิ้น ทดสอบแต่ละอย่าง แสดงในรูปที่ 3.13 ซึ่งจะนำชิ้นงานไปตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาได้



รูปที่ 3.13 ชิ้นงานที่ตัดแบ่งมาทดสอบ



รูปที่ 3.14 ขนาดชิ้นงานที่นำไปตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

การเตรียมชิ้นงานสำหรับตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา โดยนำชิ้นงานที่ตัดได้ขนาด 10x26 มิลลิเมตร แสดงในรูปที่ 3.14 มาเตรียมเป็นชิ้นงานตรวจสอบ โดยมีวิธีดังนี้

3.5.3.1 การตัดชิ้นงานเชื่อมที่ต้องการตรวจสอบโครงสร้างโดยทำการตัดด้วยเครื่องไวร์คัท (Wire Cut) ทั้งนี้ก็เพราะว่าหลีกเลี่ยงให้เกิดความร้อนน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ สำหรับขนาดของชิ้นงานตรวจสอบกำหนดให้ขนาด 10x26 มม. เพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสมกับการนำไปหล่อทำตัวเรือน(Mounting)

3.5.3.2 การทำตัวเรือน (Mounting) นำชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบโครงสร้าง ฯ ทำการหล่อตัวเรือนขึ้นมา เนื่องจากชิ้นงานทดลองมีขนาดเล็กจนไม่สามารถที่จะจับถือได้สะดวกในระหว่างกระบวนการขัดหยาบ ขัดละเอียด และขัดเงา

3.5.3.3 เตรียมผิวชิ้นงานโดยการขัดด้วยกระดาษทรายโดยเรียงลำดับตั้งแต่ระดับความหยาบไปจนถึงละเอียด(เบอร์ 150, 180, 320, 400, 600, 800, 1000 และ 1200 ตามลำดับ) ในขณะการขัดอยู่เปิดน้ำตลอดเวลา เพื่อให้น้ำชำระสิ่งสกปรกซึ่งได้แก่ผงโลหะ

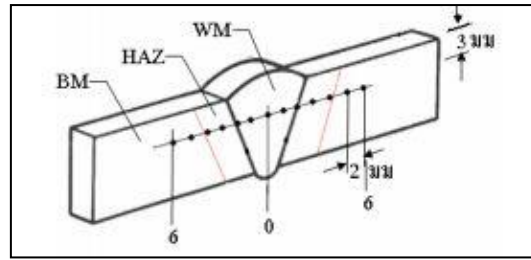
3.5.3.4 การขัดผิวด้วยผงขัด (Polishing) เป็นการขัดผิวมันของชิ้นตรวจสอบด้วยผงอะลูมินา (Al₂O₃) โดยการขัดด้วยผงขนาด 0.03 ไมครอน และผงขัดขนาด 0.05 ไมครอน ตามลำดับ ด้วยจานหมุนที่ห่อหุ้มด้วยผ้าสักหลาด ใช้ผงขัดผสมกับน้ำเทลงบนสักหลาดแล้วขัดผิวจนเป็นมัน

3.5.3.5 การกัดกรดด้วยน้ำยา (Etching) ชิ้นงานตรวจสอบที่ถูกขัดจนเป็นมันแล้วล้างด้วยแอลกอฮอล์ จากนั้นนำไปกัดด้วยน้ำยา ซึ่งใช้กรด Nital 5% (ส่วนผสม 5cc Nitric acids + 95cc Ethyl alcohol) หลังจากการกัดกร่อนนำไปล้างน้ำสะอาดและเป่าให้แห้ง นำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงเพื่อตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา (Metallurgical Inspection)

การตรวจสอบทางกายภาพและโครงสร้างมหภาค เพื่อคุณลักษณะความแตกต่างของแนวเชื่อม เช่น ความกว้าง ความนูน การหลอมลึก และจุดบกพร่องต่างๆ บริเวณแนวเชื่อมและภายในรอยเชื่อม ส่วนการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค เพื่อตรวจสอบคุณลักษณะของเกรนบริเวณเนื้อเชื่อม (Weld Metal) บริเวณกระทบร้อน (HAZ) และบริเวณเนื้อโลหะเดิม (Base Metal)

3.5.4 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบสมบัติทางกล

3.5.4.1 การเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบความแข็ง (Hardness Test) จะใช้ชิ้นงานเดียวกันกับการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา โดยจะกำหนดตำแหน่งการทดสอบบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม (Weld Metal) บริเวณกระทบร้อน (HAZ) และเนื้อโลหะงาน (Base Metal) วิธีการวัดความแข็งจะใช้หัวเพชร มีลักษณะเป็นปิรามิดฐานสี่เหลี่ยม ที่ปลายหัวกดทำมุม 136 องศา น้ำหนักในการกด (Test load) 300 gf กดค้างไว้ (DWELL TIME) เป็นเวลา 10 วินาที



รูปที่ 3.15 ตำแหน่งของจุดทดสอบความแข็ง

การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส (Vickers Hardness Test) เพื่อเปรียบเทียบความแข็ง บริเวณเนื้อเชื่อม (Weld Metal) บริเวณกระพร้อน (HAZ) และบริเวณเนื้อโลหะ (Base Metal) จากปัจจัยของการทดลองที่แตกต่างกัน

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์และอภิปรายผลการทดลอง

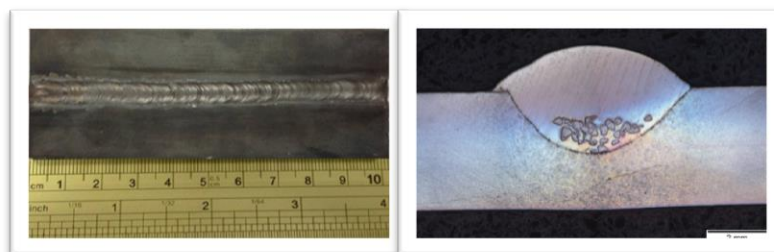
ในการศึกษาและดำเนินการวิจัยในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อศึกษาผลกระทบของกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งบนเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด SS400 ด้วยทั้งสแตนคาร์ไบด์ต่อสมบัติทางกลโดยการทดสอบความแข็ง โดยผลของการทดลองงานวิจัย มีรายละเอียดดังนี้

4.1 การตรวจสอบโครงสร้างแบบมหภาค (Macrostructure Investigation)

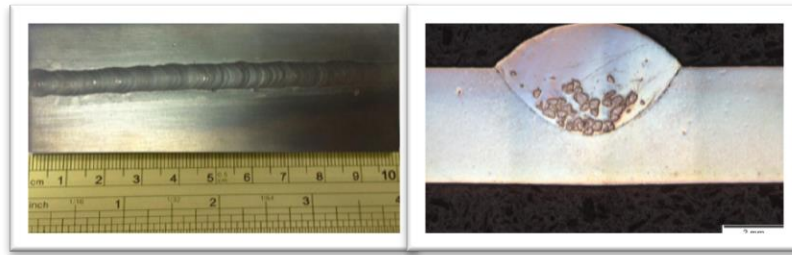
ลักษณะทางกายภาพ เมื่อทดลองเชื่อม โดยการเชื่อมแบบทิกขึ้นงานด้วยกระแสไฟที่ 110A ให้ลักษณะแนวเชื่อมที่สมบูรณ์และมีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ทั้งความสูง และความกว้างของแนวเชื่อม มีการกระจายตัวของทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ดี และยังส่งผลให้การอาร์คสม่ำเสมอ แสดงในรูปที่ 4.3 เมื่อเปรียบเทียบกับการเชื่อมขึ้นงานที่กระแสไฟ 90A และ 100A แนวเชื่อมจะมีค่าพารามิเตอร์ที่แคบกว่าการเชื่อมขึ้นงานที่กระแสไฟ 110A แสดงในรูปที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2 การเชื่อมขึ้นงานที่กระแสไฟ 120A จะมีค่าพารามิเตอร์ที่กว้างและความสูงของแนวเชื่อมต่ำ เนื่องจากกระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อมมีความร้อนสูงแสดงในรูปที่ 4.4



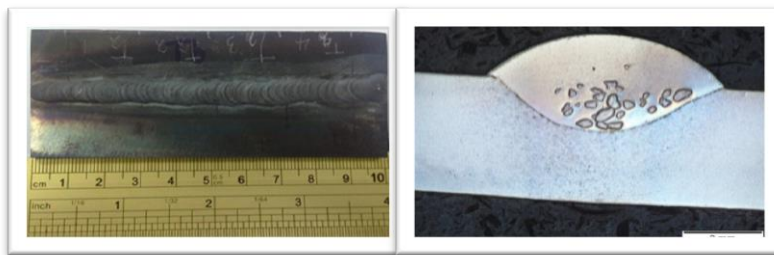
รูปที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของการเชื่อมที่กระแสไฟ 90A



รูปที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของการเชื่อมที่กระแสไฟ 100A



รูปที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพของการเชื่อมที่กระแสไฟ 110A

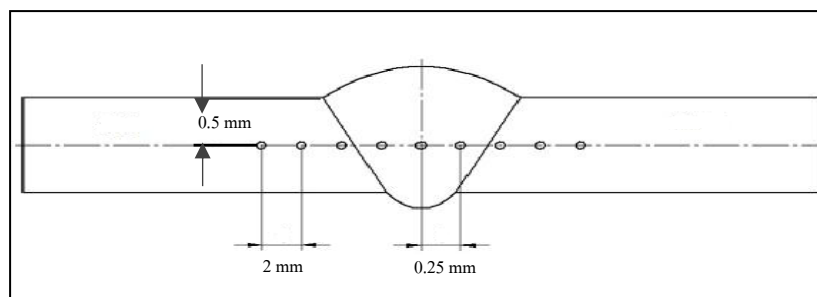


รูปที่ 4.4 ลักษณะทางกายภาพของการเชื่อมที่กระแสไฟ 120A

4.2 การทดสอบความแข็ง (Hardness Testing)

4.2.1 ผลของการเชื่อมที่เกิดจากการเปรียบเทียบกระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อมกับค่าความแข็ง

การเชื่อมที่กดด้วยลวดเชื่อมทั้งสแตนคาร์ไบด์ ค่าความแข็งสูงสุดอยู่ตรงบริเวณเนื้อเชื่อม (BM) เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีส่วนผสมของทั้งสแตนคาร์ไบด์ส่วนบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน (HAZ) จะให้ค่าความแข็งสูงกว่าเนื้อโลหะ (BM) การทดสอบสมบัติทางกลที่กำหนดคือ การทดสอบความแข็ง โดยพิจารณาจากตัวแปรการเชื่อมที่ระดับของกระแสไฟที่แตกต่างกันคือ 90A, 100A, 110A, 120A ความเร็วเท่ากันที่ 11.2 เซนติเมตรต่อนาที และระยะทาง 100 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.5 ระยะการทดสอบความแข็งในแนวนอน (Horizontal)

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลค่าความแข็งในแนวนอน (Horizontal) ของกระแสไฟ 90A

ระยะ (mm)	บน*	กลาง*	ล่าง*	ค่าเฉลี่ย
2.00	140.30	132.40	129.10	133.93
4.00	188.40	155.10	132.40	158.63
6.00	287.60	165.80	138.60	197.33
8.00	303.70	172.60	142.20	206.17
9.25	362.70	202.90	164.70	243.43
9.50	528.20	228.80	162.70	306.57
9.75	573.20	454.10	174.60	400.63
10.00	511.80	660.60	178.40	450.27
10.25	544.30	554.40	459.40	519.37
10.50	512.00	606.60	791.30	636.63
10.75	2,114.50	2,012.60	717.30	1,614.80
11.00	606.80	568.20	656.70	610.57
11.25	746.50	617.90	717.30	693.90
11.50	1,950.20	1,875.10	738.90	1,521.40
11.75	2,086.20	533.20	540.20	1,053.20
12.00	657.90	1,388.70	526.40	857.67
12.25	2,010.40	614.30	253.50	959.40
12.50	544.30	637.30	190.40	457.33
12.75	602.40	727.70	183.60	504.57
13.00	614.50	395.60	177.40	395.83
13.25	313.70	222.60	174.30	236.87
14.00	255.30	193.80	163.30	204.13
16.00	188.40	179.30	159.90	175.87
18.00	174.20	166.40	137.20	159.27
20.00	166.30	154.60	114.70	145.20

*หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างบน กลาง ล่าง เท่ากับ 0.5 mm

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลค่าความแข็งในแนวนอน (Horizontal) ของกระแสไฟ 100A

ระยะ(mm)	บน	กลาง	ล่าง	เฉลี่ย
2.00	136.20	139.40	128.20	134.60
4.00	150.90	141.50	139.30	143.90
6.00	180.80	154.30	149.80	161.63
8.00	221.40	155.30	153.20	176.63
9.00	256.40	162.30	165.70	194.80
9.25	825.20	298.40	167.20	430.27
9.50	790.70	874.00	232.60	632.43
9.75	771.00	817.30	907.10	831.80
10.00	733.40	744.00	854.20	777.20
10.25	664.60	781.60	1,098.00	848.07
10.50	2,361.10	634.80	2,709.00	1,901.63
10.75	2,443.20	2,123.80	880.90	1,815.97
11.00	927.20	794.60	1,957.10	1,226.30
11.25	2,099.10	858.90	2,057.00	1,671.67
11.50	1,823.50	1,698.40	781.60	1,434.50
11.75	946.20	1,874.00	2,382.80	1,734.33
12.00	808.00	746.50	706.80	753.77
12.25	746.70	731.40	723.50	733.87
12.50	775.40	779.40	633.50	729.43
12.75	812.60	731.40	726.60	756.87
13.00	717.00	747.60	208.90	557.83
13.25	849.00	261.00	174.00	428.00
13.50	213.30	185.70	181.40	193.47
15.50	207.30	179.20	164.40	183.63
17.50	172.10	151.70	148.00	157.27
19.50	130.20	129.60	134.50	131.43

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลค่าความแข็งในแนวนอน (Horizontal) ของกระแสไฟ 110A

ระยะ(mm)	บน	กลาง	ล่าง	เฉลี่ย
2.00	153.10	149.30	155.20	152.53
4.00	179.30	168.60	159.80	169.23
6.00	250.10	177.90	166.50	198.17
8.00	323.20	186.50	179.60	229.77
8.50	448.00	191.30	195.10	278.13
8.75	860.30	197.80	174.50	410.87
9.00	954.70	228.20	178.70	453.87
9.25	883.80	844.70	323.50	684.00
9.50	977.20	892.30	795.20	888.23
9.75	864.40	863.20	788.60	838.73
10.00	985.40	1,238.10	1,123.50	1,115.67
10.25	888.70	770.50	1,504.40	1,054.53
10.50	1,806.40	2,072.30	961.40	1,613.37
10.75	970.00	2,092.60	759.80	1,274.13
11.00	2,107.00	2,113.30	1,904.20	2,041.50
11.25	1,596.40	1,658.90	2079.00	1,778.10
11.50	1,701.40	2,082.60	1,862.40	1,882.13
11.75	1,312.40	1,001.70	1,760.80	1,358.30
12.00	1,523.40	2,123.50	1,276.40	1,641.10
12.25	1,453.10	731.90	1,222.80	1,135.93
12.50	898.70	1,254.70	1,023.80	1,059.07
12.75	953.10	841.00	723.20	839.10
13.00	874.60	894.70	762.00	843.77
13.25	888.70	842.60	778.60	836.63
13.50	862.40	705.70	372.30	646.80
13.75	963.40	317.90	167.00	482.77
14.00	903.10	159.60	164.80	409.17
14.25	352.40	157.10	152.60	220.70

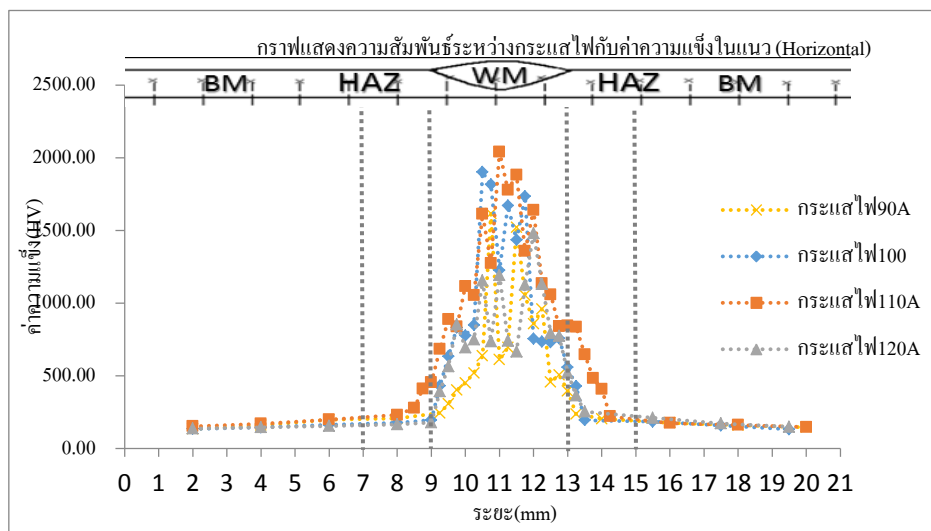
ระยะ(mm)	บน	กลาง	ล่าง	เฉลี่ย
16.00	223.30	150.90	147.80	174.00
18.00	188.20	148.20	145.10	160.50
20.00	152.30	145.80	140.90	146.33

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลค่าความแข็งในแนวนอน(Horizontal)ของกระแสไฟ 120A

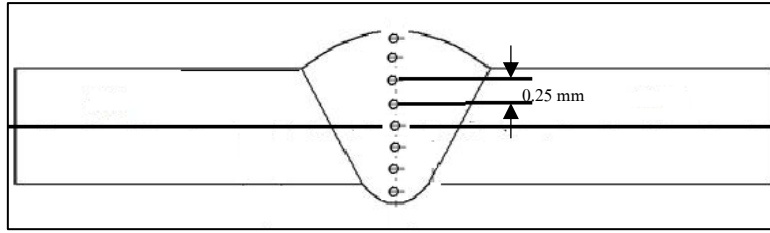
ระยะ(mm)	บน	กลาง	ล่าง	เฉลี่ย
2.00	134.20	131.20	142.70	136.03
4.00	136.40	144.30	156.20	145.63
6.00	151.30	152.10	158.20	153.87
8.00	164.20	158.90	172.40	165.17
9.00	179.40	172.60	182.60	178.20
9.25	817.30	167.30	196.40	393.67
9.50	655.60	716.80	323.30	565.23
9.75	597.10	1,287.80	677.80	854.23
10.00	711.60	666.10	706.60	694.77
10.25	709.60	772.80	767.10	749.83
10.50	700.30	2,215.90	550.10	1,155.43
10.75	734.00	768.80	704.60	735.80
11.00	2,032.40	803.40	739.40	1,191.73
11.25	738.60	700.30	783.90	740.93
11.50	730.10	593.80	672.60	665.50
11.75	737.30	1950.20	694.40	1,127.30
12.00	776.00	2,027.50	1,637.90	1,480.47
12.25	2,005.60	683.70	701.80	1,130.37
12.50	852.80	791.00	734.50	792.77
12.75	843.60	752.50	722.80	772.97
13.00	735.10	639.79	186.93	520.37

ระยะ(mm)	บน	กลาง	ล่าง	เฉลี่ย
13.25	694.40	226.50	171.70	364.20
13.50	397.70	194.80	166.40	252.97
15.50	297.30	175.90	159.10	210.77
17.50	199.80	163.40	153.20	172.13
19.50	150.30	147.70	148.90	148.97

จากการทดสอบความแข็งใช้การทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ในการทดสอบที่บริเวณแนวนอน(Horizontal) ของรอยเชื่อมในชิ้นงานแต่ละกระแสไฟ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 เมื่อพิจารณาผลการทดสอบของกระแสเชื่อมในความเร็วที่ 11.2 เซนติเมตรต่อนาที พบว่าบริเวณรอยเชื่อมที่กระแสไฟ 110A มีค่าความแข็งสูงกว่ากระแสไฟอื่น ๆ เมื่อพิจารณาในแนวนอนพบว่ามีความแข็งอย่างสม่ำเสมอโดยพบว่ามีความแข็งสูงสุดอยู่ที่บริเวณเนื้อทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ระยะ 11 มิลลิเมตร มีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 2,041 HV จากนั้นค่าความแข็งก็ค่อย ๆ ลดลงอย่างสม่ำเสมอจนอยู่ในช่วงบริเวณกระทบร้อน (HAZ) อยู่ที่ระยะ 8 มิลลิเมตรถึง 9.25 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 278 HV - 453 HV ส่วนระยะที่ 13 มิลลิเมตรถึง 14.25 มิลลิเมตรพบว่าค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 220 HV- 482 HV ค่าความแข็งก็ค่อยๆลดลงมาจนถึงช่วงบริเวณเนื้อเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 พบว่าส่วนนี้ค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 131 HV - 183 HV จากกราฟจะเห็นได้ค่าความแข็งของกระแสไฟ 110A มีการกระจายตัวความแข็งที่เหมาะสมกว่ากระแสไฟอื่น ๆ ดังนั้นจึงเลือกการเชื่อมที่กระแสไฟ 110A มาพิจารณาในหัวข้อการออกแบบทดลองที่ว่าความเร็วในกระแสเดียวกันมีผลต่อค่าความแข็งหรือไม่



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟกับค่าความแข็งในแนว (Horizontal)



รูปที่ 4.7 แสดงระยะการทดสอบความแข็งแรงในตั้ง (Vertical)

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลค่าความแข็งแรงในแนวตั้ง (Vertical) ของกระแสไฟ 90A

ระยะ(mm)	ขวา	กลาง	ซ้าย	ค่าเฉลี่ย
0.00	567.30	720.10	649.40	626.03
0.25	583.20	612.80	601.60	595.20
0.50	537.10	2,062.20	610.20	936.65
0.75	538.20	588.90	507.60	543.23
1.00	602.00	632.40	599.40	608.95
1.25	580.20	588.20	1,500.20	812.20
1.50	539.20	611.80	2,543.30	1,058.38
1.75	2,213.10	611.50	683.50	1,430.30
2.00	1,711.40	1,035.40	1,997.80	1,614.00
2.25	206.40	309.00	201.00	230.70
2.50	169.20	238.40	172.10	187.23
2.75	161.40	182.30	160.10	166.30
3.25	150.90	152.00	159.20	153.25
3.75	161.70	151.10	166.30	160.20
4.25	149.40	143.80	145.70	147.08
4.75	147.60	141.50	149.20	146.48
5.25	146.70	136.80	139.10	142.33

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลค่าความแข็งในแนวตั้ง (Vertical) ของกระแสไฟ 100A

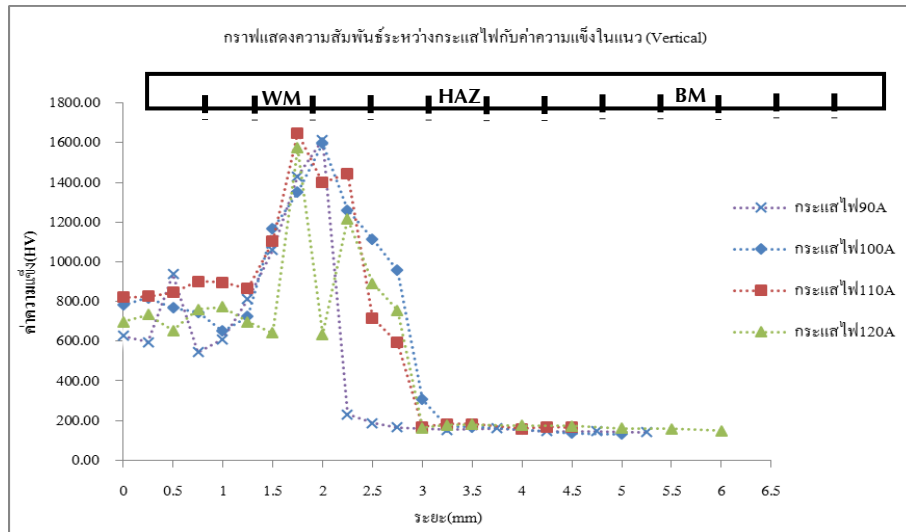
ระยะ(mm)	ขวา	กลาง	ซ้าย	ค่าเฉลี่ย
0.00	780.40	786.90	778.10	781.80
0.25	789.80	837.70	830.30	819.27
0.50	711.10	789.00	805.20	768.43
0.75	779.20	673.30	788.30	746.93
1.00	623.70	654.40	677.80	651.97
1.25	722.50	721.20	726.10	723.27
1.50	655.20	1,118.20	1,724.70	1,166.03
1.75	812.90	2,558.20	679.70	1,350.27
2.00	2,076.00	821.10	1,895.10	1,597.40
2.25	1,990.00	807.10	981.30	1,259.47
2.50	728.70	1,901.50	711.10	1,113.77
2.75	748.40	762.90	1,363.40	958.23
3.00	269.60	233.30	414.00	305.63
3.25	156.30	172.40	175.40	168.03
3.50	177.30	160.40	165.80	167.83
4.00	151.40	159.60	157.70	156.23
4.50	136.20	128.80	144.20	136.40
5.00	134.10	125.60	138.20	132.63

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลค่าความแข็งในแนวตั้ง (Vertical) ของกระแสไฟ 110A

ระยะ(mm)	ขวา	กลาง	ซ้าย	ค่าเฉลี่ย
0.00	856.60	824.60	783.30	821.50
0.25	767.00	841.60	866.70	825.10
0.50	789.20	807.10	938.80	845.03
0.75	935.60	833.40	933.70	900.90
1.00	902.00	916.70	870.20	896.30
1.25	819.50	897.70	878.20	865.13
1.50	1,028.70	1,541.10	734.60	1,101.47
1.75	2,036.40	1,800.10	1,106.90	1,647.80
2.00	1,612.40	595.70	1,989.40	1,399.17
2.25	1,724.70	776.30	1,831.20	1,444.07
2.50	737.50	525.20	886.40	716.37
2.75	624.00	582.90	573.90	593.60
3.00	183.10	150.20	169.60	167.63
3.25	214.40	163.30	170.10	182.60
3.50	190.60	160.80	197.90	183.10
4.00	167.80	150.20	159.40	159.13
4.25	176.10	165.00	160.40	167.17
4.50	160.80	170.90	162.20	164.63
4.75	190.60	160.80	197.90	183.10
5.00	167.80	150.20	159.40	159.13

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลค่าความแข็งในแนวตั้ง (Vertical) ของกระแสไฟ 120A

ระยะ(mm)	ขวา	กลาง	ซ้าย	ค่าเฉลี่ย
0.00	701.60	692.20	701.60	698.47
0.25	761.70	710.10	726.10	732.63
0.50	630.30	657.40	674.90	654.20
0.75	795.80	745.90	740.50	760.73
1.00	961.80	666.80	686.60	771.73
1.25	686.20	740.00	662.40	696.20
1.50	623.10	662.00	641.30	642.13
1.75	2,038.30	1,987.60	692.70	1,572.87
2.00	639.70	612.60	651.80	634.70
2.25	765.70	748.70	2,133.00	1,215.80
2.50	1,028.30	968.30	675.40	890.67
2.75	746.50	798.20	722.20	755.63
3.00	169.80	156.30	161.60	162.57
3.25	191.30	184.20	159.70	178.40
3.50	198.00	182.40	162.80	181.07
4.00	175.00	179.40	172.40	175.60
4.50	163.20	176.00	177.60	172.27
5.00	145.70	161.90	174.30	160.63
5.50	147.70	157.60	169.90	158.40



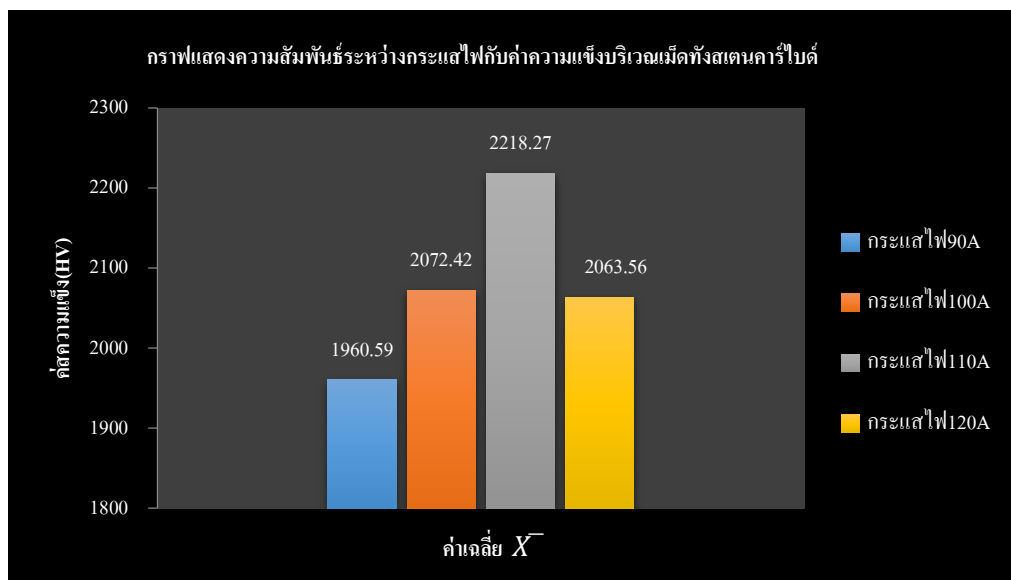
รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟกับค่าความแข็งในแนวตั้ง (Vertical)

จากการทดสอบความแข็งใช้การทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ในการทดสอบที่บริเวณแนวตั้ง (Vertical) ของรอยเชื่อมในชิ้นงานแต่ละกระแสไฟ ดังแสดงในรูปที่ 4.8 เมื่อพิจารณาผลจากการเชื่อมทดสอบทุกกระแสไฟ พบว่ามีค่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อมที่กระแสไฟ 110A พบว่ามีค่าความแข็งสูงสุดเมื่อพิจารณาในแนวตั้ง (Vertical) พบว่ามีค่าความแข็งของเนื้อทั้งสแตนที่สม่ำเสมอแล้วค่อยเพิ่มขึ้นในช่วงระยะ 1.25 มิลลิเมตร พบว่ามีค่าความแข็งของคาร์ไบด์มีการกระจายตัวอยู่โดยค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 1,647 HV แล้วค่าความแข็งก็ลดลงแต่ยังคงเจอเม็ดทั้งสแตนคาร์ไบด์อยู่ในช่วงระยะ 2.25 มิลลิเมตรและมีความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 1,444.07 HV จากนั้นค่าความแข็งก็ค่อย ๆ ลดลงมาอยู่ในช่วงบริเวณกระแทบร้อน (HAZ) ช่วงระยะที่ 3 มิลลิเมตร มีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 169 HV ค่าความแข็งก็ค่อย ๆ ลดลงมาจนถึงช่วงเนื้อเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 จะมีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 159 HV- 182 HV จากกราฟจะเห็นได้ค่าความแข็งของกระแสไฟ 110A มีการกระจายตัวความแข็งที่เหมาะสมกว่ากระแสไฟอื่น ๆ ดังนั้นเราจึงเลือกการเชื่อมที่กระแสไฟ 110A มาพิจารณาในหัวข้อการออกแบบทดลองที่ว่าความเร็วในกระแสเดียวกันมีผลต่อค่าความแข็งหรือไม่

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลค่าความแข็งแรงบริเวณเม็คทั้งสเดนคาร์ไบด์

กระแส 90A	กระแส 100A	กระแส 110A	กระแส 120A
1,785.80	2,653.40	2,135.30	2,038.50
2,157.00	1,883.80	2,257.00	1,864.20
2,148.90	2,210.30	2,567.50	2,283.10
2,139.60	1,815.60	2,139.60	2,102.90
1,935.30	2,059.60	1,968.30	2,083.70
1,883.80	2,009.20	2,251.30	1,950.20
1,769.30	2,139.60	2,154.30	2,069.70
1,879.40	1,982.90	2,090.10	2,053.40
2,262.70	1,994.80	2,258.20	2,006.80
1,644.10	1,975.00	2,361.10	2,183.10
1,960.59	2,072.42	2,218.27	2,063.56

การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงบริเวณเม็คทั้งสเดนคาร์ไบด์ในกระแสไฟต่าง ๆ

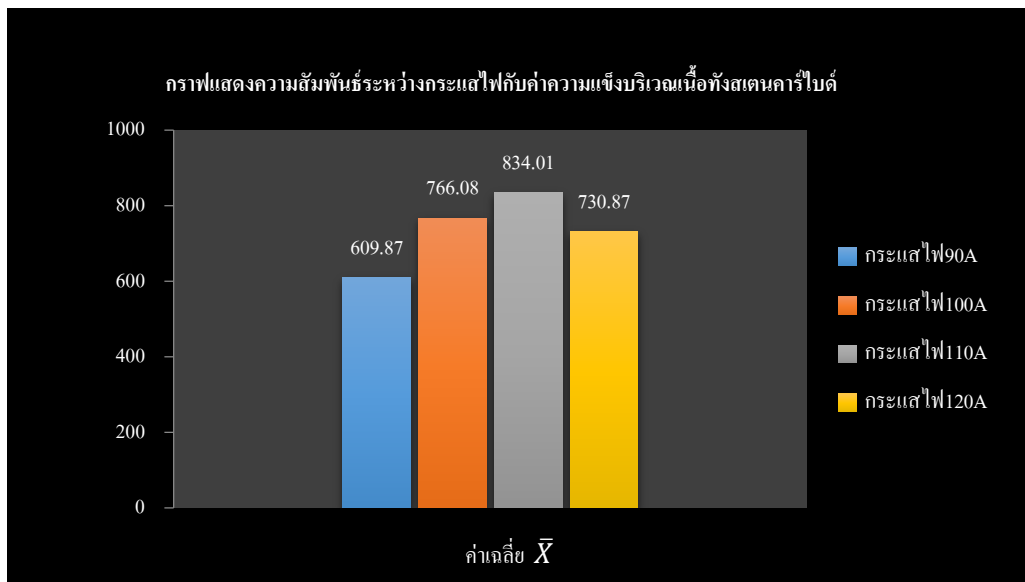


รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟกับค่าความแข็งแรงบริเวณเม็คทั้งสเดนคาร์ไบด์

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลค่าความแข็งแรงบริเวณเนื้อทังสเดนคาร์ไบด์

กระแส 90A	กระแส 100A	กระแส 110A	กระแส 120A
567.30	780.40	856.60	701.60
583.20	789.80	767.00	761.70
537.10	711.10	789.20	630.30
538.20	779.20	935.60	795.80
602.00	723.70	902.00	961.80
580.20	722.50	824.60	686.20
539.20	655.20	841.60	623.10
720.10	812.90	807.10	692.20
612.80	837.00	833.40	710.10
818.60	849.00	783.00	745.90
609.87	766.08	834.01	730.87

การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงบริเวณเนื้อทังสเดนคาร์ไบด์ในกระแสไฟต่าง ๆ

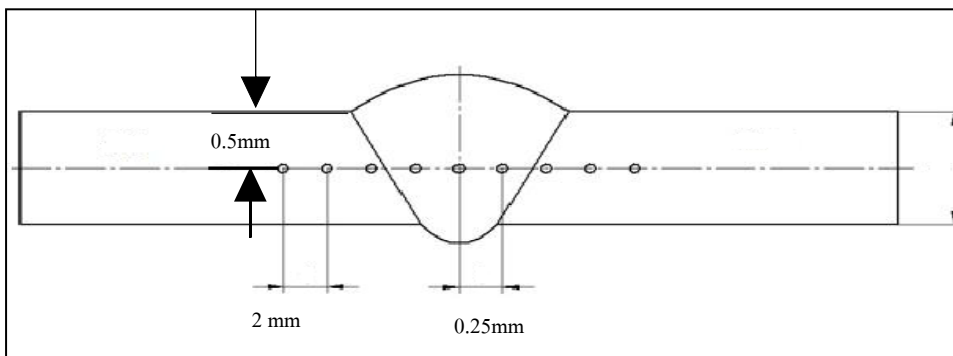


รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟกับค่าความแข็งแรงบริเวณเนื้อทังสเดนคาร์ไบด์

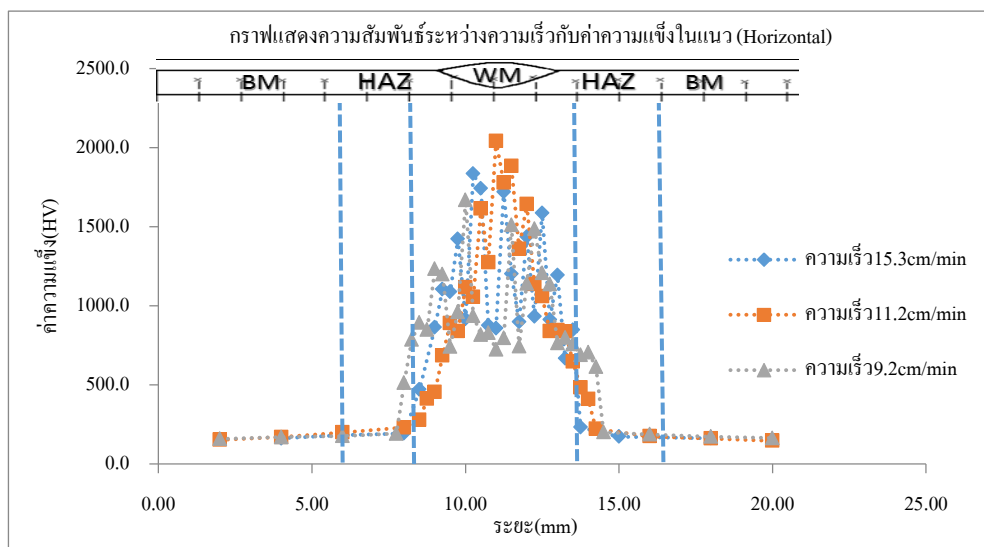
จากรูปที่ 4.10 การทดสอบความแข็งใช้การทดสอบแบบ ไมโครวิกเกอร์ โดยการกดที่บริเวณเม็ดทั้งสแตนคาร์ไบด์ของแต่ละกระแสไฟ 90A, 100A, 110A, 120A พบว่า ค่าความแข็งเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่กระแสไฟ 110A ซึ่งมีค่าความแข็งเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 2,218.27 HV

4.2.2 การเปรียบเทียบความเร็วที่ใช้ในการเชื่อมกับค่าความแข็ง

การทดสอบความแข็งเชื่อมแบบทิกโดยใช้เครื่องทดสอบความแข็ง ไมโครวิกเกอร์กดในแนวนอน(Horizontal) และในแนวตั้ง(Vertical) บริเวณเม็ดทั้งสแตนคาร์ไบด์ ผลที่ได้ออกมากระแสไฟ 110A มีค่าความแข็งที่ดีและเหมาะสม เพื่อที่เลือกมาวิเคราะห์ต่อว่าความเร็วมีการส่งผลต่อค่าความแข็งหรือไม่ โดยกำหนดกระแสไฟคงที่ ระยะการอาร์คคงที่ แต่มีความเร็วที่ต่างกันคือ การเพิ่มความเร็วในช่วง 15.3 cm/min และลดความเร็วให้อยู่ในช่วง 9.2 cm/min เพื่อต้องการทราบค่าความแข็งจากการเปรียบเทียบความเร็วกับค่าความแข็งในแนวนอน



รูปที่ 4.11 ระยะการทดสอบความแข็งการเปรียบเทียบความเร็วกับค่าความแข็ง



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับค่าความแข็งในแนวนอน (Horizontal)

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลค่าความแข็งที่ความเร็ว 15.3 cm/min ของกระแสไฟ 110A

ระยะ(mm)	บน	กลาง	ล่าง	ค่าเฉลี่ย
2.00	141.30	156.40	148.20	148.63
4.00	159.20	171.10	154.20	161.50
6.00	193.40	177.60	172.30	181.10
8.00	211.10	184.40	182.60	192.70
8.50	920.30	275.10	214.70	470.03
9.00	918.20	953.00	715.00	862.07
9.25	946.30	736.20	1,629.00	1,103.83
9.50	806.30	1,171.10	1,287.10	1,088.17
9.75	886.50	1,229.10	2,146.30	1,420.63
10.00	871.60	957.90	914.20	914.57
10.25	2,217.30	2,302.50	981.30	1,833.70
10.50	1,923.90	2,312.70	984.60	1,740.40
10.75	886.50	849.90	888.40	874.93
11.00	832.70	875.90	862.30	856.97
11.25	893.30	2,043.50	2,222.90	1,719.90
11.50	853.90	999.30	1,747.00	1,200.07
11.75	829.60	859.40	1,003.10	897.37
12.00	1,984.30	1,414.10	911.10	1,436.50
12.25	849.20	960.20	988.80	932.73
12.50	2,014.70	1,042.20	1,696.30	1,584.40
12.75	956.30	919.60	861.30	912.40
13.00	1,821.80	894.20	861.60	1192.53
13.25	942.20	871.40	184.40	666.00
13.50	2,159.00	217.00	164.30	846.77
13.75	326.10	198.40	169.90	231.47
15.00	202.30	161.90	152.30	172.17
18.00	194.20	144.80	147.40	162.13
20.00	186.40	141.30	145.60	157.77

ตารางที่ 4.12 ข้อมูลค่าความแข็งที่ความเร็ว 11.2 cm/min ของกระแสไฟ 110A

ระยะ(mm)	บน	กลาง	ล่าง	ค่าเฉลี่ย
2.00	153.10	149.30	155.20	152.53
4.00	179.30	168.60	159.80	169.23
6.00	250.10	177.90	166.50	198.17
8.00	323.20	186.50	179.60	229.77
8.50	448.00	191.30	195.10	278.13
8.75	860.30	197.80	174.50	410.87
9.00	954.70	228.20	178.70	453.87
9.25	883.80	844.70	323.50	684.00
9.50	977.20	892.30	795.20	888.23
9.75	864.40	863.20	788.60	838.73
10.00	985.40	1,238.10	1,123.50	1,115.67
10.25	888.70	770.50	1,504.40	1,054.53
10.50	1,806.40	2,072.30	961.40	1,613.37
10.75	970.00	2,092.60	759.80	1,274.13
11.00	2,107.00	2,113.30	1,904.20	2,041.50
11.25	1,596.40	1,658.90	2,079.00	1,778.10
11.50	1,701.40	2,082.60	1,862.40	1,882.13
11.75	1,312.40	1,001.70	1,760.80	1,358.30
12.00	1,523.40	2,123.50	1,276.40	1,641.10
12.25	1,453.10	731.90	1,222.80	1,135.93
12.50	898.70	1,254.70	1,023.80	1,059.07
12.75	953.10	841.00	723.20	839.10
13.00	874.60	894.70	762.00	843.77
13.25	888.70	842.60	778.60	836.63
13.50	862.40	705.70	372.30	646.80
13.75	963.40	317.90	167.00	482.77
14.00	903.10	159.60	164.80	409.17

14.25	352.40	157.10	152.60	220.70
16.00	223.30	150.90	147.80	174.00
18.00	188.20	148.20	145.10	160.50
20.00	152.30	145.80	140.90	146.33

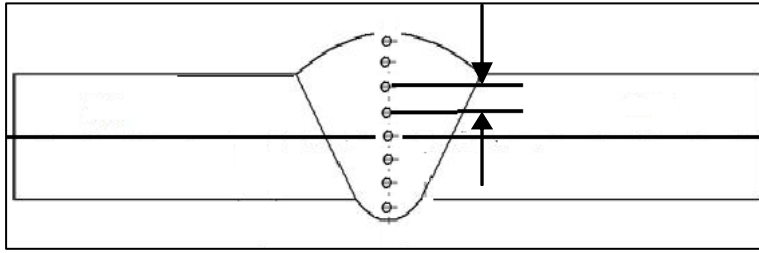
ตารางที่ 4.13 ข้อมูลค่าความแข็งที่ความเร็ว 9.2 cm/min ของกระแสไฟ 110A

ระยะ(mm)	บน	กลาง	ล่าง	ค่าเฉลี่ย
2.00	155.30	159.60	159.30	158.07
4.00	158.70	162.30	186.40	169.13
6.00	161.30	171.30	197.30	176.63
7.75	167.10	182.40	226.30	191.93
8.00	502.30	466.70	569.40	512.80
8.25	749.80	869.40	736.20	785.13
8.50	735.60	844.20	1099.30	893.03
8.75	699.60	982.40	864.60	848.87
9.00	748.40	1,964.30	984.20	1,232.30
9.25	685.90	1,208.40	1,703.40	1,199.23
9.50	688.10	722.60	814.60	741.77
9.75	710.60	1,204.60	966.40	960.53
10.00	992.40	1,986.30	2,024.70	1,667.80
10.25	694.60	886.40	1,226.40	935.80
10.50	694.20	772.30	981.70	816.07
10.75	676.40	942.30	866.30	828.33
11.00	684.90	744.40	742.80	724.03
11.25	633.90	734.20	1,018.60	795.57
11.50	818.60	1,788.20	1,926.10	1,510.97
11.75	629.80	726.30	872.10	742.73
12.00	715.20	981.00	1,725.30	1,140.50
12.25	744.60	1,806.30	1,906.70	1,485.87

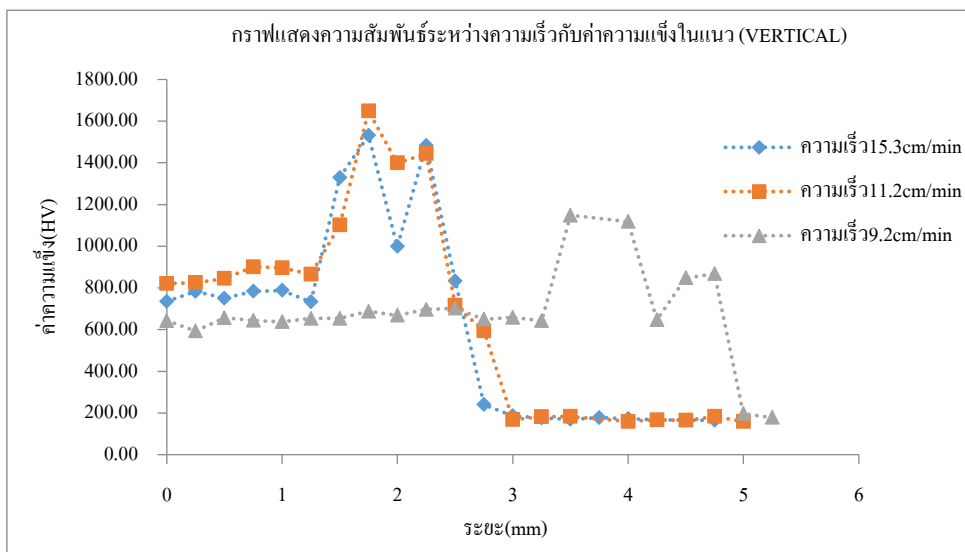
12.50	742.80	1,996.30	883.40	1,207.50
12.75	684.40	864.20	1,861.70	1,136.77
13.00	638.00	881.60	772.40	764.00
13.25	680.60	726.40	984.70	797.23
13.50	664.70	865.60	742.30	757.53
13.75	661.10	746.50	656.40	688.00
14.00	647.20	723.60	742.10	704.30
14.25	428.70	662.40	753.20	614.77
14.50	172.50	206.30	223.40	200.73
16.00	176.40	182.40	201.60	186.80
18.00	166.30	178.60	173.60	172.83
20.00	158.70	169.30	162.40	163.47

การทดสอบความแข็งใช้การทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์โดยการกดที่บริเวณแนวนอน(Horizontal) ของรอยเชื่อมและชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.12 เมื่อพิจารณาผลการทดสอบที่กระแส 110A ในความเร็วที่ต่างกัน พบว่ามีความแข็งบริเวณรอยเชื่อมที่ความเร็ว 11.2 cm/min มีค่าความแข็งสูงสุดเมื่อพิจารณาในแนวนอน พบว่าค่าความแข็งค่อยขึ้นแล้วลงอย่างสม่ำเสมอ โดยพบว่ามีค่าความแข็งสูงสุดอยู่ที่เนื้อทังสเตนคาร์ไบด์ที่ระยะ 11 mm มีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 2,041 HV แล้วค่าความแข็งก็ค่อยๆลดลงมาอย่างสม่ำเสมอจนอยู่ในช่วงบริเวณกระทบร้อน (HAZ) อยู่ที่ระยะ 8 mm ถึง 9.25 mm ซึ่งมีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 278 HV – 453 HV และระยะ 13 mm ถึง 14.25 mm ซึ่งมีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 220 HV – 482 HV แล้วค่าความแข็งก็ค่อยๆลดลงมาจนถึงช่วงเนื้อเหล็กมีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 131 HV – 183 HV ที่การเชื่อมด้วยความเร็วที่ 15.3 cm/min มีการกระจายตัวความแข็งคล้ายกับการเชื่อมด้วยเร็วที่ 11.2 cm/min แต่มีค่าความแข็งน้อยกว่าที่การเชื่อมด้วยความเร็ว 9.2 cm/min มีลักษณะความแข็งที่กว้างที่สุดเมื่อเทียบกับการเชื่อมด้วยเร็วต่างๆ แต่มีค่าความแข็งที่น้อยกว่าการเชื่อมด้วยเร็วต่างๆ

การเปรียบเทียบความเร็วกับค่าความแข็งในแนวตั้ง



รูปที่ 4.13 แสดงระยะการทดสอบความแข็งการเปรียบเทียบความเร็วกับค่าความแข็งในแนวตั้ง



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับค่าความแข็งในแนว (Vertical)

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลค่าความแข็งที่ความเร็ว 15.3 cm/min ของกระแสไฟ 110A

ระยะ(mm)	ขวา	กลาง	ซ้าย	ค่าเฉลี่ย
0.00	732.40	737.80	735.60	735.27
0.25	790.40	796.40	761.50	782.77
0.50	769.40	727.70	754.70	750.60
0.75	776.30	818.60	755.30	783.40
1.00	783.90	788.00	792.20	788.03
1.25	811.70	677.80	710.10	733.20
1.50	1,136.00	813.20	2,038.50	1,329.23

1.75	1,580.80	810.20	2,204.00	1,531.67
2.00	791.60	838.10	1,364.80	998.17
2.25	776.30	1984.10	1,686.70	1,482.37
2.50	791.60	826.30	882.30	833.40
2.75	253.30	229.80	237.40	240.17
3.00	180.10	182.90	196.80	186.60
3.25	172.50	178.30	177.70	176.17
3.50	155.10	164.00	189.70	169.60
3.75	167.00	189.90	175.50	177.47
4.00	171.50	166.30	179.00	172.27
4.25	176.10	165.00	160.40	167.17
4.75	160.80	170.90	162.20	164.63

ตารางที่ 4.15 ข้อมูลค่าความแข็งที่ความเร็ว 11.2 cm/min ของกระแสไฟ 110A

ระยะ(mm)	ขวา	กลาง	ซ้าย	ค่าเฉลี่ย
0.00	856.60	824.60	783.30	821.50
0.25	767.00	841.60	866.70	825.10
0.50	789.20	807.10	938.80	845.03
0.75	935.60	833.40	933.70	900.90
1.00	902.00	916.70	870.20	896.30
1.25	819.50	897.70	878.20	865.13
1.50	1,028.70	1,541.10	734.60	1,101.47
1.75	2,036.40	1,800.10	1,106.90	1,647.80
2.00	1,612.40	595.70	1,989.40	1,399.17
2.25	1,724.70	776.30	1,831.20	1,444.07
2.50	737.50	525.20	886.40	716.37
2.75	624.00	582.90	573.90	593.60
3.00	183.10	150.20	169.60	167.63
3.25	214.40	163.30	170.10	182.60

3.50	190.60	160.80	197.90	183.10
4.00	167.80	150.20	159.40	159.13
4.25	176.10	165.00	160.40	167.17
4.50	160.80	170.90	162.20	164.63
4.75	190.60	160.80	197.90	183.10
5.00	167.80	150.20	159.40	159.13

ตารางที่ 4.16 ข้อมูลค่าความแข็งที่ความเร็ว 9.2 cm/min ของกระแสไฟ 110A

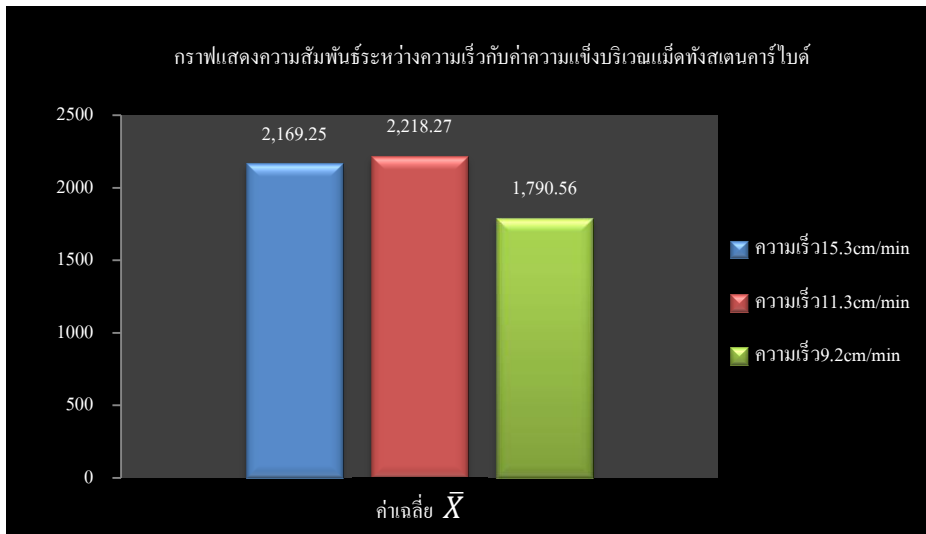
ระยะ(mm)	ขวา	กลาง	ซ้าย	ค่าเฉลี่ย
0.00	672.10	624.30	633.80	643.40
0.25	603.20	611.10	565.90	593.40
0.50	644.70	628.60	697.40	656.90
0.75	672.30	636.80	622.40	643.83
1.00	585.30	649.60	677.80	637.57
1.25	587.40	720.30	653.40	653.70
1.50	622.10	650.90	687.60	653.53
1.75	686.40	702.60	672.80	687.27
2.00	641.50	695.80	668.20	668.50
2.25	662.30	789.40	637.80	696.50
2.50	701.20	728.30	678.20	702.57
2.75	604.40	675.90	670.00	650.10
3.00	636.60	656.50	682.10	658.40
3.25	595.30	717.80	614.90	642.67
3.50	2042.20	783.30	619.80	1,148.43
4.00	602.30	2,099.10	654.30	1,118.57
4.25	609.60	661.00	669.70	646.77
4.50	1213.70	508.90	821.60	848.07
4.75	814.20	1,035.40	755.30	868.30
5.00	210.70	186.40	194.20	197.10
5.25	182.60	171.30	181.90	178.60

การทดสอบความแข็งใช้การทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์โดยกดที่บริเวณแนวตั้งของรอยเชื่อมและชิ้นงาน ดังแสดงใน รูปที่ 4.14 เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทุกระแสเชื่อมพบว่ามีความแข็งบริเวณรอยเชื่อมที่ไฟ 110A มีค่าความแข็งสูงสุดเมื่อพิจารณาในแนวตั้งแล้วพบว่ามีความแข็งของเนื้อทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่สม่ำเสมอแล้วค่อยเพิ่มขึ้นไปถึงระยะ 1.25 mm จะพบมีเม็ดทั้งสแตนคาร์ไบด์โดยมีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 1,647 HV จากกราฟค่าความแข็งก็ลดลงแต่ก็ยังพบเม็ดทั้งสแตนคาร์ไบด์อยู่โดยมีระยะอยู่ที่ 2.25 mm และมีความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 1,444.07 HV ค่าความแข็งก็ค่อยๆลดลงมาอยู่ในช่วงบริเวณกระทบร้อน(HAZ) อยู่ที่ระยะ 3 mm มีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ 169 HV ค่าความแข็งก็ค่อยๆลดลงมาจนถึงช่วงเนื้อเหล็กมีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 159 HV – 182 HV

ตารางที่ 4.17 ข้อมูลค่าความแข็งบริเวณเม็ดทั้งสแตนคาร์ไบด์ในความเร็วต่าง ๆ

ความเร็ว 15.3 cm/min	ความเร็ว 11.2 cm/min	ความเร็ว 9.2 cm/min
1,978.78	2,135.30	1,683.20
2,188.28	2,257.98	1,727.30
1,948.67	2,567.58	1,834.28
2,009.25	2,139.63	1,863.16
1,987.73	1,968.38	1,827.70
2,606.42	2,251.37	1,250.89
1,944.75	2,154.32	1,754.93
2,658.99	2,090.18	1,823.38
2,002.03	2,258.26	2,099.10
2,368.84	2,361.14	2,042.09
2,169.25	2,218.27	1,790.56

เปรียบเทียบความเร็วกับค่าความแข็งของเม็ดทั้งสตนคาร์ไบด์



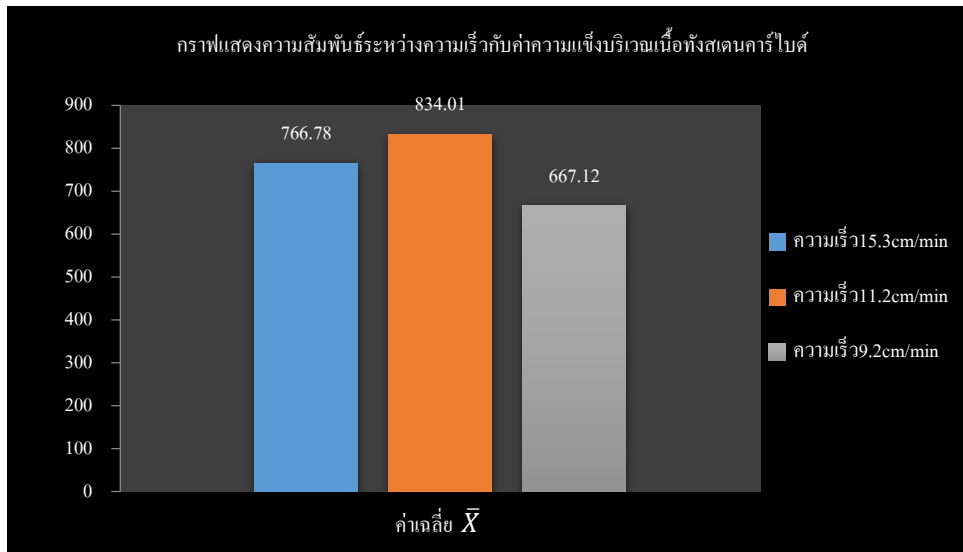
รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับค่าความแข็งบริเวณเม็ดทั้งสตนคาร์ไบด์

จากรูปที่ 4.15 ค่าความแข็งเม็ดทั้งสตนคาร์ไบด์ที่กระแสไฟ 110A ที่ความเร็ว 15.3 cm/min และความเร็วที่ 11.2 cm/min มีค่าความแข็งใกล้เคียงกันมากแต่ที่ความเร็ว 11.2 cm/min มีค่าความแข็งของเม็ดทั้งสตนคาร์ไบด์มากที่สุด โดยค่าความแข็งเฉลี่ยของเม็ดทั้งสตนคาร์ไบด์อยู่ที่ 2,218.27 HV

ตารางที่ 4.18 ข้อมูลค่าความแข็งบริเวณเนื้อทั้งสตนคาร์ไบด์ในความเร็วต่าง ๆ

ความเร็ว 15.3 cm/min	ความเร็ว 11.2 cm/min	ความเร็ว 9.2 cm/min
737.80	856.64	633.58
796.40	767.12	720.98
727.70	789.24	697.40
818.60	935.65	622.44
788.89	902.60	677.82
735.67	824.65	653.43
761.57	841.64	687.61
754.74	807.15	672.85
755.30	833.44	668.52
792.29	783.23	637.68
766.78	834.01	667.12

เปรียบเทียบความเร็วกับค่าความแข็งของเนื้อทั้งสแตนคาร์ไบด์



รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับค่าความแข็งบริเวณเนื้อทั้งสแตนคาร์ไบด์

จากรูปที่ 4.16 ค่าความแข็งเนื้อทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่กระแสไฟ 110A ที่ความเร็ว 15.3 cm/min และความเร็วที่ 11.2 cm/min มีค่าความแข็งใกล้เคียงกันมากแต่ที่ความเร็ว 11.2 cm/min มีค่าความแข็งของเนื้อทั้งสแตนคาร์ไบด์มากที่สุด โดยค่าความแข็งเฉลี่ยของเนื้อทั้งสแตนคาร์ไบด์อยู่ที่ 834.01 HV

4.2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติกับค่าความแข็งของการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีนและการเชื่อมแบบทิก

ข้อมูลค่าความแข็งของการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีนและการเชื่อมแบบทิกแสดงในตารางที่ 4.19 และ ตารางที่ 4.20 ตามลำดับ

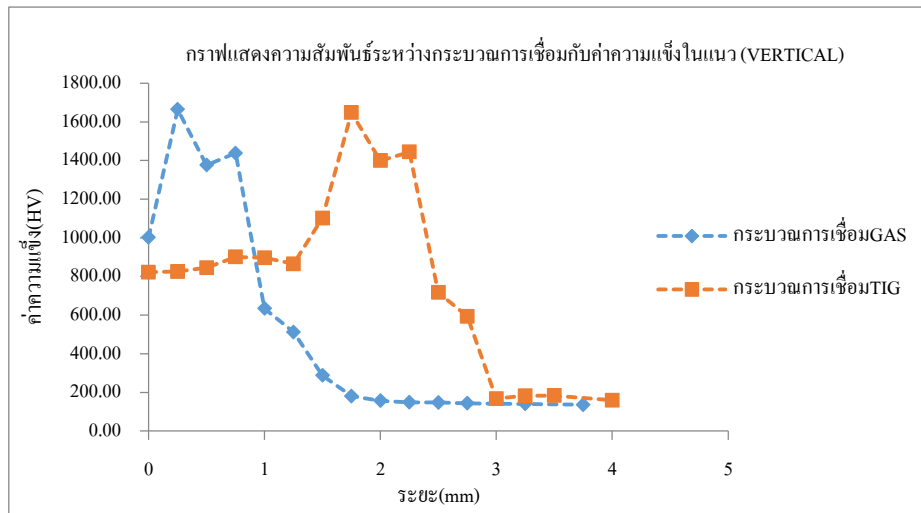
ตารางที่ 4.19 ข้อมูลค่าความแข็งของการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีน

ระยะ(mm)	ขวา	กลาง	ซ้าย	ค่าเฉลี่ย
0.00	782.70	1,631.70	809.80	1,001.73
0.25	1,670.40	1,469.80	1,847.10	1,664.43
0.50	1,016.00	1,504.40	1,966.40	1,375.70
0.75	2,239.90	556.80	714.20	1,437.70
1.00	666.10	518.70	685.20	634.03
1.25	541.40	443.70	521.30	511.95

1.50	377.80	162.20	232.10	287.48
1.75	203.90	140.20	173.90	180.48
2.00	153.00	154.60	166.10	156.68
2.25	149.10	137.00	157.70	148.23
2.50	144.70	147.60	152.10	147.28
2.75	141.30	141.20	150.10	143.48
3.25	135.40	140.10	149.00	139.98
3.75	129.10	140.30	146.30	136.20
4.00	131.60	138.70	142.30	136.05

ตารางที่ 4.20 ข้อมูลค่าความแข็งของการเชื่อมแบบทิก

ระยะ(mm)	ขวา	กลาง	ซ้าย	ค่าเฉลี่ย
0.00	856.60	824.60	783.30	821.50
0.25	767.00	841.60	866.70	825.10
0.50	789.20	807.10	938.80	845.03
0.75	935.60	833.40	933.70	900.90
1.00	902.00	916.70	870.20	896.30
1.25	819.50	897.70	878.20	865.13
1.50	1,028.70	1,541.10	734.60	1,101.47
1.75	2,036.40	1,800.10	1,106.90	1,647.80
2.00	1,612.40	595.70	1,989.40	1,399.17
2.25	1,724.70	776.30	1,831.20	1,444.07
2.50	737.50	525.20	886.40	716.37
2.75	624.00	582.90	573.90	593.60
3.00	183.10	150.20	169.60	167.63
3.25	214.40	163.30	170.10	182.60
3.50	190.60	160.80	197.90	183.10
4.00	167.80	150.20	159.40	159.13



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการเชื่อมกับค่าความแข็งในแนวตั้ง

จากรูปที่ 4.17 เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งกับกระบวนการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีน และกระบวนการเชื่อมทิก พบว่ากระบวนการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีน ไม่มีการซึมลึกเกิดขึ้นในแนวเชื่อมทำให้สามารถวิเคราะห์ได้แค่แนวตั้ง (VERTICAL) ช่วงผิวของชั้นกระบวนการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีน จะมีค่าความแข็งมากกว่ากระบวนการเชื่อมแบบทิก

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.17 กระบวนการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีน ที่ระยะ 0.25 มิลลิเมตร ค่าความแข็งอยู่ที่ 1,664 HV แล้วค่าความแข็งก็ค่อยๆลดลงจนมาอยู่ที่ระยะ 1.5 มิลลิเมตร ในช่วงนี้จะเป็นช่วงบริเวณกระทบร้อน (HAZ) ค่าความแข็งอยู่ที่ 287 HV แล้วค่าความแข็งก็ค่อยๆลดลงมาอยู่ที่ช่วงของเนื้อเหล็ก (BM) อยู่ที่ระยะ 1.75 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร ค่าความแข็งจะอยู่ที่ 136 HV – 180 HV

จากกราฟกระบวนการเชื่อมแบบทิกที่ความเร็ว 11.2 cm/min ที่กระแสไฟ 110A เมื่อพิจารณาในแนวตั้งแล้วพบว่ามีความแข็งของเนื้อทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่สม่ำเสมอแล้วค่อยเพิ่มขึ้นไปถึงที่ระยะ 1.25 มิลลิเมตร พบมีเม็ดทั้งสแตนคาร์ไบด์โดยมีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 1,647 HV จากรูปที่ 4.17 ค่าความแข็งก็ลดลงแต่ก็ยังเจอเม็ดทั้งสแตนคาร์ไบด์อยู่โดยมีระยะอยู่ที่ 2.25 มิลลิเมตร และมีความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 1,444.07 HV แล้วค่าความแข็งก็ค่อยๆลดลงมาอยู่ในช่วงบริเวณกระทบร้อน (HAZ) อยู่ที่ระยะ 3 มิลลิเมตร มีค่าความแข็งเฉลี่ย 169 HV จากรูปที่ 4.17 ค่าความแข็งก็ค่อยๆลดลงมาจนถึงช่วงเนื้อเหล็ก (BM) มีค่าความแข็งเฉลี่ย อยู่ที่ 159 HV – 182 HV

การเปรียบเทียบกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งของกระบวนการเชื่อมแบบทิก และกระบวนการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีนกับค่าความแข็ง

ตารางที่ 4.21 ข้อมูลค่าความแข็งของการเชื่อมแบบทิกในแนวเชื่อม

ระยะ(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8
แนวเชื่อม	779.55	780.18	731.41	745.12	701.63	752.82	745.12	684.42

ระยะ(mm)	9	10	11	12	13	14	15	16
แนวเชื่อม	649.86	700.19	635.40	641.50	543.53	641.78	548.83	862.44

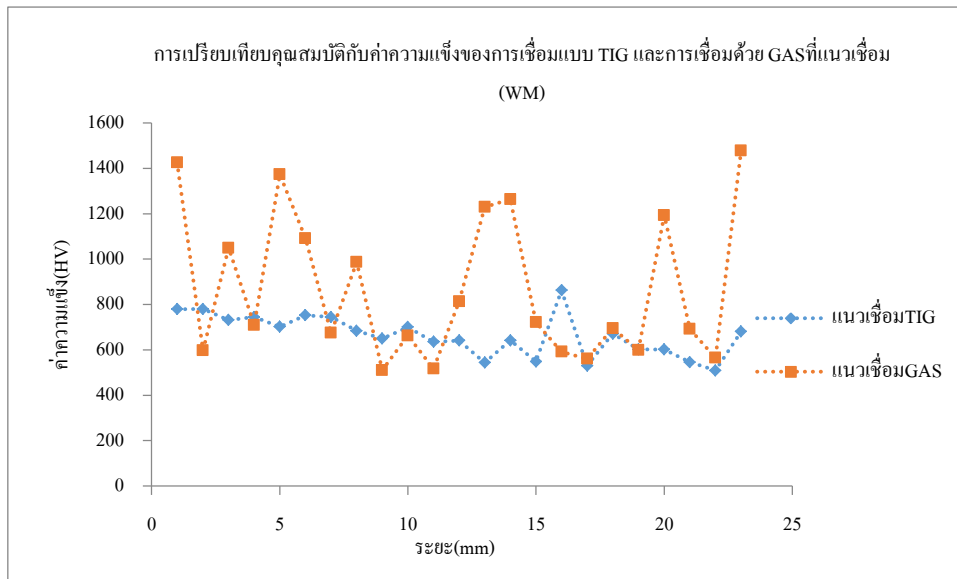
ระยะ(mm)	17	18	19	20	21	22	23
แนวเชื่อม	530.11	671.41	602.42	602.40	546.25	509.29	680.46

ตารางที่ 4.22 ข้อมูลค่าความแข็งของการเชื่อมแบบแก๊สอะเซทิลีนในแนวเชื่อม

ระยะ(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8
แนวเชื่อม	1,426.36	597.73	1,049.82	709.69	1,373.63	1,092.14	675.39	987.18

ระยะ(mm)	9	10	11	12	13	14	15	16
แนวเชื่อม	510.68	663.30	517.13	813.67	1,229.71	1,263.92	721.42	592.95

ระยะ(mm)	17	18	19	20	21	22	23
แนวเชื่อม	560.75	695.45	599.20	1193.58	691.70	565.09	1478.28



รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการเชื่อมแบบทิก และการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีนในแนวเชื่อม(WM)

จากรูปที่ 4.18 บริเวณเนื้อเชื่อม (BM) ที่ระยะ 1 mm จากผิวรอยเชื่อม พบว่าความแข็งของกระบวนการเชื่อมแก๊สอะเซทิลีนมีค่าความแข็งที่ดีเพราะกระบวนการเชื่อมแก๊สอะเซทิลีนมีการกระจายตัวของเม็ดทั้งสแตนคาร์ไบด์อยู่บริเวณผิวของรอยเชื่อม ส่วนกระบวนการเชื่อมทิกมีค่าความแข็งที่สม่ำเสมอเพราะกระบวนการเชื่อมทิกมีการหลอมละลายแบบซึมลึกจึงทำให้การกระจายตัวของเม็ดทั้งสแตนคาร์ไบด์ไม่อยู่บริเวณผิวเชื่อม

การเปรียบเทียบกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งของกระบวนการเชื่อมแบบทิก และกระบวนการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีนกับค่าความแข็งบริเวณกระทบร้อน(HAZ)

ตารางที่ 4.23 ข้อมูลค่าความแข็งของการเชื่อมแบบทิกในบริเวณกระทบร้อน(HAZ)

ระยะ(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8
HAZ	233.6	212.9	226.4	251.6	254	391	200.6	226.3

ระยะ(mm)	9	10	11	12	13	14	15	16
HAZ	224.6	190.3	196.3	279.9	255.3	212.7	221.2	242.4

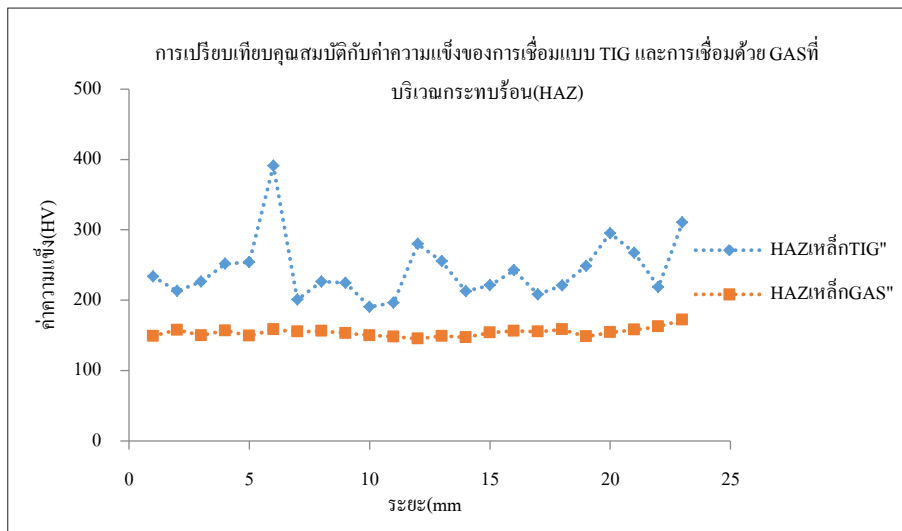
ระยะ(mm)	17	18	19	20	21	22	23
HAZ	208.1	221	248.7	295	267.2	218.7	310.4

ตารางที่ 4.24 ข้อมูลค่าความแข็งของการเชื่อมแบบแก๊สอะเซทิลีนในบริเวณกระทบร้อน(HAZ)

ระยะ(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8
HAZ	149.1	157.7	149.8	156.8	149.2	158.4	155.2	156.1

ระยะ(mm)	9	10	11	12	13	14	15	16
HAZ	153.2	149.8	148.1	145.2	149.1	147.2	153.7	156.2

ระยะ(mm)	17	18	19	20	21	22	23
HAZ	155.1	158.3	148.2	154.2	157.8	162.4	171.9



รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการเชื่อมแบบทิก และการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีนในบริเวณกระทบร้อน (HAZ)

จากรูปที่ 4.19 ที่ระยะ 2 mm จากผิวรอยเชื่อมจะเป็นช่วงบริเวณกระทบร้อน(HAZ) พบว่าความแข็งของกระบวนการเชื่อมทิกมีค่าความแข็งที่ดี เนื่องจากชิ้นงานจากกระบวนการเชื่อมทิก มีแนวเชื่อมที่ซึมลึกจึงทำให้มีการหลอมเหลวของเนื้อทั้งสแตนคาร์ไบด์กับเนื้อเหล็ก จึงส่งผลกระทบต่อบริเวณกระทบร้อน (HAZ) ไปด้วย ส่วนกระบวนการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีนไม่เกิดการซึมลึกทำให้ค่าความแข็งบริเวณกระทบร้อน (HAZ) มีค่าความแข็งเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

การเปรียบเทียบกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งของกระบวนการเชื่อมแบบทิก และกระบวนการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีนกับค่าความแข็งบริเวณเนื้อเหล็ก(BM)

ตารางที่ 4.25 ข้อมูลค่าความแข็งของการเชื่อมแบบทิกในบริเวณเนื้อเหล็ก(BM)

ระยะ	1	2	3	4	5	6	7	8
BM	154.24	173.35	152.13	163.82	145.57	144.87	139.95	137.23

ระยะ	9	10	11	12	13	14	15	16
BM	130.56	163.46	163.92	129.10	131.90	133.69	128.70	131.01

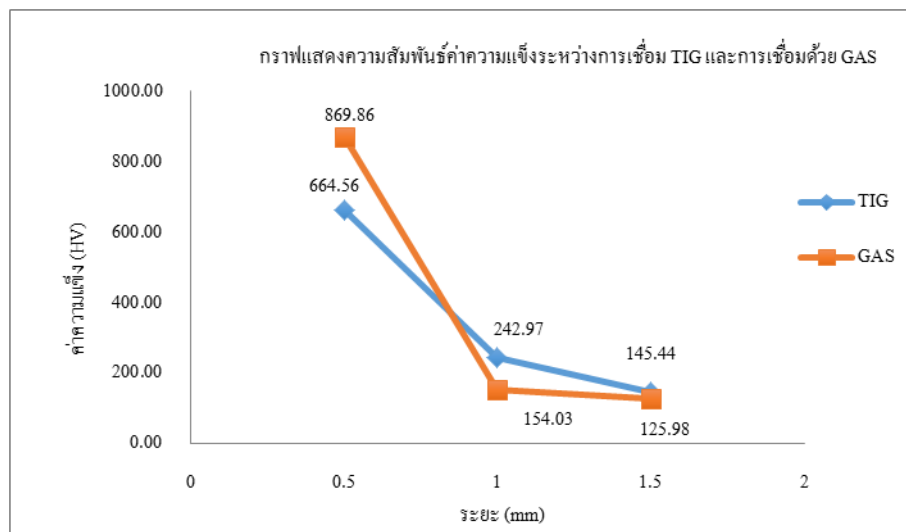
ระยะ	17	18	19	20	21	22	23
BM	207.03	135.84	129.65	133.87	135.63	130.76	150.70

ตารางที่ 4.26 ข้อมูลค่าความแข็งของการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีนในบริเวณเนื้อเหล็ก (BM)

ระยะ	1	2	3	4	5	6	7	8
BM	123.69	126.82	121.77	129.78	125.32	121.45	126.87	128.01

ระยะ	9	10	11	12	13	14	15	16
BM	127.59	122.84	124.75	125.38	129.42	128.94	124.09	120.49

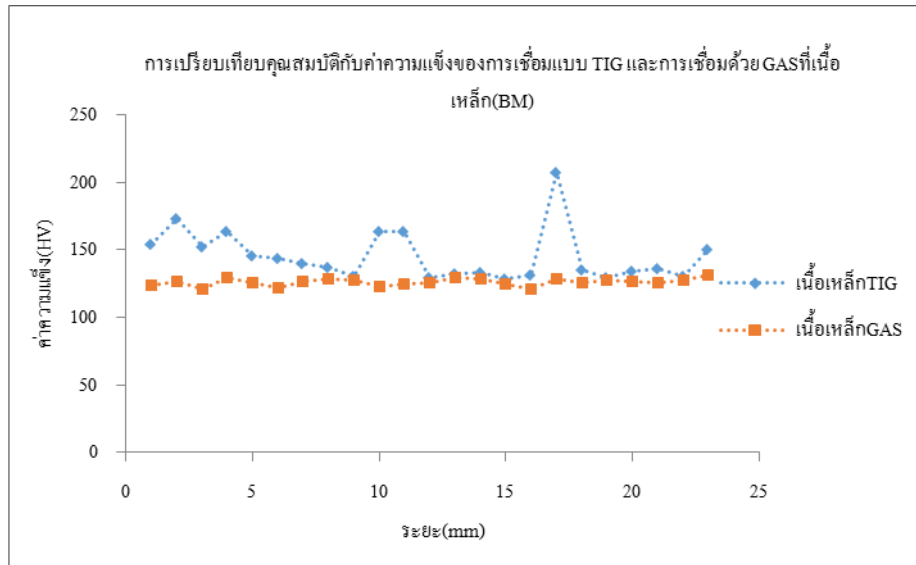
ระยะ	17	18	19	20	21	22	23
BM	128.26	125.53	127.01	126.03	125.90	127.04	131.20



รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการเชื่อมแบบทิก และการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีนในบริเวณเนื้อเหล็ก(BM)

จากรูปที่ 4.20 ที่ระยะ 3 mm จากผิวรอยเชื่อมจะเป็นช่วงบริเวณเนื้อเหล็ก(BM) พบว่าความแข็งของกระบวนการเชื่อมแบบทิกมีค่าความแข็งที่ดี เนื่องจากชิ้นงานจากกระบวนการเชื่อมทิก มีแนวเชื่อมที่ซึมลึกจึงทำให้มีผลกระทบต่อบริเวณเนื้อเหล็ก (BM) ไปด้วย ส่วนกระบวนการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีนไม่เกิดการซึมลึกทำให้ค่าความแข็งบริเวณเนื้อเหล็ก (BM) ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งของกระบวนการเชื่อมแบบทิก และกระบวนการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีน



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความแข็งระหว่างการเชื่อมแบบทิก และการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีน

ค่าความแข็งที่ระยะ 1 มิลลิเมตร จากผิวรอยเชื่อม จะเป็นช่วงความแข็งของแนวเชื่อม (WM) เมื่อเปรียบเทียบ 2 กระบวนการเชื่อมแล้วพบว่ากระบวนการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีนมีค่าความแข็งอยู่ที่ 868.86 HV ซึ่งมีค่าความแข็งมากกว่าเชื่อมแบบทิก เมื่อเพิ่มระยะลงมาอยู่ที่ตำแหน่งที่ 2 มิลลิเมตร จากผิวรอยเชื่อม จะเป็นช่วงของบริเวณกระทบร้อน (HAZ)) เมื่อเปรียบเทียบ 2 กระบวนการเชื่อมแล้วพบว่ากระบวนการเชื่อมแบบทิกมีค่าความแข็งอยู่ที่ 242.97 HV ซึ่งมีค่าความแข็งมากกว่าเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีน เมื่อเพิ่มระยะลงมาอยู่ที่ตำแหน่งที่ 3 มิลลิเมตร จากผิวรอยเชื่อมจะเป็นช่วงเนื้อเหล็ก (BM)) เมื่อเปรียบเทียบ 2 กระบวนการเชื่อมแล้วพบว่ากระบวนการเชื่อมแบบทิก มีค่าความแข็งอยู่ที่ 145.44 HV ซึ่งมีค่าความแข็งมากกว่าเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีน

ค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อมที่ได้จากกระบวนการเชื่อมทิกและกระบวนการเชื่อมแก๊สมีความแตกต่างกัน เนื่องจากลักษณะการกระจายตัวของคาร์ไบด์บริเวณรอยเชื่อม (WM) โดยการเชื่อมแบบ GTAW การกระจายตัวของคาร์ไบด์มีการกระจายตัวเกาะกลุ่มกันหนาแน่นบริเวณท้องแนวเชื่อมใกล้เคียงกับบริเวณกระทบ

ร้อน (HAZ) เป็นผลมาจากความร้อนจากการอาร์ค แรงดันที่เกิดขึ้นระหว่างการเชื่อมทำให้เกิดการไหลวนของบ่อหลอม ซึ่งส่งผลให้มีความแข็งบริเวณแนวเชื่อมในส่วนของห้องแนวเชื่อมมากกว่าบริเวณด้านบนของแนวเชื่อม ส่วนการเชื่อมแก๊ส (OAW) การกระจายตัวของทั้งสแตนคาร์ไบด์ มีการกระจายตัวแบบอิสระ ไม่เกาะกลุ่มกันอยู่ ทำให้ค่าความแข็งมีความใกล้เคียงกันตลอดแนวเชื่อมซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ L. Zong [8]

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยครั้งนี้สามารถสรุปผลการวิจัยได้เป็น 3 หัวข้อคือ

- กระบวนการเชื่อมทิก ค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าในการเชื่อมที่ต่างกัน
- กระบวนการเชื่อมแก๊สค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วในการเชื่อมต่างกัน
- ค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อมโดยกระบวนการเชื่อมทิกและกระบวนการเชื่อมแก๊ส

5.1.1 สรุปผลงานวิจัยการเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อมกับค่าความแข็ง

จากการทดลองการเชื่อมชิ้นงานด้วยกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกันคือ 90A, 100A, 110A และ 120A โดยใช้ความเร็วที่เท่ากัน สามารถสรุปผลจากลักษณะทางกายภาพ และการทดสอบคุณสมบัติทางกล ได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อมกับค่าความแข็ง (กระบวนการเชื่อมทิก)

กระแสไฟ (แอมป์)	ความเร็ว (เซนติเมตร/นาที)	ค่าความแข็งเนื้อทั้งสแตนคาร์ไบด์ (HV)	ค่าความแข็งเม็ดทั้งสแตนคาร์ ไบด์ (HV)
90	11.2	609.87	1,960.59
100	11.2	766.08	2,072.42
110	11.2	834.01	2,218.27
120	11.2	730.87	2,063.56

5.1.1.1 ผลทางกายภาพ พบว่า การเชื่อมชิ้นงานด้วยกระแสไฟฟ้าที่ 110A ให้ลักษณะแนวเชื่อมที่สมบูรณ์และมีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมทั้งความสูงและความกว้างของแนวเชื่อม เมื่อเปรียบเทียบกับ การเชื่อมชิ้นงานที่กระแสไฟ 90A และ 100A แนวเชื่อมจะมีค่าพารามิเตอร์ที่แคบกว่าการเชื่อมชิ้นงานที่ กระแสไฟ 110A และการเชื่อมชิ้นงานที่กระแสไฟ 120A จะมีค่าพารามิเตอร์ที่กว้างและความสูงของแนว เชื่อมต่ำ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อมมีความร้อนสูง

5.1.1.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลของค่าความแข็ง บริเวณเนื้อแนวเชื่อม(WM) จะมี ค่าความแข็งมากกว่าบริเวณเนื้อโลหะ(BM) และบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน(HAZ) จะส่งผลให้ ความแข็งบริเวณนี้มีค่าความแข็งที่มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบความแข็งจากการเชื่อมชิ้นงานด้วยกระแสไฟ 90A, 100A, 110A, และ 120A โดยการเชื่อมชิ้นงานด้วยกระแสไฟที่ 110A จะให้ลักษณะแนวเชื่อมที่

สมบูรณ์และดีกว่าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแสไฟ 90A, 100A, 120A และจะมีค่าความแข็งบริเวณผิวชิ้นงานสูงและมีการกระจายตัวของเม็ดทั้งสแตนคาร์ไบด์มากกว่าการเชื่อมชิ้นงานด้วยกระแสไฟ 90A, 100A และ 120A เมื่อพิจารณาจากข้อมูลจะเห็นได้ว่าค่าความแข็งของเนื้อทั้งสแตนคาร์ไบด์ และเม็ดทั้งสแตนคาร์ไบด์ของการเชื่อมชิ้นงานด้วยกระแสไฟที่ 110A จะมีค่าความแข็งที่สูงกว่าโดยมีค่าความแข็งของเนื้อทั้งสแตนคาร์ไบด์อยู่ที่ 834.01 HV และค่าความแข็งของเม็ดทั้งสแตนคาร์ไบด์อยู่ที่ 2,218.27 HV

จากข้อมูลข้างต้นค่ากระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อมชิ้นงานที่ 110A ให้ค่าพารามิเตอร์ที่สมบูรณ์และค่าความแข็งที่สูงจึงนำการเชื่อมชิ้นงานที่กระแสไฟ 110A นั้นมาเชื่อม โดยใช้ความเร็วในการเชื่อมที่แตกต่างกันเพื่อเปรียบเทียบความเร็วว่าความเร็วที่เปลี่ยนไปมีผลต่อความแข็งของรอยเชื่อมหรือไม่

5.1.2 สรุปผลงานวิจัยการเปรียบเทียบความเร็วที่ใช้ในการเชื่อมกับค่าความแข็ง

จากการทดลองการเชื่อมชิ้นงานที่กระแสไฟ 110A ด้วยความเร็วที่ 15.3 เซนติเมตรต่อนาที, 11.2 เซนติเมตรต่อนาที และ 9.2 เซนติเมตรต่อนาที สามารถสรุปผลจากลักษณะทางกายภาพและ การทดสอบคุณสมบัติทางกลได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบความเร็วที่ใช้ในการเชื่อมกับค่าความแข็ง (กระบวนการเชื่อมทิก)

กระแสไฟ (แอมป์)	ความเร็ว (เซนติเมตร/นาที)	ค่าความแข็งเนื้อทั้งสแตนคาร์ไบด์ (HV)	ค่าความแข็งของเม็ดทั้งสแตนคาร์ไบด์ (HV)
110	9.2	766.78	2,169.25
110	11.2	834.01	2,218.27
110	15.3	667.12	1,790.56

5.1.2.1 ผลทางกายภาพ พบว่าการเชื่อมชิ้นงานที่กระแสไฟ 110A ด้วยความเร็ว 15.3 เซนติเมตรต่อนาที ทำให้แนวเชื่อมที่ได้มีค่าพารามิเตอร์ที่แคบและมีลักษณะที่นูนเกินไปส่วนการเชื่อมชิ้นงานที่กระแสไฟ 110A ด้วยความเร็ว 9.2 เซนติเมตรต่อนาที ทำให้ได้แนวเชื่อมที่มีค่าพารามิเตอร์กว้างและมีการซึมลึกที่มากส่งผลให้ความแข็งของเนื้อทั้งสแตนคาร์ไบด์บนผิวชิ้นงานมีความแข็งน้อยลง และส่วนการเชื่อมชิ้นงานที่กระแสไฟ 110A ด้วยความเร็ว 11.2 เซนติเมตรต่อนาที รอยเชื่อมที่ได้จะมีลักษณะรอยเชื่อมสวยเป็นระเบียบและมีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมทั้งความกว้างความหนาและระยะซึมลึก

5.1.2.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลของค่าความแข็งบริเวณเนื้อแนวเชื่อม(WM) จะมีค่าความแข็งมากกว่าบริเวณเนื้อโลหะ(BM) และบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน(HAZ) จะส่งผลให้ความแข็งบริเวณนี้มีค่าความแข็งที่มากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบการเชื่อมชิ้นงานที่กระแสไฟ 110A โดยใช้ความเร็วที่ 15.3 เซนติเมตรต่อนาที, 11.2 เซนติเมตรต่อนาที และ 9.2 เซนติเมตรต่อนาทีพบว่า การเชื่อม

ชิ้นงานที่กระแส ไฟ 110A ด้วยความเร็ว 9.2 เซนติเมตรต่อนาที จะมีค่าความแข็งที่ต่ำกว่าการเชื่อมชิ้นงานที่กระแสไฟ 110A ด้วยความเร็ว 11.2 เซนติเมตรต่อนาที และ 15.3 เซนติเมตรต่อนาที ทั้งนี้ยังมีระยะการซึมลึกของแนวเชื่อมที่มากเกินไปส่งผลให้เนื้อเหล็กละลายตัวผสมเข้ากับเนื้อของลวดเชื่อมทั้งสแตนคาร์ไบด์ ทำให้ค่าความแข็งของทั้งสแตนคาร์ไบด์ลดลง และการเชื่อมชิ้นงานที่กระแสไฟ 110A ด้วยความเร็ว 11.2 เซนติเมตรต่อนาที จะให้ค่าความแข็งที่มากกว่าการเชื่อมชิ้นงานที่กระแสไฟ 110A ด้วยความเร็ว 15.3 เซนติเมตรต่อนาที และเมื่อทำการวัดค่าความแข็งของเม็คทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ทำการเชื่อมชิ้นงานที่กระแสไฟ 110A ด้วยความเร็ว 11.2 เซนติเมตรต่อนาทีจะมีค่าความแข็งที่มากกว่าการเชื่อมชิ้นงานที่กระแสไฟ 110A ด้วยความเร็ว 9.2 เซนติเมตรต่อนาที และ 15.3 เซนติเมตรต่อนาที โดยมีค่าความแข็งของเนื้อทั้งสแตนคาร์ไบด์อยู่ที่ 834.01 HV และค่าความแข็งของเม็คทั้งสแตนคาร์ไบด์อยู่ที่ 2,218.27 HV

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเชื่อมชิ้นงานที่กระแสไฟ 110A ด้วยความเร็ว 11.2 เซนติเมตรต่อนาทีให้ค่าพารามิเตอร์ที่สมบูรณ์ และมีค่าความแข็งมากจึงนำการเชื่อมชิ้นงานที่กระแสไฟ 110A ด้วยความเร็ว 11.2 เซนติเมตรต่อนาที มาใช้ในการเชื่อมพอกผิวแข็ง เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าความแข็งที่ได้ระหว่าง การเชื่อมพอกผิวแข็งแบบทิก และการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยแก๊สอะเซทิลีน

5.1.3 สรุปผลงานวิจัยการเปรียบเทียบคุณสมบัติกับค่าความแข็งของการเชื่อมแบบทิก และการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีน

จากการทดลองเมื่อทำการเชื่อมพอกผิวแข็งแบบทิก และการเชื่อมพอกผิวแข็งแบบแก๊สอะเซทิลีน สามารถสรุปผลจากลักษณะทางกายภาพ และการทดสอบคุณสมบัติทางกลได้ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติกับค่าความแข็งของการเชื่อมแบบทิก และการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีน

ลักษณะการเชื่อม	ค่าความแข็ง (HV)		
	WM	HAZ	BM
TIG	664.56	242.97	145.44
GAS	868.86	154.03	125.98

5.1.3.1 ผลทางกายภาพ พบว่าการเชื่อมพอกผิวแข็งแบบทิก จะมีลักษณะแนวเชื่อมที่สวยเป็นระเบียบ และมีการเกยทับที่ค่อนข้างสม่ำเสมอเมื่อเปรียบเทียบกับ การเชื่อมพอกผิวแข็งแบบ แก๊สอะเซทิลีน ซึ่งการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยแก๊สอะเซทิลีน จะมีลักษณะแนวเชื่อมที่ไม่ค่อยเป็นแนวเนื่องจากการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซทิลีนจะควบคุมการเดินแนวเชื่อมได้ไม่ค่อยดี และจะมีการแทรกตัวของอากาศอยู่ในแนวเชื่อมทำผลที่ออกมาไม่โปร่งอากาศ

5.1.3.2 จากตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลของค่าความแข็งบริเวณเนื้อแนวเชื่อม(WM) จะมีค่าความแข็งมากกว่าบริเวณเนื้อ โลหะ(BM) และบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน (HAZ) จะส่งผลให้ความแข็งบริเวณนี้มีค่าความแข็งที่มากขึ้น และเมื่อวัดค่าความแข็งลงมาจากผิวรอยเชื่อม (WM) ในตำแหน่งที่ 1 เป็นระยะ 1 มิลลิเมตร พบว่าการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยแก๊สอะเซทิลีน จะมีค่าความแข็งอยู่ที่ 868.86 HV ซึ่งมากกว่าการเชื่อมพอกผิวแข็งแบบทิก เพราะบริเวณผิวของรอยเชื่อมพอกผิวแข็งแบบแก๊สอะเซทิลีน จะมีการกระจายตัวของเม็ดทั้งสแตนคาร์ไบด์อยู่บริเวณผิวของรอยเชื่อมมากกว่าการเชื่อมพอกผิวแข็งแบบทิก และเมื่อวัดค่าความแข็งในตำแหน่งที่ 2 เป็นระยะ 2 มิลลิเมตร วัดจากผิวรอยเชื่อมลงมา จะเป็นช่วงของบริเวณกระทบร้อน(HAZ) พบว่าการเชื่อมพอกผิวแข็งแบบทิก จะมีค่าความแข็งอยู่ที่ 242.97 HV ซึ่งมีค่าความแข็งมากกว่าการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยแก๊สอะเซทิลีน เนื่องจากการเชื่อมพอกผิวแข็งแบบทิก มีแนวเชื่อมที่ซึมลึกกว่าการเชื่อมพอกผิวแข็งแบบ GAS จึงทำให้ค่าความแข็งในบริเวณกระทบร้อน(HAZ) ที่มากกว่า และเมื่อเปรียบเทียบความแข็งลงมาในตำแหน่งที่ 3 เป็นระยะ 3 มิลลิเมตร จะเป็นช่วงของเนื้อเหล็ก(BM) พบว่าการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยแก๊สอะเซทิลีน มีค่าความแข็งอยู่ที่ 145.44 HV ซึ่งมีค่าความแข็งมากกว่าการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยแก๊สอะเซทิลีน เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากความร้อนที่ใช้ในการเชื่อมพอกผิวแข็งส่งผลให้โครงสร้างของเหล็กเปลี่ยนไปทำให้ค่าความแข็งของเนื้อเหล็ก (BM) เพิ่มขึ้น

ทั้งนี้ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมพอกผิวแข็งแบบทิก และการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยแก๊สอะเซทิลีน ต่างก็มีความแข็งที่มากทั้ง 2 แบบ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การนำไปใช้งาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองต้องมีประสิทธิภาพพอถึงจะได้ข้อมูล และผลการทดลองที่ได้มาตรฐานและมีความถูกต้อง

5.2.2 ในระหว่างการเชื่อมชิ้นงานเกิดกระแสไฟที่ไม่คงที่ เนื่องจากการใช้กระแสไฟภายในอาคาร เครื่องมือไม่สมดุล จึงให้การอาร์คของเครื่องเชื่อมเกิดการขัดข้องของกระแสไฟ ส่งผลต่อการหลอมละลาย ในระหว่างการอาร์คในการเชื่อม

5.2.3 การเชื่อมชิ้นงานที่ใช้กระแสไฟในการเชื่อมสูงแต่ความเร็วในการเชื่อมที่ต่ำ จะทำให้เกิดการทะลุของชิ้นงานได้

5.2.4 ควรเป็นเครื่องเชื่อมอัตโนมัติ เพราะจะมีการควบคุมความเร็วและระยะอาร์คที่แน่นอนได้ ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานน้อยลง

เอกสารอ้างอิง

- 1) P. Crook, Friction and wear of hardfacing alloys, in: ASM Handbook, Friction, Lubrication and Wear Technology, vol. 18 (1992) 758–765.
- 2) I.M. Hutchings, Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials, Cambridge, 1992, p. 133–171.
- 3) C. Roda V´ azquez, A. Loureiro, J. Pita Cribeiro, Comportamiento frente al desgaste abrasivo de las aleaciones con tendencia a laformaci´ on de carburos aplicados por soldadura, Mantenimiento 134(2000) 78–89S. Chatterjee, T.K. Pal, Wear behavior of hardfacing deposits on castiron, Wear 255 (2003) 417–425.
- 4) W. Wo, L.-T. Wu, The wear behavior between hardfacing materials, Metall. Mater. Trans. A 27A (1996) 3639–3648.
- 5) X. Wang, L. Cheng, M. Zhang, and Z. Zou. 2009. Fabrication of Multiple Carbide Particles Reinforced Fe-based Surface Hardfacing Layer Produced by Gas Tungsten Arc Welding Process. [Surface and Coatings Technology](#) 203 (8): 976 – 980
- 6) N. Kamdangyai, R. Jitaofer, A. Phophoung, N. Kunawong, and I. Phung-on, Effect of Welding Current and PWHT on Abrasive Wear Rate of SMAW Hardfacing, Proceedings of 5th Naresuan Research Conference, 28-29 July 2009, Phisanulork , Thailand
- 7) N. Saeteaw, and I. Phung-on, A Study Alignment of Hardfacing on Steel Affected Abrasive Wear Resistance by Oxyacetylene Welding Process, Proceedings of 5th Naresuan Research Conference, 28-29 July 2009, Phisanulork , Thailand
- 8) L. Zong, Z.J. Liu. 2011. Microstructure and Wear Properties of Fe-Based Alloy Hardfacing Layers. *Advanced Materials Research* 291 – 294: 201-204
- 9) N. Phuraya, and I. Phung-on, A Study of the Properties of Weld Metal on Hardfacing Weld Metal, Proceedings of RSU Research Conference 2008, 3 April 2008, Bangkok, Thailand
- 10) หนังสือคู่มือการเชื่อมโลหะ 2 : คณะวิศวกรรมศาสตร์. งานเชื่อมและแปรรูปโลหะแผ่น สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม [วันที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ.2557]
- 11)]<https://sites.google.com/site/karcheuxmkas/home/hlak-kar-cheuxm-loha-dwy-kaes-xxk-si-xasethilin> [วันที่ 18 พฤษภาคม พ.ศ.2557]
- 12) http://www.pcat.ac.th/_files_school/00000831/data/00000831_1_20141106-121955.pdf [วันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ.2557]

- 13) <http://www.meeboard.com/users/weld/imgupload/4-4.pdf> [วันที่ 21 พฤษภาคม พ.ศ.2557]
- 14) <http://ir.rmuti.ac.th/xmlui/bitstream/handle/123456789/251/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%202.pdf?sequence=5> [วันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ.2557]
- 15) http://eng.sut.ac.th/metal/images/stories/Lab_3_Microstructural_Examination_using_Reflective_Light_Optical_Microscope.pdf [วันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ.2557]
- 16) <http://tonanasia.com/wordpress/techniques/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%97%E0%B8%94%E0%B8%AA%E0%B8%AD%E0%B8%9A%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B9%81%E0%B8%82%E0%B9%87-2/> [วันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ.2557]
- 17) [http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/images/stories/files/published/39no2-6\(1\).pdf](http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/images/stories/files/published/39no2-6(1).pdf) [วันที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ.2557]
- 18) <http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/4039/1/Fulltext+SUT7-713-53-24-35.pdf> [วันที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ.2557]
- 19) <http://www.eg.mahidol.ac.th/dept/egie/images/IE-Network-Archives/2011/PDF/6.MPM/MPM90.pdf> [วันที่ 28 พฤษภาคม พ.ศ.2557]
- 20) http://app.eng.ubu.ac.th/~ie/article/pdf/2555/2555_MPM033.pdf [วันที่ 30 พฤษภาคม พ.ศ.2557]

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมของวัสดุทดลองเชื่อม เกรด SS400

SPECTRO		8/6/2558 15:36:04						
Method:	Fe-10	Element concentration					8/6/2558 15:35:23	
Comment:	low alloy steel							
Sample Name:								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.149	0.0192	0.765	0.0875	? 0.0250	0.0258	0.0021	0.0134
2	0.143	0.0114	0.774	0.0883	? 0.0250	0.0254	0.0021	0.0136
3	0.146	0.0103	0.774	0.0874	? 0.0250	0.0249	0.0023	0.0132
< x > (3)	0.146	0.0136	0.771	0.0877	? 0.0250	0.0254	0.0021	0.0134
sd	0.0032	0.0049	0.0050	0.00048	0.00000	0.00044	0.00010	0.00018
rsd	2.2	35.9	0.7	0.5	0.0	1.7	4.5	1.3
	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0436	0.0030	0.0909	< 0.00020	0.00075	0.00080	< 0.00020	< 0.00020
2	0.0440	0.0027	0.0890	< 0.00020	0.00074	0.00071	< 0.00020	< 0.00020
3	0.0435	0.0026	0.0883	< 0.00020	0.00066	0.00062	< 0.00020	< 0.00020
< x > (3)	0.0437	0.0028	0.0894	< 0.00020	0.00071	0.00071	< 0.00020	< 0.00020
sd	0.00023	0.00021	0.0013	0.00000	0.00005	0.00009	0.00000	0.00000
rsd	0.5	7.5	1.5	0.0	6.4	12.3	0.0	0.0
	Sn	Zr	Bi	Ca	Ce	Sb	Se	Te
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0034	0.00033	0.00042	0.00022	0.00047	0.00080	< 0.00080	< 0.0010
2	0.0035	0.00033	0.00056	0.00020	0.00049	0.00062	< 0.00080	< 0.0010
3	0.0036	0.00028	0.00028	0.00024	0.00070	< 0.00040	< 0.00080	< 0.0010
< x > (3)	0.0035	0.00031	0.00043	0.00022	0.00056	0.00061	< 0.00080	< 0.0010
sd	0.00008	0.00003	0.00015	0.00002	0.00013	0.00020	0.00000	0.00000
rsd	2.2	8.7	35.0	8.8	23.2	33.0	0.0	0.0
	Ta	B	Ag	N	O	Fe		
	%	%	%	%	%	%		
1	0.0018	0.00012	0.00010	< 0.00040	< 0.0020	98.8		
2	0.0024	0.00012	0.00011	< 0.00040	< 0.0020	98.8		
3	0.0014	< 0.00010	0.00009	< 0.00040	< 0.0020	98.8		
< x > (3)	0.0019	0.00011	0.00010	< 0.00040	< 0.0020	98.8		
sd	0.00049	0.00001	0.00001	0.00000	0.00000	0.0045		
rsd	26.6	9.3	12.2	0.0	0.0	0.0		

รูปที่ ก.1 แสดงผลการวิเคราะห์ส่วนผสมของเหล็กเกรดSS400 จากเครื่อง SPECTROLAB

ประวัตินักวิจัย

จกมล ศรีธร เกิดเมื่อวันที่ 14 มกราคม พ.ศ.2521 ที่จังหวัดปทุมธานี ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มทส.) จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีเมื่อปี พ.ศ. 2542 และจบการศึกษาระดับปริญญาโทจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปีพ.ศ. 2544 หลังจากนั้นเข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกร ประจำห้องปฏิบัติการยานยนต์ ที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สวทช. และได้รับทุนรัฐบาลไปศึกษาต่อระดับปริญญาเอก ที่ประเทศอังกฤษ ณ University of Nottingham เมื่อปีพ.ศ. 2548 ในสาขา Manufacturing Engineering and Operations Management โดยสำเร็จการศึกษาเมื่อปีพ.ศ. 2552 และกลับมาทำงานในตำแหน่งนักวิจัย ห้องปฏิบัติการระบบอัตโนมัติและแมคคาทรอนิกส์ที่ MTEC เป็นเวลา 4 ปีก่อนจะย้ายมาเป็นอาจารย์ที่ มทส. เมื่อเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2556 จนถึงปัจจุบัน