



การศึกษากกรรมวิธีเชื่อมพอกแข็งเพื่อป้องกันการสึกหรอและยืดอายุการใช้งานสำหรับ
ฟันม่ของเครื่องม่ถ่านหิน

**Investigation of Proper Welding Hardfacing for Wear Protection and Life
Extending of Coal Crusher**

ชรินทร์ ดำรงการ

Chanin Dumrudkarn

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Materials Engineering
Prince of Songkla University**

2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



การศึกษาระบบวิธีเชื่อมพอกแข็งเพื่อป้องกันการสึกหรอและยืดอายุการใช้งานสำหรับ
ฟันม่ของเครื่องม่ถ่านหิน

**Investigation of Proper Welding Hardfacing for Wear Protection and Life
Extending of Coal Crusher**

ชนินทร์ ดำรัสการ

Chanin Dumrudkarn

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Materials Engineering
Prince of Songkla University**

2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษากรรมวิธีเชื่อมพอกแข็งเพื่อป้องกันการสึกหรอและยืดอายุการใช้งาน
สำหรับฟันไม้ของเครื่องไม้ถ่านหิน

ผู้เขียน นายชนินทร์ คำรัสการ

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประภาศ เมืองจันทร์บุรี)

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวัชชัย ปลุกผล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประภาศ เมืองจันทร์บุรี)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. พิษณุ บุญนวล)

.....กรรมการ
(ดร.สมใจ จันทร์อุดม)

.....กรรมการ
(ดร. กนิษฐ์ ตะปะสา)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำหรับ
การศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชีรพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประภาศ เมืองจันทร์บุรี)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ

(นายชนินทร์ คำรัสการ)

นักศึกษา

(4)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ

(นายชนินทร์ คำรัสการ)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษากิจกรรมวิธีเชื่อมพอกแข็งเพื่อป้องกันการสึกหรอและยืดอายุการใช้งานสำหรับพื้นไม้ของเครื่องไม้ถ่านหิน
ผู้เขียน	นายชนินทร์ คำรัสการ
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากิจกรรมวิธีการเชื่อมพอกแข็งที่เหมาะสม เพื่อป้องกันการสึกหรอและยืดอายุการใช้งานสำหรับพื้นไม้ของเครื่องไม้ถ่านหินเหมืองแม่เมาะ ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ โดยศึกษากิจกรรมวิธีการเชื่อมพอกเหล็กกล้า 13% แมงกานีส ของพื้นไม้เครื่องไม้ถ่านหินชนิดไม้คู้ ด้วยการเชื่อมพอกแข็งในบรรยากาศปกติ และควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ การวิเคราะห์หลักได้แก่ โครงสร้างมหภาค จุลภาค การทดสอบความแข็ง และการทดสอบการสึกหรอของชิ้นงานเชื่อมแบบต่างๆ ลวดเชื่อมออสเทนิติก ถูกเลือกมาเป็นมาเป็นชั้นรองพื้น และชั้นสร้างเนื้อ ลวดเชื่อมมาร์เทนซิติคถูกเลือกมาเป็นชั้นพอกแข็ง การเชื่อมมีทั้งหมด 18 เงื่อนไข แบ่งเป็นสองกลุ่มใหญ่ คือ เชื่อมในบรรยากาศปกติ และควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ ลักษณะโครงสร้างมหภาคและจุลภาค ตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง และทดสอบการสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM G65 ผลการศึกษาพบว่า การเชื่อมในบรรยากาศทำให้บริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อนมีขนาดเกรนที่โตกว่าการเชื่อมที่ควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ และเมื่อได้รับแรงกระแทกบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อนของชิ้นงานที่เชื่อมในบรรยากาศจะมีรอยแตกเพิ่มมากขึ้นกว่า ชิ้นงานที่เชื่อม โดยการควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ โดยชิ้นงานที่เชื่อมชั้นสร้างเนื้อ 3 ชั้น โดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ พบว่าเมื่อได้รับแรงกระแทกจะช่วยลดรอยแตกขนาดเล็กบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อนลงได้ การเชื่อมพอกแข็ง 2 ชั้นให้ค่าความแข็งที่สูงกว่าการเชื่อมพอกแข็งเพียงชั้นเดียว โดยการเชื่อม รองพื้น 1 ชั้น สร้างเนื้อ 3 ชั้น และพอกแข็ง 2 ชั้น โดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ ด้านทานการสึกหรอได้ดีที่สุด ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การเชื่อมซ่อมเหล็กกล้า 13% แมงกานีส ควรควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ มีชั้นสร้างเนื้ออย่างน้อย 3 ชั้น และมีชั้น พอกแข็ง 2 ชั้น

Thesis Title	Investigation of proper welding hardfacing for wear protection and life extending of coal crusher
Author	Mr. Chanin Dumrudkarn
Major Program	Materials Engineering
Academic Year	2015

Abstract

The welding procedure of hardfacing by shielded metal arc welding (SMAW) process was investigated. 13% Mn cast steel was used as specimen for the hardfacing. The various conditions of the procedure were optimized in order to improve wear resistance and prolong lifetime of the crusher used at Mae Moh coal mine. The welding process in 2 main different conditions; uncontrolled cooling rate on specimen (by air) and controlled cooling rate on specimen (by water) were compared. Macrostructure and microstructure analysis, hardness measurement, abrasive wear test of different welding specimens were major investigations. Austenetic electrode was chosen for buffer and build-up layers while martensitic electrode was chosen for hardfacing layer. The different 18 conditions of welding process (under air and water conditions) were performed. Macrostructure and microstructure were analyzed by using optical microscope. Abrasive wear tests were performed according to ASTM G65. Results indicated that, by welding in the air, bigger grain size was generated at heat effected zone than by welding in the water. Moreover, welding procedure in the air produced more cracks at the heat effected zone after impact applied. Welding 3 layers of build-up in the water can reduce microcracks at heat effected zone. Comparison of a layer and 2 layers hardfacing welding was also investigated. The 2 layers hardfacing offered greater surface hardness. The welding layer composition of a buffer layer, 3 build-up layers and 2 hardfacing layers under controlled cooling rate on specimen (by water), welding provided best abrasive wear resistance. Hence, it can be concluded that the welding of 13% Mn cast steel must be carried out under water condition with welding layer composition of 3 buffer layers and 2 hardfacing layers.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องด้วยการประสิทธิประสาทวิชาความรู้และความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่าย ตลอดจนบัณฑิตศึกษาและคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประภาศ เมืองจันทร์บุรี อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่ให้คำปรึกษาแนะนำในการดำเนินการวิจัย และการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาตรวจทาน และให้คำแนะนำจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัย

ขอขอบคุณ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่สนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้งบประมาณอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทดสอบความแข็ง และขอขอบคุณทีมงานผู้ทำวิจัยการศึกษากรรมวิธีเชื่อมพอกแข็งที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการสึกหรอและยืดอายุการใช้งานสำหรับฟันไม้มงเครื่องไม้ถ่านหินเหมืองแม่เมาะทุกท่าน ที่ทำให้งานวิจัยและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถดำเนินงานไปได้และมีความสมบูรณ์ครบถ้วนทุกประการ

ชนินทร์ คำรัสการ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(11)
รายการภาพประกอบ	(12)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(16)
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 เป้าหมายของการวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ของงานวิจัย	4
1.5 ขอบเขตงานวิจัย	5
1.6 แผนการดำเนินงานวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎี	6
2.1.1 การสีกหรือ	6
2.1.2 การควบคุมการสีกหรือ	11
2.1.3 การเชื่อมพอกแข็ง	13
2.1.4 โลหะวิทยาของเนื้อโลหะพอกแข็ง	14
2.1.5 การเลือกวัสดุเชื่อม	16
2.1.6 การเจือจางของเนื้อเชื่อม	19
2.1.7 เหล็กกล้าทนการสีกหรือ	19
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัย	26
3.2 รายละเอียดการดำเนินการทดลอง	32
3.2.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	32
3.2.2 การเตรียมชิ้นงาน	33
3.2.3 กรรมวิธีการเชื่อม	33
3.2.4 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค	36
3.2.5 การหาปริมาณแมงกานีสคาร์ไบด์	37
3.2.6 การทดสอบการตีกระทบ	40
3.2.7 การตรวจสอบค่าความแข็ง	40
3.2.8 การตรวจสอบการสึกหรอ	41
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	
4.1 การวิเคราะห์การสึกหรอ	42
4.2 โลหะฐาน	44
4.3 กรณีการเชื่อม โดยมีชั้นสร้างเนื้อ 1 ชั้น	46
4.4 กรณีการเชื่อม โดยมีชั้นสร้างเนื้อ 2 ชั้น	55
4.5 กรณีการเชื่อม โดยมีชั้นสร้างเนื้อ 3 ชั้น	65
4.6 ผลการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	75
4.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง	80
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	85
5.2 ข้อเสนอแนะ	86

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	89
ภาคผนวก	
ก สมบัติของลวดเชื่อม	92
ข เครื่องเชื่อม Fronius รุ่น TransPuls Synergic 4000	95
ค ค่าความแข็ง	97
ง บทความวารสาร	104
ประวัติผู้เขียน	111

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
3-1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้า 13 % แมงกานีส (% น้ำหนัก)	26
3-2 เงื่อนไขการเชื่อมเหล็กกล้า 13 % แมงกานีส	35
4-1 ปริมาณแมงกานีสคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นบริเวณวัสดุฐาน	50
4-2 ปริมาณแมงกานีสคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นบริเวณวัสดุฐาน	60
4-3 ปริมาณแมงกานีสคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นบริเวณวัสดุฐาน	70
4-4 แสดงผล EDS ของจุดต่างๆ ในรูปที่ 4-36	76
4-5 แสดงผล EDS ตามแนวยาว ในรูปที่ 4-37	77
4-6 แสดงผล EDS ตามแนวยาว ในรูปที่ 3-38	78
4-7 แสดงผล EDS ตามแนวยาว ในรูปที่ 4-39	79
4-8 แสดงผล EDS ตามแนวยาว ในรูปที่ 4-40	80
4-9 ส่วนผสมทางเคมีของเนื้อเชื่อม	82

รายการภาพประกอบ

รูปที่	หน้า
1-1 โม่ถ่านหินแบบคู่	2
2-1 การสัมผัสกันชนิดสองเนื้อ	7
2-2 การสัมผัสชนิดสามเนื้อ	7
2-3 การสึกหรอแบบครูด	9
2-4 การสึกหรอความเค้นต่ำ	10
2-5 การสึกหรอความเค้นสูง	11
2-6 การสึกหรอความเค้นสูงบนชิ้นงาน	11
2-7 บริเวณต่างๆ ที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อนของการเชื่อม	14
2-8 เฟสไดอะแกรมของ Fe-Cr-C	15
2-9 เซฟเฟอร์ไดอะแกรม	17
2-10 เฟสไดอะแกรมของเหล็กกล้าแมงกานีส	20
2-11 การเปลี่ยนแปลงความแข็งเมื่อได้รับแรงกระแทก	21
3-1 เครื่องเชื่อมยี่ห้อ Fronius รุ่น TransPuls Syneqic 4000	27
3-2 Thermocouple type K	28
3-3 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (กำลังขยายตั้งแต่ 4-28 เท่า)	28
3-4 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (กำลังขยายตั้งแต่ 25-500 เท่า)	29
3-5 เครื่องวัดความแข็งแบบวิกเกอร์	29
3-6 ไดอะแกรมเครื่องมือทดสอบการสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM G65	30
3-7 เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.0001 กรัม	30
3-8 เครื่องทดสอบการกระแทก	31
3-9 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยของเหล็กกล้า 13 % แมงกานีส	32
3-10 การจัดเตรียมอุปกรณ์ในการเชื่อม	33
3-11 การเชื่อมพอกแข็งเหล็กกล้าแมงกานีส	33

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3-12	34
3-13	36
3-14	37
3-15	38
3-16	38
3-17	39
3-18	39
3-19	40
4-1	42
4-2	43
4-3	44
4-4	45
4-5	46
4-6	47
4-7	48
4-8	49
4-9	51
4-10	52
4-11	52
4-12	53
4-13	54
4-14	54
4-15	56
4-16	57

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-17 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานตามการทดลอง (B-2U-2H)	58
4-18 โครงสร้างจุลภาคบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อน	59
4-19 แมงกานีสคาร์ไบด์ที่กระจายอยู่ในเหล็กกล้าแมงกานีส	60
4-20 ค่าความแข็งของชิ้นงานที่เชื่อมชั้นสร้างเนื้อ 2 ชั้น พอกแข็ง 1 ชั้น	61
4-21 ค่าความแข็งของชิ้นงานที่เชื่อมชั้นสร้างเนื้อ 2 ชั้น พอกแข็ง 2 ชั้น	62
4-22 สภาพผิวหน้าชิ้นงานก่อนและหลังตีกระแทก ก่อนการทดสอบการสึกหรอ	62
4-23 สภาพผิวหน้าชิ้นงานก่อนและหลังตีกระแทก หลังการทดสอบการสึกหรอ	63
4-24 ผลการทดสอบการสึกหรอของชิ้นงานที่เชื่อมพอกชั้นสร้างเนื้อ 2 ชั้น (ไม่ตีกระแทก)	64
4-25 ผลการทดสอบการสึกหรอของชิ้นงานที่เชื่อมพอกชั้นสร้างเนื้อ 2 ชั้น (ตีกระแทก)	65
4-26 ชั้นเชื่อมของชิ้นงานในเงื่อนไขต่างๆ	66
4-27 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานตามการทดลอง (B-3U-H)	67
4-28 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานตามการทดลอง (B-3U-2H)	68
4-29 โครงสร้างจุลภาคบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อน	69
4-30 ค่าความแข็งของชิ้นงานที่เชื่อมชั้นสร้างเนื้อ 3 ชั้น พอกแข็ง 1 ชั้น	70
4-31 ค่าความแข็งของชิ้นงานที่เชื่อมชั้นสร้างเนื้อ 3 ชั้น พอกแข็ง 2 ชั้น	71
4-32 สภาพผิวหน้าชิ้นงานก่อนและหลังตีกระแทก ก่อนการทดสอบการสึกหรอ	72
4-33 สภาพผิวหน้าชิ้นงานก่อนและหลังตีกระแทก หลังการทดสอบการสึกหรอ	73
4-34 ผลการทดสอบการสึกหรอของชิ้นงานที่เชื่อมพอกชั้นสร้างเนื้อ 3 ชั้น (ไม่ตีกระแทก)	74
4-35 ผลการทดสอบการสึกหรอของชิ้นงานที่เชื่อมพอกชั้นสร้างเนื้อ 3 ชั้น (ตีกระแทก)	74
4-36 ภาพถ่าย SEM ของชิ้นงานเหล็กกล้าแมงกานีสที่ใช้ในการทดลอง	75
4-37 ภาพถ่าย SEM ช่วงรอยต่อระหว่างวัสดุฐานกับชั้นรองพื้น	76
4-38 ภาพถ่าย SEM ของชั้นรองพื้น	77
4-39 ภาพถ่าย SEM ช่วงรอยต่อระหว่างชั้นสร้างเนื้อและชั้นรองพื้น	78
4-40 ภาพถ่าย SEM ช่วงรอยต่อระหว่างชั้นพอกแข็งและชั้นสร้างเนื้อ	79

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-41 ผลการทดสอบการสึกหรอของชิ้นงานที่ไม่ผ่านการตีกระแทก	83
4-42 ผลการทดสอบการสึกหรอของชิ้นงานที่ผ่านการตีกระแทก	84
5-1 การเชื่อมซ่อมชิ้นส่วน โม้คู่	87

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

A	Ampere
AC	Alternating Current
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWS	American Welding Society
B	Buffer layer
BM	Base Metal
°C	Degree Celsius
C	Carbon
CE	Carbon Equivalent
Cr	Chromium
DC	Direct Current
DIN	Deutsches Institut Für Normung
H	Hardfacing layer
HAZ	Heat Affected Zone
HB	Hardness (Brinell)
HRC	Hardness (Rockwell scale C)
HV	Hardness (Vicker)
kgf	Kilogram force
MMA	Manual Metal Arc Welding
Mn	Manganese
Mo	Molybdenum
Ni	Nickel
P	Phosphorus
S	Welding speed
Si	Silicon

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ (ต่อ)

SMAW	Shielded Metal Arc Welding
U	Build-up layer
V	Volt

บทที่ 1

บทนำ (Introduction)

1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย

ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ และปูนซีเมนต์มีการใช้เครื่องบดย่อยขนาดใหญ่เป็นอุปกรณ์สำคัญในการผลิตวัตถุดิบ ชิ้นส่วนสำคัญในเครื่องบดย่อย เช่น ฟันโม้ มักจะผลิตด้วยเหล็กกล้าแมงกานีส เนื่องจากเหล็กกล้าแมงกานีสนั้นมีโครงสร้างเทนไนต์ที่เสถียรที่อุณหภูมิห้อง ทำให้เหล็กกล้าแมงกานีสมีสมบัติเด่นที่แตกต่างจากเหล็กกล้าอื่นๆ คือมีทั้งความแข็งแรงและความเหนียว (Toughness and ductility) สูง สามารถเพิ่มความแข็งแรงด้วยการเกิดเวิร์คฮาร์ดนิ่ง (Work hardening) ทำให้มีการนำเหล็กกล้าแมงกานีสไปใช้กับงานที่รับแรงกระแทกและเกิดการสึกหรอสูง เช่น เครื่องบดย่อยขนาดแร่ ในเหมืองแร่ หัวเจาะกระแทก แผ่นกันสึกหรอ ดินตะขาบของรถแทรกเตอร์ รางรถไฟ เป็นต้น [1]

ในกระบวนการทำเหมืองถ่านหินเพื่อส่งถ่านหินบ้อนโรงไฟฟ้าถ่านหินนั้น ภายหลังจากการเปิดหน้าดินจนถึงชั้นถ่านหิน จึงทำการขุดตัดถ่านหินเพื่อส่งให้กับโรงไฟฟ้า โดยก่อนการส่งให้โรงไฟฟ้านั้นจะต้องมีการบดย่อยขนาดก่อนที่จะลำเลียงส่งไปยังโรงไฟฟ้า เครื่องโม่ถ่านหิน(Roll crusher) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำคัญที่จะย่อยขนาดถ่านหินให้เล็กลง ก่อนที่จะส่งผ่านสายพานลำเลียงไปจัดเก็บเพื่อรอใช้งานต่อไป ในเหมืองถ่านหินมีการใช้เครื่องโม่ถ่านหินอยู่สองชนิด คือ ชนิดโม่เดี่ยว (Single rolls crusher) และ ชนิดโม่คู่(Double rolls crusher) โดยทั้งสองชนิดสร้างมาจากวัสดุต่างชนิดกัน โดยการศึกษาเครื่องโม่ถ่านหินชนิดโม่คู่ ซึ่งประกอบด้วยฟันโม้ (Crush roll) ทำมาจากเหล็กกล้าแมงกานีส (รูปที่ 1-1 ก) ทำหน้าที่กระแทกถ่านหินให้แตกออก จนได้ขนาดตามที่ต้องการ เครื่องโม่ถ่านหินทำงานอย่างน้อย 15 ชั่วโมงต่อวัน เมื่อฟันโม้ใช้งานไป ก็เกิดการสึกหรอขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการย่อยถ่านหินลดลง ดังแสดงในรูปที่ 1-1(ข) ทำให้ต้องหยุดเครื่องโม่เพื่อทำการบำรุงรักษา สภาพความเสียหายที่พบในเครื่องโม่ถ่านหิน ส่วนใหญ่เกิดจากการสึกหรอแบบเสียดสี

ที่ผิวของฟันโม้ ซึ่งทำหน้าที่ตีกระแทกถ่านหินที่ผ่านเข้ามา โดยปัญหาที่เกิดขึ้นคือฟันโม้เสียหายเร็วกว่าปกติ ทำให้ต้องหยุดการทำงานเพื่อแก้ปัญหา นอกแผนการบำรุงรักษา สูญเสียเวลา และสูญเสียกำลังผลิตในการผลิตถ่านหินป้อนโรงไฟฟ้า



(ก)



(ข)

รูปที่ 1-1 โม้ถ่านหินแบบคู่ (ก) ฟันโม้ของโม้คู่ปกติ (ข) ฟันโม้ที่สึกหรอ

การแก้ปัญหาสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนชิ้นส่วนฟันโม้ใหม่ แต่เนื่องจากชิ้นส่วนใหม่มีราคาแพง การซ่อมชิ้นส่วนที่สึกหรอจึงเป็นทางเลือกที่ถูกนำมาแก้ปัญหาในปัจจุบัน โดยมีการเปิดให้ผู้รับจ้างเข้ามานำชิ้นส่วนที่เสียหายเนื่องจากการสึกหรอไปเชื่อมซ่อม ซึ่งพบปัญหาคือ ผู้รับจ้างภายนอกทำเพียงแค่เชื่อมสร้างเนื้อขึ้นมาทดแทนเนื้อโลหะเดิมที่สูญเสียไปจากการสึกหรอ โดยใช้กรรมวิธีที่ได้จากผู้ผลิตลวดเชื่อมเป็นหลัก เมื่อนำมาใช้งานก็เกิดการสึกหรอในรูปแบบเดิม ทำให้ไม่สามารถยืดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนได้ เกิดปัญหาต้องหยุดซ่อมบำรุงรักษาในรูปแบบเดิมอีก โดยหากมีความเข้าใจรูปแบบการสึกหรอที่ถูกต้องและเพียงพอ ก็สามารถวางแผนบริหารจัดการงาน ซ่อมบำรุงรักษาเครื่องโม้ให้มีอายุการใช้งานได้จนถึงรอบการบำรุงรักษาปกติ ไม่ต้องหยุดการผลิตเพื่อซ่อมชิ้นส่วน ทำให้การผลิตถ่านหินส่งโรงไฟฟ้าเป็นไปตามแผนการผลิตที่วางไว้ ลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากความเสียหายที่เกิดขึ้นจาก การบำรุงรักษานอกแผน และค่าเสียเวลาที่เกิดจากการต้องหยุดการผลิต

การเชื่อมพอกผิวแข็ง (Hardfacing) เป็นกรรมวิธีป้องกันการสึกหรอของโครงสร้างหลัก (Main structure) ของอุปกรณ์ หรือชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ไม่ให้เนื้อของโลหะของโครงสร้างหลักเสียหายจากการทำงาน แต่จะยอมให้เนื้อโลหะเชื่อมที่เพิ่มเติมเข้าไปสึกหรอแทนและสามารถเติม

เนื้อโลหะเชื่อมเข้าทดแทนเนื้อโลหะที่สูญหาย โดยที่ยังรักษาสภาพของโครงสร้างหลักเดิมไว้ มีการประยุกต์ใช้งานเพื่อปรับปรุงผิวของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ให้สามารถทนการสึกหรอได้ดีขึ้น โดยการเชื่อมพอกผิวแข็งสามารถเชื่อมวัสดุเดิมได้โดยไม่เสียสมบัติความเหนียว (ductility and toughness) ของวัสดุเดิมไป และยังสามารถเพิ่มความแข็งที่ผิว และสมบัติทนการสึกหรอให้กับชิ้นส่วนเครื่องจักรกลได้อีก เนื่องจากการเชื่อมพอกผิวแข็งมีราคาถูก และสามารถประยุกต์ใช้กับพื้นที่วิกฤติเกี่ยวกับปัญหาการสึกหรอ การเชื่อมพอกผิวแข็งจึงเป็นกระบวนการที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาการสึกหรอในชิ้นส่วนเครื่องจักรกล มากกว่าการแก้ปัญหาโดยการเปลี่ยนวัสดุ หรือกระบวนการชุบแข็ง ซึ่งจะมีข้อจำกัดในการบำรุงรักษามากกว่า การเชื่อมพอกผิวแข็งมีลวดเชื่อมให้เลือกหลายชนิด สามารถเลือกให้เหมาะกับลักษณะความเสียหายที่เกิดและการประยุกต์ใช้งาน ลวดเชื่อมพอกแข็ง มีความแข็งตั้งแต่ 255 - 589 HV สมบัติเด่นของการเชื่อมเพื่อเพิ่มความแข็งผิว คือสามารถใช้วิธีการเชื่อมได้หลายกรรมวิธี กรรมวิธีง่ายไม่ยุ่งยาก ไม่ต้องใช้เทคนิคขั้นสูงมาก สามารถปฏิบัติงานนอกสถานที่ได้ ค่าใช้จ่ายการทำพอกแข็งถูกมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเพิ่มความแข็งด้วยวิธีอื่น ๆ สามารถเชื่อมซ้ำชิ้นงานเดิมได้หลายรอบ ลวดเชื่อมมีให้เลือกหลากหลาย สามารถประยุกต์ใช้กับงานได้หลากหลายกว่า วิธีการอื่น ๆ มีความแข็งแรง (Strength) ของผิวมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ รับแรงกระแทก (Impact) ได้ดี สามารถซ่อมผิวที่พอกแข็ง เมื่อเกิดความเสียหายจากการสึกหรอได้ [2,4]

กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าแบบลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shield metal arc welding, SMAW) เป็นกระบวนการที่มีลวดเชื่อมราคาถูก สามารถประยุกต์ใช้งานกับชิ้นส่วนเครื่องจักรต่างๆ ได้หลากหลาย และนอกจากนี้ยังเป็นกระบวนการเชื่อมที่เหมาะสมกับงานภาคสนาม [6]

ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ที่จะศึกษากรรมวิธีเชื่อมพอกผิวแข็งเพื่อป้องกันการสึกหรอและยืดอายุการใช้งานสำหรับพื้น โม่ของเครื่องโม่ถ่านหิน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษารูปแบบการสึกหรอที่เกิดขึ้นในฟันโม่ของเครื่อง โม่ถ่านหินแบบโม่คู่ และ ความสามารถในการต้านทานการสึกหรอของเนื้อ โลหะพอกผิวแข็งที่เหมาะสมสำหรับถ่านหิน

1.2.2 เพื่อศึกษากรรมวิธีการเชื่อมพอกผิวแข็งฟันโม่แบบโม่คู่ ที่ใช้งานสำหรับเหมือง ถ่านหิน

1.3 เป้าหมายของการวิจัย

1.3.1 ได้โลหะเชื่อมที่เหมาะสมในการเชื่อมพอกผิวแข็งบนเหล็กกล้าแมงกานีส

1.3.2 ได้กรรมวิธีการเชื่อมพอกแข็งที่ถูกต้องและเหมาะสม สำหรับฟันโม่ที่ทำด้วย เหล็กกล้าแมงกานีส

1.3.3 ได้วิธีการและรูปแบบการบำรุงรักษาผิวเชื่อมพอกผิวแข็งบนเหล็กกล้าแมงกานีส

1.4 ประโยชน์ของงานวิจัย

1.4.1 ทำให้เข้าใจพฤติกรรมการสึกหรอของฟัน โม่ถ่านหินชนิดโม่คู่

1.4.2 ได้กรรมวิธีและตัวแปรการเชื่อมพอกแข็งฟันโม่ชนิดโม่คู่

1.4.3 ได้ข้อมูลการต้านทานการสึกหรอของการเชื่อมพอกแข็งแบบต่างๆบนเหล็กกล้า แมงกานีส

1.5 ขอบเขตงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้จะทำการศึกษาวิธีการเชื่อมพอกแข็งเพื่อป้องกันสึกหรอของฟันไม้ ชนิดไม้ คู่ของเครื่องไม้ถ่านหิน โดยทำการเชื่อมพอกแข็งบนเหล็กกล้าแมงกานีส (13% Mn) ตามขั้นตอน การเชื่อม (Welding procedure) ที่กำหนด การเชื่อมพอกแข็งประกอบด้วย การเชื่อมรองพื้นเพื่อช่วย ให้มีการเชื่อมติดกับวัสดุฐานได้ดี การเชื่อมชั้นสร้างเนื้อซึ่งเป็นชั้นที่มีความเหนียวเพื่อช่วยซับแรง กระแทกที่เกิดจากการใช้งาน และ การเชื่อมชั้นพอกแข็งเพื่อช่วยต้านทานการสึกหรอ โดยทำการ เชื่อมในบรรยากาศปกติ และเชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำเพื่อควบคุมการเกิดแมงกานีส คาร์ไบด์ในวัสดุฐาน จากนั้นทำการศึกษาโครงสร้างมหภาคและจุลภาค ความแข็ง และ ความสามารถในการต้านทานการสึกหรอ เพื่อนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบ พร้อมแนวทางในการ ประยุกต์ใช้งานเพื่อแก้ปัญหาการสึกหรอที่เกิดขึ้น

1.6 แผนการดำเนินงานวิจัย

- 1.6.1 สํารวจเอกสาร ข้อมูล และทฤษฎี ที่เกี่ยวข้องกั้งงานวิจัย
- 1.6.2 ออกแบบการทดลอง
- 1.6.3 จัดเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์สำหรับงานวิจัย
- 1.6.4 ปฏิบัติการทดลองและศึกษาค้นคว้าเอกสารวิจัยเพิ่มเติม
- 1.6.5 ศึกษาสมบัติทางโลหะวิทยา และสมบัติเชิงกล
- 1.6.6 วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง
- 1.6.7 จัดทำรูปเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

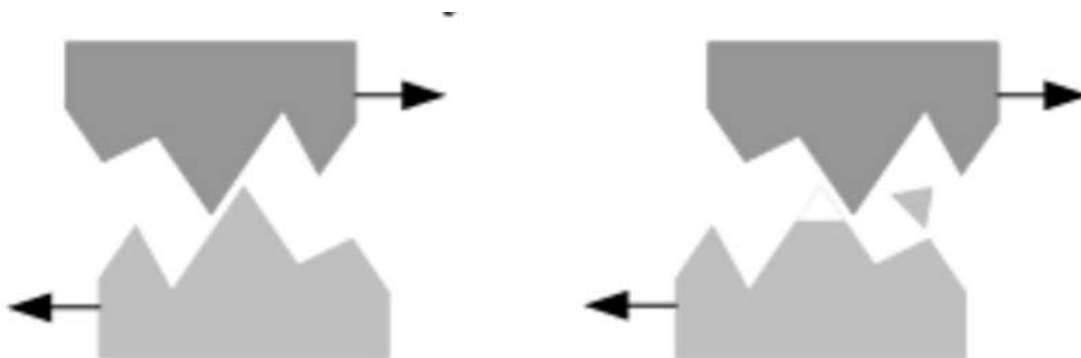
การใช้งานเครื่องโม่ถ่านหินในเหมืองแม่เมาะ ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยนั้น มีการเลือกใช้เครื่องโม่ถ่าน 2 แบบ คือ โม่เดี่ยว (Single roll) และ โม่คู่ (Double roll) ซึ่งเมื่อใช้งานไป ทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากการสึกหรอ แต่มีลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นต่างกัน การเลือกซ่อมด้วยกระบวนการเชื่อมพอกแข็งที่เหมาะสมสำหรับแต่ละเครื่องโม่เพื่อที่จะควบคุมการสึกหรอให้เท่ากันทั้งชิ้นนั้น มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ความรู้ด้านการสึกหรอ และการเชื่อมพอกแข็ง เพื่อที่จะสามารถนำความรู้นั้นมาประยุกต์แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 การสึกหรอ (Wear) เป็นการสูญเสียเนื้อวัสดุบริเวณผิว เนื่องจากการถูกแรงกระทำ ขณะที่ผิวเคลื่อนที่สัมผัสกับอีกผิวหนึ่ง ซึ่งมีผลทำให้ขนาด รูปร่าง น้ำหนักชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนแปลง การสึกหรอมีลักษณะหรือกลไกการเกิดแตกต่างกันไป อัตราการเกิดการสึกหรอขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของวัสดุ โครงสร้างจุลภาคของผิว ลักษณะการเคลื่อนที่ ลักษณะของแรงที่กระทำกับผิว เป็นต้น [2]

การสัมผัสกันระหว่างผิววัสดุ ในการทำงานของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล อาจจะเป็นการสัมผัสกันระหว่าง โลหะกับโลหะ หรือ โลหะกับวัสดุอื่นๆ เช่น หิน ดิน ทราายแร่ ถ่านหิน เป็นต้น ซึ่งการประเภทการสึกหรอตามจำนวนเนื้อผิวสัมผัสสามารถแบ่งได้เป็น การสึกหรอชนิดสองเนื้อ และการสึกหรอชนิดสามเนื้อ

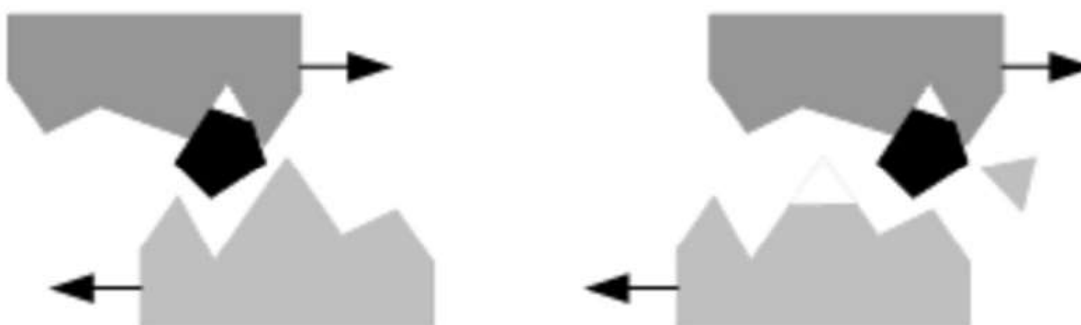
การสึกหรอชนิดสองเนื้อ (Two-body) เป็นการสัมผัสกัน ระหว่างชิ้นส่วนกับวัตถุโดยตรง เช่น ทราายกับราง ทราายกับพื้นรถตัก โม่ถ่านหิน หรือหินกับพื้นรถตัก บั๊งกี้ ขี้เถ้ากับราง โดยมีกลไกการสึกหรอด้งรูปที่ 2-1 คือมีการสัมผัสกันเพียงผิวเดียวเท่านั้น [3]



รูปที่ 2-1 การสัมผัสกันชนิดสองเนื้อ (Two-Body)

(ที่มา/http://www.substech.com/dokuwiki/lib/exe/detail.php?id=mechanisms_of_wear&cache=cache&media=abrasive_wear.png สืบค้นเมื่อ 7/4/2559)

การสึกหรอชนิดสามเนื้อ (Three-body) เป็นการสัมผัสกันของชิ้นงานกับวัตถุ โดยที่ชิ้นงานจะมี 2 ชิ้นและวัตถุจะอยู่ตรงกลางระหว่างชิ้นงานทั้ง 2 เช่น โมบดหิน โมบดถ่าน ซิลที่มีเศษโลหะฝังอยู่กับเพลลา เพลากับรองลื่นที่มีเศษวัสดุปนอยู่กับจาระบีหรือน้ำมันหล่อลื่น โดยมีกลไกการสึกหรอดังรูปที่ 2-2 คือมีอนุภาคถูกกักอยู่ระหว่าง สองผิวสัมผัส ทำให้เกิดการเป็น สองคู่สัมผัสขึ้น [3]



รูปที่ 2-2 การสัมผัสกันชนิดสามเนื้อ (Three-Body)

(ที่มา/http://www.substech.com/dokuwiki/lib/exe/detail.php?id=mechanisms_of_wear&cache=cache&media=abrasive_wear.png สืบค้นเมื่อ 7/4/2559)

เฟิร์สบอดี (First body) โดยทั่วไปแล้วจะหมายถึงชิ้นส่วนที่สึกหรอจากวัตถุอื่นๆ

เซคันด์บอดี (Second body) หมายถึงวัตถุตัวที่มากระทบ กระแทก เสียคสี กับเฟิร์สบอดี โดยทั่วไปแล้วจะหมายถึง ชิ้นส่วนอีกชิ้นหนึ่ง หิน แร่ ทราย ดิน ฝุ่น

เทิร์ดบอดี (Third body) หมายถึงวัตถุตัวที่ 3 ซึ่งเคลื่อนที่เข้ามาในระบบอยู่ระหว่างเฟิร์สบอดี และ เซคันด์บอดี หรือสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ต้องการให้แทรกเข้ามาในระบบ

ชนิดของการสึกหรอ การสึกหรอมีความหลากหลายมาก ขึ้นอยู่กับกลไกการเกิด ซึ่งสามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ดังนี้ [4]

1. การสึกหรอแบบเสียดสี (Abrasive wear)
2. การสึกกร่อน (Erosion)
3. การสึกหรอแบบโลหะสัมผัสโลหะ (Metal to metal contact wear)
4. การสึกหรอจากการกระแทก (Impact wear)

การสึกหรอแบบเสียดสี (Abrasive wear) เกิดจากอนุภาคหรือเศษวัสดุแข็งขนาดเล็กมาขัดสีที่ผิวชิ้นงาน ก่อให้เกิดความเสียหายในงานต่างๆมากมาย เช่น เหมืองแร่ โยธา ซีเมนต์ โรงหล่อ เป็นต้น ความเสียหายจากการสึกหรอส่วนใหญ่ (55-60 %) เป็นการสึกหรอแบบเสียดสี

โดยจากสมการการสึกหรอแบบเสียดสีของของ Rabinowicz [5]

$$W = K \frac{P}{H}$$

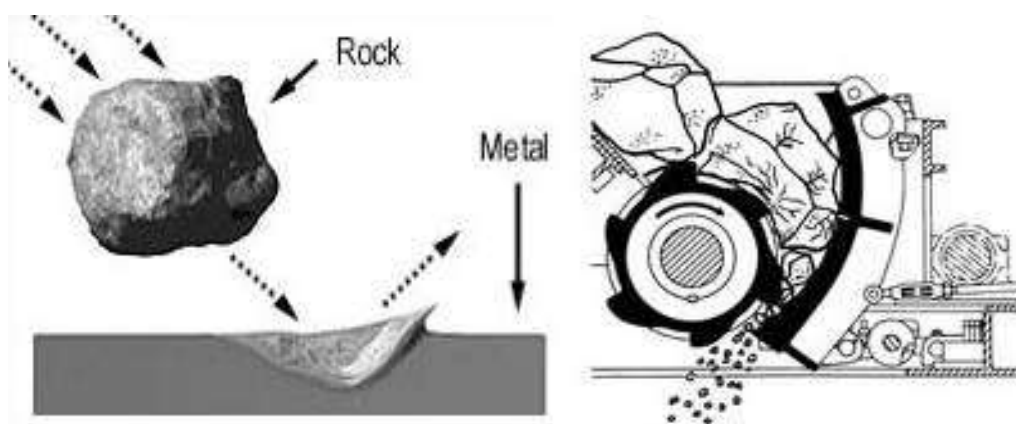
เมื่อ	W	=	อัตราการสึกหรอ (ปริมาตร/ระยะทางการเคลื่อนที่)
	P	=	แรงที่กระทำ
	H	=	ความแข็งของผิววัสดุ
	K	=	ค่าสัมประสิทธิ์การสึกหรอ (Wear coefficient)

อัตราการสูญหายของเนื้อวัสดุขึ้นอยู่กับปริมาณภาระที่กระทำ ความแข็งของวัตถุ ชนิดวัสดุ และ ระยะทางที่เกิดการเสียดสี

ชนิดของการสึกหรอแบบเสียดสี สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. การสึกหรอแบบครูด (Gouging abrasion)
2. การสึกหรอความเค้นต่ำ (Low stress abrasion)
3. การสึกหรอความเค้นสูง (High stress abrasion)

การสึกหรอแบบครูด เป็นการสึกหรอชนิดสองเนื้อ เกิดจากอนุภาคหรือวัตถุที่แข็งกว่าเคลื่อนที่ครูด ขีด บนผิวของชิ้นงาน ด้วยภาระที่สูง ทำให้จุดที่เกิดการขูดขีดมีความเค้นสูง โดยส่วนใหญ่จะเกิดจากแรงกระแทก ตัวอย่างการใช้งานที่ทำให้เกิดการสึกหรอแบบครูด เช่น ฟันขูด ฟันบด ฟันม่ หัวเจาะของเครื่องบดต่างๆ เป็นต้น การสึกหรอของฟันม่ เครื่องม่ถ่านหิน ก็จัดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย โดย รูปที่ 2-3 แสดงลักษณะการเกิดการสึกหรอจากใช้งานเครื่องม่

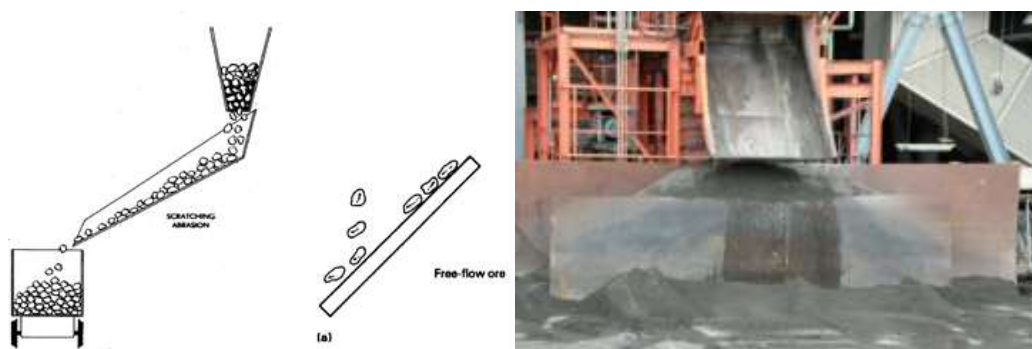


รูปที่ 2-3 การสึกหรอแบบครูด [2]

การเลือกใช้วัสดุที่จะมาแก้ปัญหาการสึกหรอแบบครูดนั้น วัสดุที่เลือกใช้จะต้องมีความแข็งแรง เพื่อลดการขูดขีดของวัสดุที่แข็งกว่า และต้องมีความเหนียวสูง เพื่อดูดซับพลังงานจากการกระแทกที่รุนแรง ซึ่งหากเป็นวัสดุที่แข็งเพียงอย่างเดียว เมื่อได้รับแรงกระแทกก็จะเกิดการวิบัติแตกหักได้ วัสดุที่นิยมใช้สำหรับด้านทานการสึกหรอแบบครูด คือเหล็กกล้าแมงกานีสสูง

การสึกหรอความเค้นต่ำ หมายถึง การสึกหรอในกรณีที่มีความเค้นที่จุดสัมผัสมีค่าต่ำกว่าค่าความแข็งแรงของอนุภาคที่เข้ามาขัดสีให้เกิดการสึกหรอ การสึกหรอลักษณะนี้จะเกิดในสภาวะที่อนุภาคแข็งขนาดเล็กสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ โดยอาจแขวนลอย หรือเคลื่อนที่อยู่ในตัวกลาง

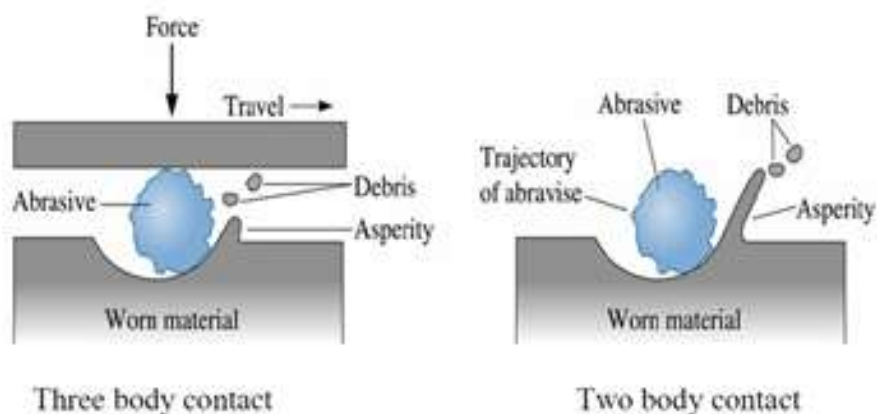
ซึ่งกำลังเคลื่อนที่ผ่านชิ้นงาน ทำให้การชนระหว่างอนุภาคแข็งกับผิวชิ้นงานมีความเค้นต่ำ อัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาค เป็นตัวควบคุมอัตราการสูญเสียเนื้อชิ้นงาน ตัวอย่างการเกิดการสึกหรือความเค้นต่ำ เช่น รางแต่งแร่ กระบะรถบรรทุก บุ้งกึ่งรัดกัทรายเล็ก เครื่องจักรการเกษตร อุปกรณ์ลำเลียงทราย บี้มคูดทราย เป็นต้น ดังรูปที่ 2-4



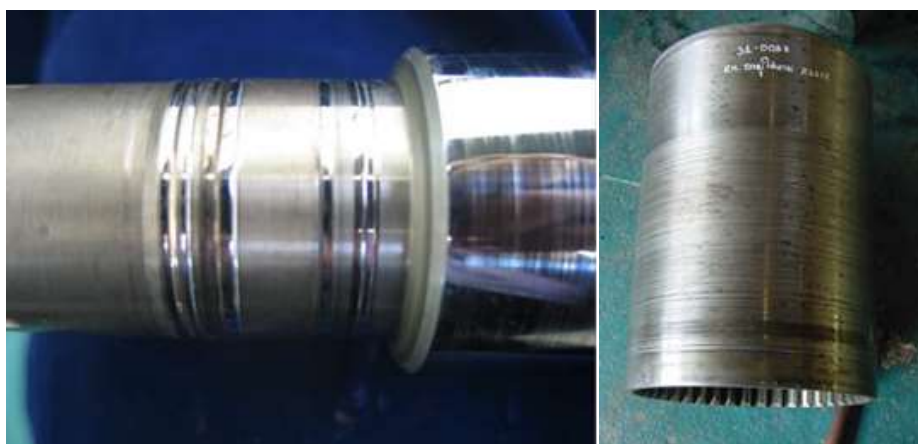
รูปที่ 2-4 การสึกหรือความเค้นต่ำ [2]

การสึกหรือแบบความเค้นสูง เกิดจากการที่ผิวสองผิวขัดถูกันที่ความเค้นสูง โดยอนุภาคที่แข็งกว่าเคลื่อนที่ผ่านบนผิวชิ้นงานด้วยความเค้นกด บางสถานะอาจดูไม่เหมือนมีความเค้นสูงเกิดขึ้นที่ผิวชิ้นงาน แต่หากมีความเค้นกดเฉพาะจุดสูง ก็เรียกว่าการสึกหรือแบบความเค้นสูงเช่นกัน เช่น ในหม้ออบที่ใช้ลูกบด ความเค้นที่จุดสัมผัสระหว่างผนังหม้ออบและลูกบดมีค่าสูงเกินค่าความแข็งแรงต่อการบดของลูกบด ก็ทำให้ผิวลูกบดแตก เกิดการสึกหรือของลูกบดได้

การที่เซคันด์บอดี เกาะเกี่ยวและพาว์ตูลขนาดเล็กๆ (เดิร์ดบอดี) เช่น ฝุ่น เม็ดทราย และผงโลหะ เป็นต้น ที่มีขนาดโตกว่าช่องว่าง (Clearance) ของชิ้นส่วนเครื่องจักร หรือโตกว่าความหนาของฟิล์มสารหล่อลื่น (Lubrication film thickness) วัตถุแปลกปลอมเหล่านี้ เคลื่อนที่ผ่านระหว่างผิวสองผิวซึ่งมีการเคลื่อนที่ ทำให้เกิดการ ขูด จีด ครูด กับเฟิร์สบอดี ภายใต้ความเค้นสูง ทำให้ที่บริเวณนั้นเกิดความเค้นสูงมากพอที่จะทำให้เกิดการแตกหลุดเฉพาะจุด โดยเฉพาะวัสดุที่เปราะ บริเวณที่จะเกิดปรากฏการณ์นี้ ก็เช่น ร่องซีล โอริง บุชกับเพลลา ลูกสูบกับเสื้อสูบ หรือไม้บดแบบใช้ตัวกลางในการบด เช่น บอลมิลล์ เป็นต้น รูปที่ 2-5 เป็นแผนภาพแสดงการเกิดการสึกหรือแบบความเค้นสูง โดยตัวอย่างชิ้นงานที่เกิดการสึกหรือแบบความเค้นสูง แสดงไว้ในรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-5 การสึกหรอความเค้นสูง



รูปที่ 2-6 การสึกหรอความเค้นสูงบนชิ้นงาน [2]

2.1.2 การควบคุมการสึกหรอ

ปัจจัยสำคัญที่จะมีผลต่ออัตราการสึกหรอว่าจะสูงหรือต่ำ คือ แรงที่กระทำบนเนื้อวัสดุและความแข็งของเนื้อวัสดุ [2]

แรงที่กระทำต่อวัสดุ ขึ้นอยู่กับการออกแบบเครื่องมือ และลักษณะการทำงานของเครื่องมือ ซึ่งควบคุม และเปลี่ยนแปลงได้ยาก หากไม่ได้คำนึงถึงตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ

ความแข็งของวัสดุ เป็นปัจจัยที่สามารถควบคุม ปรับปรุง เปลี่ยนแปลงได้ ด้วยหลายๆวิธี โดยทำได้กับตัวอะไหล่ หรือชิ้นส่วนที่ใช้กับเครื่องจักรนั้นๆ และส่วนสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับชิ้นส่วนเครื่องจักร โดยกระบวนการเพิ่มความแข็งที่ผิวชิ้นงาน ในการปรับปรุง

ความแข็งของผิวให้มีความสูงขึ้น เพื่อให้สามารถต้านทานการสึกหรอได้เพิ่มขึ้น สามารถทำได้หลายวิธี โดยวิธีหลักๆ ที่ทำได้ได้แก่

1. กระบวนการทางความร้อน (Heat treatment process)
2. การเคลือบผิว (Surface coating)
3. กระบวนการเชื่อม (Welding process)

โดยในแต่ละกระบวนการนั้นมีข้อดี ข้อด้อยต่างกันไป โดยกระบวนการทางความร้อนและการเคลือบผิวจะได้อายุการใช้งานที่ผลิตขึ้นมาใหม่ และโดยส่วนใหญ่จะมีข้อจำกัดเรื่องความหนาของผิวแข็ง ในขณะที่กระบวนการเชื่อมสามารถใช้ได้กับทั้งชิ้นส่วนใหม่และเก่าในการเพิ่มความแข็งแรงให้กับชิ้นงาน

กระบวนการเชื่อม เพื่อซ่อมผิวหน้าชิ้นงานที่เกิดการชำรุด เนื่องจากการสึกหรอ หรือป้องกันการสึกหรอ โดยการเลือกวัสดุเชื่อมให้เหมาะสมกับลักษณะการชำรุด การสึกหรอ และการกัดกร่อน สมบัติเด่นของกระบวนการเชื่อม คือ

1. มีกระบวนการเชื่อมให้เลือกใช้ได้หลายวิธี เช่น การเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ การเชื่อม มิก/แมก การเชื่อมทิก การเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไร้ฟลักซ์ และการเชื่อมใต้ฟลักซ์
2. กระบวนการง่าย ไม่ยุ่งยาก ไม่ต้องใช้เทคนิคขั้นสูงมาก สามารถปฏิบัติงานภาคสนามได้
3. ค่าใช้จ่ายถูกกว่าเมื่อเทียบกับกระบวนการอื่น
4. เมื่อชิ้นงานเดิมสึกหรอ สามารถนำมาเชื่อมซ่อมซ้ำได้หลายครั้ง
5. ลวดเชื่อมมีหลากหลาย สามารถเลือกประยุกต์ให้เหมาะสมกับประเภทของงานที่ใช้
6. มีความแข็งแรง (Strength) ของผิวมากกว่ากรรมวิธีอื่นๆ
7. สามารถสร้างชั้นเชื่อมให้มีความหนาหลายๆ ได้

2.1.3 การเชื่อมพอกแข็ง (Hardfacing)

การเชื่อมพอกแข็ง เป็นเทคนิคที่นิยมใช้งานมากในงานอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งใน ส่วนของงานซ่อมบำรุงรักษา เนื่องจากผิวเชื่อมพอกที่ได้จะมีความแข็งสูงมาก (ขึ้นอยู่กับลวดเชื่อม ที่ใช้) ผิวพอกจะมีการยึดเกาะที่ดีกับชิ้นงาน เป็นเทคนิคที่ราคาไม่แพง และมีความคล่องตัวสูง สามารถปฏิบัติงานภาคสนามได้

หลักการของการเชื่อมพอกแข็งคือ วัสดุผิวเคลือบจะอยู่ในรูปของลวดเชื่อมจะถูกหลอมลง บนผิวชิ้นงาน โลหะให้มาพอกเป็นแนวและแข็งตัวอยู่บนผิวชิ้นงาน การเชื่อมพอกแข็งนอกจาก สร้างชั้นผิวแข็งที่บนชิ้นงานแล้ว ยังสามารถสร้างเนื้อให้กับชิ้นงานที่สูญเสียเนื้อโลหะไปจากการ สึกหรือได้ด้วย วัสดุที่เลือกใช้ก็จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งาน เช่น เหล็กกล้าเกรดต่างๆ เหล็กกล้าไร้สนิม นิกเกิลอัลลอย โคบอลต์อัลลอย อะลูมิเนียม และทองเหลือง สำหรับสร้างเนื้อ ชิ้นงาน หรือ เหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าโครเมียมสูง เหล็กกล้าไร้สนิม และวัสดุคาร์ไบด์ สำหรับ พอกผิวแข็ง เป็นต้น

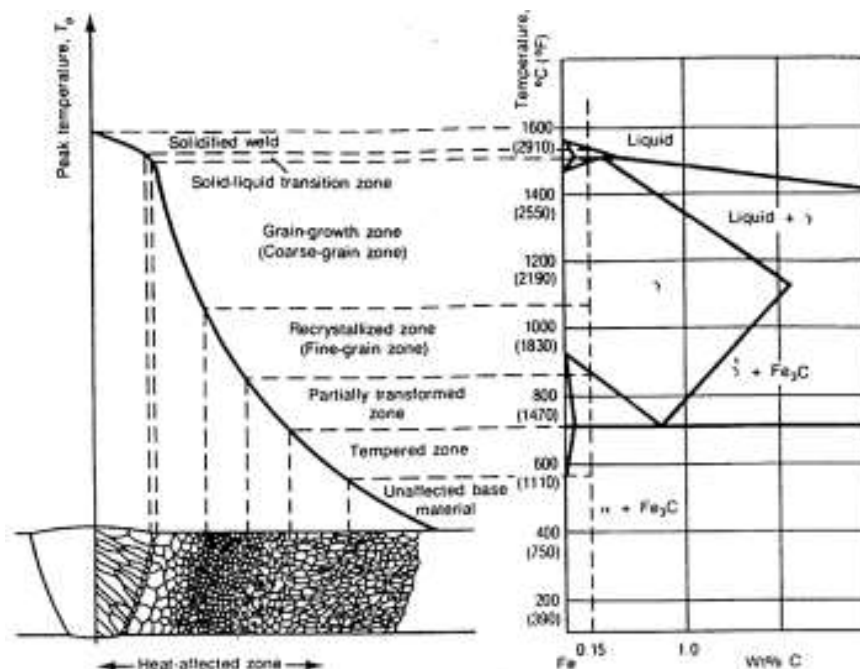
คือ การประยุกต์ใช้วิธีการเชื่อมวัสดุที่มีความแข็งสูง ทนทานต่อการสึกหรอ ลงบน ชิ้นส่วนที่ต้องการ เพื่อให้ชิ้นส่วนดังกล่าวมีความต้านทานต่อการสูญเสียเนื้อ โดยที่เนื้อโลหะของ ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลเดิมไม่เกิดการสึกหรอ จากผลของการใช้งานที่ทำให้เกิดการสึกหรอ เช่น การ สึกหรอจากการเสียดสี การสึกหรอแบบเชื่อมติด การสึกหรอจากการกระแทก [4]

การเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shield metal arc welding, SMAW) เป็นการ เชื่อมแบบหลอมละลาย โดยความร้อนเกิดจากการอาร์คระหว่างลวดเชื่อมกับชิ้นงาน ความร้อนที่ เกิดจากการอาร์คทำให้เกิดบ่อโลหะหลอมเหลวขึ้นที่ชิ้นงาน และทำให้ลวดเชื่อมหลอมเป็นหยด โลหะลงมาเติมในบ่อหลอมละลายที่ชิ้นงาน ลวดเชื่อมซึ่งทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรดจะประกอบไป ด้วยส่วนที่เป็นแกนโลหะ หุ้มด้วยสารพอกหุ้ม โดยสารพอกหุ้มมีหน้าที่ปกป้องบ่อหลอมละลาย และหยดน้ำโลหะจากอากาศภายนอก โดยการสร้างสแลกคลุมแนวเชื่อม นอกจากนี้ยังทำให้เกิดก๊าซ คลุมแนวเชื่อมด้วย

การเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหมาะกับงานทั่วไป เช่น งานสร้างประกอบ หรือ งานติดตั้ง นอกจากนี้ยังเหมาะกับงานภาคสนาม อย่างไรก็ตาม การเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้ม ฟลักซ์ มีข้อจำกัดคือ เชื่อมได้ช้า เพราะต้องเสียเวลาในการเปลี่ยนลวดเชื่อม และเกาะสแลกออก [3]

2.1.4 โลหะวิทยาของเนื้อโลหะพอกแข็ง

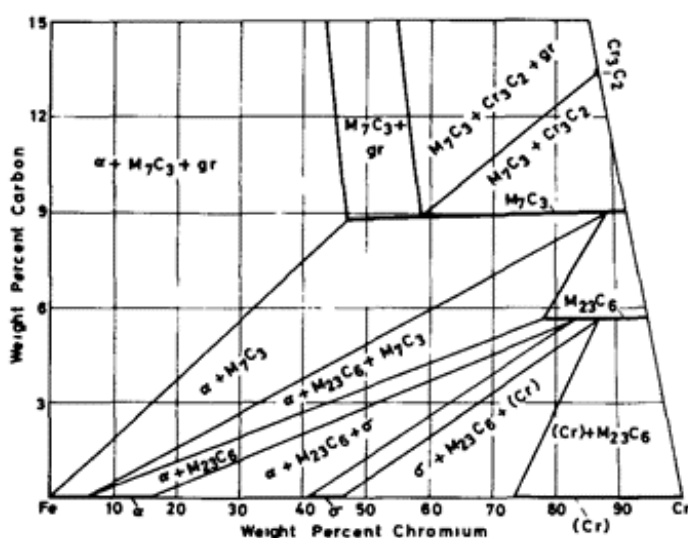
โลหะวิทยาแนวเชื่อม ในกระบวนการเชื่อมเหล็กกล้า จะทำให้เกิดการหลอมละลายของเนื้อเหล็กกล้า (อุณหภูมิ 1600 °C) บริเวณใกล้ๆแนวเชื่อมก็จะได้รับการถ่ายเทความร้อนทำให้มีอุณหภูมิสูงลดหลั่นกันไป (อุณหภูมิ 1,100-1,500 °C) เรียกบริเวณนี้ว่า บริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อน (Heat affected zone) ตามรูปที่ 2-7 เมื่อดูบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อนประกอบด้วยเฟสไดอะแกรมของเหล็กกล้า เมื่อได้รับความร้อนจากการเชื่อมทำให้โครงสร้างเดิมของเหล็กกล้าเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค ที่อุณหภูมิสูงเกิน 1600 °C เหล็กกล้าเกิดการหลอมละลาย เมื่อเย็นตัวได้โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นเดนไดรต์เหมือนโลหะที่ผ่านการหล่อขึ้นรูปมา อุณหภูมิ 1100-1500 °C เหล็กเปลี่ยนโครงสร้างเป็นออสเทนไนต์ เมื่อเย็นตัวได้เกรนที่มีขนาดใหญ่ อุณหภูมิ 900-1100 °C เกิดการตกผลึกใหม่ได้โครงสร้างที่มีขนาดละเอียด อุณหภูมิ 550-700 °C เป็นช่วงอบคืนตัว ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงทางโลหะวิทยาขึ้นมากมายใกล้กับแนวเชื่อม ซึ่งหากเป็นเหล็กกล้าต่างชนิดกัน ก็จะทำให้มีโครงสร้างจุลภาคที่แตกต่างกันขึ้นในบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อน ซึ่งก็มีผลต่อสมบัติทางกลที่แตกต่างกันด้วย [6]



รูปที่ 2-7 บริเวณต่างๆ ที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อนของการเชื่อม [4]

โลหะวิทยาเนื้อเชื่อมพอกแข็ง ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติการทนการสึกหรอ (Abrasive resistance) ของการเชื่อมพอกแข็งมีหลายปัจจัย เช่น ชนิดของเฟสที่ให้ความแข็ง รูปร่างของเฟสที่ให้ความแข็ง การกระจายตัวของเฟสที่ให้ความแข็ง ความแกร่ง (Toughness) และสมบัติความต้านทานการเปลี่ยนรูป (Strain hardening) ของโครงสร้างพื้นฐาน (Matrix) เป็นต้น

กระบวนการเชื่อมที่ใช้สำหรับการเชื่อมพอกแข็งมีหลายกระบวนการด้วยกัน เช่น การเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ การเชื่อมมิก/แมก การเชื่อมทิก เป็นต้น ข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละเทคนิคการเชื่อมก็มีแตกต่างกัน โดยปัจจัยที่จะนำมาตัดสินใจในการเลือกกว่าควรใช้กระบวนการใดในการเชื่อมพอกแข็งนั้น เช่น ประสิทธิภาพการเชื่อม (Welding efficiency) การเงาของเนื้อเชื่อม และต้นทุน เป็นต้น [7]



รูปที่ 2-8 เฟสไดอะแกรมของ Fe-Cr-C [7]

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความแข็งของชั้นเชื่อม คือ ปริมาณคาร์บอนและปริมาณโครเมียมในลวดเชื่อม ซึ่งลวดเชื่อมชนิดหนึ่งที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางคือ ลวดเชื่อมโครเมียมสูง (Cr-rich electrode) เนื่องจากมีราคาไม่สูงมาก โดยความแข็งของแนวเชื่อมเกิดมาจากคาร์ไบด์ชนิด (M_7C_3) ทำให้เพิ่มความสามารถในการต้านทานการสึกหรอได้ดี ซึ่งหาลวดเชื่อมมีการเพิ่มส่วนผสมของทังสเตน, โมลิบดีนัม และวานาเดียม ก็จะสามารถเพิ่มความสามารถในการต้านทานการสึกหรอได้เพิ่มขึ้น [7]

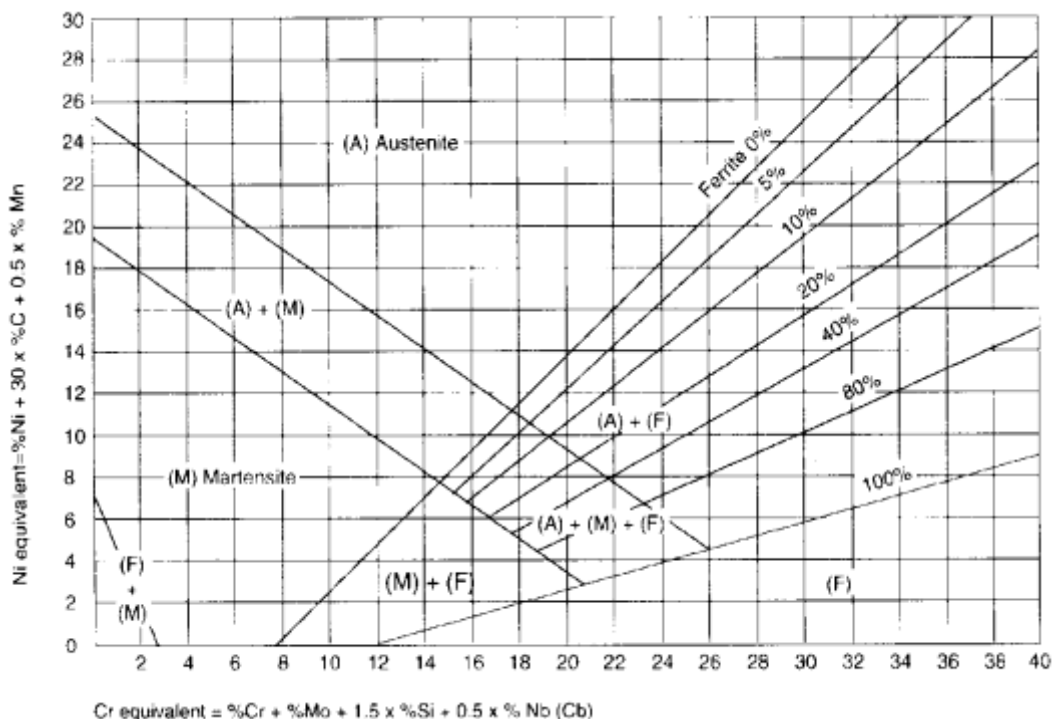
ลวดเชื่อมโครเมียมสูง ทำให้เนื้อเชื่อมมีความแข็งสูง หากเป็นงานที่ไม่ได้รับแรงกระแทก หรือความเค้นที่เกิดขึ้นต่ำ สามารถใช้งานลวดเชื่อมโครเมียมสูงได้ แต่หากรับแรงกระแทก หรือมีความเค้นเกิดขึ้นสูง จะทำให้เนื้อเชื่อมแตกได้ การประยุกต์ใช้งานกับงานที่ได้รับแรงกระแทก ผิวเชื่อมความจะมีเนื้อหลักเหนียว และมีเฟสที่แข็งแทรกอยู่ เช่น ลวดเชื่อมที่ให้โครงสร้างเป็นคาร์ไบด์ (Primary carbide) แทรกอยู่ในโครงสร้างออสเทนไนท์-คาร์ไบด์ ยูเทคติก เป็นต้น [8,9]

2.1.5 การเลือกลวดเชื่อม

การเลือกลวดเชื่อมรองพื้น (Buffer) การเชื่อมลวดเชื่อมพอกแข็งซึ่งมีสมบัติและโครงสร้างจุลภาคต่างจากเนื้อวัสดุฐานลงบนวัสดุฐานโดยตรงเลยนั้น อาจทำให้เกิดการแตกที่บริเวณรอยต่อของชั้นพอกแข็งและวัสดุฐาน หรือทำให้การยึดติดกันไม่ดีเมื่อผ่านการใช้งานไปเกิดการหลุดร่อนได้ การมีตัวกลางที่มีสมบัติเหนียวมาช่วยยึดระหว่างชั้นพอกแข็งกับวัสดุฐานจะช่วยลดปัญหาข้างต้นได้ สมบัติที่ควรจะมีในลวดเชื่อมรองพื้นคือ มีความเหนียวแกร่ง ด้านทานการแตกได้ดี เช่น ลวดเชื่อมในตระกูล E 188 Mn R26 โดยการเชื่อมพอกผิวแข็งลงบนเหล็กกล้าแมงกานีส ลวดเชื่อมรองพื้นที่แนะนำ คือ กลุ่มเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดโครเมียม-นิกเกิล [10]

โดยสรุปปัจจัยที่ใช้ในการเลือกลวดเชื่อม คือ

1. ส่วนผสมทางเคมี และ โครงสร้างจุลภาค ของวัสดุฐาน
2. ส่วนผสมทางเคมี และ โครงสร้างจุลภาค ของลวดเชื่อมรองพื้น
3. ความเหมาะสมของ โครงสร้างจุลภาคทั้งวัสดุฐาน และชั้นรองพื้น เมื่อเชื่อมแล้ว โครงสร้างที่ได้ของชั้นรองพื้น ต้องไม่เกิดการแตกเย็น ตามโครงสร้างในเซฟเฟอร์ไดอะแกรม (Schaeffler diagram) ดังรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-9 เซฟเฟอร์ไดอะแกรม [10]

5. ชั้นรองพื้นควรมีสสมบัติเหนียว สามารถช่วยซับแรงกระแทกจากการใช้งาน และหยุดรอยร้าวที่อาจจะเกิดขึ้นในชั้นพอกแข็งไม่ให้ลุกลามไปถึงชั้นวัสดุฐานได้ ซึ่งลวดเชื่อมออสเทนิติก เป็นลวดที่เหมาะสมสำหรับสมบัติข้างต้น

6. สำหรับเหล็กกล้าแมงกานีส จะต้องคำนึงถึงปริมาณของแมงกานีสในชั้นรองพื้นด้วย เพราะเมื่อทำการเชื่อมจะเกิดการเงาของเนื้อเชื่อมซึ่งอาจทำให้มีโครงสร้างของคาร์ไบด์เกิดขึ้นหรือเกิดโครงสร้างที่ทำให้เกิดการแตกเย็นได้

การเลือกของลวดเชื่อมพอกแข็ง โดยทั่วไปลวดเชื่อมพอกแข็งแบ่งเป็น 3 กลุ่มหลักๆ คือ

1. กลุ่มเหล็กกล้าแมงกานีสสูง (14 % Mn) มีสมบัติเหนียว และสามารถเพิ่มความแข็งได้ด้วยเวิร์คฮาร์ดนิง ทำให้เหมาะกับการใช้งานในสภาพที่รับแรงกระแทก และเกิดการสึกหรอ

2. กลุ่มมาร์เทนซิก (Martensitic) มีสมบัติเหนียวแรงแรงและแข็ง ทนต่อแรงกระแทกและการขัดสี ลวดเชื่อมในกลุ่มนี้มีปริมาณคาร์บอนและธาตุผสมที่ทำให้โครงสร้างผิวพอกแข็งเป็นมาร์เทนซิก (Martensitic) ในสภาพเย็นตัวในอากาศ ซึ่งการแบ่งลวดเชื่อมพอกแข็งตามมาตรฐาน DIN 8555 ตามลักษณะกลุ่มโลหะผสม เช่น

โลหะผสมกลุ่ม 3 เป็นกลุ่มที่ต้องการให้มีความแข็งสูงที่อุณหภูมิสูง โดยปกติจะมีธาตุทั้ง สตะเตน โครเมียม ผสมอยู่ในบางครั้งจะผสม โมลิบดีนัม นิกเกิล วานาเดียม และ โคบอลต์ ด้วย สามารถคงความแข็งไว้ได้ถึงอุณหภูมิ 700 °C การเชื่อมต้องมีการให้ความร้อนก่อนเชื่อมและให้เย็นตัวช้าๆ เพื่อป้องกันการแตกร้าว

โลหะผสมกลุ่ม 5 มีส่วนผสมของโครเมียมสูง 5-30 % และมีคาร์บอนไม่เกิน 0.2% เนื้อเชื่อมมีความแข็งเพิ่มขึ้นด้วยการมีโครงสร้างมาร์เทนไซต์ การเชื่อมพอกทำได้ในโลหะที่มีส่วนผสมคล้ายกันและบนเหล็กกล้าโครงสร้างที่มีความแข็งแรงต่ำอีกด้วย

3. กลุ่มคาร์ไบด์ มีสมบัติแข็งแต่เปราะ ทนต่อการขัดสีได้ดี แต่ไม่เหมาะกับงานที่รับแรงกระแทก ซึ่งการแบ่งลวดเชื่อมพอกแข็งตามมาตรฐาน DIN 8555 ตามลักษณะกลุ่มโลหะผสม เช่น

โลหะผสมกลุ่ม 6 มีส่วนผสมของโครเมียม 5% และมีปริมาณคาร์บอนสูง (ประมาณ 0.2 to 2.0%) มีความแข็งมากกว่า 500 HB เนื้อเชื่อมจะเกิดการแข็งจากการเย็นตัวในอากาศ (Air-hardening) มีความเหมาะสมกับการขัดสีผสมกับการกระแทก การเชื่อมควรให้ความร้อนก่อนเชื่อม 200-300 °C

โลหะผสมกลุ่ม 7 เนื้อเชื่อมมีความคล้ายเหล็กกล้าแมงกานีส มีส่วนผสมแมงกานีสประมาณ 11-18 % เนื้อเชื่อมพอกแข็งสามารถเกิดเวิร์คฮาร์ดเค้นนิ่งได้ โดยแรงกระแทกหรือถูกทุบ ค่าความแข็งสามารถขึ้นไปได้จาก 180 HB จนถึง 550 HB อย่างไรก็ตามเนื้อเชื่อมไม่มีความเหมาะสมกับภาระที่เกิดการขัดสีอย่างเดียว

โลหะผสมกลุ่ม 10 เนื้อเชื่อมมีส่วนผสมของคาร์บอน 2-7 % และมีส่วนผสมของโครเมียมไม่เกิน 40 % ดังนั้นเนื้อเชื่อมจึงมีโครเมียมคาร์ไบด์แทรกอยู่โครงสร้างออสเทนิติก เนื้อเชื่อมในกลุ่มนี้มีความสามารถในการทนการขัดสี ได้ดีมาก

ปัจจัยที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกลวดเชื่อมพอกแข็ง คือ

1. ลักษณะการทำงานของชิ้นส่วน
2. ลักษณะการสึกหรอ
3. ส่วนผสมทางเคมีและ โครงสร้างจุลภาคของเนื้อลวดเชื่อม

4. ความแข็งหลังการเชื่อม

5. การเข้ากัน ได้ของ โครงสร้างจุลภาคของเนื้อพอกแข็ง และ โครงสร้างจุลภาคของชั้นสร้างเนื้อ

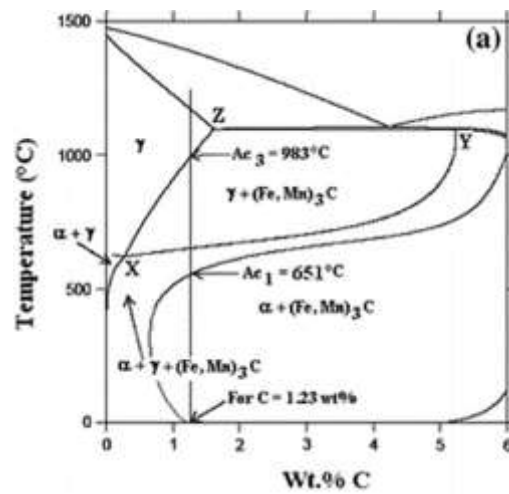
ซึ่งลักษณะงานที่จะใช้เป็นลักษณะงานที่เกิดการสึกหรอแบบเสียดสี และรับแรงกระแทก ลวดเชื่อมมาตรฐาน DIN8555:E 6-UM-60 เป็นลวดเชื่อมที่ใช้สำหรับวัสดุฐานที่เป็นเหล็กกล้า แมงกานีส และเหมาะสำหรับการใช้งานในลักษณะนี้ โดยมีการแนะนำว่าหากต้องการสร้างเนื้อเพื่อเพิ่มความหนาของชิ้นงานซ่อมนั้น ควรเพิ่มด้วยลวดเชื่อมมาตรฐาน DIN8555:E 7-UM-250-KP โดยการเชื่อมพอกแข็งนั้นควรเชื่อมไม่เกินสองชั้นตามคู่มือลวดเชื่อม [12]

2.1.6 การเจือจางของเนื้อเชื่อม

ในกระบวนการเชื่อมอาศัยหลักการให้โลหะเติม หลอมรวมกับเนื้อโลหะฐาน การที่โลหะ ทั้งสองมีความต่างกันทั้งส่วนผสมทางเคมีและสมบัติทางกล เมื่อเกิดการหลอมรวมกันก็ทำให้ ส่วนผสมทางเคมีเปลี่ยนไป โครงสร้างจุลภาคมีการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้สมบัติทางกลก็เปลี่ยนไป ด้วย ดังนั้นในการเชื่อมพอกแข็งในชั้นแรกซึ่งมีการเจือจางของเนื้อเชื่อม จึงทำให้ไม่ได้โครงสร้าง ตามที่ควรจะเป็น เป็นผลให้ความสามารถในการทนการสึกหรอลดต่ำลง การเพิ่มจำนวนชั้นของผิว เชื่อมก็จะช่วยลดปัญหา การเจือจางของเนื้อเชื่อมของผิวเชื่อมได้ [6]

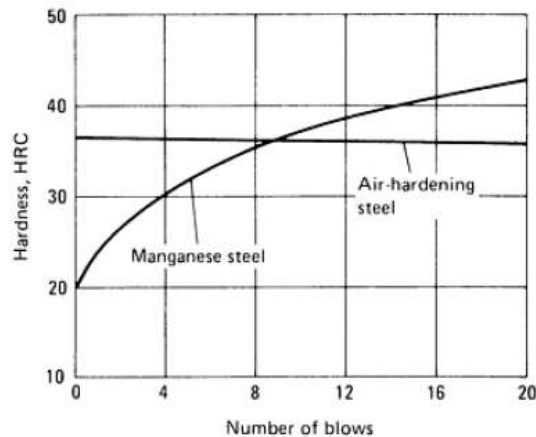
2.1.7 เหล็กกล้าทนการสึกหรอ (Wear resistance steels)

โดยทั่วไปเหล็กที่มีความแข็งสูง ทนการสึกหรอ มักจะทนต่อแรงกระแทกได้น้อย ลักษณะ งานบางอย่าง เช่น การบดแร่หรือการย่อยหิน จำเป็นต้องมีสมบัติทนต่อการสึกหรอ และสามารถรับ แรงกระแทกได้ มีเหล็กหลายชนิดที่ถูกนำมาใช้งาน เช่น เหล็กกล้าผสมโครเมียมสูง เหล็กหล่อผสม โครเมียม-โมลิบดีนัม เหล็กกล้าผสมแมงกานีสสูง เป็นต้น



รูปที่ 2-10 เฟสไดอะแกรมของเหล็กกล้าแมงกานีส

เหล็กกล้าผสมแมงกานีสสูงนิยมใช้ในงานที่ทนการสึกหรอและรับแรงกระแทก เนื่องจากเป็นเหล็กที่มี แมงกานีสผสมอยู่ในปริมาณสูง (11-14 % Mn) โดยแมงกานีสเป็นธาตุที่มีอิทธิพลในการรักษาเสถียรภาพของออสเทนไนท์ที่ค่อนข้างรุนแรง แต่แมงกานีสสามารถรวมตัวกับคาร์บอนให้คาร์ไบด์ (Mn_3C) และมีแนวโน้มจับอยู่ตามขอบเกรน ทำให้เปราะแตกง่าย ดังนั้นภายหลังการหล่อ เหล็กกล้าแมงกานีสสูงจึงต้องนำไปอบชุบเพื่อให้แมงกานีสคาร์ไบด์สลายตัวที่อุณหภูมิ 1000-1100 °C ซึ่งแมงกานีสคาร์ไบด์ละลายได้ดีในออสเทนไนท์ และเมื่อนำมาทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วด้วยการชุบน้ำ จะทำให้ได้เหล็กที่มีโครงสร้างออสเทนไนท์ที่ไม่เสถียรที่อุณหภูมิห้อง โดยเหล็กที่ได้มีความเหนียว มีความแข็งต่ำ (ไม่เกิน 200 HV) ภายหลังจากนำไปใช้งานในลักษณะที่ได้รับแรงกระแทก โครงสร้างที่ผิวจะมีความแข็งเพิ่มขึ้นจากเดิม (Work hardening) ซึ่งมีความแข็งสูง (424-549 HV) ทำให้ทนต่อการสึกหรอได้ดี โดยเหล็กกล้าผสมแมงกานีสสูงไม่เหมาะจะใช้งานในลักษณะที่ไม่ได้รับแรงกระแทกสูงพอ (ต่ำกว่า 680 จูล) หรือใช้งานที่อุณหภูมิสูง (350-500 °C) เพราะจะเกิดการตกตะกอนของแมงกานีสคาร์ไบด์ [13]



รูปที่ 2-11 การเปลี่ยนแปลงความแข็งเมื่อได้รับแรงกระแทกของเหล็กกล้า 1.17C-12.8Mn-0.46Si

กระบวนการเชื่อมเหล็กกล้าแมงกานีสจะเป็นการให้ความร้อนกับเหล็กกล้าแมงกานีส ทำให้มีการตกตะกอนของแมงกานีสคาร์ไบด์ และทำให้ความเหนียวของตัวเหล็กกล้าแมงกานีสลดลง ฉะนั้นการเชื่อมเหล็กกล้าแมงกานีสจะต้องใช้กระบวนการที่ ให้ความร้อน (Heat input) ต่ำที่สุด โดยทั่วไปการเชื่อมไฟฟ้าเป็นที่แพร่หลายในการเชื่อมต่อ หรือเชื่อมสร้างผิว เหล็กกล้าแมงกานีส

อิเล็กโทรดที่ใช้ในการเชื่อม มีอยู่ทั้งในรูปของแท่ง และลวด มีการใช้อิเล็กโทรดทั้งแบบ หุ้มฟลักซ์ และไม่หุ้มฟลักซ์ เพราะโดยทั่วไป แมงกานีสทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์ในบ่อหลอม เชื่อมอยู่แล้ว การเชื่อมโดยมีระยะเดินแนวเชื่อมที่สั้น โดยให้หยดน้ำโลหะที่มากจากการเชื่อมสัมผัส บรรยากาศน้อยที่สุด ข้อจำกัดของเทคนิคนี้คือจะมีโอกาสเกิดรูพรุน และสแลกแทรกอยู่ในเนื้อเชื่อม ได้ ซึ่งไม่เหมาะสำหรับชิ้นส่วนที่เป็นงานโครงสร้าง หากต้องการเชื่อมได้ลดรูพรุนและสแลก ก็ต้องใช้ ก๊าซคลุม และใช้ลวดเชื่อมที่มีฟอสฟอรัสต่ำ

อิเล็กโทรดที่มีการเติมโครเมียม และนิกเกิลลงไปด้วย ช่วยเพิ่มความสามารถในการ ต้านทานการสึกหรอแบบเสียดสี และช่วยเพิ่มความสามารถในการเกิดเวิร์คฮาร์ดเด้นนิ่งเมื่อได้รับ แรงกระแทก

กระบวนการเชื่อมเหล็กกล้าแมงกานีส [14] ก่อนทำการเชื่อมเหล็กกล้าแมงกานีส บริเวณผิว ที่เกิดเวิร์คฮาร์ดเด้นนิ่ง รอยแตก และตำหนิต่างๆจะต้องทำการกำจัดออกไปก่อน โดยการขัด หรือ เเก้ด้วยด้ามแท่งคาร์บอน โดยการกำจัดผิวออกก่อนทำการเชื่อมจะต้องระวังเรื่องความร้อนที่จะเกิด ขึ้นกับเหล็กกล้าแมงกานีส

ไม่ต้องทำการอุ่นชิ้นงานก่อนเชื่อม โดยอุณหภูมิชิ้นงานที่ใกล้แนวเชื่อม (Interpass temperature) จะต้องไม่เกิน 315 °C ภายหลังจากทำการเชื่อมไป 1 นาทีโดยที่ไม่พบรอยแตกที่บริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อน วิธีการง่ายๆในการตรวจเช็คคือ สามารถแตะชิ้นงานที่ห่างจากแนวเชื่อม 6 นิ้วได้โดยที่ผิวหนังไม่ไหม้

ควรใช้ระยะเชื่อมที่สั้น ไฟฟ้ากระแสตรง และอิเล็กโทรดเป็นขั้วบวก (Positive) การเชื่อมเป็นแนวตรงและมีการหยุดเป็นช่วงๆ ช่วยควบคุมความร้อนสะสมที่จะเกิดขึ้นกับชิ้นงาน การเคาะแนวเชื่อมขณะร้อน ช่วยลดความเค้นตกค้างที่เกิดจากการเชื่อม

การเชื่อมหลายๆชั้น อุณหภูมิที่สะสมในชิ้นงานช่วยทำให้เกิดการอบคืนตัว (Tempering) กับแนวเชื่อมด้านล่างซึ่งอาจมีโครงสร้างมาร์เทนไซต์เกิดขึ้น แต่ก็ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไข ที่อุณหภูมิต้องไม่เกิน 315 °C

การเชื่อมอัตโนมัติ หรือกึ่งอัตโนมัติ จะมีข้อดีที่สามารถควบคุมความร้อนที่จะให้กับชิ้นงานได้ดีกว่า ด้วยการใช้อิเล็กโทรดที่มีขนาดเล็กกว่า และมีอัตราการเดินแนวเชื่อมที่เร็วกว่าการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

ในการเชื่อมซ่อมชิ้นงานที่เสียหายเนื่องจากการสึกหรอที่รุนแรง การซ่อมโดยการเชื่อมสร้างเนื้อเหล็กกล้าแมงกานีสสามารถทำได้ โดยจะต้องนำผิวที่เกิดเวิร์คฮาร์ดเด็นนิ่งออกให้หมด (สามารถเช็คได้โดยการวัดค่าความแข็ง) เพื่อป้องกันการเกิดรอยแตกขึ้นที่บริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อน และต้องเลือกลวดเชื่อมให้เหมาะสมกับวัสดุฐานด้วย

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kotecki D.J. [15] ได้ศึกษาเวิร์คฮาร์ดเด็นนิ่งของเนื้อเชื่อมพอกแข็งออสเทนนิติกแมงกานีส 3 ชนิด คือ

1. ส่วนประกอบทางเคมีทั่วไปหรือเรียกว่า Ordinary austenitic manganese (0.7-1.0 % C, 14 % Mn)
2. ส่วนประกอบทางเคมีชนิดแมงกานีสสูงหรือเรียกว่า Rich austenitic manganese (0.9-1.1 % C, over 20 % Mn, 5 % Cr)

3. ส่วนประกอบทางเคมีชนิดแมงกานีส-โครเมียมหรือเรียกว่า Austenitic manganese-chrome (0.3-0.5 % C, 15 % Mn, 15 % Cr)

โดยใช้น้ำหนักตกกระแทก (Drop weight test) โดยใช้พลังงานครั้งละ 115 ft-lb (156 J) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าส่วนประกอบทางเคมีชนิดแมงกานีสสูง (Rich austenitic manganese) และส่วนประกอบทางเคมีชนิดแมงกานีส-โครเมียม (Austenitic manganese-chrome) แสดงความต้านทานต่อการยุบตัวสูง (High resistance to indentation)

Kalandyk B. [16] ได้ศึกษาความแข็ง และค่าความต้านทานการสึกหรอ ของเหล็กผสมแมงกานีสสูง ก่อนและหลังการเกิดเวิร์คฮาร์ดเด้นนิ่ง ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ค่าความแข็งหลังเกิดเวิร์คฮาร์ดเด้นนิ่งมีค่าสูงกว่ามาก เช่น ก่อนเวิร์คฮาร์ดเด้นนิ่งมีความแข็งประมาณ 240-260 HV แต่หลังการเวิร์คฮาร์ดเด้นนิ่ง จะมีค่าประมาณ 400 HV ส่วนค่าการสูญเสียเนื้อ (Weight loss) ของการทดสอบการต้านทานการสึกหรอมีค่าใกล้เคียงกัน

Li Xiaoyun [17] ทำการศึกษาความสามารถในการเกิดเวิร์คฮาร์ดเด้นนิ่ง ของเหล็กกล้าแมงกานีส โดยได้ทำการตีกระแทก แล้ววัดค่าความแข็ง พบว่าที่การตีต่ำกว่า 10 ครั้งมีการเพิ่มขึ้นของความแข็งอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นอัตราการเพิ่มขึ้นของความแข็งจะลดลงและคงที่ ที่พลังงาน 50 จูลต่อตาราง ซม. นั้นถึงแม้จำนวนครั้งในการตีจะเพิ่มขึ้นแต่ค่าความแข็งก็ไม่เพิ่มขึ้นมาก แสดงให้เห็นว่าจะมีค่าพลังงานวิกฤติ สำหรับเหล็กกล้าแมงกานีส ที่จะทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น และจากการศึกษากลไกการเกิดเวิร์คฮาร์ดเด้นนิ่ง ขึ้นอยู่กับพลังงานที่ได้รับจากแรงกระแทก โดยที่พลังงานที่ได้รับมีค่าต่ำ กลไกที่เกิดขึ้นจะเป็น ดิสโลเคชัน ฟอลต์ และมีทวินเกิดขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่เมื่อได้พลังงานที่ได้รับมีค่าสูง กลไกที่เกิดขึ้นหนาแน่น จะเป็น ทวินและดิสโลเคชัน โดยกลไกทวินจะเป็นกลไกที่ทำให้เพิ่มความแข็งแรงให้กับเหล็กกล้าแมงกานีส นอกจากนี้ยังพบว่าไม่มีการเกิดมาร์เทนไซต์ขึ้น ที่พลังงานในการตีกระแทก 200 จูลต่อตาราง ซม.

D. Jandoua [18] ทำการศึกษา เหล็กกล้าไร้สนิม 18Cr18Ni0.5N โดยเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าแมงกานีส ในแง่ของพลังงานสแตกกิ้งฟอลต์ พบว่า สลิปและทวิน เกิดขึ้นในกระบวนการเปลี่ยนรูป (Deformation process) ของเหล็กกล้าไร้สนิม 18Cr18Ni0.5N โดยเฉพาะทวิน มีผลทำให้ได้สมบัติความเหนียวสูงและความแกร่งสูง และไม่พบโครงสร้างมาร์เทนไซต์เกิดขึ้น แต่ก็มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดขึ้นในปริมาณที่น้อยมาก มีข้อน่าสังเกตจากการศึกษาดิฟแฟรคชันแพทเทิร์นนั้น

ทวิน และมาร์เทนไซต์ไม่สามารถแยกออกจากกันได้ แต่ที่สามารถแยกได้ว่าเป็นทวินหรือมาร์เทนไซต์นั้นดูได้จากพลังงานสแตกกิ้งฟอลส์ ซึ่งหากมีพลังงานสแตกกิ้งฟอลส์ต่ำกว่า 10 มิลลิจูลต่อตาราง ซม. จะเกิดโครงสร้างมาร์เทนไซต์ ที่พลังงานสแตกกิ้งฟอลส์ อยู่ระหว่าง 10-40 มิลลิจูลต่อตาราง ซม. เกิดสลิปและทวิน และที่พลังงานสแตกกิ้งฟอลส์สูงกว่า 40 มิลลิจูลต่อตาราง ซม.พบเฉพาะสลิปเท่านั้น

Weilin yan [19] ได้ผิวของเหล็กกล้าแมงกานีสซึ่งได้ผ่านกระบวนการสร้างให้มีขนาดเกรนเล็กในระดับนาโน ด้วยกระบวนการซอร์ดฟินีง โดยเปรียบเทียบผลของขนาดเกรนที่เล็กลง และความแข็งที่เพิ่มขึ้น มีผลอย่างไรต่อการต้านทานการสึกหรอ พบว่าการซอร์ดฟินีง 60 นาที ทำให้ได้ขนาดเกรนอยู่ในช่วง 11.1-17.4 นาโนเมตร ความแข็งเพิ่มขึ้นจาก 256 HV เป็น 774 HV ต่ำไม่สามารถเพิ่มความต้านทานการสึกหรอได้ โดยแรงกระแทกที่มีขนาดเล็ก สามารถเพิ่มความสามารถในการต้านทานการสึกหรอได้ แต่แรงกระแทกที่มีขนาดใหญ่ทำให้เกิดรอยแตกขนาดเล็กที่ได้ผิวชิ้นงาน

S.W. Bhero [20] ศึกษาความเสียหายของ แฮมเมอร์มิล(Hammer mill) และจอร์ครัชเชอร์ (Jaw crusher) ที่ใช้งานภายในเหมืองแร่ในประเทศแอฟริกาใต้ โดยวิเคราะห์ความเสียหาย ศึกษาโครงสร้างจุลภาค ความแข็ง ของชิ้นงานที่ผลิตจากเหล็กกล้าแมงกานีส พบว่าปัญหาเกิดจากการใช้งานจะทนการสึกหรอได้ดีกว่าถ้าใช้งานกับหินที่แข็ง เกิดแรงกระแทกสูง แต่การสึกหรอจะเกิดขึ้นสูงหากใช้งานกับแร่ที่มีขนาดละเอียด ทราย หรือแร่ที่เปราะ เนื่องมาจากแรงกระแทกที่เกิดขึ้นไม่พอที่จะเหนียวนำให้โครงสร้างอสเทนไนต์ในเหล็กกล้าแมงกานีสเกิดการการเปลี่ยนเฟสไปมีสมบัติคล้ายโครงสร้างมาร์เทนไซต์ โดยสาเหตุของปัญหามาจากการหล่อเหล็กกล้าแมงกานีสมาจากเศษเหล็กที่ไม่ควบคุมคุณภาพ ทำให้ได้งานหล่อที่มีคุณภาพต่ำ อีกทั้งไม่มีการผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยความร้อน S.W. Bhero แนะนำว่าหากต้องใช้กับแร่ที่มีขนาดละเอียด และเปราะควรไปใช้วัสดุกลุ่ม เหล็กหล่อเหนียวออสเทนเปเปอร์

Aboulfaz Moteshakker [21] ศึกษาการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (SAF 2205) กับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิค (AISI 316L) โดยใช้เทคนิคการเชื่อมทิก (GTAW) โดยใช้ลวดเชื่อมต่างชนิดกัน คือ AWS ER 347, AWS ER 316L, AWS ER 309L โดยพบว่าในโครงสร้างอสเทนไนต์ที่เกิดขึ้นนั้นมีปริมาณนิกเกิลมาก ในโครงสร้างเฟอร์ไรต์มีปริมาณ โครเมียมและโมลิบดีนัมมาก โดยพบว่าฝั่งเหล็กกล้าออสเทนนิคพบแถบชั้นที่ไม่หลอมละลายอยู่เป็นสัดส่วนเล็กน้อย และ

ในบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อนพบแถบเฟอร์ไรต์แทรกอยู่ตามแนวขอบเกรนของ ออสเทนไนต์ โดยในเนื้อเชื่อมพบเฟสเคลต้าเฟอร์ไรต์น้อย โดยจากการศึกษา AWS ER 309L เป็น ลวดเติมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (SAF 2205) กับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (AISI 316L) โดยใช้เทคนิคการเชื่อมทิก

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการเชื่อมพอกผิวแข็งพื้น โมของเครื่องโมถ่านหิน เพื่อป้องกันการสึกหรอ โดยทำการเชื่อมพอกแข็งเหล็กกล้าแมงกานีส (13%Mn) ตามขั้นตอนการเชื่อมที่กำหนด เมื่อได้ชิ้นงานมา จึงนำมาทดสอบ โครงสร้างมหภาค/จุลภาค ทดสอบความแข็ง และทดสอบการสึกหรอ เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัย

3.1.1 เหล็กกล้า 13 % แมงกานีส จัดอยู่ในกลุ่มเหล็กกล้าผสมสูง ได้จากการหล่อ ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 1100 °C จากนั้นจึงนำไปผ่านกระบวนการชุบแข็งด้วยน้ำ มีความแข็ง 230 HV โดยมีโครงสร้างเป็นออสเทนไนท์ และมีแมงกานีสคาร์ไบด์กระจายอยู่ตามขอบเกรน เมื่อได้รับแรงกระทำที่บริเวณผิวมีความแข็งเพิ่มขึ้นเป็น 450 HV โดยมีองค์ประกอบทางเคมีแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้า 13 % แมงกานีส (% น้ำหนัก)

C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	S	P	Fe
1.0810	0.8545	13.5082	0.3341	2.0643	0.0517	0.0065	0.0702	Balance

3.1.2 ลวดเชื่อม ที่ใช้ในการเชื่อมมีด้วยกัน 3 ชนิด ดังนี้

(1) ลวดเชื่อมตามมาตรฐาน DIN8556: E 188 Mn R26 เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 4.0 มิลลิเมตร เป็นลวดเชื่อมสำหรับการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ใช้สำหรับเชื่อมชั้นรองพื้น (Buffer) โดยรายละเอียดอื่นๆ แสดงในภาคผนวก ก

(2) ลวดเชื่อมตามมาตรฐาน DIN8555: E 7-UM-250-KP เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 4.0 มิลลิเมตร เป็นลวดเชื่อมสำหรับการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ใช้สำหรับเชื่อมชั้นสร้างเนื้อ (Build up) โดยรายละเอียดอื่นๆ แสดงในภาคผนวก ก

(3) ลวดเชื่อมตามมาตรฐาน DIN8555: E 6-UM-60 เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 4.0 มิลลิเมตร เป็นลวดเชื่อมสำหรับการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ใช้สำหรับเชื่อมชั้นพอกแข็ง (Hardfacing) โดยรายละเอียดอื่นๆ แสดงในภาคผนวก ก

3.1.3 เครื่องเชื่อม เป็นเครื่องเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ระบบอินเวอร์เตอร์ แสดงในรูปที่ 3-1 ควบคุมตัวแปรการเชื่อมด้วยคอมพิวเตอร์และโปรแกรมเก็บตัวแปรในการเชื่อมของเครื่องเชื่อม ซึ่งรายละเอียดอื่นๆ แสดงในภาคผนวก ข



รูปที่ 3-1 เครื่องเชื่อมยี่ห้อ Fronius รุ่น TransPuls Synec 4000

3.1.4 เครื่องวัดอุณหภูมิ ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของชิ้นงานขณะทำการเชื่อม โดยสายที่ใช้วัดอุณหภูมิเป็นชนิด เค (Thermocouple type K) แสดงดังรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 Thermocouple type K

3.1.5 กล้องจุลทรรศน์ ที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคทางโลหะวิทยา มี 2 ชนิดคือ

(1) กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope) สำหรับศึกษาโครงสร้างมหภาค มีกำลังขยายตั้งแต่ 4-28 เท่า แสดงดังรูปที่ 3-3 และกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope) มีกำลังขยายตั้งแต่ 25-500 เท่า แสดงดังรูปที่ 3-4 สำหรับศึกษาโครงสร้างจุลภาค



รูปที่ 3-3 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (กำลังขยาย 4-28 เท่า)



รูปที่ 3-4 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง มีกำลังขยายตั้งแต่ 25-500 เท่า

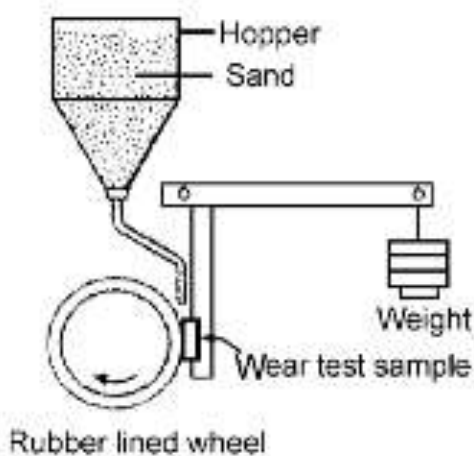
(2) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) โดยใช้ศึกษาโครงสร้างจุลภาค และ วิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค เอ็ดเอ็กซ์ (EDX) โดยใช้ทั้งการวิเคราะห์แบบจุด (EDX point analysis) และการวิเคราะห์แบบเส้น (EDX line scan analysis)

3.1.6 เครื่องวัดความแข็ง เป็นเครื่องทดสอบความแข็งระดับมหภาคแบบ วิคเกอร์ (Vickers) หัวกดเป็นเพชรรูปปิรามิดมุม 136° ใช้แรงกดในการทดสอบ 100 kgf ดังรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5 เครื่องวัดความแข็งแบบวิกเกอร์

3.1.7 เครื่องทดสอบการสึกหรอ ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบการสึกหรอ (A dry sand rubber wheel machine) ตามมาตรฐาน ASTM G65 ชิ้นงานทดสอบจะอยู่ในรูปของก้อนสี่เหลี่ยม กว้าง 25 มม. ยาว 75 มม. หนา 15 มม. ซึ่งถูกกดทับด้วยน้ำหนัก 13.5 กิโลกรัมเข้ากับล้อยางที่หมุนด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที โดยมีทรายขนาด 50-70 เมช ถูกเทให้ไหลระหว่างชิ้นงานกับล้อด้วยความอัตราการไหล 250 กรัมต่อนาที ดังรูปที่ 3-6 โดยทรายที่ใช้ทดสอบต้องทำการอบไล่ความชื้น ก่อนที่จะนำไปทดสอบ เมื่อทดสอบจนได้ระยะทาง ในการเสียดสี 4000 เมตร จึงมาหา น้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานทดสอบ



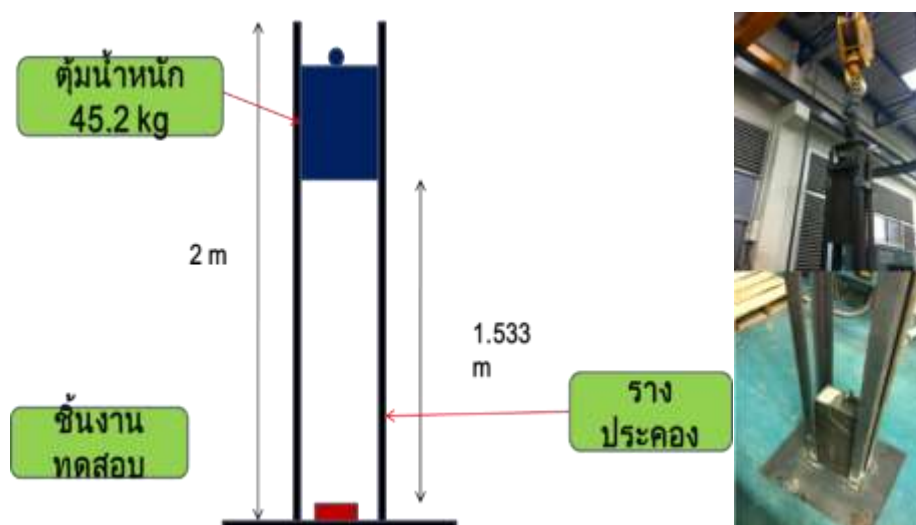
รูปที่ 3-6 ไดอะแกรมเครื่องมือทดสอบการสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM G65



รูปที่ 3-7 เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.0001 กรัม

3.1.8 เครื่องชั่งน้ำหนัก ใช้ชั่งน้ำหนักชิ้นงานทดสอบการสึกหรอ ซึ่งตามมาตรฐานการทดสอบการสึกหรอ (ASTM G65) กำหนดไว้ โดยเครื่องชั่งน้ำหนักจะต้องมีความแม่นยำ 0.0001 กรัม (รูปที่ 3-7) โดยใช้ชั่งน้ำหนักทดสอบชิ้นงานก่อนและหลังการทดสอบการสึกหรอ

3.1.9 เครื่องมือทดสอบแรงกระแทก ดังรูปที่ 3-8 เป็นเครื่องมือที่ชั่งน้ำหนัก 45.2 กก. ขึ้นสูงจากพื้น 1.5 ม. แล้วปล่อยให้ตกกระแทกชิ้นงาน โดยมีรางประคองการตกของตุ้มน้ำหนัก



รูปที่ 3-8 เครื่องทดสอบการกระแทก

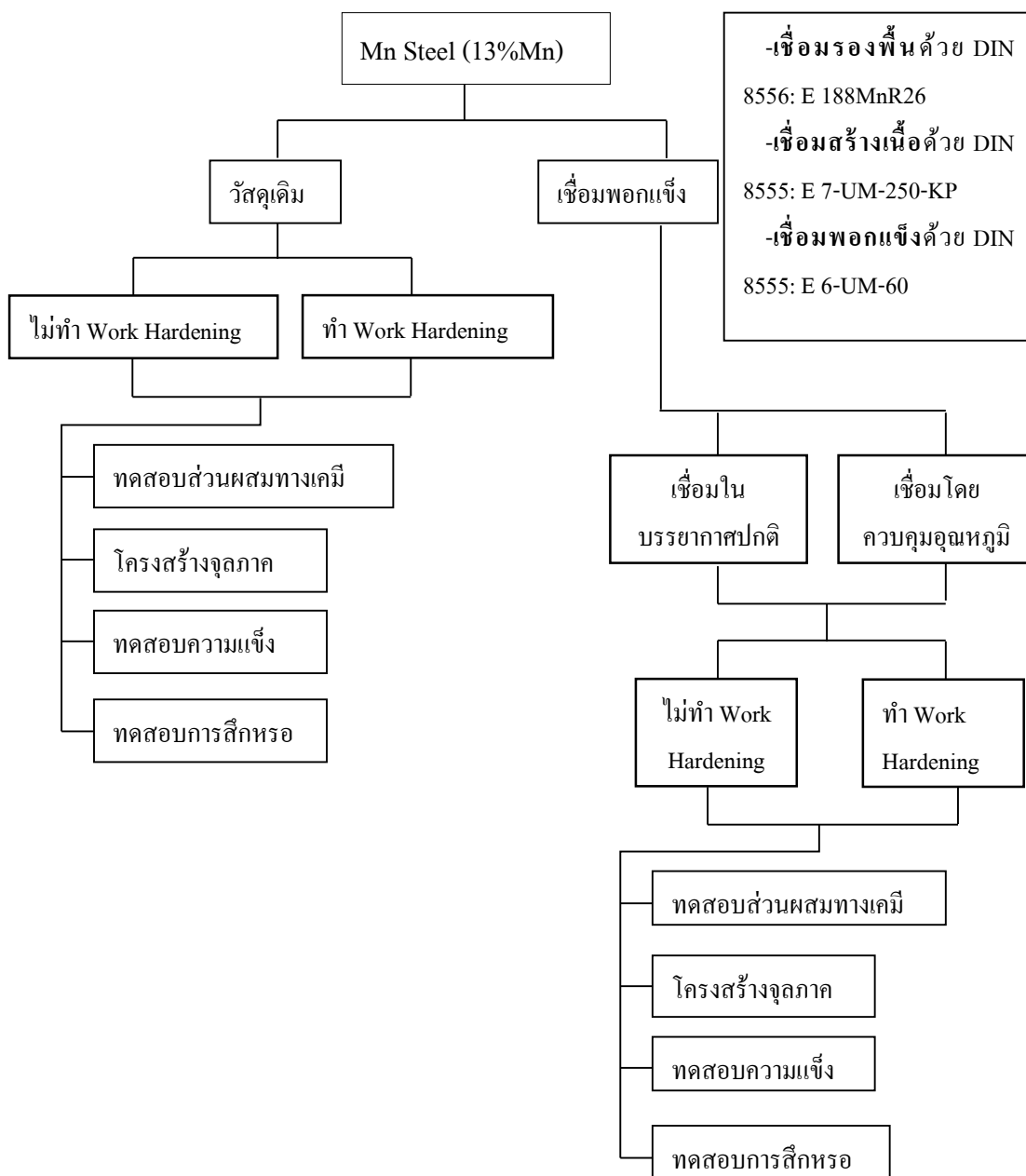
3.1.9 โปรแกรม Imag J ใช้วิเคราะห์ภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ ในงานวิจัยนี้ ใช้วิเคราะห์หาปริมาณของแมงกานีสคาร์ไบด์ที่กระจายตัวอยู่ในเหล็กกล้าแมงกานีส

3.1.10 โปรแกรม Fronius Explorer ใช้เก็บข้อมูลในการเชื่อมจาก เครื่องเชื่อมยี่ห้อ Fronius รุ่น TransPuls Synegic 4000

3.1.11 เครื่องมืออื่นๆ ได้แก่ เวอร์เนียส ตลับเมตร กล้องถ่ายรูป

3.2 รายละเอียดการดำเนินการทดลอง (เหล็กกล้า 13 % Mn)

3.2.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 3-9 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยของเหล็กกล้า 13 % แมงกานีส (13 % Mn steel)

3.2.2 การเตรียมชิ้นงานเชื่อม

ตัดเหล็กกล้า 13 % แมงกานีส เป็นแผ่นสี่เหลี่ยม กว้าง 75 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร หนา 20 มิลลิเมตร ทำความสะอาดผิวหน้าด้วยแปรงลวด

3.2.3 กรรมวิธีการเชื่อม

การเชื่อมจะทำการติดตั้งอุปกรณ์ตามรูปที่ 3-10 ซึ่งอุปกรณ์ประกอบด้วยเครื่องเชื่อมไฟฟ้า ด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ระบบอินเวอร์เตอร์ ต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูลการเชื่อม คือ กระแสเชื่อม ความต่างศักย์ และเวลาที่ใช้ในการเชื่อมแต่ละแนวเชื่อม การเชื่อมใช้กระแสตรง (DC+) โดยชิ้นงานจะต่อเข้ากับขั้วลบของเครื่องเชื่อม และลวดเชื่อมต่อกับขั้วบวกของเครื่องเชื่อม ชิ้นงานยึดติดกับแท่นจับ โดยใช้น๊อตยึด เพื่อป้องกันชิ้นงาน โกงจากการเชื่อม



รูปที่ 3-10 การจัดเตรียมอุปกรณ์ในการเชื่อม



(ก) เชื่อมพอกแข็งในบรรยากาศสปกติ



(ข) เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิชิ้นงานด้วยน้ำ

รูปที่ 3-11 การเชื่อมพอกแข็งเหล็กกล้าแมงกานีส

การเชื่อมชิ้นงานตัวอย่าง ทำโดยการควบคุมบรรยากาศในการเชื่อมเป็น 2 สถานะ คือเชื่อมชิ้นงานในบรรยากาศปกติ และเชื่อมชิ้นงานโดยควบคุมอุณหภูมิชิ้นงานด้วยน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3-11 (ก) และ (ข) โดยมีตัวแปรในการเชื่อมดังนี้

เชื่อมรองพื้น (Buffer layer) โดยใช้ลวดเชื่อมมาตรฐาน AWS E307, DIN8556: E 188MnR26 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 มิลลิเมตร กระแสเชื่อม 120 แอมแปร์ ความต่างศักย์ 25-29 โวลต์ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 23-25 เซ็นติเมตรต่อนาที

เชื่อมสร้างเนื้อ (Build up) โดยใช้ลวดเชื่อมมาตรฐาน DIN 8555: E 7-UM-250-KP ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 มิลลิเมตร กระแสเชื่อม 143 แอมแปร์ ความต่างศักย์ 20-26 โวลต์ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 21-25 เซ็นติเมตรต่อนาที

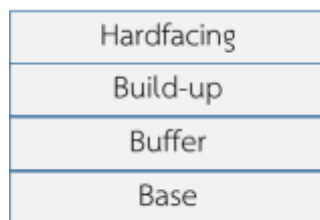
เชื่อมพอกผิวแข็ง (Hardfacing) โดยใช้ลวดเชื่อมมาตรฐาน DIN8555: E 6-UM-60 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 มิลลิเมตร กระแสเชื่อม 140-150 แอมแปร์ ความต่างศักย์ 23-26 โวลต์ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 23-24 เซ็นติเมตรต่อนาที



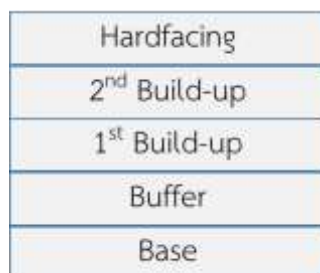
รูปที่ 3-12 ชิ้นงานทดสอบหลังเชื่อมพอกผิวแข็งในอากาศ

ตารางที่ 3-2 เงื่อนไขการเชื่อมเหล็กกล้า 13 % แมงกานีส

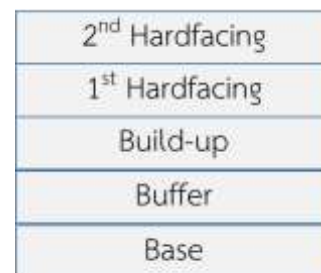
ตัวอย่าง	บรรยากาศ (จำนวนชั้น)			ควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ (จำนวนชั้น)		
	รองพื้น	สร้างเนื้อ	พอกแข็ง	รองพื้น	สร้างเนื้อ	พอกแข็ง
1.B-U-H	1	1	1	1	1	1
2.B-U-2H	1	1	2	1	1	2
3.B-2U-H	1	2	1	1	2	1
4.B-2U-2H	1	2	2	1	2	2
5.B-3U-H	1	3	1	1	3	1
6.B-3U-2H	1	3	2	1	3	2



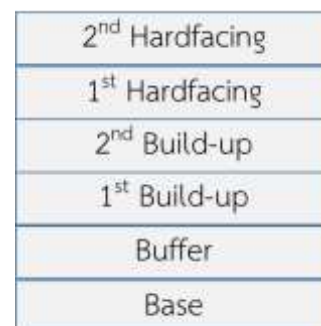
แบบการทดลอง B-U-H



แบบการทดลอง B-2U-H



แบบการทดลอง B-U-2H



แบบการทดลอง B-2U-2H

Hardfacing
3 rd Build-up
2 nd Build-up
1 st Build-up
Buffer
Base

แบบการทดลอง B-3U-H

2 nd Hardfacing
1 st Hardfacing
3 rd Build-up
2 nd Build-up
1 st Build-up
Buffer
Base

แบบการทดลอง B-3U-2H

รูปที่ 3-13 การเชื่อมพอกแข็งเหล็กกล้าแมงกานีสในแต่ละเงื่อนไข

นำชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมมาเตรียมเป็นชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยม กว้าง 25 มิลลิเมตร ยาว 75 มิลลิเมตร และหนา 15 มิลลิเมตร แบ่งชิ้นงานเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรกนำมาตีกระแทกด้วยเครื่องมือที่เตรียมไว้ แล้วนำชิ้นงานที่ผ่านการตีกระแทก ไปตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค วัดความแข็ง และทดสอบการสึกหรอ อีกกลุ่มไม่ต้องตีกระแทก นำไปตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค วัดความแข็ง และทดสอบการสึกหรอ

3.2.4 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค

1. ตัดชิ้นงานเชื่อมกว้าง 30 มม. แล้วนำมากัดด้วยเครื่องกัดให้ได้ขนาด กว้าง 25 มม. ยาว 75 มม. หนา 15 มม. โดยไม่กัดผิวเชื่อมด้านบนออก

2. นำชิ้นงานที่ได้มาขัดหยาบด้วยกระดาษทราย บริเวณด้านข้างของชิ้นงาน โดยใช้กระดาษทรายเบอร์ 80, 120, 180, 360, 600, 800, 1200 และ 2,500 ตามลำดับ

3. นำชิ้นงานมาขัดละเอียดด้วยผ้าสักหลาด โดยใช้ผงอะลูมินาขนาดอนุภาค 5 และ 1 ไมครอน เป็นตัวกลาง เมื่อขัดเสร็จแล้วนำชิ้นงานมาล้างทำความสะอาด เป่าให้แห้ง และเก็บไว้ในโถดูดความชื้น

4. นำชิ้นงานมากัดกรดเพื่อให้เห็นโครงสร้างมหภาค และจุลภาค โดยวิธีการจุ่มลงในกรดที่เตรียมไว้ตามเวลาที่กำหนด ล้างด้วยน้ำกลั่น เป่าให้แห้งอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการเกิดคราบน้ำที่ผิวชิ้นงาน สำหรับวิธีการกัดผิวชิ้นงานในแต่ละชั้นส่วนที่สนใจนั้น มีดังต่อไปนี้

บริเวณวัสดุฐาน (Base metal) ใช้สารละลายกรด 2 % ไนตอล (2 % Nital) เวลาในการจุ่ม 10 วินาที

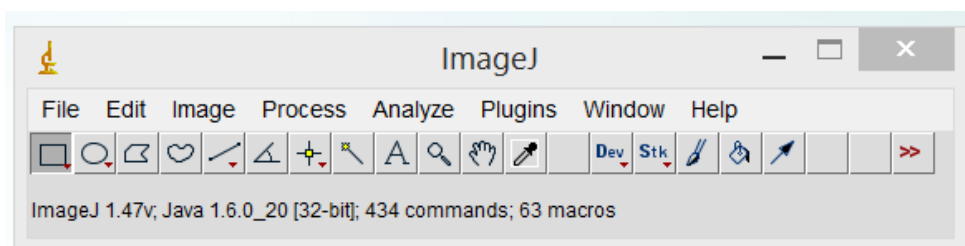
บริเวณชั้นรองพื้น (Buffer) และชั้นสร้างเนื้อ (Build-up) ใช้สารละลายวิเอลลา (Viella's reagent) ระยะเวลาในการจุ่ม 30 วินาที

บริเวณชั้นพอกแข็ง (Hardfacing) ใช้สารละลายกรด 10 % ไนตอล (10 % Nital) ระยะเวลาในการจุ่ม 10 นาที

5. ถ่ายภาพโครงสร้างมหภาคและจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์

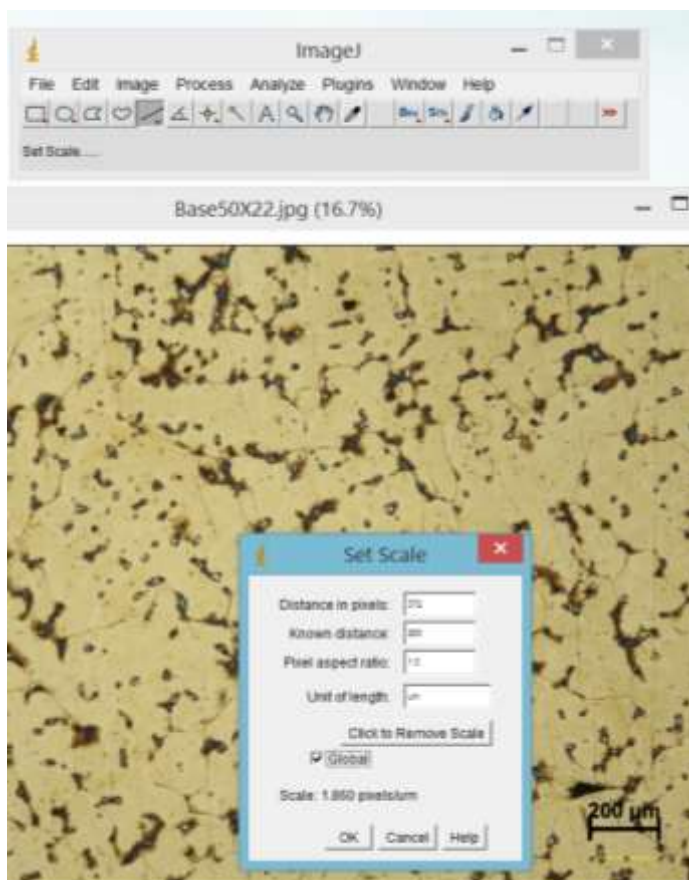
3.2.5 การหาปริมาณแมงกานีสคาร์ไบด์ สามารถหาปริมาณแมงกานีสคาร์ไบด์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยภาพ โดยใช้โปรแกรม Image J มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการถ่ายรูปด้วยกล้องจุลทรรศน์บริเวณที่ต้องการ
2. ใช้โปรแกรม Image J ในการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 3-14

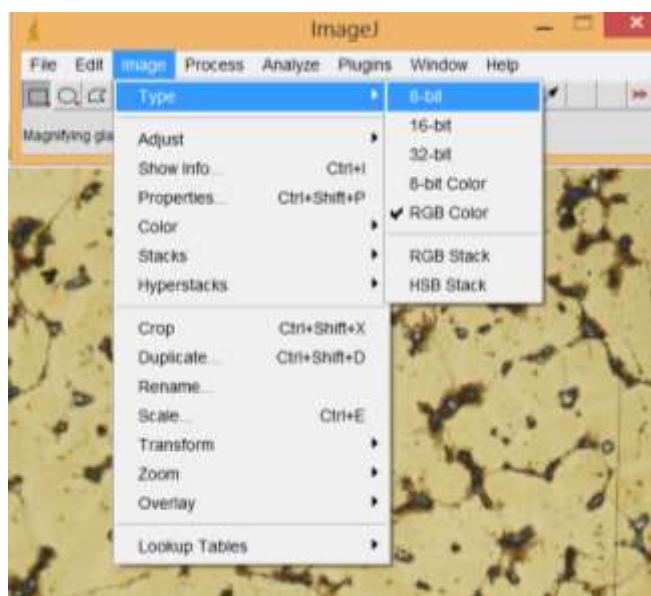


รูปที่ 3-14 โปรแกรม Image J

3. เปิดรูปที่ต้องการวิเคราะห์ โดยไปที่ File > open เปิดรูปที่ต้องการ
4. การตั้งค่าสเกล เพื่อเทียบอัตราส่วนของขนาดภาพ โดยใช้ Straight line selection คลิกลากทาบเส้นบอกขนาด 200 μm ดังรูปที่ 3-15 จากนั้นไปที่ Analyze > Set scale ใส่ค่า Known distance: 200 ใส่หน่วย Unit of length: um (ใช้ um แทน μm) จากนั้นคลิกเลือก Global แล้วกด OK
5. เลือกเฉพาะส่วนของภาพที่ต้องการ โดยใช้เครื่องมือ Rectangular selection เลือกส่วนที่ต้องการ จากนั้นไปที่ Image > Crop จะได้ภาพที่ต้องการ
6. ทำการเลือกชนิดของภาพ ไปที่ Image > Type > 8-bit ดังรูปที่ 3-16

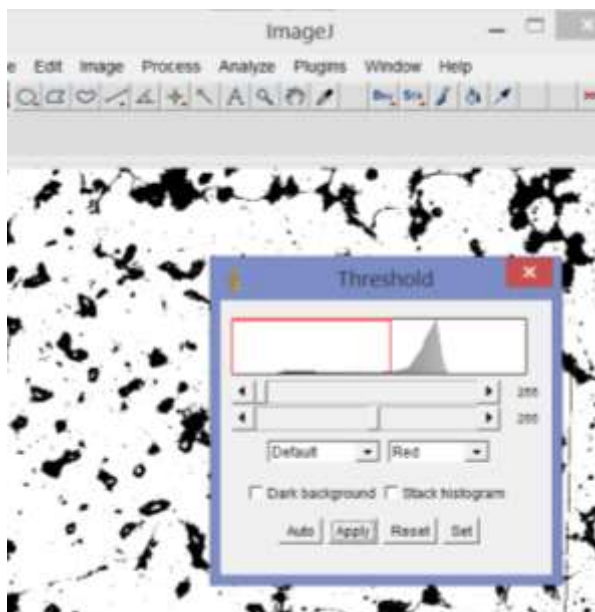


รูปที่ 3-15 การตั้งค่าสเกล เพื่อเทียบอัตราส่วนของขนาดภาพ



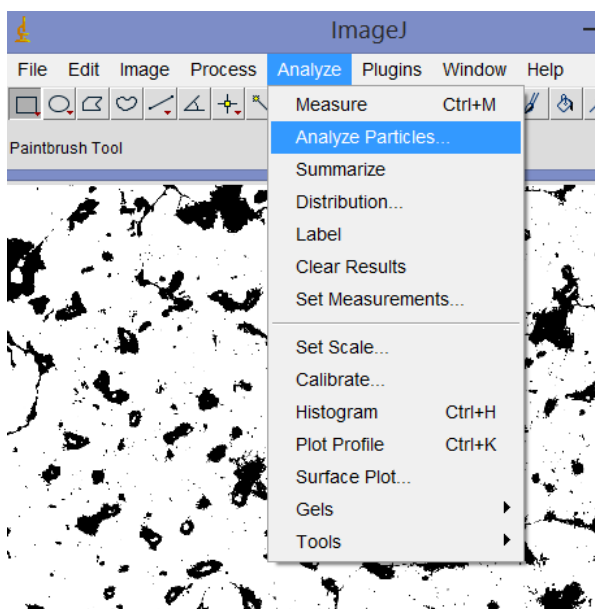
รูปที่ 3-16 การเลือกชนิดของภาพ

7. เลือกพื้นที่ที่ต้องการวัด โดยไปที่ Image > Adjust > Threshold ดังรูปที่ 3-17



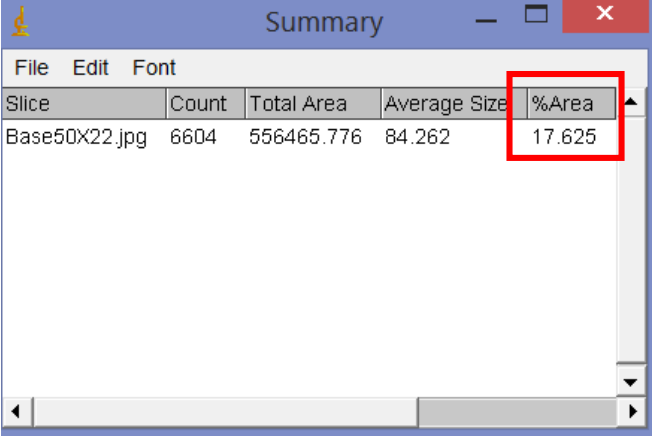
รูปที่ 3-17 การเลือกพื้นที่ที่ต้องการวัด

8. ทำการวิเคราะห์พื้นที่ของบริเวณที่ต้องการ Analyze > Analyze particles ดังรูปที่ 3-18



รูปที่ 3-18 การวิเคราะห์พื้นที่ที่สนใจศึกษา

9. โปรแกรมจะแสดงผล ดังรูปที่ 3-19



Slice	Count	Total Area	Average Size	%Area
Base50X22.jpg	6604	556465.776	84.262	17.625

รูปที่ 3-19 ผลการวิเคราะห์

3.2.6 การทดสอบการตีกระแทก

1. เตรียมชิ้นงานขนาด กว้าง 25 มิลลิเมตร ยาว 75 มิลลิเมตร และหนา 15 มิลลิเมตร
2. นำชิ้นงานวางด้านล่างของเครื่องมือตีกระแทก (รูป 3-8) ทำการยึดชิ้นงานด้วยดินน้ำมัน เพื่อกันชิ้นงานกระเด็นหลุดออกจากบริเวณฐานเมื่อทำการตีกระแทก
3. เลื่อนแท่นน้ำหนัก (45.2 กิโลกรัม) ขึ้นไปสูง 153 เซนติเมตร เพื่อให้ได้พลังงาน 180 จูล เมื่อตีกระแทก จากนั้นปล่อยแท่นน้ำหนักให้ตกอย่างอิสระลงมาตีกระแทกกับชิ้นงาน
4. ทำการตีกระแทกซ้ำจนครบ 20 ครั้ง

3.2.7 การวัดค่าความแข็ง

การวัดค่าความแข็งเป็นการตรวจสอบระดับมหภาค โดยใช้เครื่องวัดความแข็งแบบวิกเกอร์ (HV_{100}) ที่มีแรงกด 100 kgf การเตรียมชิ้นงานที่จะวัดค่าความแข็งผิวทั้งด้านหน้าและด้านหลังของชิ้นงานที่จะวัดค่าความแข็งจะต้องเรียบ และได้ระนาบ โดยผิวชิ้นงานที่จะวัดค่าความแข็งต้องเตรียมผิวเหมือนกับชิ้นงานที่จะศึกษาโครงสร้างจุลภาค เพื่อที่จะได้ทราบว่าบริเวณที่ทำการวัดนั้นอยู่ในส่วนใดของชิ้นงาน โดยวัดค่าความแข็งบริเวณภาคตัดขวางของแนวเชื่อม วัดได้มาจากผิวพอกแข็ง ผ่านชั้นสร้างเนื้อ ชั้นรองพื้น และวัสดุฐาน โดยวัดความแข็งเป็นระยะห่างกัน 1 มม. และวัดความแข็งที่ผิวหน้าชิ้นงานของชิ้นงาน

3.2.8 การทดสอบการสึกหรอ

1. เตรียมชิ้นงานขนาด กว้าง 25 มิลลิเมตร ยาว 75 มิลลิเมตร และหนา 15 มิลลิเมตร
2. ชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนการทดสอบการสึกหรอ ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความแม่นยำ 0.0001 กรัม
3. ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบการสึกหรอ (A dry sand rubber wheel machine) สร้างตามมาตรฐาน ASTM G65 ซึ่งชิ้นงานทดสอบจะเสียดสีระหว่างทรายที่มีขนาด 50-70 เมชกับล้อยาง โดยทรายที่ใช้ทดสอบต้องทำการอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้องก่อน ภาวะที่ใช้ทดสอบคือ ใช้อัตราการป้อนทราย 250 กรัมต่อนาที น้ำหนักถ่วงที่กดชิ้นงานเข้ากับล้อยางทดสอบ 13.5 กิโลกรัม ล้อยางหมุนด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที ทดสอบจนได้ระยะทาง 4000 เมตร
4. ชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบหลังการทดสอบการสึกหรอ ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความแม่นยำ 0.0001 กรัม

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 6 ส่วน คือ การวิเคราะห์การสึกหรอ โลหะฐาน การเชื่อมโดยมีชั้นสร้างเนื้อ 1 ชั้น การเชื่อมโดยมีชั้นสร้างเนื้อ 2 ชั้น การเชื่อมโดยมีชั้นสร้างเนื้อ 3 ชั้น และการวิเคราะห์ผลการทดลองทั้งหมด

4.1 การวิเคราะห์การสึกหรอ

เครื่องโม่ถ่านหินชนิดโม่คู่ที่ใช้ในเหมืองแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยนั้น ใช้เหล็กกล้าแมงกานีส เป็นวัสดุในการผลิต โดยผลิตเป็นแผ่น แต่ละแผ่นประกอบด้วยฟันโม่ 6 ฟัน แล้วนำมาประกอบเป็นโม่บนแกนเหล็ก โดยในโม่หนึ่งลูกมีแผ่นฟันโม่ทั้งหมด 12 แผ่น ดังรูป

4-1



(ก)

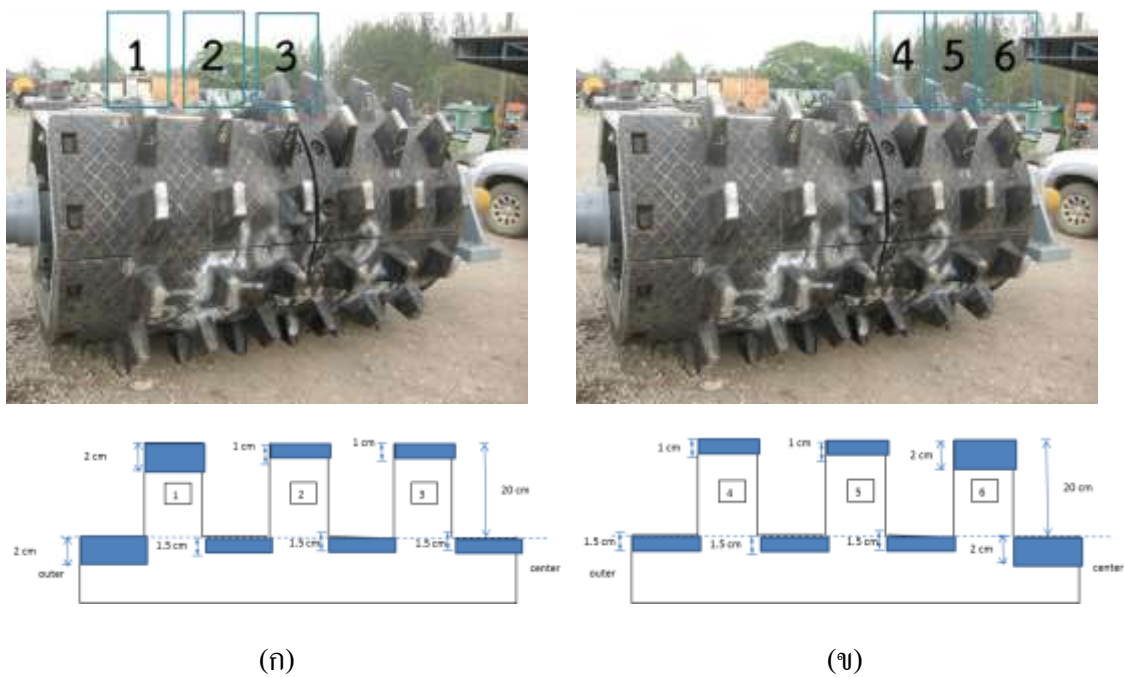


(ข)

รูปที่ 4-1 โม่คู่ที่ผลิตจากเหล็กกล้าแมงกานีส (ก) แผ่นฟันโม่ (ข) โม่คู่เมื่อประกอบเสร็จ

โดยจากการเก็บข้อมูลร่วมกับทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิต เหมืองแม่เมาะ พบว่าการสึกหรอของโม่คู่จะมีการสึกหรอของฟันโม่ด้านที่ติดกับผนังโม่ (ฟันที่ 1 และฟันที่ 6) มากกว่าฟันอื่นๆ โดยจาก

รูปที่ 4-2 บริเวณที่เป็นสีทึบคือ บริเวณที่เกิดการสึกหรอ สังเกตได้ว่าการสึกหรอจะเกิดขึ้นมากที่สุดบริเวณด้านบนของฟันไม้และพื้นที่ระหว่างฟันไม้



รูปที่ 4-2 รูปแบบการสึกหรอของไม้คู้

จากการวิเคราะห์การสึกหรอตามรูปที่ 4-3 หมายเลข 1 เป็นบริเวณที่ได้เกิดการกระแทกจากการตีถ่านหิน เกิดการสึกหรอแบบครูด หมายเลข 2 เป็นบริเวณที่สูญเสียเนื้อโลหะมาก เกิดการเสียดสีรุนแรง หมายเลข 3 เกิดการเสียดสีแต่ไม่รุนแรง หมายเลข 4 และ 5 เป็นบริเวณที่สูญเสียเนื้อโลหะมาก เกิดการเสียดสีรุนแรง

กลไกการต้านทานการสึกหรอของเหล็กกล้าแมงกานีส เกิดจากได้รับแรงกระแทก แล้วมีความแข็งเพิ่มขึ้น ทำให้ต้านทานการสึกหรอได้ดี ในบริเวณหมายเลข 2 4 และ 5 เป็นบริเวณที่รับแรงกระแทกน้อยทำให้เกิดการสึกหรอมากกว่าบริเวณอื่นๆ

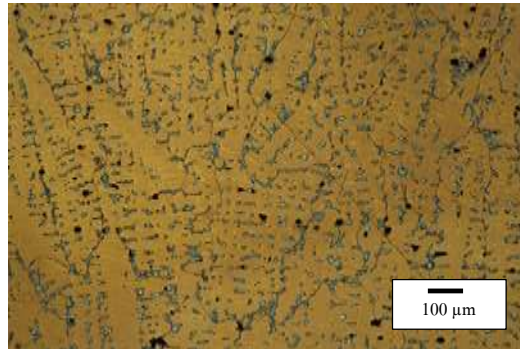


รูปที่ 4-3 ชิ้นส่วนของโมคู้

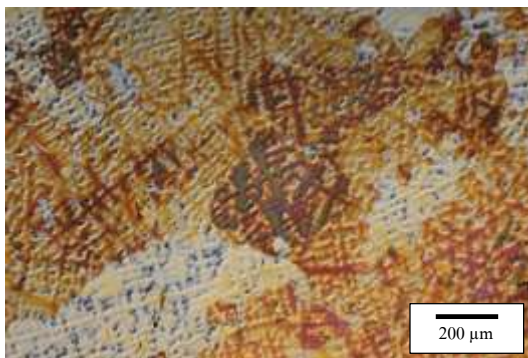
4.2 โลหะฐาน (Base metal)

4.2.1 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ของเหล็กกล้า 13% แมงกานีส ซึ่งผ่านการอบที่อุณหภูมิ 1100 °C จากนั้นจึงนำไปผ่านกระบวนการชุบแข็งด้วยน้ำ โดยมีโครงสร้างเป็นออสเทนไนต์ และมีแมงกานีสคาร์ไบด์ $[(Fe,Mn)_3C]$ กระจายอยู่ตามขอบเกรน (ดังรูป 4-4 ก) เหล็กกล้าแมงกานีสเมื่อได้รับแรงกระทำจะมีการเกิดเวอร์คฮาร์ดเดนนึ่ง มีโครงสร้างจุลภาคดังแสดงในรูปที่ 4-4 ก, ง โดยเมื่อได้รับแรงกระทำจะสังเกตเห็นรอยเส้นที่เกิดจากสลิป(Slip) และทวินนึ่ง (Twinning) [18] เป็นเส้นตรงเกิดอยู่ภายในเกรน

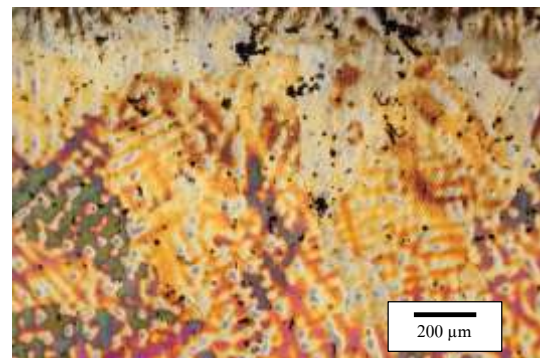
โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าแมงกานีสที่ใช้ในการทดลอง (รูปที่ 4-4 ก) มีโครงสร้างออสเทนไนต์ที่มีลักษณะเป็นเดนไดท์ชัดเจนเนื่องจากเป็นชิ้นงานที่เตรียมมาจากการหล่อ โดยมีแมงกานีสคาร์ไบด์ $[(Fe,Mn)_3C]$ กระจายอยู่ตามขอบเกรน



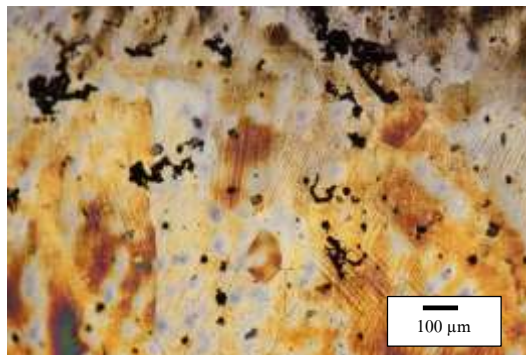
(ก) โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าแมงกานีสที่ใช้ในการทดลอง



(ข) ก่อนได้รับแรงกระแทก



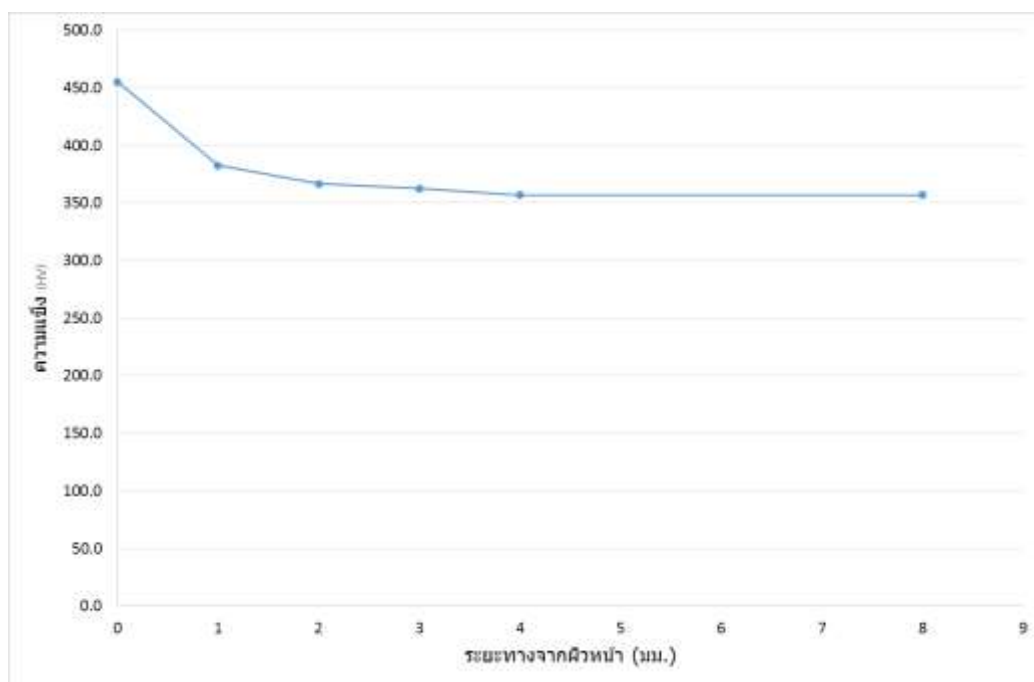
(ค) หลังได้รับแรงกระแทก



(ง) หลังได้รับการตีกระแทก

รูปที่ 4-4 โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าแมงกานีส

4.2.2 ผลการตรวจสอบความแข็ง เหล็กกล้าแมงกานีส ที่ยังไม่ได้รับแรงกระแทก จะมีความแข็ง 230 HV และเมื่อได้รับแรงกระแทก มีความแข็งดังแสดงในรูป 4-5 โดยที่บริเวณผิวหน้า มีความแข็ง 450 HV แล้วความแข็งค่อยๆลดลงเมื่อระยะจากผิวเพิ่มมากขึ้น โดยกลไกที่ช่วยเพิ่มความแข็งให้กับผิวหน้าของเหล็กกล้าแมงกานีสคือ สลิลิปและทวินนิ่ง [18] ซึ่งจะให้ได้ว่าจากรูป 4-4 (ง) มีความหนาแน่นของทวินนิ่งและสลิลิป เพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อได้รับแรงกระแทก



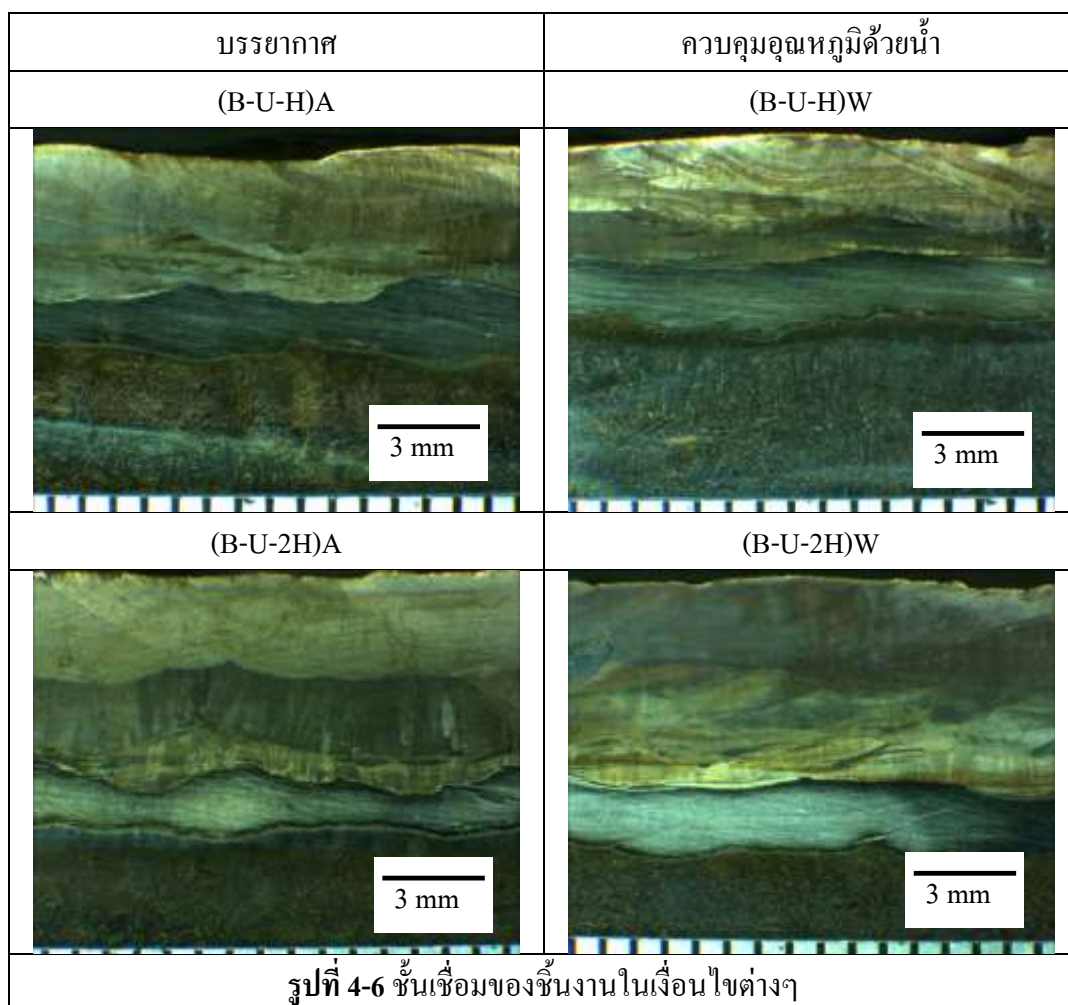
รูปที่ 4-5 ความแข็งของเหล็กกล้าแมงกานีสเมื่อผ่านการตีกระแทก

4.2.3 ผลการทดสอบการสึกหรอ ของเหล็กกล้าแมงกานีส ที่ไม่ได้รับแรงกระแทก มีน้ำหนักที่หายไปเท่ากับ 1.1320 กรัม และเหล็กกล้าที่ได้รับการตีกระแทก มีน้ำหนักที่หายไป 1.1581 กรัม โดยแม้ค่าความแข็งหลังการตีกระแทกจะเพิ่มขึ้น แต่ความต้านทานการสึกหรอ ก็ใกล้เคียงกับก่อนการตีกระแทก





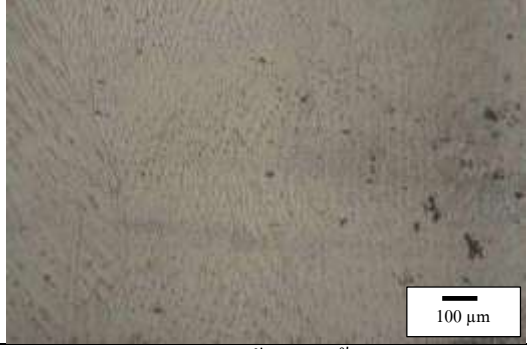
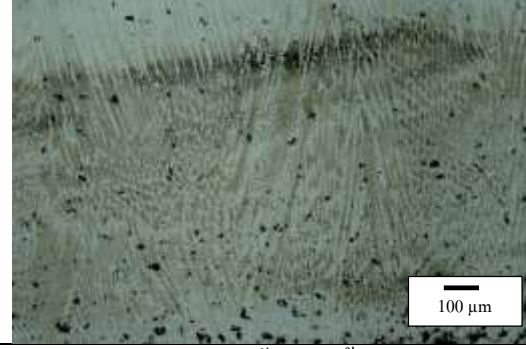
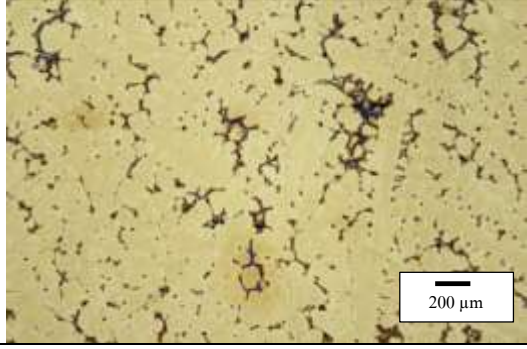
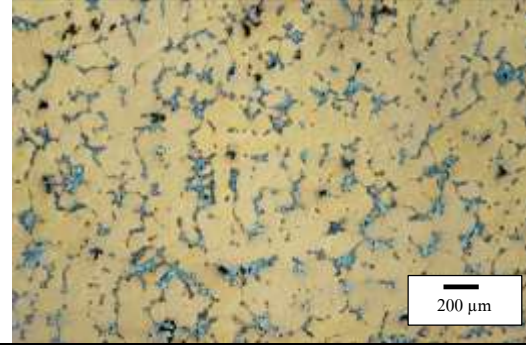
4.3 กรณีการเชื่อมโดยมีชั้นสร้างเนื้อ 1 ชั้น (B-U-H และ B-U-2H)

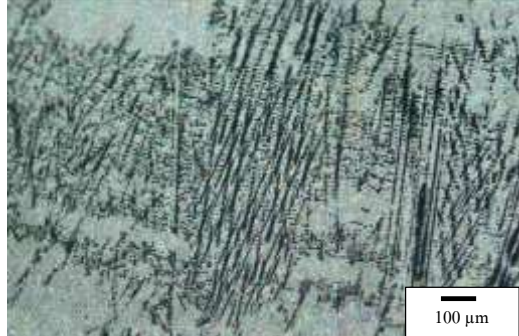




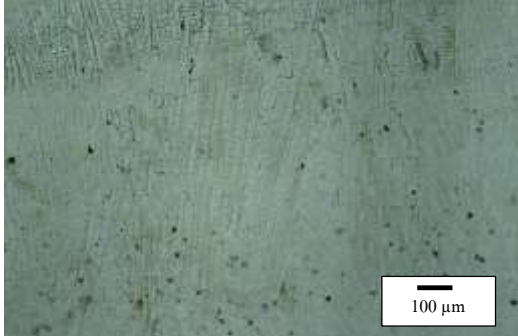
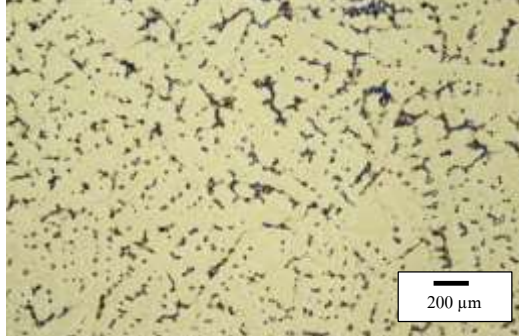
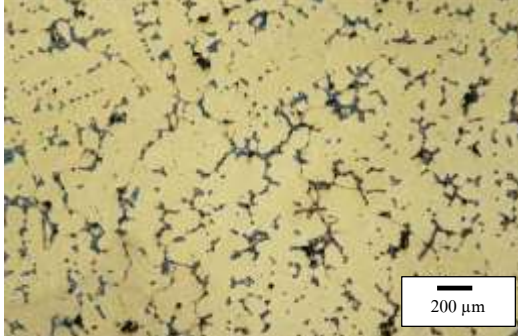
4.3.1 ผลวิเคราะห์ทางโลหะวิทยา

รูปที่ 4-6 แสดงโครงสร้างของเนื้อเชื่อมพอกแข็ง โดยแสดงวัสดุฐาน (Base Metal) ชั้นรองพื้น (Buffer layer) ชั้นสร้างเนื้อ (Build up layer) และชั้นพอกแข็ง (Hardfacing) โดยในชั้นรองพื้น จะมีความหนาประมาณ 2-2.5 มม. ในชั้นสร้างเนื้อจะมีความหนาประมาณ 1.5-2.0 มม. และในชั้นพอกแข็งจะมีความหนาประมาณ 4.0-5.0 มม.



รูปที่ 4-7 และ 4-8 แสดงโครงสร้างจุลภาคในแต่ละเนื้อเชื่อม บริเวณเนื้อวัสดุฐานจะมีโครงสร้างเป็นอสเทนไนต์ โดยจะมีลักษณะเกรนเป็นเดนไดรต์ชัดเจน เนื่องจากวัสดุฐานเป็นชิ้นงานเตรียมมาจากการหล่อโลหะ ในชั้นรองพื้นและชั้นสร้างเนื้อจะมีโครงสร้างจุลภาคเป็น เซลูลาร์ เดนไดรต์ (Cellular dendritic structure) โดยมีโครงสร้างเป็นอสเทนไนต์ทั้งหมด โดยในชั้นสร้างเนื้อเชื่อมในบรรยากาศ (B-H-U) พบรอยแตก ในชั้นพอกผิวแข็งจะมีโครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์แทรกอยู่ในอสเทนไนต์โดยโครงสร้างอสเทนไนต์จะมีสีอ่อนกว่าส่วนที่เป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ โดยผิวพอกแข็งที่เชื่อมโดยการควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ โครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่ได้จะมีลักษณะเรียวยาวแหลม มากกว่าผิวพอกแข็งที่เชื่อมในบรรยากาศปกติ โดยหากสังเกตจะเห็นว่าโครงสร้างจะเป็นแท่งเรียวยาวแหลมมากกว่า

บรรยากาศ	ควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ
	
บริเวณชั้นพอกผิวแข็ง	บริเวณชั้นพอกผิวแข็ง
	
บริเวณชั้นสร้างเนื้อ	บริเวณชั้นสร้างเนื้อ
	
บริเวณชั้นรองพื้น	บริเวณชั้นรองพื้น
	
บริเวณวัสดุฐาน	บริเวณวัสดุฐาน
<p>รูปที่ 4-7 โครงสร้างจุลภาคของชั้นงานตามการทดลอง (B-U-H)</p>	

บรรยากาศ	ควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ
	
บริเวณชั้นพอกผิวแข็งชั้นที่ 2	บริเวณชั้นพอกผิวแข็งชั้นที่ 2
	
บริเวณชั้นสร้างเนื้อ	บริเวณชั้นสร้างเนื้อ
	
บริเวณชั้นรองพื้น	บริเวณชั้นรองพื้น
	
บริเวณวัสดุฐาน	บริเวณวัสดุฐาน
รูปที่ 4-8 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานตามการทดลอง (B-U-2H)	

ตารางที่ 4-1 ปริมาณแมงกานีสคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นบริเวณวัสดุฐาน

ตัวอย่าง	ปริมาณแมงกานีสคาร์ไบด์ (% พื้นที่)
(B-U-H)A บรรยากาศ	9.4
(B-U-H)W ควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ	9.1
(B-U-2H)A บรรยากาศ	11.7
(B-U-2H)W ควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ	11.1

จากการศึกษาด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่าย ปริมาณของแมงกานีสคาร์ไบด์ที่บริเวณวัสดุฐานของกรณีที่มีการเชื่อมพอกแข็งสองชั้น (B-U-2H) จะมีปริมาณของแมงกานีสคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นในวัสดุฐานมากกว่ากรณีที่มีการเชื่อมพอกแข็งชั้นเดียว (B-U-H) สำหรับการเชื่อมในบรรยากาศ และการเชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ ปริมาณของแมงกานีสคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ มีปริมาณต่ำกว่าเล็กน้อย

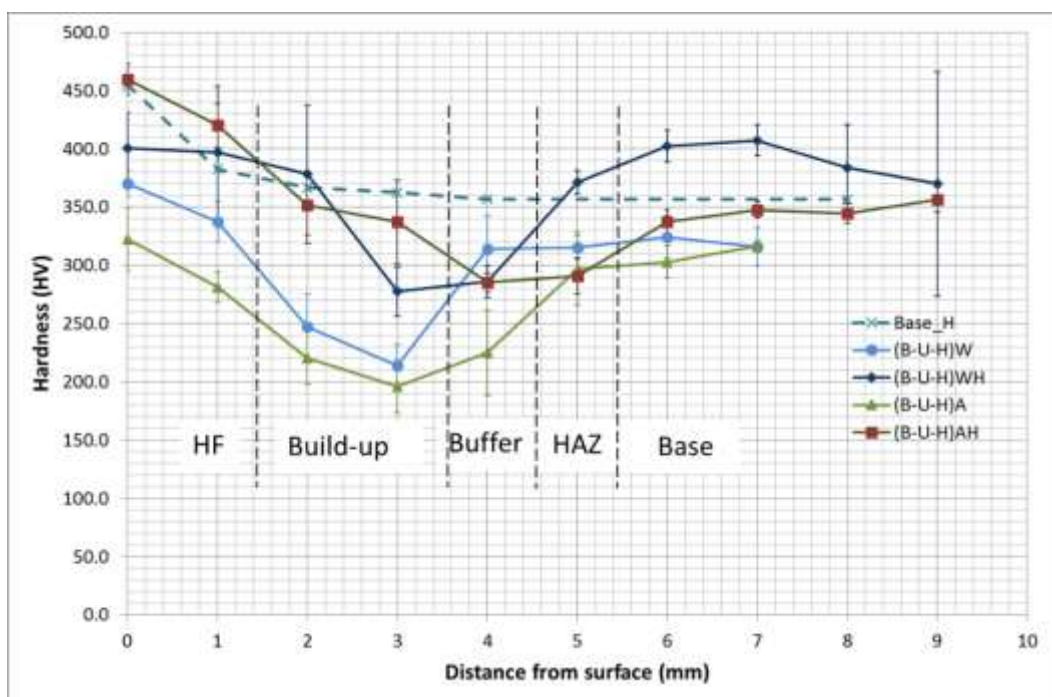
4.3.2 ค่าความแข็ง

รูปที่ 4-9 และ 4-10 แสดงค่าความแข็งของชิ้นงาน โดยวัดความแข็งจากผิวหน้าชิ้นงานลงไปตามความลึกผ่านชั้นเชื่อมต่างๆ ผลการทดสอบความแข็ง ชิ้นงานที่เชื่อมพอกผิวแข็ง 1 ชั้นให้ความแข็งที่ผิว 320-450 HV ชิ้นงานที่เชื่อมพอกผิวแข็ง 2 ชั้น ให้ความแข็งที่ผิว 550-600 HV โดยจากโครงสร้างจุลภาคในรูปที่ 4-7 และ 4-8 บริเวณชั้นพอกผิวแข็งจะเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์แทรกอยู่ในโครงสร้างออสเทนไนต์ ในชิ้นงานที่เชื่อมพอกผิวแข็ง 2 ชั้น จะมีรูปร่างของโครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่เรียวแหลมกว่า ชิ้นงานที่เชื่อมพอกผิวแข็ง 1 ชั้นทำให้ได้ค่าความแข็งที่สูงกว่า โดยชิ้นงานที่พอกผิวแข็ง 1 ชั้น ให้ความแข็งใกล้เคียงกับเหล็กกล้าแมงกานีสที่ผ่านการตีกระแทก ซึ่งมีความแข็งที่ผิว 450 HV ในขณะที่ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมพอกผิวแข็ง 2 ชั้นให้ความแข็งที่สูงกว่าเหล็กกล้าแมงกานีสที่ผ่านการตีกระแทก

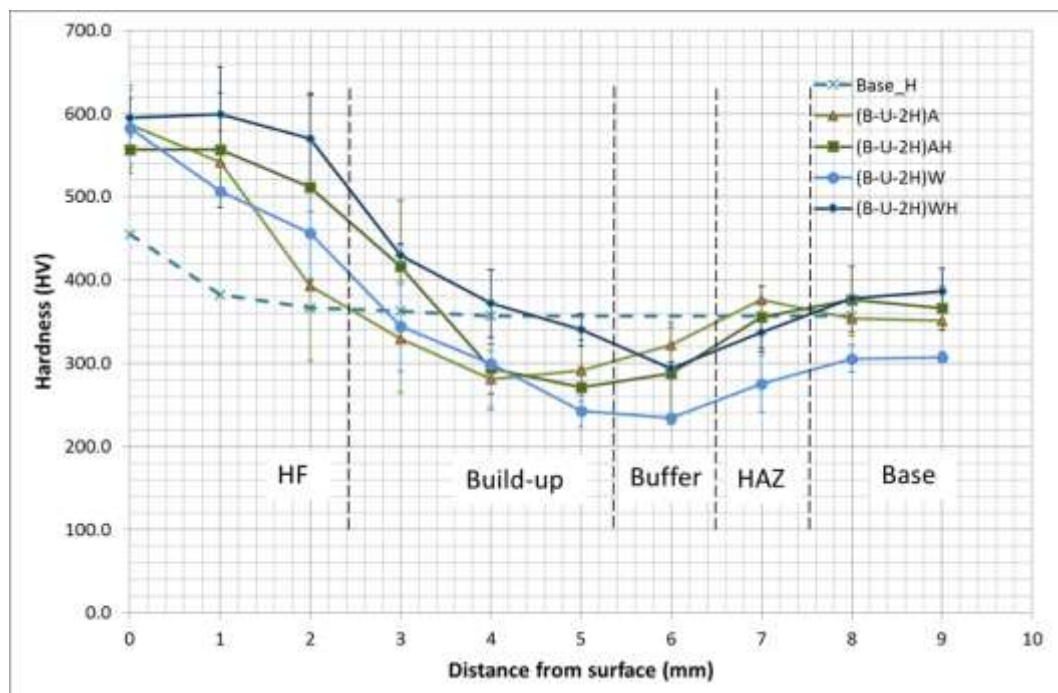
สำหรับชิ้นงานที่ผ่านตีกระแทก บริเวณชั้นสร้างเนื้อ จะมีความแข็งสูงกว่าชิ้นงานที่ยังไม่ได้ผ่านการตีกระแทก เป็นส่วนของชั้นสร้างเนื้อซึ่งเมื่อผ่านการตีกระแทกก็จะเกิดเวอร์คฮาร์ดเดนนิ่งทำให้ค่าความแข็งที่บริเวณนั้นเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเหมือนกับค่าความแข็งที่บริเวณวัสดุฐาน (ความลึกจากผิวมากกว่า 5 มม. ในการทดลอง B-U-H และ ความลึกจากผิวมากกว่า 7 มม. ในการทดลอง B-U-2H) คือชิ้นงานที่ผ่านการตีกระแทกจะมีความแข็งสูงกว่าชิ้นงานที่ยังไม่ผ่านการตีกระแทก ความแข็งบริเวณชั้นรองพื้น (ความลึกจากผิว 3-4 มม. ในการทดลอง B-U-H และ ความลึกจากผิว 4-5 มม. ใน

การทดลอง B-U-2H) จะมีค่าต่ำที่สุด มีค่า 200-300 HV โดยความแข็งของวัสดุฐานเมื่อผ่านการเชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิจะมีค่าต่ำกว่า การเชื่อมในบรรยากาศ โดยความแข็งของวัสดุฐานที่ไม่ผ่านการเชื่อมจะมีความแข็ง 230 HV ซึ่งต่ำกว่าวัสดุฐานที่ผ่านการเชื่อมมาแล้ว

โดยภาพรวมของค่าความแข็งจะมีความแข็งสูงสุดที่ชั้นบนสุดซึ่งเป็นชั้นผิวพอกแข็ง มีโครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์ จากนั้นความแข็งจึงค่อยลดลงมาในชั้นสร้างเนื้อซึ่งมีโครงสร้างเป็นออสเทนไนต์ โดยความแข็งที่ค่อยๆลดลงมาเนื่องจากเกิดการเจือจางของเนื้อเชื่อม ซึ่งจะเห็นภาพโครงสร้างเป็นออสเทนไนต์ที่มีริ้วของมาร์เทนไซต์แทรกเข้ามา โดยบริเวณที่มีความแข็งต่ำที่สุดจะเป็นบริเวณชั้นสร้างเนื้อต่อกับชั้นรองพื้น ซึ่งมีโครงสร้างเป็นออสเทนไนต์เกือบทั้งหมด แล้วค่าความแข็งก็ค่อยเพิ่มขึ้นมาในชั้นที่ได้ผลกระทบเนื่องจากความร้อน ก่อนที่จะคงที่ในชั้นวัสดุฐาน



รูปที่ 4-9 ค่าความแข็งของชิ้นงานที่เชื่อมพอกผิวแข็ง 1 ชั้น











รูปที่ 4-10 ค่าความแข็งของชิ้นงานชิ้นงานที่เชื่อมพอกผิวแข็ง 2 ชั้น

4.3.3 การทดสอบการสึกหรอ

ตัวอย่าง	ก่อนการตีกระแทก	หลังการตีกระแทก
(B-U-H)A บรรยากาศ		
(B-U-H)W น้ำ		
(B-U-2H)A บรรยากาศ		
(B-U-2H)W น้ำ		

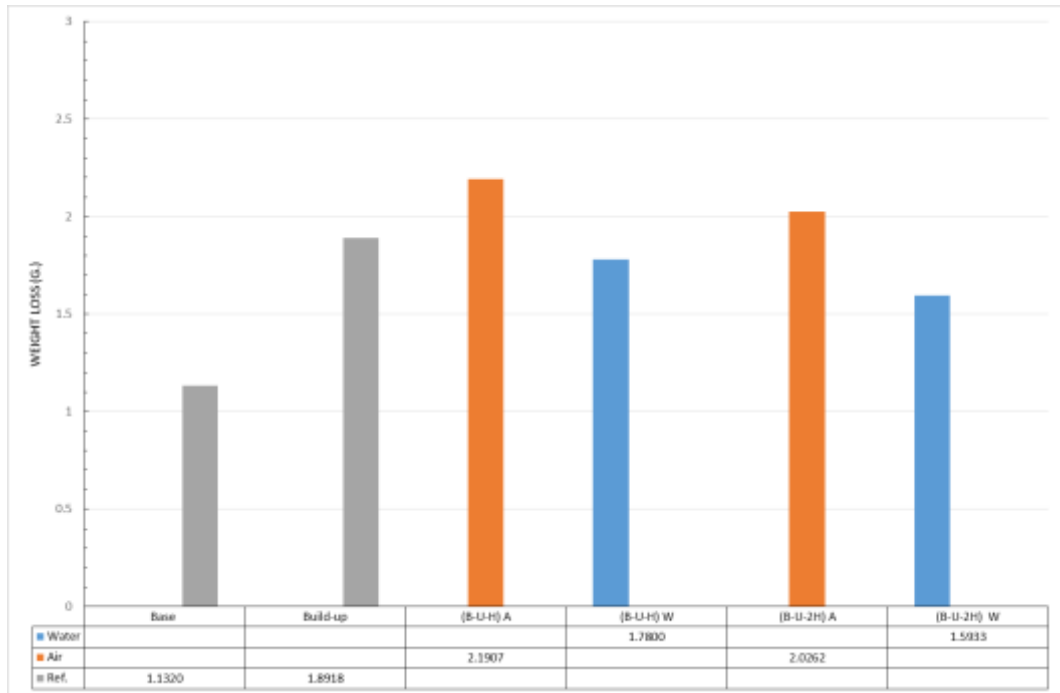
รูปที่ 4-11 สภาพผิวหน้าชิ้นงานก่อนและหลังตีกระแทก ก่อนการทดสอบการสึกหรอ

ตัวอย่าง	ก่อนการตีกระแทก	หลังการตีกระแทก
(B-U-H)A บรรยากาศ		
(B-U-H)W น้ำ		
(B-U-2H)A บรรยากาศ		
(B-U-2H)W น้ำ		

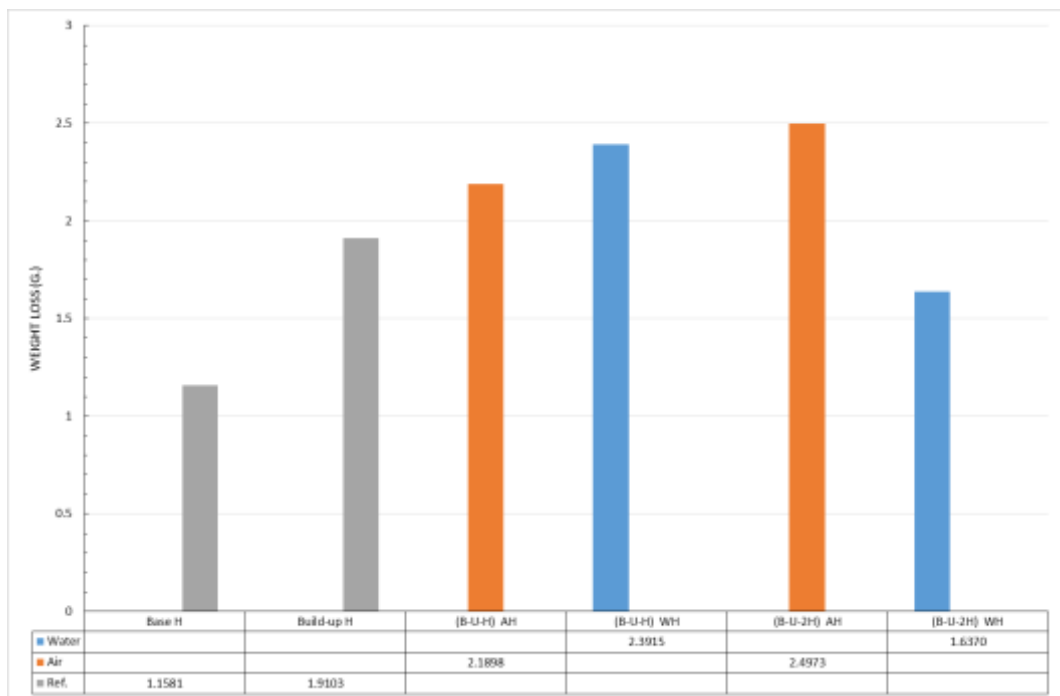
รูปที่ 4-12 สภาพผิวหน้าชิ้นงานก่อนและหลังตีกระแทก หลังการทดสอบการสึกหรอ

สภาพผิวหน้าของชิ้นงานก่อนและหลังตีกระแทกแสดงในรูปที่ 4-11 และ 4-12 ในชิ้นงาน B-U-H ทั้งที่เชื่อมในบรรยากาศ และเชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ เมื่อผ่านการตีกระแทก ชิ้นงานไม่มีรอยแตกให้เห็น ในชิ้นงาน B-U-2H ที่เชื่อมในบรรยากาศ เมื่อผ่านการตีกระแทกพบรอยแตกเล็กๆ ตามผิวหน้าชิ้นงาน ชิ้นงาน B-U-2H ที่เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ เมื่อผ่านการตีกระแทกพบรอยแตกขนาดใหญ่ ที่ผิวหน้าชิ้นงาน

รูปที่ 4-13 และรูปที่ 4-14 แสดงผลการทดสอบการสึกหรอของชิ้นงานที่เชื่อมชั้นสร้างเนื้อ 1 ชั้น โดยชิ้นงาน B-U-2H ที่ทำการเชื่อม โดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำจะทนการสึกหรอได้ดี โดยมีน้ำหนักที่หายไป 1.5933 กรัม ก่อนการตีกระแทก และหลังตีกระแทกมีน้ำหนักที่หายไป 1.6370 กรัม โดยชิ้นงานที่เชื่อมในบรรยากาศ จะทนการสึกหรอได้น้อยกว่า ชิ้นงานที่เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ และชิ้นงานเมื่อผ่านการตีกระแทกแล้ว จะทนการสึกหรอได้น้อยกว่า ชิ้นงานที่ยังไม่ผ่านการตีกระแทก เนื่องจากเมื่อผ่านการตีกระแทกแล้วมีรอยแตกเกิดขึ้นทำให้มีการสูญเสียเนื้อโลหะได้ง่ายกว่าก่อนมีรอยแตกเนื่องจากทรายที่ใช้ในการทดสอบสามารถแทรกเข้าไปในรอยแตกทำให้มีบริเวณที่เกิดการเสียดสีมากขึ้น



รูปที่ 4-13 ผลการทดสอบการสึกหรอ (ไม่ตีกระแทก)



รูปที่ 4-14 ผลการทดสอบการสึกหรอ (ตีกระแทก)

จากภาพถ่ายถ่ายภาพโครงสร้างมหภาค กรณีที่เชื่อมชั้นสร้างเนื้อ 1 ชั้น จะพบรอยแตกขนาดเล็กกระจายอยู่ในทุกเงื่อนไขการเชื่อม ในกรณีเชื่อมพอกแข็ง 1 ชั้น (B-U-H) ชิ้นงานที่เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำจะมีความแข็งแรงสูงกว่าชิ้นงานที่เชื่อมในบรรยากาศ เนื่องจากน้ำช่วยถ่ายเทอุณหภูมิระหว่างการเชื่อม ทำให้อัตราการเย็นตัวของชั้นผิวพอกแข็งเร็วกว่าชิ้นงานที่เชื่อมในบรรยากาศ โดยดูได้จากโครงสร้างจุลภาคของชั้นผิวพอกแข็งจะได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่มีลักษณะเรียวยาวแหลมกว่า เมื่อผ่านการตีกระแทกไม่พบรอยแตกขนาดใหญ่ที่ผิวหน้ารอยเชื่อม เนื่องจากความแข็งแรงของชิ้นงานเชื่อมพอกแข็ง 1 ชั้น มีความแข็งแรงเพียง 450 HV ทำให้ยังสามารถรับแรงกระแทกได้ โดยชิ้นงาน B-U-H ที่เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ ให้ผลการทนการสึกหรอที่ดีที่สุด

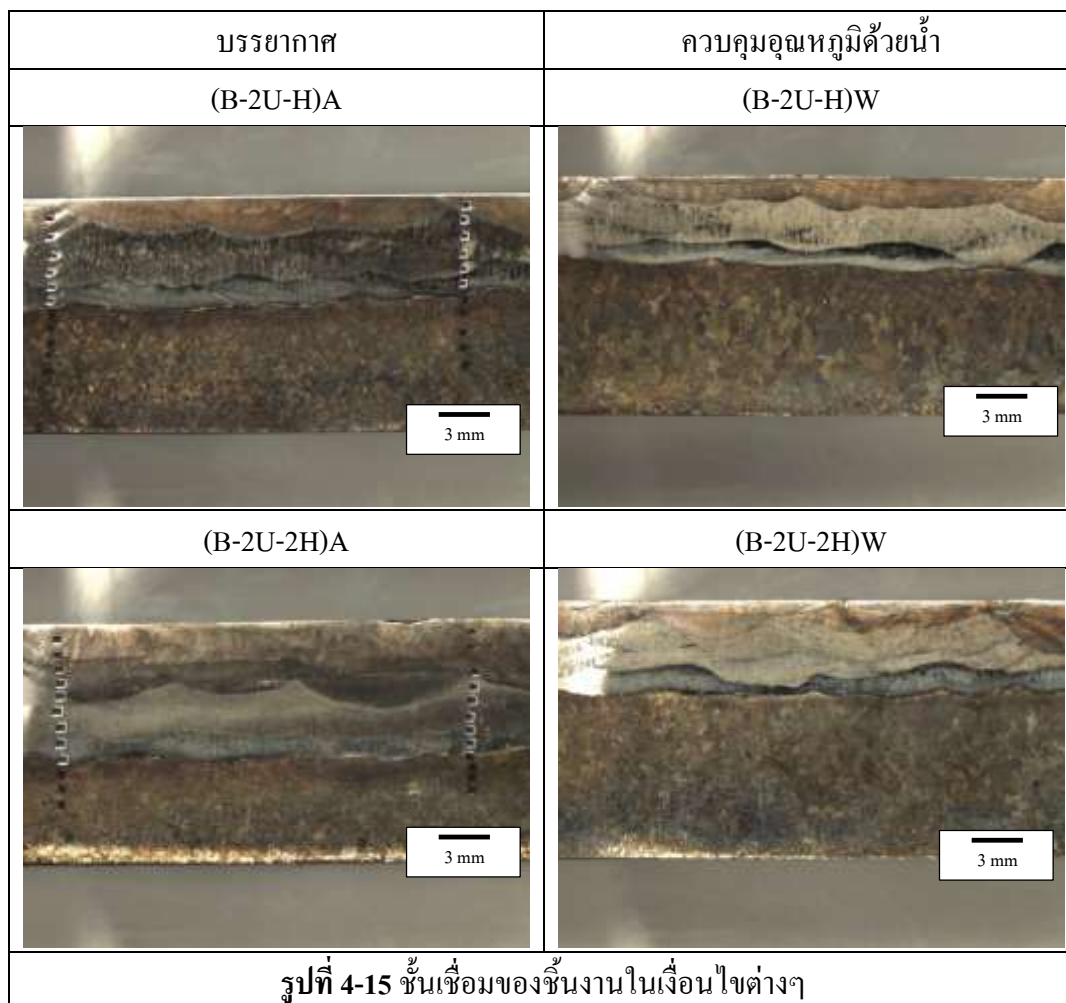
ในกรณีเชื่อมพอกแข็ง 2 ชั้น (B-U-2H) ชิ้นงานที่เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำและเชื่อมในบรรยากาศ มีความแข็งแรงใกล้เคียงกัน (580 HV) แต่โครงสร้างจุลภาคของชั้นผิวพอกแข็งของชิ้นงานที่เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำจะมีลักษณะเกรนที่ละเอียดกว่าชิ้นงานที่เชื่อมในบรรยากาศ ทำให้ชิ้นงานที่เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำทนการสึกหรอได้ดีกว่าชิ้นงานที่เชื่อมในบรรยากาศ แต่จะพบรอยแตกขนาดใหญ่ที่ผิวของชิ้นงานที่เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ ทำให้มีการสูญเสียเนื้อโลหะเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการตีกระแทก แต่ชิ้นงานที่เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำทนการสึกหรอได้ดีกว่าชิ้นงานที่เชื่อมในบรรยากาศเนื่องจากโครงสร้างมาร์เทนไซต์ในชั้นพอกแข็งมีขนาดเกรนที่เล็กกว่า ซึ่งจะมีความเหนียวมากกว่าเกรนที่มีขนาดใหญ่

ปริมาณของแมงกานีสคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นบริเวณวัสดุฐานมีปริมาณใกล้เคียงกันทั้งชิ้นงานที่เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำและเชื่อมในบรรยากาศ เนื่องจากความร้อนที่สะสมจากการเชื่อมยังไม่สูงมาก

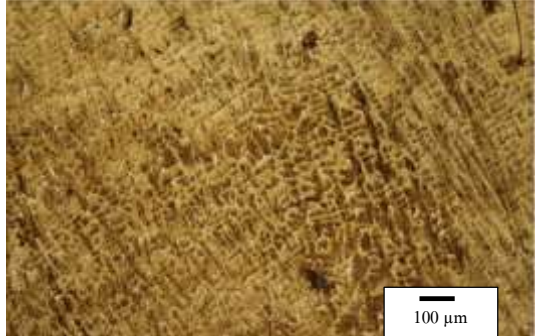
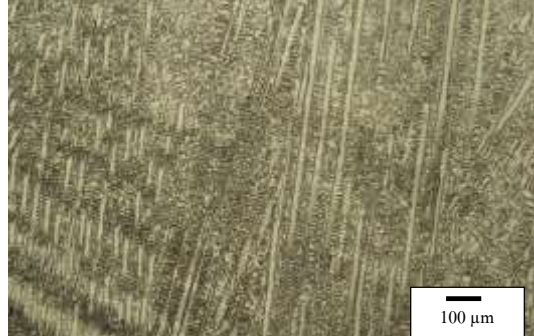


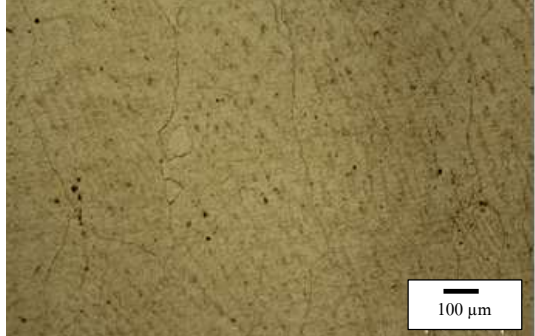



4.4 กรณีการเชื่อมโดยมีชั้นสร้างเนื้อ 2 ชั้น (B-2U-H และ B-2U-2H)

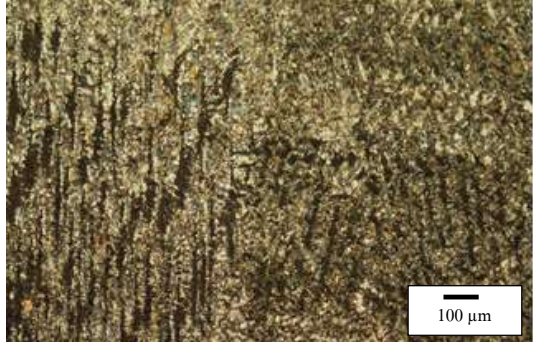

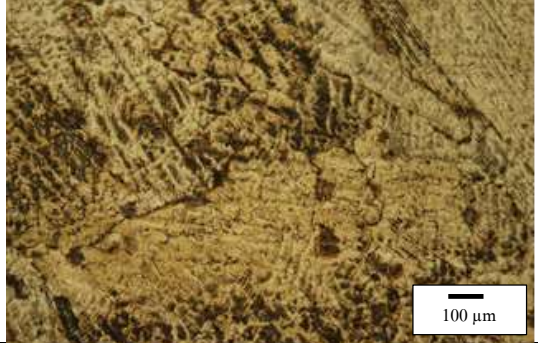

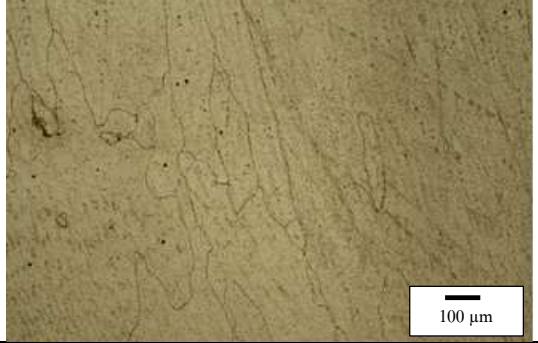
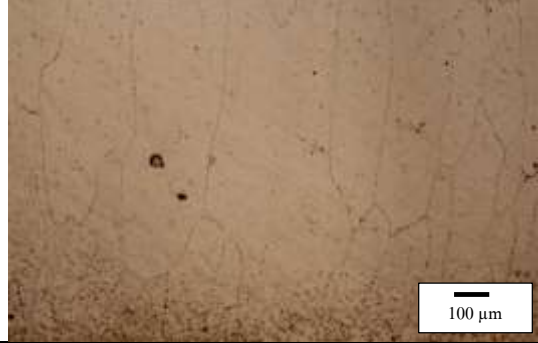
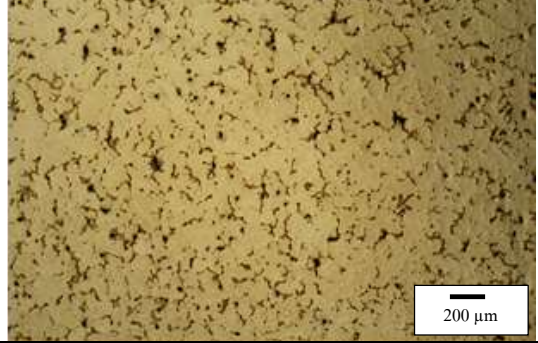
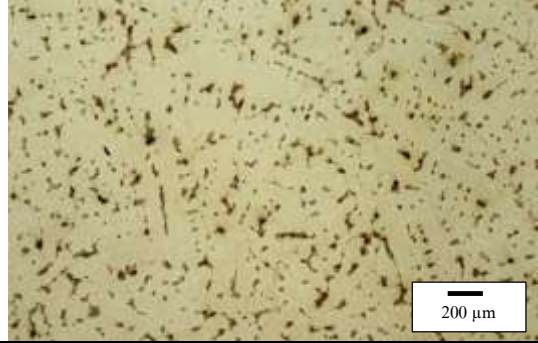
4.4.1 ผลวิเคราะห์ทางโลหะวิทยา



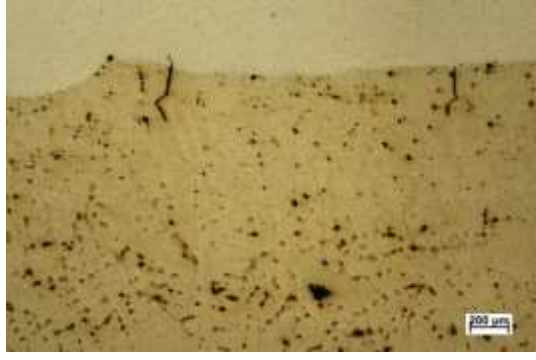
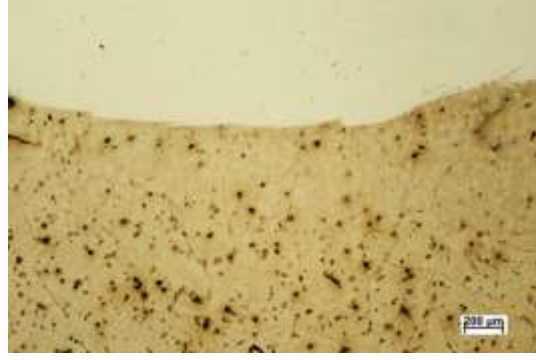
รูปที่ 4-15 แสดงโครงสร้างของเนื้อเชื่อมพอกแข็ง โดยแสดง วัสดุฐาน, ชั้นรองพื้น, ชั้นสร้างเนื้อ และ ชั้นพอกแข็ง โดยในชั้นรองพื้นจะมีความหนาประมาณ 2-2.5 มม. ในชั้นสร้างเนื้อจะมีความหนาประมาณ 3.0-4.0 มม. และในชั้นพอกแข็งจะมีความหนาประมาณ 3.0-4.0 มม.



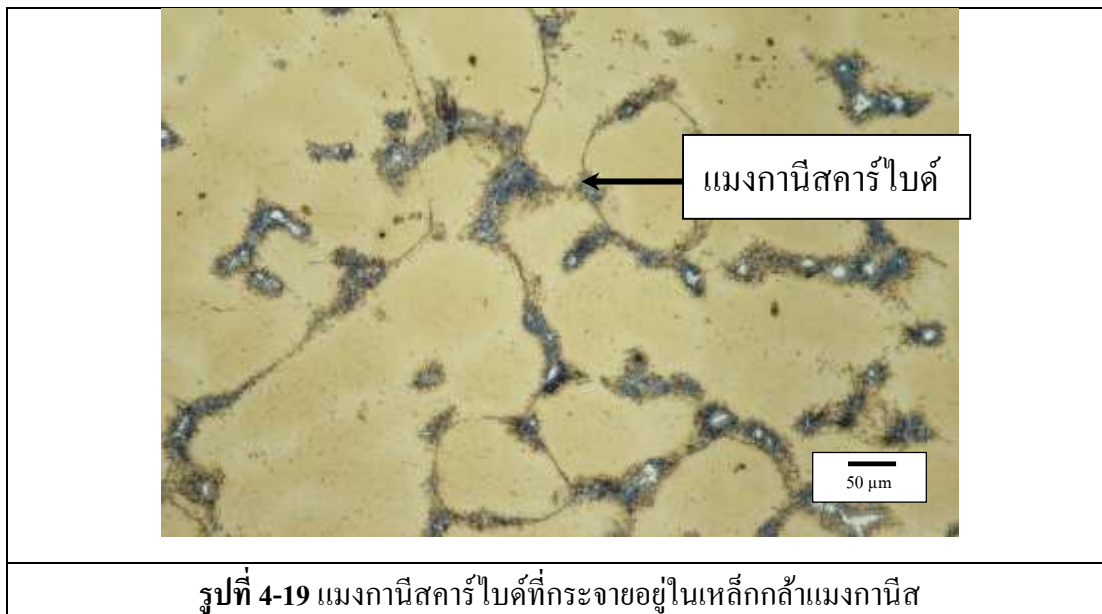
รูปที่ 4-16 และ 4-17 แสดงโครงสร้างจุลภาคในแต่ละเนื้อเชื่อม บริเวณเนื้อวัสดุฐานจะมีโครงสร้างเป็นอสเทนไนต์ โดยจะลักษณะเกรนเป็นเดนไดรต์ชัดเจน เนื่องจากวัสดุฐานเป็นชิ้นงานเตรียมมาจากการหล่อโลหะ ในชั้นรองพื้นและชั้นสร้างเนื้อจะมีโครงสร้างจุลภาคเป็น เซกูลาร์ เดนไดรต์ โดยมีโครงสร้างเป็นอสเทนไนต์ แต่ในกรณีเชื่อมพอกแข็งสองชั้นจะมีการเงื้องจากผิวของชั้นพอกแข็งลงมาในชั้นสร้างเนื้อ โดยจะสังเกตได้ จะเห็นบริเวณที่มีสีเข้มแทรกอยู่ในเนื้อโครงสร้างอสเทนไนต์ ซึ่งมีสีอ่อนกว่า ในชั้นพอกผิวแข็งจะมีโครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์แทรกอยู่ในอสเทนไนต์ โดยโครงสร้างอสเทนไนต์ จะมีสีอ่อนกว่าส่วนที่เป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ ในกรณี (B-2U-H) และ (B-2U-2H) นั้น เมื่อเทียบกับกรณี (B-U-H) และ (B-U-2H) ที่ชั้นพอกแข็งจะพบมีโครงสร้างมาร์เทนไซต์ น้อยกว่า เนื่องจากมีการเงื้องลงไปยังส่วนที่เป็นชั้นสร้างเนื้อ

บรรยากาศ	ควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ
	
บริเวณชั้นพอกผิวแข็ง	บริเวณชั้นพอกผิวแข็ง
	
บริเวณชั้นสร้างเนื้อ	บริเวณชั้นสร้างเนื้อ
	
บริเวณชั้นรองพื้น	บริเวณชั้นรองพื้น
	
บริเวณวัสดุฐาน	บริเวณวัสดุฐาน
รูปที่ 4-16 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานตามการทดลอง (B-2U-H)	

บรรยากาศ	ควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ
	
บริเวณชั้นพอกผิวแข็ง	บริเวณชั้นพอกผิวแข็ง
	
บริเวณชั้นสร้างเนื้อ	บริเวณชั้นสร้างเนื้อ
	
บริเวณชั้นรองพื้น	บริเวณชั้นรองพื้น
	
บริเวณวัสดุฐาน	บริเวณวัสดุฐาน
รูปที่ 4-17 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานตามการทดลอง (B-2U-2H)	

	
การทดลอง (B-2U-H) บรรยากาศ	การทดลอง (B-2U-H)ควบคุมอุณหภูมิ(น้ำ)
	
การทดลอง (B-2U-2H)ควบคุมอุณหภูมิ(น้ำ)	การทดลอง (B-2U-H)ควบคุมอุณหภูมิ(น้ำ)
รูปที่ 4-18 โครงสร้างจุลภาคบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อน	

รูปที่ 4-18 แสดงโครงสร้างบริเวณส่วนที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อนจากการเชื่อม บริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุฐานกับชั้นรองพื้น พบว่าในกรณีที่เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำจะพบบริเวณที่มีลักษณะเกรนหยาบ แคบกว่ากรณีที่เชื่อมในบรรยากาศ และกรณีที่มีจำนวนชั้นในการเชื่อมมากกว่าก็จะพบว่ามึบริเวณที่มีเกรนหยาบกว้างกว่ากรณีที่มีจำนวนชั้นในการเชื่อมน้อยกว่า ในขณะที่บริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อนของ ชั้นที่เชื่อมในบรรยากาศ พบคาร์ไบด์ตามขอบเกรน และจากรูปที่ 4-16 และ 4-17 ในรูปโครงสร้างที่ชั้นวัสดุฐาน พบว่าในชั้นงานที่เชื่อมในบรรยากาศจะพบมีการกระจายของคาร์ไบด์อยู่ทั่วไปบริเวณขอบเกรนในปริมาณที่มากกว่า ชั้นงานที่ควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ โดยรูปของคาร์ไบด์อยู่ในรูปที่ 4-19 โดยปริมาณของคาร์ไบด์ที่กระจายตัวอยู่ในวัสดุแสดงในตาราง 4-2 นอกจากนี้ในกรณีที่เชื่อมในบรรยากาศจะพบรอยแตกขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ในบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 4-19



ตารางที่ 4-2 ปริมาณแมงกานีสคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นบริเวณวัสดุฐาน

ตัวอย่าง	ปริมาณแมงกานีสคาร์ไบด์ (% พื้นที่)
(B-2U-H)A บรรยากาศ	15.6
(B-2U-H)W ควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ	9.9
(B-2U-2H)A บรรยากาศ	11.1
(B-2U-2H)W ควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ	8.0

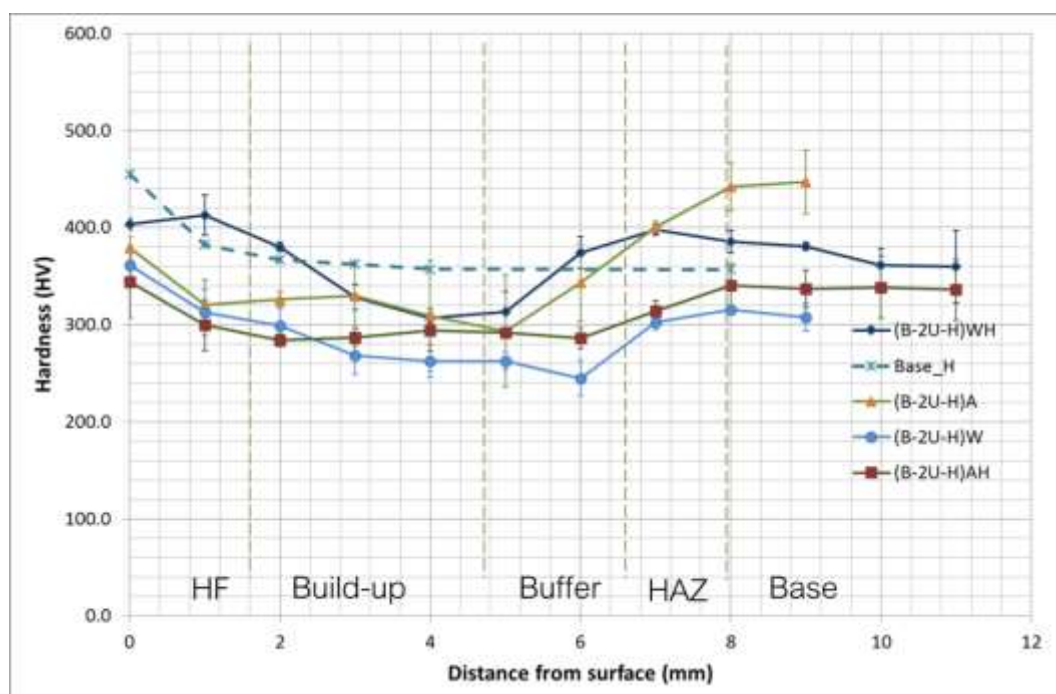
จากตารางที่ 4-2 ปริมาณของแมงกานีสคาร์ไบด์ที่บริเวณวัสดุฐานของกรณีที่เชื่อมในบรรยากาศจะมีปริมาณของแมงกานีสคาร์ไบด์มากกว่า กรณีที่เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ

4.4.2 ค่าความแข็ง

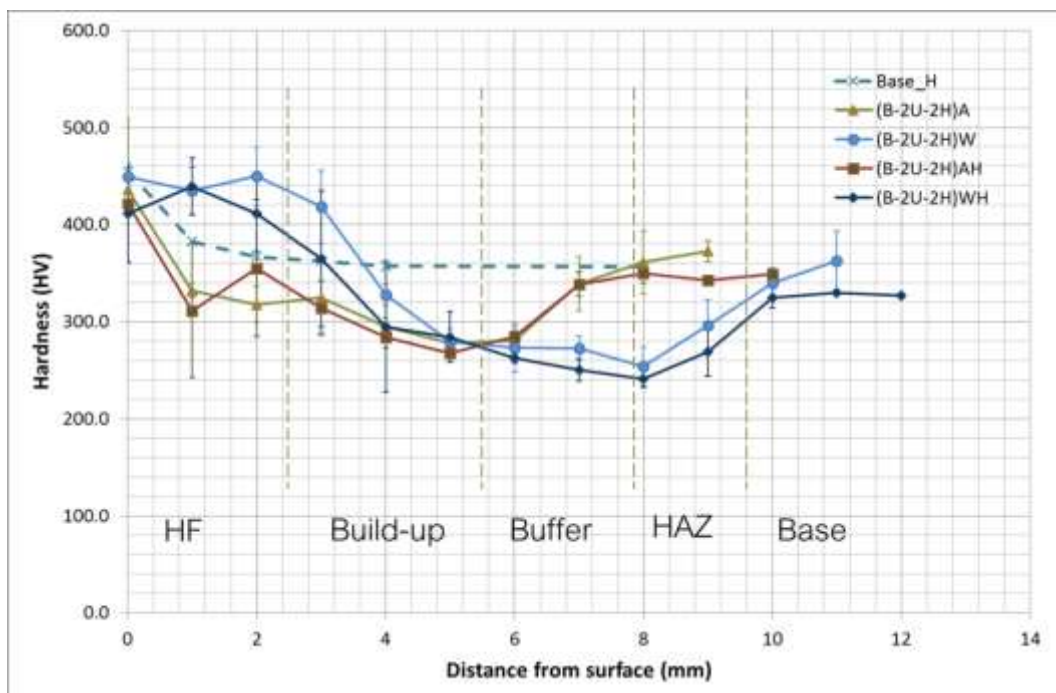
รูปที่ 4-20 และ 4-21 แสดงค่าความแข็งของชิ้นงาน โดยวัดความแข็งจากผิวหน้าชิ้นงานลงไปตามความลึกผ่านชั้นเชื่อมต่างๆ ผลการทดสอบความแข็ง ชิ้นงานที่เชื่อมพอกผิวแข็ง 1 ชั้นให้ความแข็งที่ผิว 350-400 HV ชิ้นงานที่เชื่อมพอกผิวแข็ง 2 ชั้น ให้ความแข็งที่ผิว 400-450 HV ซึ่งบริเวณผิวพอกแข็งมีโครงสร้างจุลภาคเป็นมาร์เทนไซต์ โดยชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมพอกผิวแข็ง 2 ชั้นให้ความแข็งที่ใกล้เคียงกับเหล็กกล้าแมงกานีสที่ผ่านการตีกระแทก โดยบริเวณที่มีความแข็งต่ำสุดเป็นบริเวณที่เป็นชั้นรองพื้น (ความลึกจากผิว 4-6 มม.) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นออสเทนไนต์

พบว่าความแข็งที่บริเวณชั้นพอกแข็งลดลงเมื่อเพิ่มจำนวนชั้นสร้างเนื้อ เนื่องจากเมื่อมีชั้นสร้างเนื้อเพิ่มขึ้น ทำให้มีการเจือจาง ของชั้นพอกแข็งลงไปสู่ชั้นสร้างเนื้อมากขึ้น คูได้จากโครงสร้างจุลภาคที่ชั้นสร้างเนื้อจะมีโครงสร้างมาร์เทนไซต์ สีเข้มแทรกลงมามากกว่า ที่ชั้นวัสดุฐานจะมีความแข็งสูงกว่าเหล็กกล้าแมงกานีสที่ยังไม่ผ่านการเชื่อม (230 HV) ความแข็งในชั้นสร้างเนื้อจะมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากจำนวนชั้นที่เพิ่มมากขึ้นทำให้การตีกระทบไม่สามารถทำให้เกิดเวอร์คฮาร์ดเดนนิ่ง ในเนื้อเชื่อมที่สึกลงมาจากผิวหน้ามากขึ้นได้

ภาพรวมของค่าความแข็งจะมีความแข็งสูงสุดที่ชั้นบนสุดซึ่งเป็นชั้นผิวพอกแข็ง มีโครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์ จากนั้นความแข็งจึงค่อยลดลงมาในชั้นสร้างเนื้อซึ่งมีโครงสร้างเป็นออสเทนไนต์โดยความแข็งที่ค่อยๆลดลงมาเนื่องจากเกิดการเจือจางของเนื้อเชื่อม ซึ่งจะเห็นภาพโครงสร้างเป็นออสเทนไนต์ที่มีริ้วของมาร์เทนไซต์แทรกเข้ามา โดยบริเวณที่มีความแข็งต่ำที่สุดจะเป็นบริเวณชั้นรองพื้น ซึ่งมีโครงสร้างเป็นออสเทนไนต์เกือบทั้งหมด แล้วค่าความแข็งก็ค่อยๆเพิ่มขึ้นมาในชั้นที่ได้ผลกระทบเนื่องจากความร้อน ก่อนที่จะคงที่ในชั้นวัสดุฐาน



รูปที่ 4-20 ค่าความแข็งของชิ้นงานที่เชื่อมชั้นสร้างเนื้อ 2 ชั้น พอกแข็ง 1 ชั้น


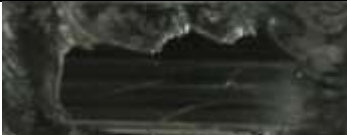






รูปที่ 4-21 ค่าความแข็งของชิ้นงานที่เชื่อมชั้นสร้างเนื้อ 2 ชั้น พอกแข็ง 2 ชั้น

4.4.3 การทดสอบการสึกหรอ

ตัวอย่าง	ก่อนการตีกระแทก	หลังการตีกระแทก
(B-2U-H)A บรรยากาศ		
(B-2U-H)W น้ำ		
(B-2U-2H)A บรรยากาศ		
(B-2U-2H)W น้ำ		

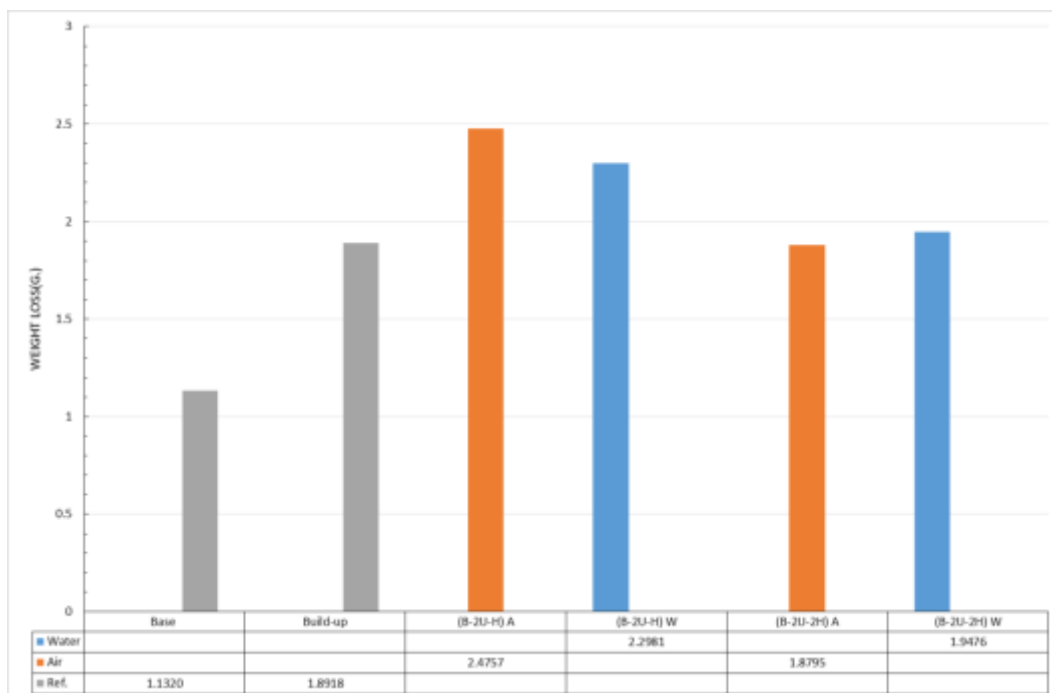
รูปที่ 4-22 สภาพผิวหน้าชิ้นงานก่อนและหลังตีกระแทก ก่อนการทดสอบการสึกหรอ

ตัวอย่าง	ก่อนการตีกระแทก	หลังการตีกระแทก
(B-2U-H)A บรรยากาศ		
(B-2U-H)W น้ำ		
(B-2U-2H)A บรรยากาศ		
(B-2U-2H)W น้ำ	 1 cm	 1 cm

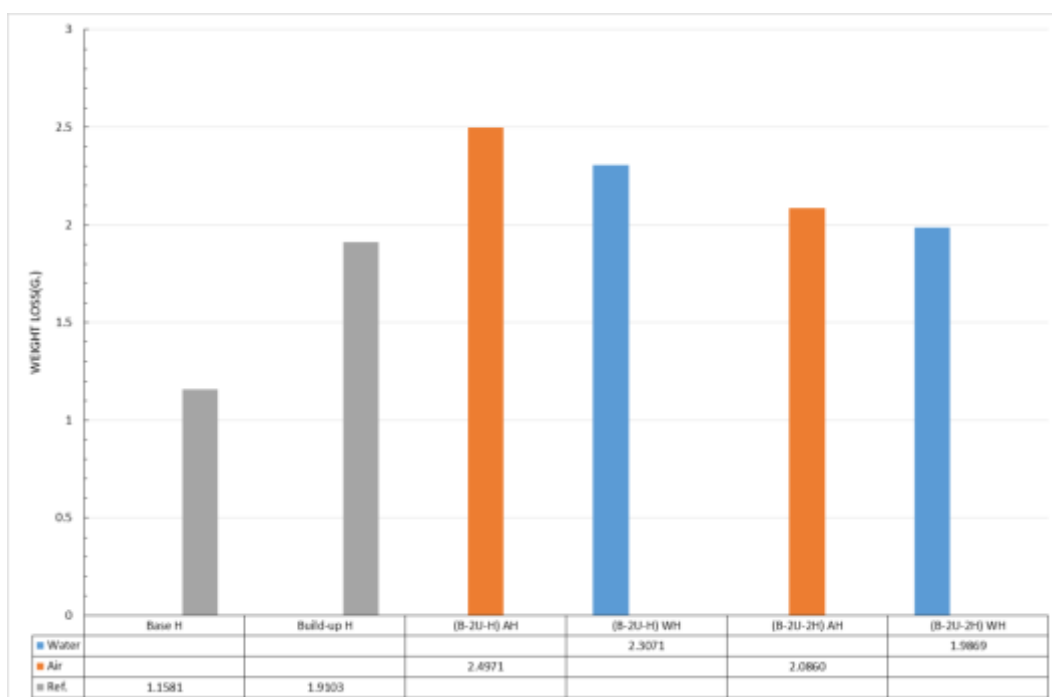
รูปที่ 4-23 สภาพผิวหน้าชิ้นงานก่อนและหลังตีกระแทก หลังการทดสอบการสึกหรอ

สภาพผิวหน้าของชิ้นงานก่อนและหลังตีกระแทกแสดงในรูปที่ 4-22 และรูปที่ 4-23 แสดงผิวหน้าของชิ้นงานภายหลังการทดสอบการสึกหรอ โดยสภาพทั่วไปภายหลังการเชื่อมไม่พบรอยแตกให้เห็นในทุกเงื่อนไขการเชื่อม แต่หลังจากไปทำการทดสอบตีกระแทก ชิ้นงานทุกชิ้น พบรอยแตกขนาดใหญ่ที่บริเวณผิวหน้าชิ้นงานในทุกเงื่อนไขการเชื่อม

รูปที่ 4-24 และ 4-25 แสดงผลการทดสอบการสึกหรอของชิ้นงานที่เชื่อมชั้นสร้างเนื้อ 2 ชั้น โดยชิ้นงาน B-2U-2H ที่เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ ทนการสึกหรอได้ดี โดยมีน้ำหนักที่หายไป 1.9476 กรัม (ก่อนการตีกระแทก) และหลังตีกระแทกมีน้ำหนักที่หายไป 1.9869 กรัม โดยชิ้นงานที่เชื่อมในบรรยากาศ จะทนการสึกหรอได้น้อยกว่า ชิ้นงานที่เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ และชิ้นงานที่ผ่านการตีกระแทกแล้ว จะทนการสึกหรอได้น้อยกว่า ชิ้นงานที่ยังไม่ผ่านการตีกระแทก เนื่องจากชิ้นงานที่ผ่านการตีกระแทกได้เกิดรอยแตกที่ผิวหน้าชิ้นงาน ทำให้ทรายที่ใช้ในการทดสอบสารพัดแทรกเข้าไปในรอยแตกทำให้เกิดการเสียดสี เสียเนื้อโลหะไปมากกว่า ชิ้นงานที่ยังไม่ผ่านการตีกระแทก



รูปที่ 4-24 ผลการทดสอบการสีกหรือของชั้นงานที่เชื่อมพอกชั้นสร้างเนื้อ 2 ชั้น (ไม่ตีกระแทก)



รูปที่ 4-25 ผลการทดสอบการสีกหรือของชั้นงานที่เชื่อมพอกชั้นสร้างเนื้อ 2 ชั้น (ตีกระแทก)

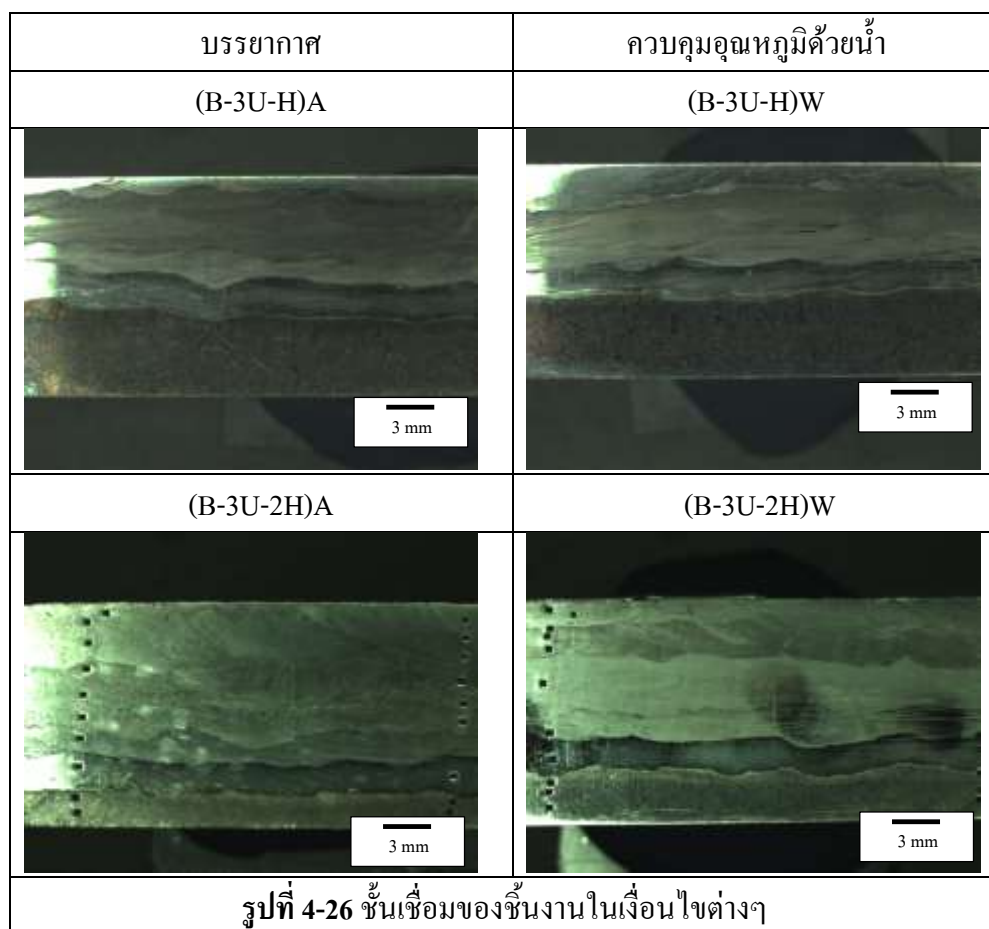
จากภาพถ่ายโครงสร้างมหภาคไม่พบรอยแตกในทุกเงื่อนไขการเชื่อม แต่ในโครงสร้างจุลภาคพบรอยแตกขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ในบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อน สำหรับชิ้นงานที่เชื่อมในบรรยากาศ เนื่องมาจากการมีแมงกานีสคาร์ไบด์เกิดขึ้นเนื่องจากไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ ดังจะเห็นได้จากปริมาณของพื้นที่แมงกานีสคาร์ไบด์ในวัสดุฐานที่มีปริมาณมากกว่า

ในการเพิ่มขึ้นสร้างเนื้อเพิ่มขึ้นมาทำให้ความแข็งของชั้นพอกแข็งลดลงเนื่องจากการเจือจางเพิ่มมากขึ้น โดยดูได้จากโครงสร้างจุลภาคของชั้นพอกแข็ง ที่ลักษณะของมาร์เทนไซต์ที่เกิดจะไม่มีลักษณะเรียวยาวแหลม เหมือนกรณีการเชื่อมชั้นสร้างเนื้อ 1 ชั้น ทำให้ค่าความแข็งของชั้นพอกแข็งลดลง เป็นผลให้ทนการสึกหรอได้น้อยลง ดูได้จากผลการทดสอบการสึกหรอ โดยกรณีเชื่อมพอกแข็ง 2 ชั้น ทนการสึกหรอได้ดีกว่าเชื่อมพอกแข็ง 1 ชั้น เนื่องจากโครงสร้างจุลภาคชั้นพอกแข็งที่มีการเจือจางน้อยกว่า และการเชื่อม โดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำทนการสึกหรอได้ดีกว่าการเชื่อมในบรรยากาศเนื่องจากลักษณะเกรนของชั้นพอกแข็งมีลักษณะเป็นเกรนละเอียดมากกว่าเกรนของชั้นพอกแข็งที่เชื่อมในบรรยากาศ

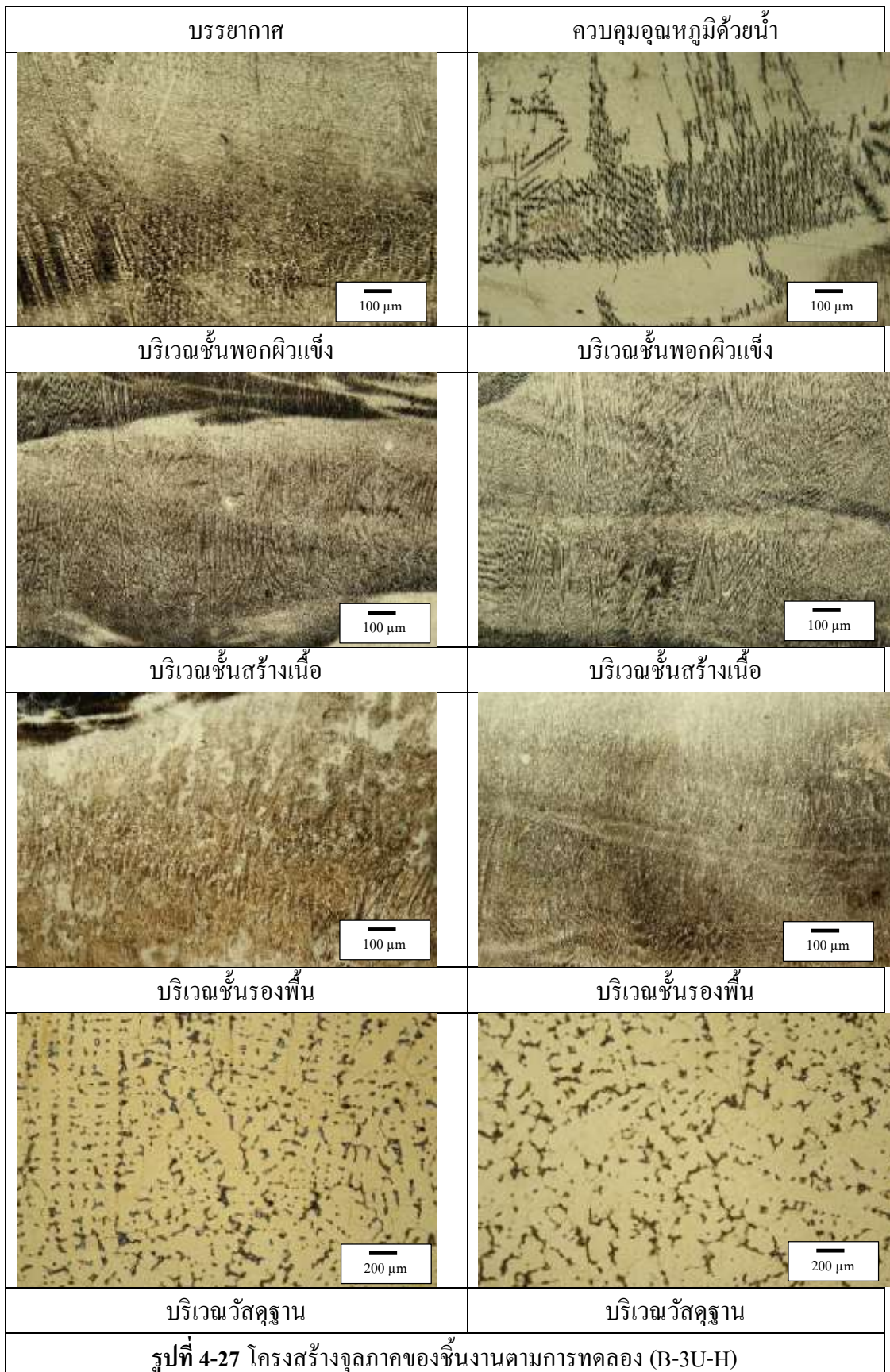
4.5 กรณีการเชื่อมโดยมีชั้นสร้างเนื้อ 3 ชั้น (B-3U-H และ B-3U-2H)

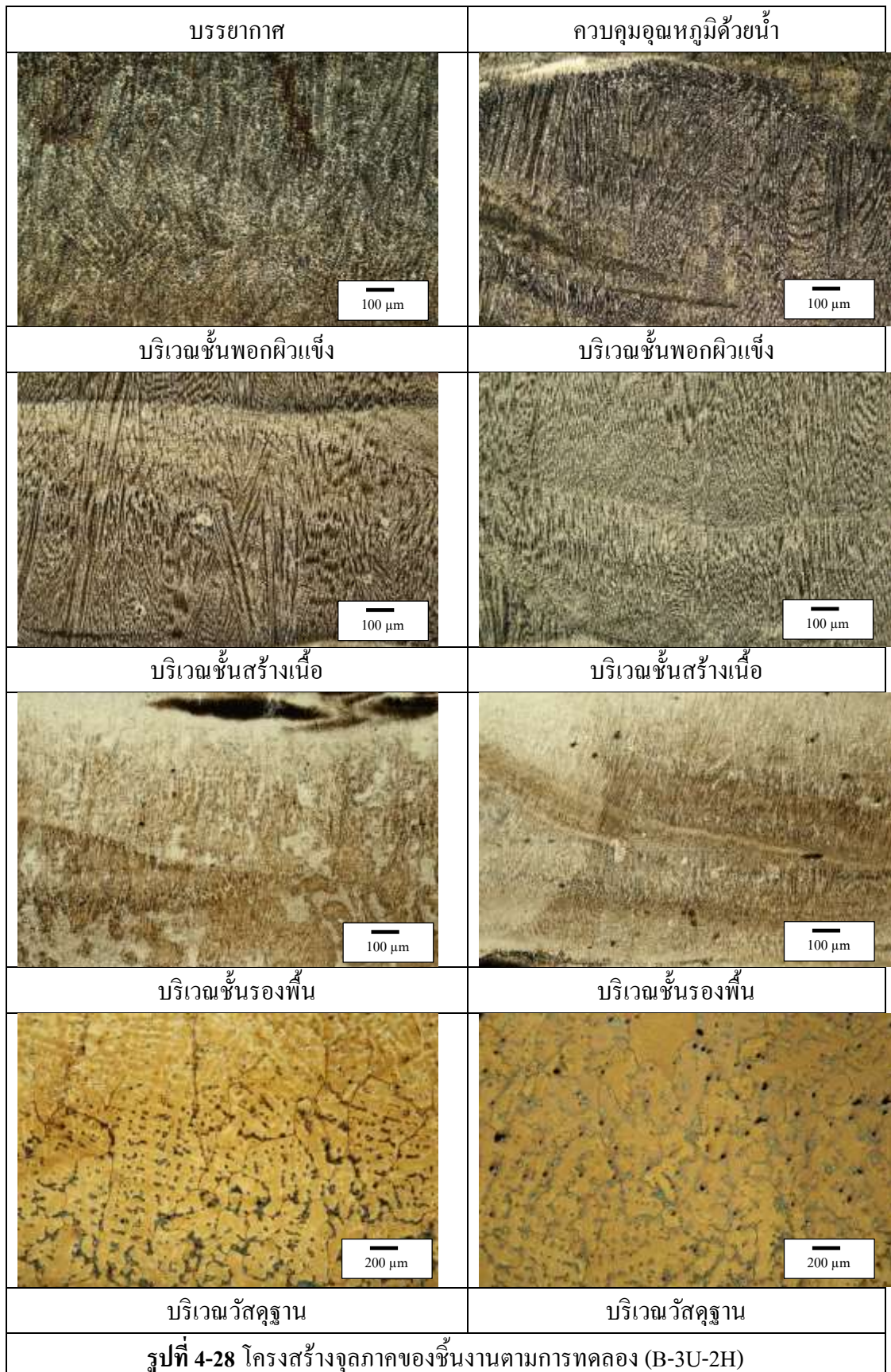
4.5.1 ผลวิเคราะห์ทางโลหะวิทยา

รูปที่ 4-26 แสดงโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานเชื่อมพอกแข็ง โดยแสดงชั้น วัสดุฐาน, ชั้นรองพื้น, ชั้นสร้างเนื้อ, และชั้นพอกแข็ง โดยชั้นพอกแข็งหนา 1-1.5 มม. ในกรณีที่เชื่อมชั้นพอกแข็ง 1 ชั้น และหนา 2-2.5 มม. ในกรณีที่เชื่อมชั้นพอกแข็ง 2 ชั้น ชั้นสร้างเนื้อหนา 6-7 มม. และชั้นรองพื้นหนา 2-2.5 มม. โดยจากการสังเกต ไม่พบรอยแตกภายในเนื้อเชื่อมในทุกกรณี

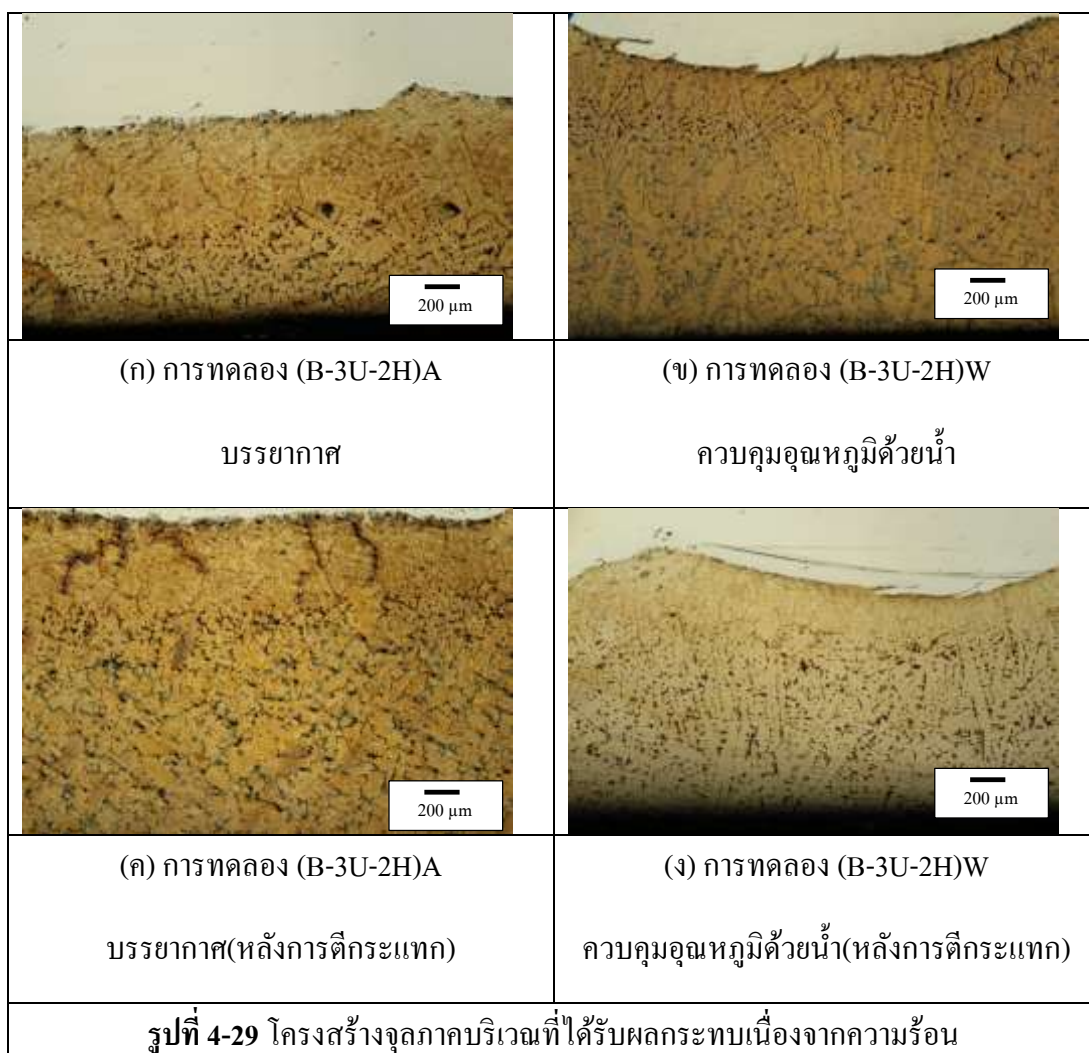


รูปที่ 4-27 และ 4-28 แสดงโครงสร้างจุลภาคในแต่ละเนื้อเชื่อม บริเวณเนื้อวัสดุฐานจะมีโครงสร้างเป็นอสเทนไนต์ โดยจะลักษณะเกรนเป็นเดนไดรต์ชัดเจน เนื่องจากวัสดุฐานเป็นชิ้นงานเตรียมมาจากการหล่อโลหะ พบแมงกานีสคาร์ไบด์แทรกอยู่ตามขอบเกรนมากขึ้น ในชั้นรองพื้นและชั้นสร้างเนื้อจะมีโครงสร้างจุลภาคเป็นเชลลูลาร์เดนไดรต์ โดยมีโครงสร้างเป็นอสเทนไนต์ แต่ในกรณีเชื่อมพอกแข็งสองชั้นจะมีการเงื้องง จากผิวของชั้นพอกแข็งลงมาในชั้นสร้างเนื้อ โดยจะสังเกตเห็น บริเวณที่มีสีเข้มแทรกอยู่ในเนื้อ โครงสร้างอสเทนไนต์ ซึ่งมีสีอ่อนกว่า ในชั้นพอกผิวแข็งจะมีโครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์ แทรกอยู่ในอสเทนไนต์ โดยโครงสร้างอสเทนไนต์ จะมีสีอ่อนกว่าส่วนที่เป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ ในกรณี (B-2U-H) และ (B-2U-2H) นั้น เมื่อเทียบกับกรณี (B-U-H) และ (B-U-2H) ที่ชั้นพอกแข็งจะพบมีโครงสร้างมาร์เทนไซต์ น้อยกว่า เนื่องจากมีการเงื้องง ลงไปยังส่วนที่เป็นชั้นสร้างเนื้อ และในกรณีที่เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ โครงสร้างมาร์เทนไซต์ของชั้นพอกแข็งจะมีลักษณะเรียวยาวแหลมกว่า ในกรณีที่เชื่อมในบรรยากาศ





รูปที่ 4-29 แสดงโครงสร้างบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อน พบว่าชิ้นงานที่เชื่อมในบรรยากาศจะมีความกว้างของบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อน มากกว่าชิ้นงานที่เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ (ดังรูป 4-29 ก และ ค) โดยในชิ้นงานที่เชื่อมในบรรยากาศพบรอยแตกขนาดเล็กในบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อน เล็กน้อย เมื่อผ่านการตีกระแทก พบว่าชิ้นงานที่เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำไม่พบรอยแตกในบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อน (ดังรูป 4-29 ง) แต่ในชิ้นงานที่เชื่อมในบรรยากาศพบรอยแตกในบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อน เพิ่มมากขึ้น (ดังรูป 4-29 ค) เนื่องมาจากการเกิดแมงกานีสคาร์ไบด์ไปสะสมอยู่ตามขอบเกรน ทำให้เมื่อรับแรงกระแทกจึงเกิดการแตกร้าว ปริมาณแมงกานีสคาร์ไบด์แสดงในตาราง 4-3

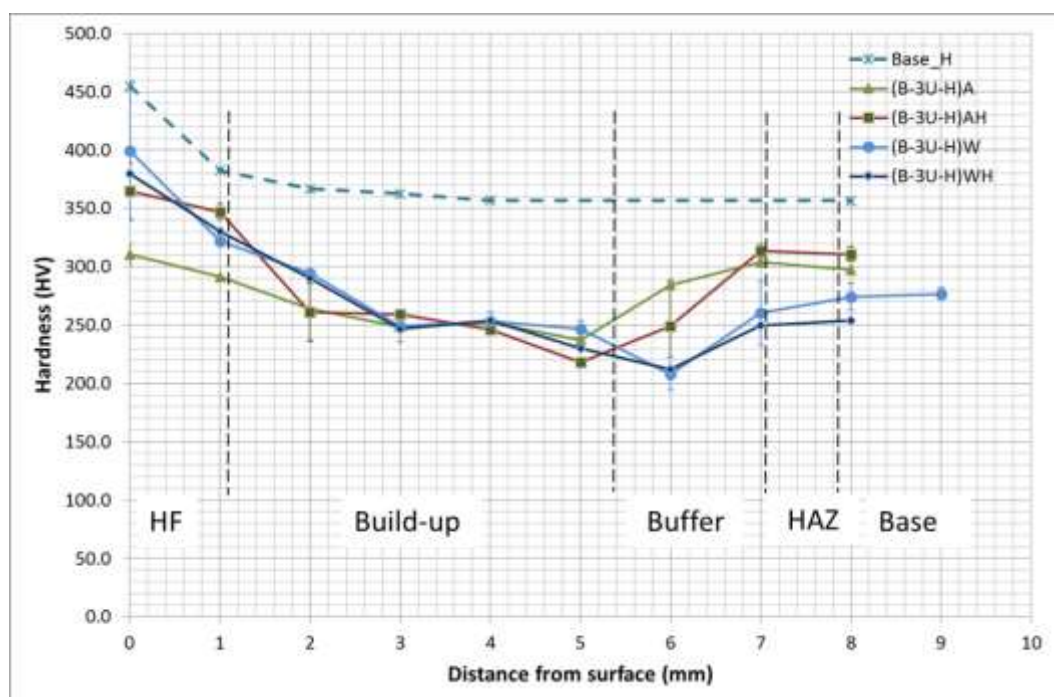


ตารางที่ 4-3 ปริมาณแมงกานีสคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นบริเวณวัสดุฐาน

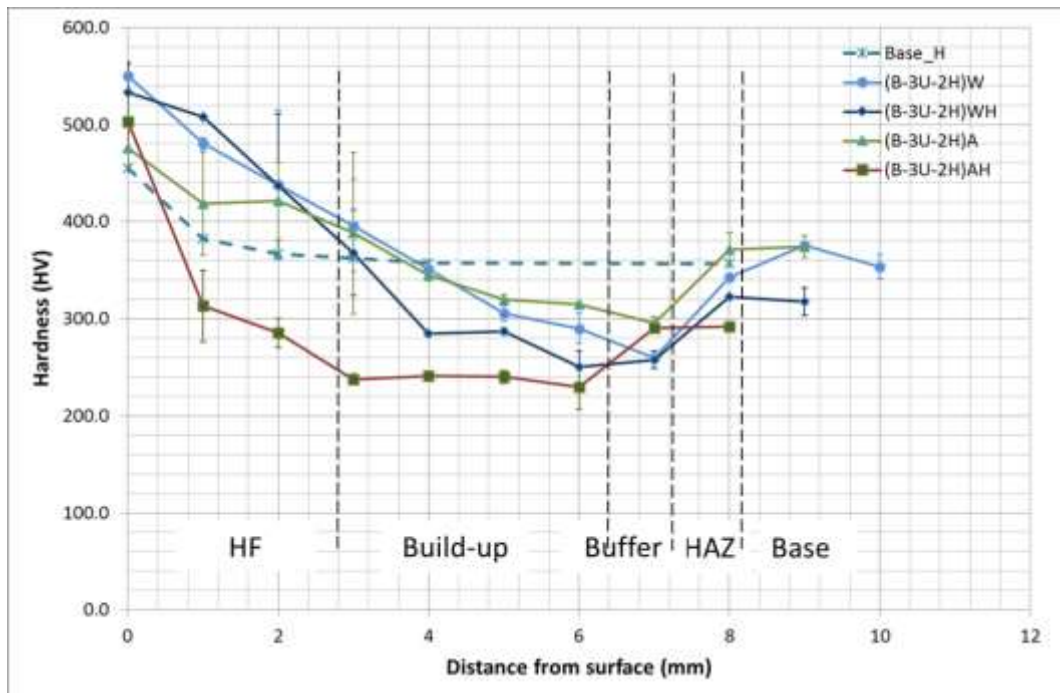
ตัวอย่าง	ปริมาณแมงกานีสคาร์ไบด์ (% พื้นที่)
(B-3U-H)A บรรยากาศ	13.9
(B-3U-H)W น้ำ	13.3
(B-3U-2H)A บรรยากาศ	20.5
(B-3U-2H)W น้ำ	19.0

ตาราง 4-3 แสดงปริมาณของแมงกานีสคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นบริเวณวัสดุฐาน ชิ้นงานที่เชื่อมในบรรยากาศมีปริมาณของคาร์ไบด์ที่มากกว่าชิ้นงานที่เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ

4.5.2 ค่าความแข็ง



รูปที่ 4-30 ค่าความแข็งของชิ้นงานที่เชื่อมชั้นสร้างเนื้อ 3 ชั้น พอกแข็ง 1 ชั้น











รูปที่ 4-31 ค่าความแข็งของชิ้นงานที่เชื่อมชั้นสร้างเนื้อ 3 ชั้น พอกแข็ง 2 ชั้น

รูปที่ 4-30 และ 4-31 แสดงค่าความแข็งของชิ้นงาน โดยวัดความแข็งจากผิวหน้าชิ้นงานลงไปตามความลึกผ่านชั้นเชื่อมต่างๆ ผลการทดสอบความแข็ง ชิ้นงานที่เชื่อมพอกผิวแข็ง 1 ชั้นให้ ความแข็งที่ผิว 320-400 HV ชิ้นงานที่เชื่อมพอกผิวแข็ง 2 ชั้น ให้ความแข็งที่ผิว 450-550 HV โดย บริเวณผิวพอกแข็งมีโครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์แทรกอยู่ในออสเทนไนต์ ในกรณีผิวพอกแข็ง 1 ชั้น จะมีออสเทนไนต์ที่แทรกเข้ามาจากชั้นสร้างเนื้อมาก ทำให้ได้ค่าความแข็งที่ต่ำกว่า กรณีผิวพอก แข็ง 2 ชั้นซึ่งจะมีโครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์ มากกว่า









โดยชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมพอกผิวแข็ง 2 ชั้นให้ความแข็งที่สูงกว่าเหล็กกล้าแมงกานีสที่ ผ่านการตีกระแทก โดยบริเวณที่มีความแข็งต่ำสุดเป็นบริเวณที่เป็นชั้นรองพื้น (ความลึกจากผิว 6-7 มม.) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นออสเทนไนต์ ความแข็งในชั้นสร้างเนื้อในกรณีที่เชื่อมพอกแข็ง 1 ชั้นมี ค่าประมาณ 250 HV ในขณะที่ในกรณีเชื่อมพอกแข็ง 2 ชั้น มีความแข็งในชั้นสร้างเนื้อประมาณ 300 HV เนื่องจากการพอกแข็ง 2 ชั้นทำให้มีการเจือจางของเนื้อเชื่อมมาจากผิวพอกแข็งมากกว่า เป็นผลให้ความแข็งในชั้นสร้างเนื้อสูงขึ้น ความแข็งในชั้นรองพื้นของชิ้นงานที่เชื่อมโดยควบคุม อุณหภูมิด้วยน้ำ ต่ำกว่าชิ้นงานที่เชื่อมในบรรยากาศ ทั้งกรณีสองกรณี

ภาพรวมของค่าความแข็งจะมีความแข็งสูงสุดที่ชั้นบนสุดซึ่งเป็นชั้นผิวพอกแข็ง มีโครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์ จากนั้นความแข็งจึงค่อยลดลงมาในชั้นสร้างเนื้อซึ่งมีโครงสร้างเป็นออสเทนไนต์ โดยความแข็งที่ค่อยๆลดลงมาเนื่องจากเกิดการเจือจางของเนื้อเชื่อม ซึ่งจะเห็นภาพโครงสร้างเป็นออสเทนไนต์ที่มีริ้วของมาร์เทนไซต์แทรกเข้ามา โดยบริเวณที่มีความแข็งต่ำที่สุดจะเป็นบริเวณชั้นรองพื้น ซึ่งมีโครงสร้างเป็นออสเทนไนต์เกือบทั้งหมด แล้วค่าความแข็งก็ค่อยเพิ่มขึ้นมาในชั้นที่ได้ผลกระทบเนื่องจากความร้อน ก่อนที่จะคงที่ในชั้นวัสดุฐาน

4.5.3 การทดสอบการสึกหรอ

ตัวอย่าง	ก่อนการตีกระแทก	หลังการตีกระแทก
(B-3U-H)A บรรยากาศ		
(B-3U-H)W น้ำ		
(B-3U-2H)A บรรยากาศ		
(B-3U-2H)W น้ำ	 1 cm	 1 cm

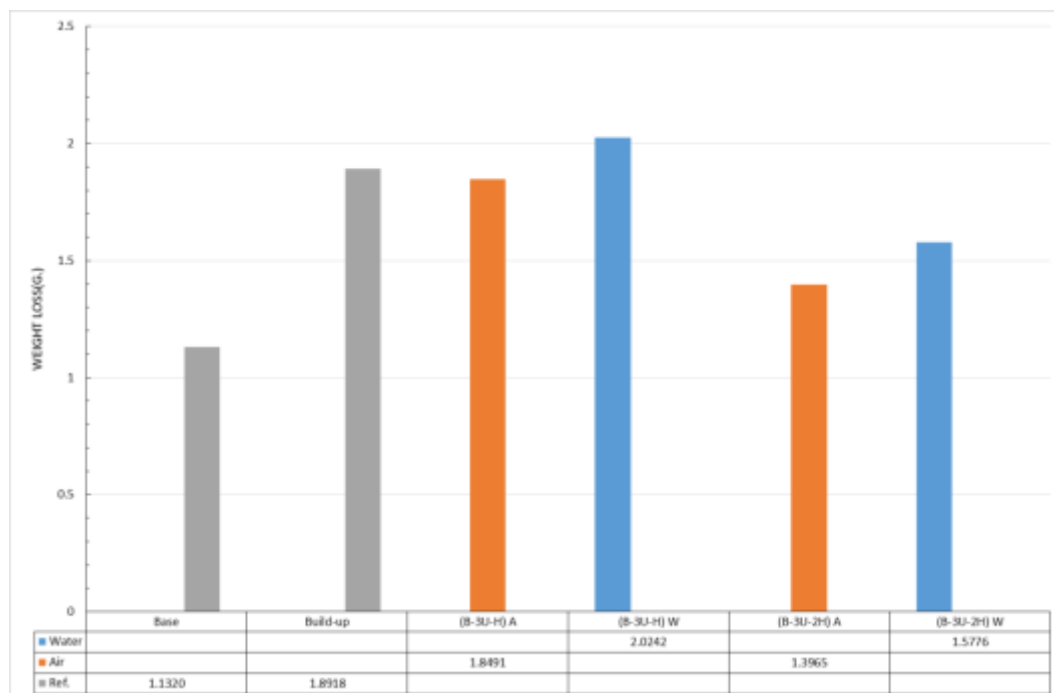
รูปที่ 4-32 สภาพผิวหน้าชิ้นงานก่อนและหลังตีกระแทก ก่อนการทดสอบการสึกหรอ

ตัวอย่าง	ก่อนการตีกระแทก	หลังการตีกระแทก
(B-3U-H)A บรรยากาศ		
(B-3U-H)W น้ำ		
(B-3U-2H)A บรรยากาศ		
(B-3U-2H)W น้ำ		

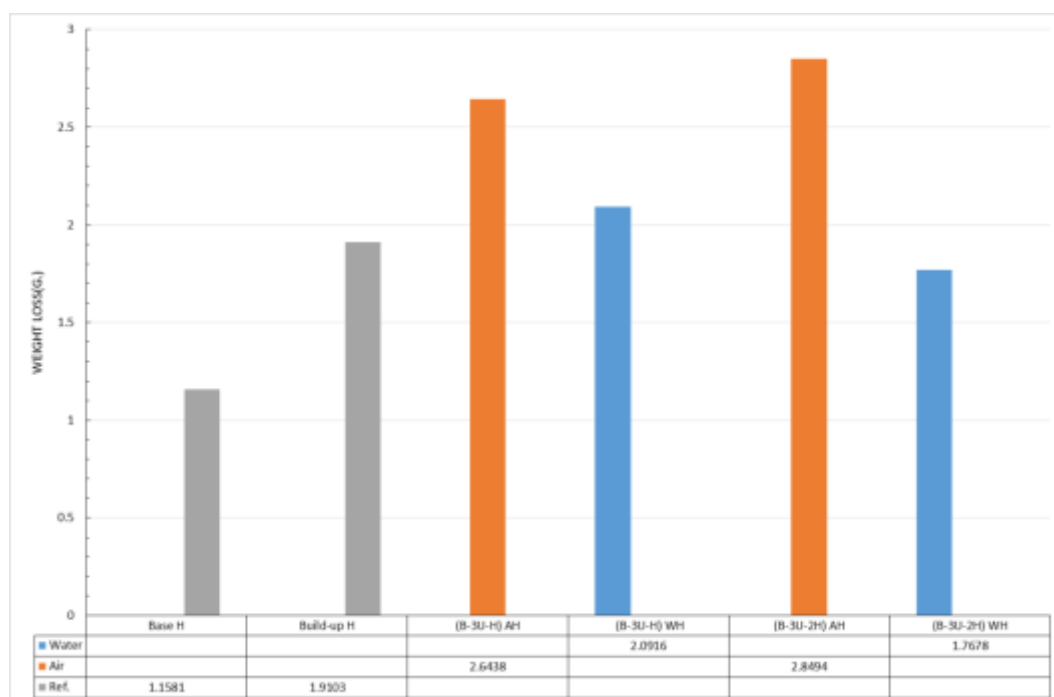
รูปที่ 4-33 สภาพผิวหน้าชิ้นงานก่อนและหลังตีกระแทก หลังการทดสอบการสึกหรอ

สภาพผิวหน้าของชิ้นงานก่อนและหลังตีกระแทกแสดงในรูปที่ 4-32 และรูปที่ 4-33 แสดงผิวหน้าของชิ้นงานภายหลังการทดสอบการสึกหรอ โดยสภาพทั่วไปภายหลังการเชื่อมไม่พบรอยแตกให้เห็นในทุกเงื่อนไขการเชื่อม แต่หลังจากไปทำการทดสอบตีกระแทก ชิ้นงานทุกชิ้น พบรอยแตกที่บริเวณผิวหน้าชิ้นงานในทุกเงื่อนไขการเชื่อม ที่เงื่อนไข B-3U-2H เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ พบรอยแตกขนาดใหญ่

รูปที่ 4-34 และ 4-35 แสดงผลการทดสอบการสึกหรอของชิ้นงานที่เชื่อมพอกชั้นสร้างเนื้อ 3 ชั้น โดยชิ้นงาน B-3U-2H ที่เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำทนการสึกหรอได้ดีที่สุดทั้งก่อนและหลังการตีกระแทก มีน้ำหนักที่หายไป 1.5776 กรัมก่อนการตีกระแทก และ 1.7678 กรัม หลังการตีกระแทก ชิ้นงาน B-3U-2H ที่เชื่อมในบรรยากาศ ถึงแม้จะทนการสึกหรอได้ดีก่อนการตีกระแทก (น้ำหนักที่หายไป 1.3965 กรัม) แต่เมื่อได้รับการตีกระแทกกลับพบว่ามียาน้ำหนักที่หายไปสูงถึง 2.8494 กรัม



รูปที่ 4-34 ผลการทดสอบการสึกหรอของชิ้นงานที่เชื่อมพอกชั้นสร้างเนื้อ 3 ชั้น (ไม่ตีกระแทก)



รูปที่ 4-35 ผลการทดสอบการสึกหรอของชิ้นงานที่เชื่อมพอกชั้นสร้างเนื้อ 3 ชั้น (ตีกระแทก)

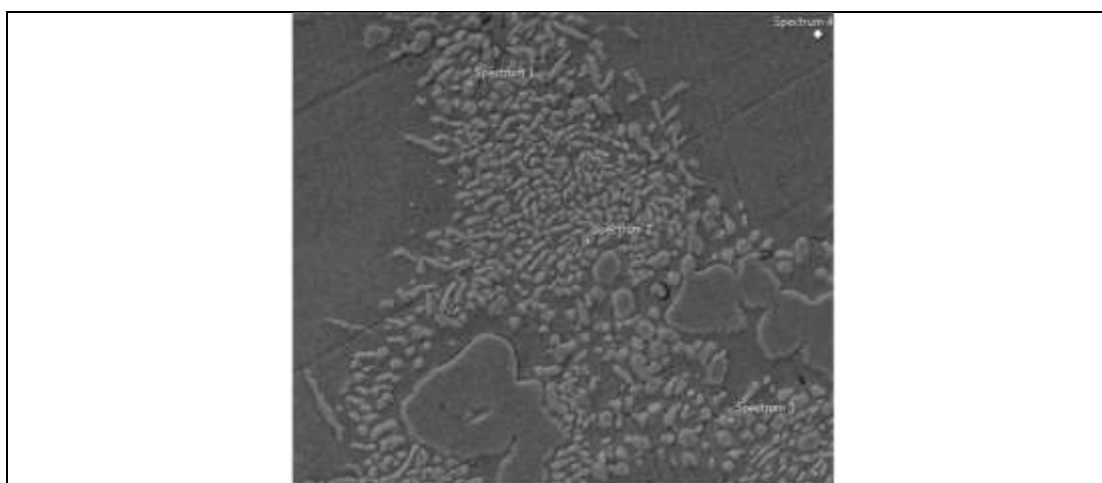
จากภาพถ่ายโครงสร้างมหภาคชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมโดยมีชั้นพอกแข็ง 3 ชั้นนั้น ไม่พบรอยแตกในเนื้อเชื่อม แต่เมื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาคกลับพบรอยแตกขนาดเล็กอยู่บ้างในบริเวณ

ผลกระทบเนื่องจากความร้อน ของชิ้นงานที่เชื่อมในบรรยากาศ โดยชิ้นงานที่เชื่อมในบรรยากาศจะพบมากกว่าชิ้นงานที่เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ และเมื่อได้รับการตีกระทบว่าบริเวณผลกระทบเนื่องจากความร้อน ของชิ้นงานที่เชื่อมในบรรยากาศพบรอยแตกมากขึ้น ซึ่งเมื่อดูจากค่าความแข็งก็จะพบว่าบริเวณผลกระทบเนื่องจากความร้อน ของชิ้นงานที่เชื่อมในบรรยากาศจะมีค่าความแข็งที่สูงกว่าชิ้นงานที่เชื่อม โดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ ประกอบกับมีรอยแตกขนาดเล็กอยู่ตั้งแต่หลังการเชื่อม ทำให้เมื่อได้รับแรงกระทบจึงมีรอยแตกในบริเวณผลกระทบเนื่องจากความร้อน เพิ่มขึ้น

ในชิ้นงานที่เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำถึงแม้เมื่อตีกระทบแล้วจะพบรอยแตกที่ผิวหน้าชิ้นงาน แต่เมื่อดูโครงสร้างจุลภาคกลับไม่พบรอยแตกระหว่างชั้นเชื่อมและในบริเวณผลกระทบเนื่องจากความร้อน ผลการทดสอบการสึกหรอได้น้ำหนักที่หายไปน้อยกว่าชิ้นงานที่เชื่อมด้วยลวดสร้างเนื้อเพียงอย่างเดียว

4.6 ผลการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

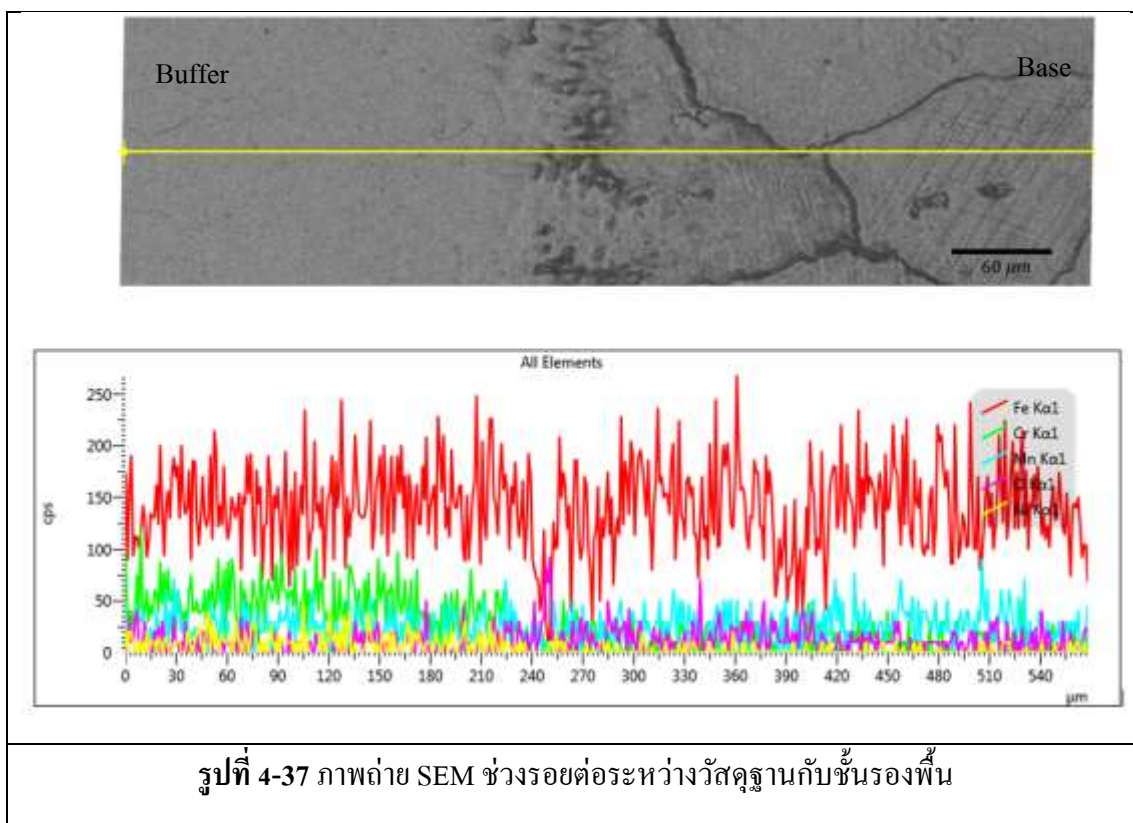
รูปที่ 4-36 ถ่ายเหล็กกล้าแมงกานีส โดยทำการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุด้วยเทคนิค EDS ที่จุดต่างๆ 4 จุดดังแสดงในภาพ พบว่าจุดที่ 1,2 และ 3 มีปริมาณแมงกานีส สูงกว่าจุดที่ 4



รูปที่ 4-36 ภาพถ่าย SEM ของชิ้นงานเหล็กกล้าแมงกานีสที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 4-4 แสดงผล EDS ของจุดต่างๆ ในรูปที่ 4-36

	Wt%					
	Fe	Mn	Cr	V	Si	P
จุดที่ 1	63.3	19.6	4	0.6	0.6	0.2
จุดที่ 2	64.5	19.1	3.5	0.4	0.6	0.2
จุดที่ 3	70.3	17.1	1.9	0.1	0.9	0.3
จุดที่ 4	76.3	12.7	1.6	0.2	0.6	0.1

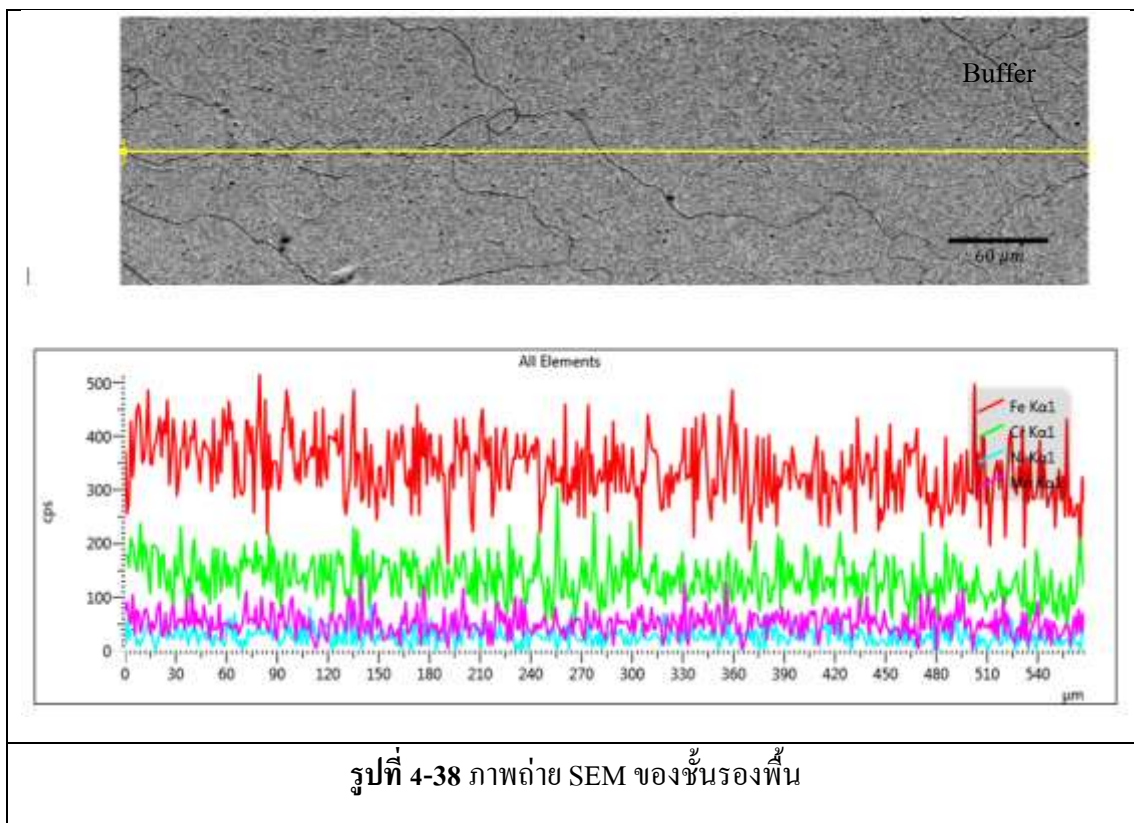


รูปที่ 4-37 ภาพถ่าย SEM ช่วงรอยต่อระหว่างวัสดุฐานกับชั้นรองพื้น

ตารางที่ 4-5 แสดงผล EDS ตามแนวยาว ในรูปที่4-37

	Wt%		
	Mn	Ni	Cr
Base-Buffer	7.5	4.1	13.8

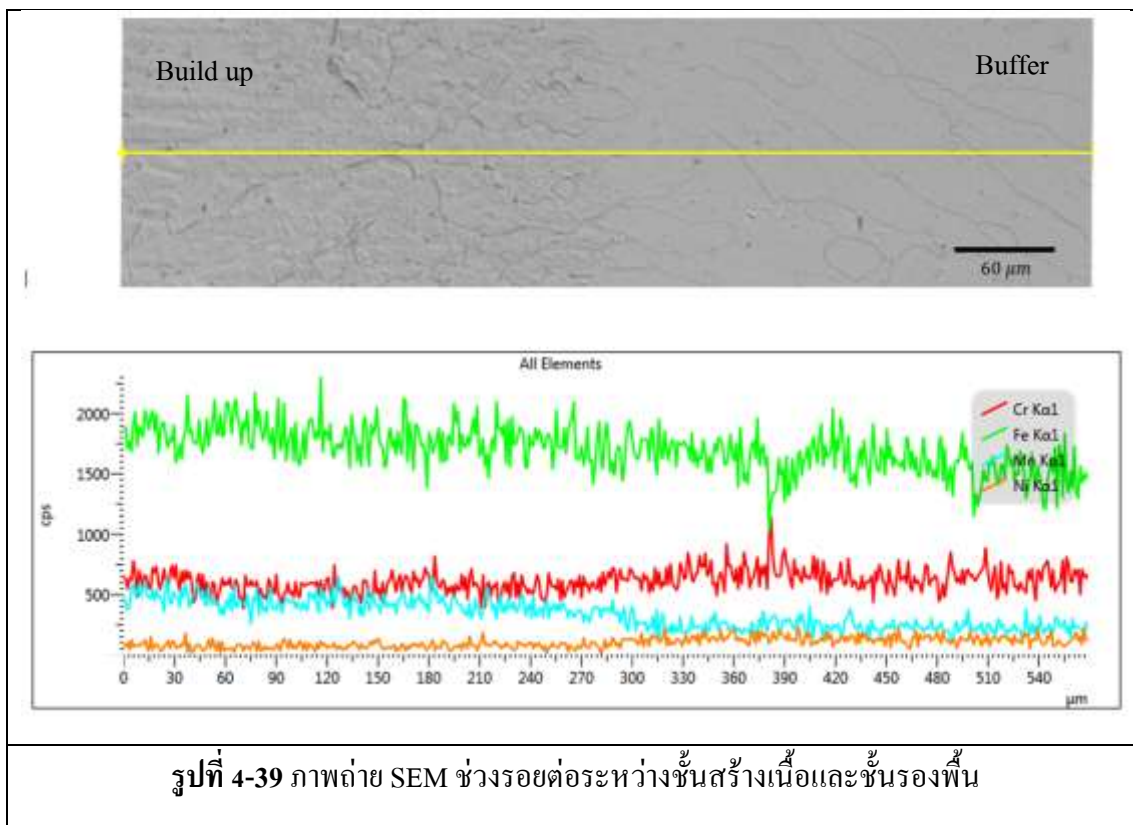
รูปที่4-37 ภาพถ่าย SEM ช่วงรอยต่อระหว่างวัสดุฐานกับชั้นรองพื้น โดยได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุตามแนวยาวผ่านชั้นวัสดุฐานและชั้นรองพื้น ได้ปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4-5



ตารางที่ 4-6 แสดงผล EDS ตามแนวยาว ในรูปที่ 3-38

	Wt%		
	Mn	Ni	Cr
Buffer	4.8	6.3	15.6

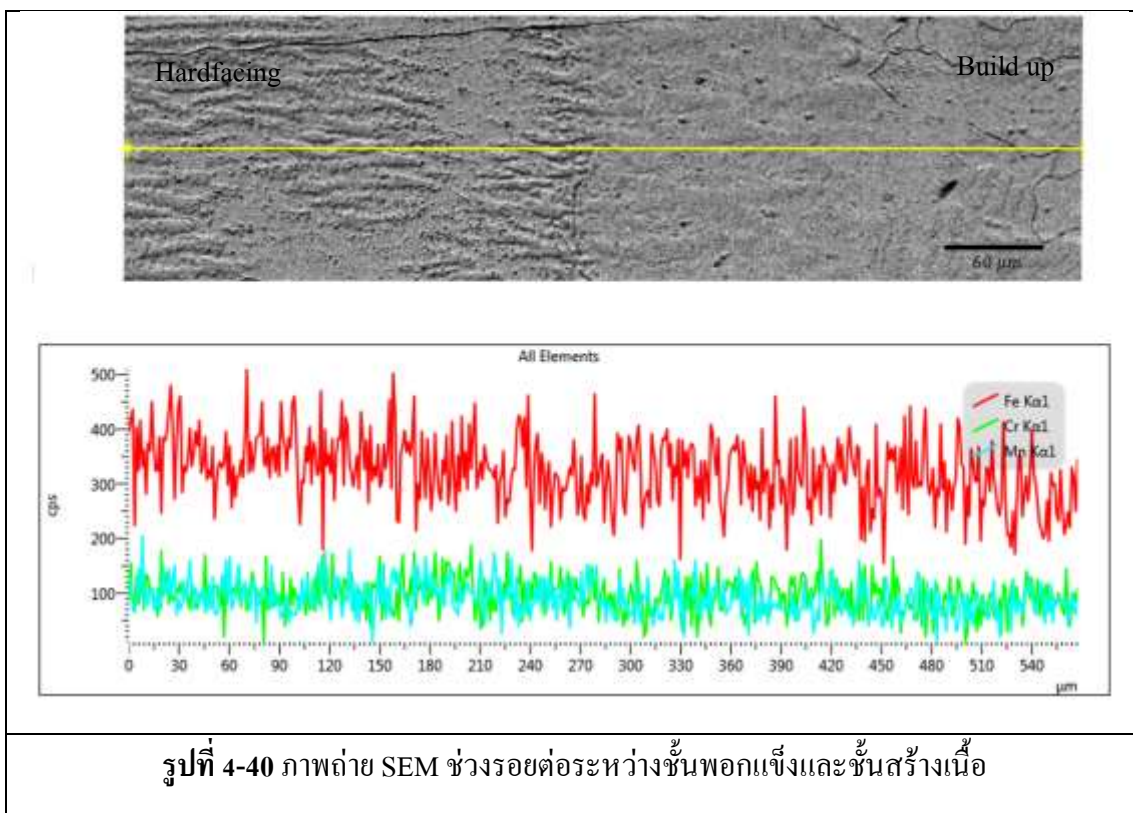
รูปที่ 4-38 ภาพถ่าย SEM ชั้นรองพื้น โดยได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุตามแนวยาวผ่านชั้นรองพื้น ได้ปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4-6



ตารางที่ 4-7 แสดงผล EDS ตามแนวยาว ในรูปที่ 4-39

	Wt%		
	Mn	Ni	Cr
Buffer-Build up	7.5	4.1	13.8

รูปที่ 4-39 ภาพถ่าย SEM ช่วงรอยต่อระหว่างชั้นสร้างเนื้อกับชั้นรองพื้น โดยได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุตามแนวยาวผ่านชั้นวัสดุฐานและชั้นรองพื้น ได้ปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4-7



ตารางที่ 4-8 แสดงผล EDS ตามแนวยาว ในรูปที่ 4-40

	Wt%		
	Mn	Ni	Cr
Build up-Hardfacing	12.7	-	11.3

รูปที่ 4-40 ภาพถ่าย SEM ช่วงรอยต่อระหว่างชั้นพอกแข็งกับชั้นสร้างเนื้อ โดยได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุตามแนวยาวผ่านชั้นวัสดุฐานและชั้นรองพื้น ได้ปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4-8

4.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองในทุกเงื่อนไขที่ได้ทำการทดลอง

ในชั้นวัสดุฐานที่เป็นเหล็กกล้าแมงกานีสผ่านกระบวนการผลิตมาจากการหล่อ แล้วผ่านการกระบวนการทางความร้อนเพื่อให้มีโครงสร้างอสเทนไนต์ซึ่งสามารถเกิดเวิร์คฮาร์ดเค้นนิ่งได้เมื่อผ่านการใช้งาน แต่เมื่อผ่านกระบวนการเชื่อม มีการให้ความร้อน ช่วง 400-800 °C จะทำให้มีคาร์ไบด์เกิดขึ้นที่บริเวณขอบเกรนได้[13] ดังนั้นหากมีจำนวนชั้นเชื่อมที่เพิ่มมากขึ้นก็จะทำให้บริเวณเนื้อวัสดุเดิมมีการสะสมความร้อนมากขึ้นทำให้มีแมงกานีสคาร์ไบด์เกิดมากขึ้นเมื่อจำนวนชั้นที่เชื่อมเพิ่มมากขึ้น การควบคุมอุณหภูมิการเชื่อมด้วยน้ำช่วยลดอุณหภูมิของวัสดุฐานที่เป็นเหล็กกล้าแมงกานีส ซึ่งจะเป็นการควบคุมการเพิ่มของปริมาณแมงกานีสคาร์ไบด์ได้

บริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อน (HAZ) นั้น ในทุกกรณี การเชื่อมในบรรยากาศจะทำให้ได้บริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อน ที่กว้างและมีเกรนที่หยาบกว่า การเชื่อมที่ควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำเนื่องจากการเชื่อมในบรรยากาศมีปริมาณความร้อนสะสมในบริเวณรอยเชื่อมมากกว่าการเชื่อมที่ควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำซึ่งความร้อนจะถ่ายเทจากวัสดุฐานผ่านไปยังน้ำซึ่งจะทำให้มีความร้อนสะสมที่วัสดุฐานน้อยกว่า เมื่อมีความร้อนสะสมและปล่อยให้เย็นตัวซ้ำทำให้มีการโตของเกรนในบริเวณใต้แนวเชื่อม ขนาดเกรนที่หยาบกว่า ทำให้สมบัติทางกลลดลง [1] เมื่อได้รับแรงกระทำก็จะมีรอยแตกขนาดเล็กเกิดขึ้นในบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อนได้ ในกรณี ที่เชื่อมสร้างเนื้อ 2 ชั้น (B-2U-2H) ที่เชื่อมในบรรยากาศและเชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ พบว่ามีรอยแตกขนาดเล็กบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อน

เพิ่มขึ้นหลังขึ้นงานได้รับการตีกระแทก แต่ในกรณีที่เชื่อมสร้างเนื้อ 3 ชั้น (B-3U-2H) พบว่ารอยแตกขนาดเล็กจะเพิ่มขึ้นหลังขึ้นงานได้รับแรงกระแทกเฉพาะกรณีที่เชื่อมในบรรยากาศเท่านั้น ในกรณีที่เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ ไม่พบรอยแตกในบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อน เนื่องจาก ขนาดเกรนที่ละเอียดกว่า ปริมาณของแมงกานีสคาร์ไบด์ที่น้อยกว่า การมีจำนวนชั้นเชื่อมที่มากและมีการควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำซึ่งอุณหภูมิไม่เกิน 400°C จึงเป็นเสมือนการอบคืนตัว (Tempering) ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มความเหนียวให้กับบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อน นอกจากนี้จำนวนชั้นสร้างเนื้อที่มากขึ้นมาช่วยกระจายพลังงานที่เกิดจากการตีกระแทกด้วย

บริเวณชั้นสร้างเนื้อเชื่อมด้วยลวดเชื่อมมาตรฐาน DIN8555 : E7-UM-250-KP เป็นลวดเชื่อมที่ใช้เชื่อมบนเหล็กกล้าแมงกานีส มีสมบัติเหนียวและสามารถเกิดเวิร์คฮาร์ดเต็นนิ่ง ได้ง่าย โครงสร้างที่ได้จะเป็น โครงสร้างอสเทนไนต์ โดยเพิ่มโครเมียมเข้าไปเพื่อช่วยเพิ่มสมบัติทนการกัดกร่อน เมื่อศึกษาชั้นสร้างเนื้อบริเวณที่ติดกับชั้นพอกแข็งจะมีความแข็งแรงสูงกว่าบริเวณที่ติดกับชั้นรองพื้น เนื่องจากเกิดการเงื้องาจาง จากชั้นพอกแข็งด้านบน โดยดูได้จากตารางที่ 4-9 ปริมาณของส่วนผสมทางเคมีของธาตุต่างๆที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS จะพบว่าส่วนผสมทางเคมีจะมีค่าอยู่ระหว่างส่วนผสมทางเคมีของแต่ละชั้น บริเวณรอยต่อระหว่างสร้างเนื้อและชั้นพอกแข็ง จะมีปริมาณของ แมงกานีส เท่ากับ 12.7% และมีปริมาณของโครเมียม เท่ากับ 11.3% ซึ่งชั้นพอกแข็งจะมีปริมาณ แมงกานีส 1.3% และมีปริมาณโครเมียม 7.0% ในขณะที่ ชั้นสร้างเนื้อที่มีปริมาณแมงกานีส 16.5% และมีปริมาณโครเมียม 13.5% โครงสร้างจุลภาคด้านที่ติดกับชั้นพอกแข็งจะมีชั้นของมาร์เทนไซต์แทรกอยู่ในเนื้อของอสเทนไนต์ ในขณะที่บริเวณที่ติดกับชั้นรองพื้นจะมีโครงสร้างเป็นอสเทนไนต์ โดยเมื่อมีจำนวนชั้นรองพื้น 2 และ 3 ชั้น พบว่าความแข็งแรงของชั้นรองพื้นจะไม่เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับการตีกระแทก เนื่องจากบริเวณชั้นสร้างเนื้ออยู่ลึกลงมาจากผิวที่ได้รับแรงกระแทกมากทำให้พลังงานที่ได้รับจากแรงกระแทกมีค่าต่ำ ซึ่งทำให้ไม่เกิดเวิร์คฮาร์ดเต็นนิ่ง ชั้นที่บริเวณชั้นสร้างเนื้อ จากการศึกษานี้ของ Li Xiaoyun และคณะ [17] พบว่าความสามารถในการเกิดเวิร์คฮาร์ดเต็นนิ่ง ขึ้นอยู่กับพลังงานที่ได้รับจากแรงกระแทก ซึ่งจะต้องสูงกว่าพลังงานกระแทกวิกฤติ (Critical impact energy) ของเหล็กกล้าแมงกานีส

บริเวณชั้นพอกแข็ง เชื่อมด้วยลวดเชื่อม DIN 8555 : E6-UM-60 ซึ่งเป็นลวดเชื่อมที่ใช้กับงานที่ทนการขัดสีและรับแรงกระแทกร่วมด้วย โดยหากมีการเชื่อมชั้นเดียวจะให้ความแข็งแรงประมาณ 24 HRC และถ้าทำการเชื่อมสองชั้นจะให้ความแข็งแรง ประมาณ 45 HRC ซึ่งจากผลการทดลอง การ

เชื่อมชั้นพอกแข็ง 2 ชั้น ให้ความแข็งที่สูงกว่าการเชื่อมชั้นพอกแข็งเพียงชั้นเดียว เนื่องจากการเชื่อมชั้นพอกแข็ง 1 ชั้น จะเกิดการเงื้องาจาง จากชั้นสร้างเนื้อ ทำให้ไม่ได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่ต้องการ ในขณะที่การเชื่อมพอกแข็ง 2 ชั้น ทำให้ได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่มากขึ้น ดูได้จากโครงสร้างจุลภาคที่จะมีปริมาณ โครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่เป็นสี่เหลี่ยมกระจายอยู่ในเนื้อโครงสร้างออสเทนไนต์มากกว่า โดยการเชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำนั้นจะทำให้ได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่เรียวยาว และมีขนาดเล็กกว่าการเชื่อมในบรรยากาศ เนื่องจากอัตราการเย็นตัวของชิ้นงานที่เชื่อมในน้ำนั้นสูงกว่าที่เชื่อมในบรรยากาศ แต่เมื่อได้รับการตีกระแทกชิ้นงานที่เชื่อมพอกแข็ง 2 ชั้น ซึ่งมีความแข็งสูงกว่าก็จะพบรอยแตกที่บริเวณผิวหน้าของชิ้นงานมากกว่า ชิ้นงานที่เชื่อมพอกแข็งเพียง 1 ชั้น

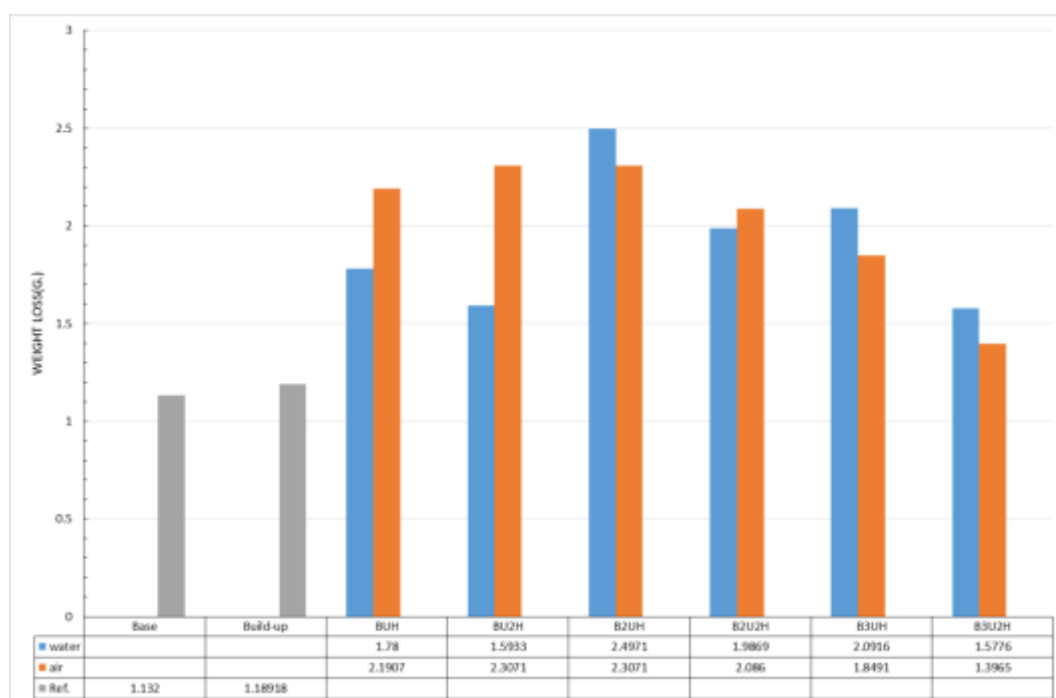
ตารางที่ 4-9 ส่วนผสมทางเคมีของเนื้อเชื่อม

	Wt%		
	Mn	Ni	Cr
Buffer	4.2	8.5	19.2
Buffer-Build up	7.5	4.1	13.8
Build up	16.5	-	13.5
Build up-Hardfacing	12.7	-	11.3
Hardfacing	1.3	-	7.0

ผลการทดสอบความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมพอกแข็งนั้น ความแข็งในชั้นพอกแข็งจะสูงที่สุด ของชั้นรองพื้นจะต่ำที่สุด ความแข็งของชั้นสร้างเนื้อและวัสดุฐานมีค่าใกล้เคียงกัน ค่าความแข็งก่อนและหลังการตีกระแทก ไม่ค่อยแตกต่างกันในกรณีเดียวกัน ยกเว้นในกรณีที่มีการเชื่อมสร้างเนื้อเพียงชั้นเดียว ค่าความแข็งในชั้นสร้างเนื้อเพิ่มขึ้นหลังการตีกระแทก แต่เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นสร้างเนื้อมากขึ้นการตีกระแทกไม่ค่อยมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความแข็งในชั้นสร้างเนื้อ

ผลการทดสอบการสึกหรอ ในเหล็กกล้าแมงกานีส ผลการสึกหรอในชิ้นงานก่อนและหลังการตีกระแทกให้ผลการสึกหรอใกล้เคียงกัน คือมีน้ำหนักที่หายไป 1.1320 กรัม ก่อนการตีกระแทก และ 1.1581 กรัม หลังการตีกระแทก ในชิ้นงานที่เชื่อมด้วยชั้นสร้างเนื้อเพียงอย่างเดียว (เชื่อม 3 ชั้น ควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ) เมื่อนำมาทดสอบการสึกหรอ ให้ผลการทดสอบที่ใกล้เคียงกันทั้งก่อนและ

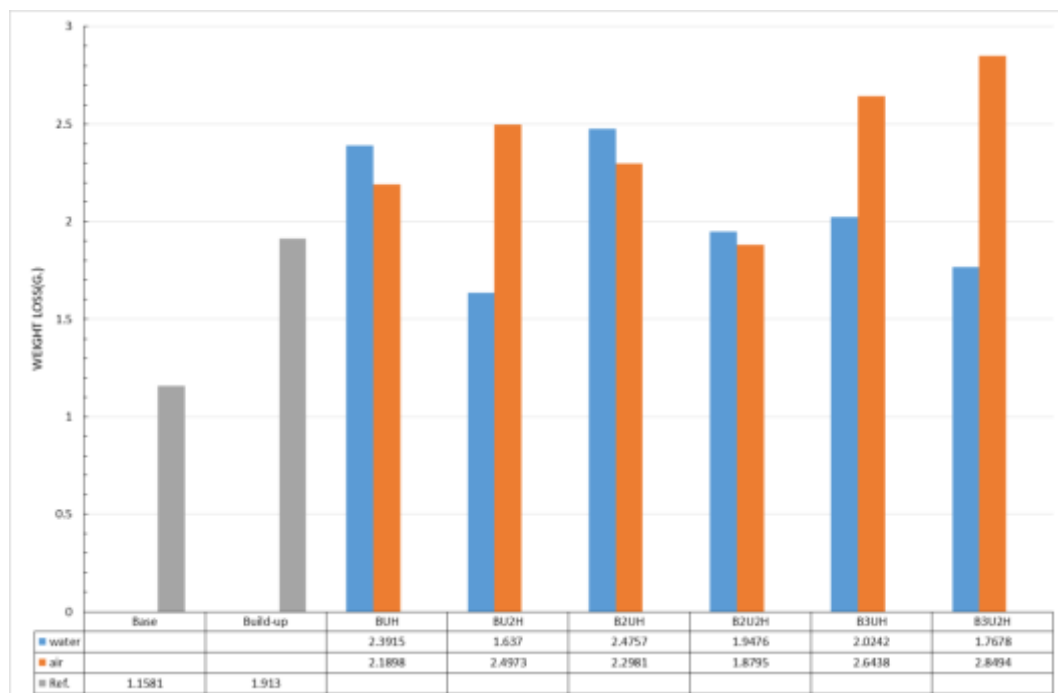
หลังการตีกระแทก คือ มีน้ำหนักที่หายไป 1.8918 กรัม ก่อนการตีกระแทก และ 1.9103 กรัม หลังการตีกระแทก โดยสาเหตุที่ทำให้การสึกหรอภายหลังการตีกระแทกมีค่าใกล้เคียงกันนั้น จากการศึกษาของ Weilin Yan และคณะ [19] พบว่าการใช้โพลีเมอร์ในการกระแทกสูงนั้นเพิ่มความแข็งแรงให้กับผิวหน้าของเหล็กกล้าแมงกานีส แต่จะไม่เพิ่มการทนการสึกหรอ เพราะโพลีเมอร์ในการกระแทกที่สูงนั้นเหนียวทำให้เกิด รอยแตกขนาดเล็ก (microcrack) ที่ได้ผิวหน้าของชิ้นงาน



รูปที่ 4-41 ผลการทดสอบการสึกหรอของชิ้นงานที่ไม่ผ่านการตีกระแทก

จากรูปที่ 4-41 ผลการทดสอบการสึกหรอของชิ้นงานที่เชื่อมพอกแข็ง 1 ชั้น (B-U-H, B-2U-H, B-3U-H) นั้นปรากฏว่าผลการทดสอบการสึกหรอมีน้ำหนักที่หายไปสูงกว่า ชิ้นงานที่เชื่อมด้วยชั้นสร้างเนื้อเพียงอย่างเดียว โดยส่วนใหญ่มีน้ำหนักที่หายไปประมาณ 2 กรัม ทั้งการเชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ และการเชื่อมในบรรยากาศ

ในขณะที่ชิ้นงานที่เชื่อมพอกแข็ง 2 ชั้น (B-U-2H, B-2U-2H, B-3U-2H) ในชิ้นงานที่เชื่อมในบรรยากาศ ก่อนการตีกระแทกมีน้ำหนักที่หายไป 2.0265 กรัม (B-U-2H), 1.8795 กรัม (B-2U-2H) และ 1.3965 กรัม (B-3U-2H) ซึ่งเฉลี่ยแล้วใกล้เคียงกับชิ้นงานที่เชื่อมโดยชั้นสร้างเนื้อเพียงอย่างเดียว แต่เมื่อได้รับการตีกระแทกแล้ว (รูปที่ 4-42) ปรากฏว่ามีน้ำหนักที่หายไปสูงกว่า 2 กรัม ทั้ง 3 กรณีในขณะที่ชิ้นงานที่เชื่อม โดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำนั้นมีน้ำหนักที่หายไปน้อยกว่า



รูปที่ 4-42 ผลการทดสอบการสึกหรอของชิ้นงานที่ผ่านการตีกระแทก

ชิ้นงานที่เชื่อมด้วยชั้นสร้างเนื้อเพียงอย่างเดียว คือ 1.5933 กรัม (B-U-2H) และ 1.5776 กรัม (B-3U-2H) ส่วนในกรณี B-2U-2H นั้นก็มีน้ำหนักที่หายไป 1.8795 กรัม ซึ่งใกล้เคียงกับชิ้นงานที่เชื่อมโดยชั้นสร้างเนื้อเพียงอย่างเดียว ค่าความต้านทานการสึกหรอของผิวพอกแข็งที่ต่ำกว่าที่ควรจะเป็นนั้นเนื่องมาจากชิ้นงานที่ใช้เตรียมโครงสร้างนั้นเป็นชิ้นงานที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการซึ่งมีขนาดเล็ก เหล็กกล้าแมงกานีสนั้นมีสมบัติการถ่ายเทความร้อนสู่สภาพแวดล้อมไม่ดี ทำให้มีความร้อนสะสมอยู่ในชิ้นงานมากขึ้นเมื่อทำการเพิ่มจำนวนชั้นในการเชื่อมมากขึ้น ชั้นพอกผิวแข็งเป็นชั้นเชื่อมที่ต้องการอัตราการเย็นตัวที่สูงเพื่อให้ได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่มีความแข็งสูง ซึ่งทนการสึกหรอได้ดี เมื่อชิ้นงานที่เตรียมมีการสะสมของความร้อนมาก เมื่อทำการเชื่อมพอกแข็งจึงทำให้ความแข็งของชั้นพอกแข็งลดต่ำลง ความต้านทานการสึกหรอจึงต่ำกว่าที่ควร ในขณะที่ชิ้นงานที่ผ่านการตีกระแทกมีการแตกของผิวพอกแข็งทำให้น้ำหนักที่หายไปจากการทดสอบการสึกหรอมีค่าสูงกว่าชิ้นงานที่ไม่ผ่านการตีกระแทก เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับทรายที่ใช้ทดสอบการสึกหรอ และมีโอกาสที่จะมีชิ้นส่วนที่หลุดออกมาเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็ก ซึ่งทำให้ค่าน้ำหนักที่หายไปมีค่าสูง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

รายงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาโครงสร้างจุลภาค ค่าความแข็ง และความต้านทานการสึกหรอของการเชื่อมพอกแข็งเหล็กกล้าแมงกานีส ของพินโม้เครื่องไม่ถ่านหิน โดยศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการเชื่อมในบรรยากาศปกติ กับการเชื่อมโดยควบคุมบรรยากาศด้วยน้ำ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 เหล็กกล้าแมงกานีสเมื่อได้รับแรงกระแทก มีโครงสร้างจุลภาคเป็นออสเทนไนต์ที่มีสลิปและทวินนิ่งเกิดขึ้น ส่งผลให้มีค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการทนการสึกหรอของเหล็กกล้าแมงกานีส ทั้งก่อนและหลังตีกระแทกมีค่าใกล้เคียงกัน

5.1.2 ชั้นรองพื้นและชั้นสร้างเนื้อ มีโครงสร้างเป็นออสเทนไนต์ ทำให้ไม่พบรอยแตกขนาดใหญ่ระหว่างชั้นรองพื้นกับวัสดุฐาน และชั้นรองพื้นกับชั้นสร้างเนื้อ ทั้งก่อนและหลังได้รับแรงกระแทก

5.1.3 การเชื่อมในบรรยากาศทำให้มีบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อน ที่กว้าง มีขนาดเกรนบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อน ที่โตกว่า และมีปริมาณของแมงกานีสคาร์ไบด์ที่มากกว่าการเชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ

5.1.4 การเชื่อมในบรรยากาศ เมื่อได้รับการตีกระแทก จะพบรอยแตกขนาดเล็กในบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อนเพิ่มขึ้น โดยชิ้นงานที่เชื่อมในบรรยากาศจะมีรอยแตกเพิ่มมากขึ้นกว่าชิ้นงานที่เชื่อมโดยการควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ

5.1.5 ในกรณีเชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ การเชื่อมชั้นสร้างเนื้อ 3 ชั้น ช่วยลดรอยแตกขนาดเล็กบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อนลงได้ ขณะที่ใช้งานเมื่อมีแรงกระแทก

5.1.6 ชั้นเชื่อมพอกแข็ง โครงสร้างจุลภาคที่ได้พบเป็นมาร์เทนไซต์แทรกอยู่ในออสเทนไนต์ โดยการเชื่อมพอกแข็ง 2 ชั้น ให้ความแข็งที่สูงกว่าการเชื่อมพอกแข็งเพียงชั้นเดียว แต่เมื่อได้รับแรงกระแทกจากลูกตุ้มเหล็กก็มีรอยแตกที่ผิวมากกว่าด้วยเช่นกัน

5.1.7 ผลการทดสอบการสึกหรอในวัสดุฐาน และชิ้นงานที่เชื่อมด้วยชั้นสร้างเนื้อเพียงอย่างเดียว ความต้านทานการสึกหรอไม่แตกต่างกันทั้งก่อนและหลังการตีกระแทก

5.1.8 กรณี B-3U-2H ที่เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำให้ต้านทานการสึกหรอได้ดีที่สุด ทั้งก่อนและหลังการตีกระแทกจากลูกตุ้มเหล็ก

5.1.9 การตีกระแทกจากลูกตุ้มเหล็กทำให้ความต้านทานการสึกหรอลดลง ในทุกกรณี โดยความต้านทานการสึกหรอจะลดลงมากกว่าในกรณีที่เชื่อมในบรรยากาศ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การเชื่อมชิ้นงานที่มีวัสดุฐานที่เป็นเหล็กกล้าแมงกานีสควรมีการควบคุมอุณหภูมิของวัสดุฐานไม่ให้สูงเกิน (ทางทฤษฎีระบุไว้ที่ 350 °C) ซึ่งวิธีที่จะควบคุมอุณหภูมิที่ราคาถูกลง และหาได้ง่ายที่สุดก็คือใช้น้ำเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิ

5.2.2 การเชื่อมรองพื้นเพื่อป้องกันปัญหาสมบัติที่แตกต่างกันของชั้นพอกแข็งและวัสดุฐาน ที่จะทำให้เกิดรอยแตก และมีปัญหาการยึดติดกัน ไม่ดีของชั้นเชื่อมได้

5.2.3 จากผลการวิจัยควรเชื่อมเหล็กกล้าแมงกานีสโดยควบคุมอุณหภูมิเพื่อป้องกันการแตกร้าวบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความร้อน ที่จะเกิดขึ้นเมื่อได้รับแรงกระแทกจากการใช้งาน

5.2.4 ชั้นสร้างเนื้อควรมีจำนวนชั้นสร้างเนื้ออย่างน้อย 3 ชั้น เพื่อช่วยลดซับพลังงานจากการตีกระแทก

5.2.5 ชั้นพอกแข็งควรเชื่อม 2 ชั้น เพื่อช่วยลดปัญหาการเงื้องางของเนื้อเชื่อม ที่จะทำให้ชั้นพอกแข็งมีความแข็งต่ำและทนการสึกหรอได้น้อย โดยจากผลการทดสอบการสึกหรอ ชิ้นงาน ที่

เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ รองพื้น 1 ชั้น สร้างเนื้อ 3 ชั้น และพอกแข็ง 2 ชั้น (B-3U-2H) มีค่าต้านทานการสึกหรอดีที่สุดในก่อนและหลังการตีกระทบ

5.2.6 กรณีที่วัสดุฐานเป็นเหล็กกล้าแมงกานีส มีสองแนวทางในการป้องกันการสึกหรอ ดังนี้

5.2.6.1 ใช้งานของใหม่จนกระทั่งสึกหรอไม่เกิน 10 มม. แล้วค่อยทำการเชื่อมพอกแข็งให้ขนาดกลับมาเท่าขนาดเดิม

5.2.6.2 เชื่อมพอกแข็งเพื่อป้องกันการสึกหรอตั้งแต่เริ่มต้น ก่อนใช้งาน และเมื่อเนื้อพอกแข็งสึกใกล้เคียงกับ ชั้นรองพื้น ให้เชื่อมพอกแข็งเพิ่มเนื้อซ้ำ

5.2.7 จากผลการทดสอบ พบว่าถ้าเชื่อมลวดเชื่อมสำหรับเหล็กกล้าแมงกานีส ไม่มีความจำเป็นที่จะทำเวิร์คฮาร์ดดิ่งก่อน เพราะเนื้อเชื่อมจะเพิ่มความแข็งทันทีที่เจอแรงกระทบจากการทำงาน



รูปที่ 5-1 การเชื่อมซ่อมชิ้นส่วนโมคู่

5.2.8 การเชื่อมซ่อมโมคู่ตามรูปที่ 5-1 บริเวณหมายเลข 1 ซึ่งได้รับแรงกระทกสูง เชื่อมซ่อมด้วยลวด DIN8555:E 7-UM-250-KP โดยมีการควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำขณะเชื่อมซ่อม บริเวณหมายเลข 2 และ 3 เชื่อมซ่อมโดยรองพื้นด้วยลวด DIN8556:E 188MnR26 สร้างเนื้อ ด้วยลวด

DIN8555:E 7-UM-250-KP อย่างน้อย 3 ชั้น และพอกแข็ง 2 ชั้นด้วยลวด DIN8555:E 6-UM-60 โดยควบคุมอุณหภูมิขณะเชื่อมด้วยน้ำ ไม่ให้อุณหภูมิของเหล็กกล้าแมงกานีสสูงเกิน 350 °C

บรรณานุกรม

- [1] Olawale J. O., Ibitoye S. A., Shittu M. D. Workhardening Behavior and Microstructural Analysis of Failed Austenitic Manganese Steel Crusher Jaws. *Materials Research*. 2013; 16(6): 1274-1281
- [2] จิตติ บัวพูน, ประศาสน์ สุบรรพวงษ์, ณรงค์ฤทธิ์ โทชรรัตน์. การวิเคราะห์การชำรุดเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 9. สงขลา : ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 2552.
- [3] ปนัดดา นิรนาทล้ำพงศ์. การสึกหรอในงานอุตสาหกรรม. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. ; 2547.
- [4] ณรงค์ฤทธิ์ โทชรรัตน์. เทคโนโลยีการเชื่อมพอกแข็ง. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย; 2550.
- [5] Robinowicz ED. Friction and wear of materials. New York: Wiley; 1965.
- [6] Bailey N. Weldability of ferritic steel. Abington Cambridge: Abington Publishing; 1994.
- [7] Buchely M. F., Gutierrez J. C., Le'on L. M., Toro A. The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys. *Wear* 2005; 259: 52–61.
- [8] Kotecki D. J., Ogborn J. S. Abrasion resistance of iron-based hardfacing alloys. *Welding research supplement* 1995; 269-278.
- [9] Yang J. H., Wang X. B. K/Na-treated Fe-Cr-C hardfacing alloys with high-impact-abrasion resistance. *Welding research supplement* 1995; 103-107.
- [10] Shigeagi Yamamoto, Arc welding of specific steels and cast Irons. Japan: Shinko welding service co., Ltd.; 2006.
- [11] Bohler welding guide. Kapfenberg: Austria.
- [12] UTP Schweissmaterial. Manual electrodes solders and fluxes inert-gas, submerged-arc and flux-cored wires metal powders. 9901th ed. Bad Krozingen: The Institut.
- [13] มนต์ สติรจินดา. เหล็กกล้า. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์; 2542.

- [14] Welding Handbook. Metal and their weldability. Miami : American welding society; 1997.
- [15] Kotecki D. J., Rajan V. B. Work hardening of austenitic manganese hardfacing deposits. Welding research supplement 1998; 293-298.
- [16] Kalandyk B., Zapala R. Effect of high-manganese cast steel strain hardening on the abrasive wear resistance in a mixture of SiC and water. Archives of Foundry Engineering 2013; 13 (4): 63-66.
- [17] Li Xiaoyun, Wu Wei1, Zu Fangqiu, Liu Lanjun, and Zhang Xianfeng . Influence of impact energy on work hardening ability of austenitic manganese steel and its mechanism. China foundry. 2012; 9(3):248-251.
- [18]D. Jandová. Deformation processes in austenitic stainless steels. Achievement in mechanical and materials engineering. 2002: 243-236.
- [19] Weilin Yan, Liang Fang, Zhanguang Zheng, Kun Sun, Yunhua Xu. Effect of surface nanocrystallization on abrasive wear properties in Hadfield steel. Tribology International. 2009; 42: 634-641.
- [20] S.W. Bhero, B. Nyembe, K. Lentsoana. Common causes of premature failure of Hadfield steel crushers and hammers used in the mining industry. International conference on mining, mineral processing and metallurgical engineering. 2013: 174-176.
- [21]Aboufazel Moteshakker, Iman Danaee. Microstructure and corrosion resistance of dissimilar weld-joints between duplex stainless steel 2205 and austenitic stainless steel 316L. Journal of materials science & technology. 2016; 32: 282-290.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
สมบัติของลาวดเชื่อม

1. ลวดเชื่อมชั้นรองพื้น (Buffer) ใช้ลวดตามมาตรฐาน DIN 8556: E 18 8 Mn R 26 (AWS A5.4-92: E 307-16) เป็นโลหะในกลุ่มเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง (High strength alloyed steel) ลวดเชื่อมชนิดนี้เป็นลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ชนิดรูโพล์สำหรับเชื่อมโลหะที่มีความแตกต่างกัน มีความแกร่ง (Tough) ที่เหมาะในการเชื่อมแทรกกลางระหว่างโลหะที่มีความแข็งแรงสูงกับชั้นพอกแข็ง สามารถต้านทานการแตกได้เป็นอย่างดี ทนอุณหภูมิได้สูงถึง 850 °C และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติที่อุณหภูมิต่ำถึง -10 °C ก่อนการเชื่อมจะต้องอบลวดเชื่อมเป็นเวลา 2 โมง ที่อุณหภูมิ 200 °C สามารถเชื่อมได้ทั้งกระแสตรง (DC+) และกระแสสลับ (AC) โดยลวดเชื่อมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 มิลลิเมตร ควรใช้กระแสเชื่อม 110-140 A

2. ลวดเชื่อมชั้นสร้างเนื้อ (Build up) ใช้ลวดเชื่อมตามมาตรฐาน DIN8555: E 7-UM-250-KP เหมาะกับการใช้งานในชิ้นส่วนที่ได้รับความดันสูงและเกิดการกระแทก ประกอบกับมีการเสียดสีเกิดขึ้น ลวดเชื่อมชนิดนี้จัดอยู่ในกลุ่มเหล็กกล้าแมงกานีส สามารถเชื่อมลงบนเหล็กแมงกานีสที่มีความแข็งแรงสูงได้ เหมาะกับงานเช่น ฟันโม้ถ่านหินในเหมือง และโรงงานซีเมนต์ เป็นต้น มีโครงสร้างออสเทนไนต์ (Fully austenitic) เนื่องจากมีการเพิ่มธาตุโครเมียม ช่วยในการลดแรงเสียดทานและต้านทานการกัดกร่อน เกิด Work hardening สูง และ Toughness สูง โดยความแข็งแรงหลังการเชื่อมมีค่าประมาณ 260 HB และหลังการทำ Work hardening ความแข็งแรงจะสูงขึ้นถึง 550 HB ควรเชื่อมในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำ ความร้อนของแนวเชื่อมต้องไม่เกิน 250 °C หลังการเชื่อมควรทำให้ชิ้นงานเย็นตัวอย่างรวดเร็ว ดังนั้นชิ้นงานควรอยู่ในอ่างน้ำ และให้เฉพาะผิวที่ใช้เชื่อมเท่านั้น โพล์พื้นน้ำ ก่อนการเชื่อมต้องอบลวดเชื่อมเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 300 °C สามารถเชื่อมได้ทั้งกระแสตรง (DC+) และกระแสสลับ (AC) โดยลวดเชื่อมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 มิลลิเมตร ควรใช้กระแสเชื่อม 120-190 A

3. ลวดเชื่อมชั้นพอกแข็ง (Hardfacing) ใช้ลวดเชื่อมตามมาตรฐาน DIN8555: E 6-UM-60 เหมาะกับการใช้เป็นชั้นพอกแข็งในชิ้นส่วนที่ใช้งานแล้วมีการเสียดสี (Abrasion) และการกระแทก (Impact) เกิดขึ้น โดยเฉพาะงานทางด้านเหมืองแร่ โดยค่าความแข็งแรงของการเชื่อมพอกแข็ง 1 ชั้น มีค่า 24 HRC เชื่อมพอกแข็ง 2 ชั้น มีค่า 45 HRC และเชื่อมพอกแข็ง 3 ชั้น มีค่า 56-58 HRC ก่อนการเชื่อมจะต้องอุ่นชิ้นงาน (Preheating) 250-350 °C และอบลวดเชื่อมเป็นเวลา 2 โมง ที่อุณหภูมิ 300 °C ในการเชื่อมพอกแข็ง 3-4 ชั้นควรมีการเชื่อมด้วยโลหะที่มีความแข็งต่ำเป็นชั้นรองพื้น สามารถ

เชื่อมได้ทั้งกระแสตรง (DC+) และกระแสสลับ (AC) โดยลวดเชื่อมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 มิลลิเมตร ควรใช้กระแสเชื่อม 130-170 A

ตาราง ก1 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม DIN 8556: E 18 8 Mn R 26 (AWS A5.4-92: E 307-16)

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Fe
0.11	1.2	4.2	19.2	8.5	0.7	Balance

ตาราง ก2 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม DIN 8555: E 7-UM-250-KP

C	Si	Mn	Cr	Mo	Nb	Fe
0.6	0.8	16.5	13.5	-	-	Balance

ตาราง ก3 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม DIN 8555: E 6-UM-60

C	Si	Mn	Cr	Mo	Nb	Fe
0.5	0.8	1.3	7	1.3	0.5	Balance

ภาคผนวก ข

เครื่องเชื่อม Fronius รุ่น TransPuls Synergic 4000

เครื่องเชื่อม Fronius รุ่น TransPuls Synergic 4000



รูปประกอบคำบรรยาย ข1

ข้อมูลเทคนิค

แรงดันไฟฟ้าหลัก (Main voltage)	3x400 V
ฟิวส์หลัก (Mains fuse slow)	35 A
กระแสปฐมภูมิ (Primary continuous current,100% d.c.)	10.3 kVA
ประสิทธิภาพ (Efficiency)	89%
กระแสเชื่อม (Welding current range)	3-400 A
กระแสเชื่อมที่ 10 min./40 °C 35% d.c.	400 A
10 min./40 °C 35% d.c.	350 A
10 min./40 °C 35% d.c.	250 A
แรงดันไฟฟ้า Open-circuit voltage	70 V
แรงดันไฟฟ้าใช้งาน (Operating voltage)	14.2-34 V
ขนาด	ยาว 625 มม. กว้าง 290 มม. สูง 480 มม.
น้ำหนัก	37 กก.

ภาคผนวก ค

ค่าความแข็ง

ตาราง ค1 ค่าความแข็งของชิ้นงาน B-U-H เชื่อมในบรรยากาศ

ระยะทางจากผิวหน้า (มม.)	ความแข็ง (HV)			
	1	2	3	เฉลี่ย
0	291.6	333.0	342.0	322.2
1	267.4	283.1	293.4	281.3
2	195.0	229.6	237.5	220.7
3	189.8	220.8	177.4	196.0
4	213.9	266.0	195.5	225.1
5	303.3	324.9	263.1	297.1
6	295.4	318.6	294.6	302.9
7	317.1	311.8	321.3	316.7

ตาราง ค2 ค่าความแข็งของชิ้นงาน B-U-H เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ

ระยะทางจากผิวหน้า (มม.)	ความแข็ง (HV)			
	1	2	3	เฉลี่ย
0	360.4	367.8	382.7	370.3
1	354.9	320.6	336.9	337.5
2	268.2	258.7	215.9	247.6
3	217.3	230.0	193.8	213.7
4	321.8	281.7	338.0	313.8
5	305.7	313.9	326.2	315.3
6	304.6	341.0	328.0	324.5
7	297.7	329.5	320.8	316.0

ตาราง ค3 ค่าความแข็งของชิ้นงาน B-U-2H เชื่อมในบรรยากาศ

ระยะทางจากผิวหน้า (มม.)	ความแข็ง (Hv)			
	1	2	3	เฉลี่ย
0	600.3	626.3	534.3	587.0
1	558.9	567.5	497.8	541.4
2	492	369.6	317	392.9
3	399.1	319.8	269.7	329.5
4	314.7	280.2	248	281.0
5	286.8	256.7	330	291.2
6	298.4	336.4	332.4	322.4
7	395.8	366.1	366.2	376.0
8	377.3	345.9	337.4	353.5
9	347.5	364.2	342.7	351.5

ตาราง ค4 ค่าความแข็งของชิ้นงาน B-U-2H เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ

ระยะทางจากผิวหน้า (มม.)	ความแข็ง (Hv)			
	1	2	3	เฉลี่ย
0	585.1	627.1	534.3	582.2
1	503.7	506.7	509.1	506.5
2	436.0	519.7	414.6	456.8
3	284.3	358.4	390.3	344.3
4	239.6	350.6	308.4	299.5
5	221.6	257.7	248.6	242.6
6	238.9	234.1	229.5	234.2
7	299.0	236.1	290.4	275.2
8	323.8	293.6	299.7	305.7
9	314.8	302.8	304.0	307.2

ตาราง ค5 ค่าความแข็งของชิ้นงาน B-2U-H เชื่อมในบรรยากาศ

ระยะทางจากผิวหน้า (มม.)	ความแข็ง (Hv)			
	1	2	3	เฉลี่ย
0	366.9	381.3	389.4	379.2
1	340.6	329.2	291.3	320.4
2	326.8	333.7	318.6	326.4
3	331	361	298.1	330.0
4	358.2	322.1	246.1	308.8
5	317.7	335.4	227.5	293.5
6	378.6	350.4	300.4	343.1
7	406	394.3	400.9	400.4
8	432.6	469.5	423.7	441.9
9	409.2	465.8	466.9	447.3

ตาราง ค6 ค่าความแข็งของชิ้นงาน B-2U-H เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ

ระยะทางจากผิวหน้า (มม.)	ความแข็ง (Hv)			
	1	2	3	เฉลี่ย
1	263.2	316.2	358	312.5
2	256.8	288.9	275.4	273.7
3	233.5	289.8	261.5	261.6
4	258.2	262.5	250.2	257.0
5	315.7	281.5	264.6	287.3
6	322.9	313.8	307.7	314.8
7	336.8	335.5	318	330.1
8	318.2	321.3	299.9	313.1
9	290	331.7	299.4	307.0
10	291.9	319.5	296.5	302.6
11	289.6	310.1	262.9	287.5

ตาราง ค7 ค่าความแข็งของชิ้นงาน B-2U-2H เชื่อมในบรรยากาศ

ระยะทางจากผิวหน้า (มม.)	ความแข็ง (Hv)			
	1	2	3	เฉลี่ย
0	454.2	463.9	388.9	435.5
1	339	324.3	332.9	332.1
2	301.9	337.7	313.7	317.8
3	364	320.6	290.3	325.0
4	296	303.2	284.5	294.6
5	272.2	284	279	278.4
6	297.2	271.9	271.6	280.2
7	371.3	322.9	322.9	339.0
8	397.7	348.7	336.4	360.9
9	381.7	375.5	360.7	372.6

ตาราง ค8 ค่าความแข็งของชิ้นงาน B-2U-2H เชื่อมโดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ

ระยะทางจากผิวหน้า (มม.)	ความแข็ง (Hv)			
	1	2	3	เฉลี่ย
1	462.9	419.5	422.2	434.9
2	484.7	429	436.8	450.2
3	441.7	375	438.3	418.3
4	325.2	318.1	339.6	327.6
5	294.2	273.6	272.1	280.0
6	301.3	265	253.4	273.2
7	286.9	266.4	264.1	272.5
8	275	252.3	234.8	254.0
9	324.5	290.9	272.8	296.1
10	345.2	352.3	322.5	340.0
11	391	367	330.6	362.9

ตาราง ก9 ค่าความแข็งของชิ้นงาน B-3U-H เชื่อมในบรรยากาศ

ระยะทางจากผิวหน้า (มม.)	ความแข็ง (Hv)		
	1	2	เฉลี่ย
0			310.7
1	291.8	290.6	291.2
2	244.2	284.1	264.2
3	257.5	239	248.3
4	251.8	252	251.9
5	239.5	235.3	237.4
6	281.5	287.5	284.5
7	307	301.3	304.2
8	295.2	299.5	297.4

ตาราง ก10 ค่าความแข็งของชิ้นงาน B-3U-H เชื่อม โดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ

ระยะทางจากผิวหน้า (มม.)	ความแข็ง (Hv)		
	1	2	เฉลี่ย
0			399.3
1	321.8		321.8
2	295.7	293.6	294.7
3	247.9	250.9	249.4
4	258.9	248.1	253.5
5	241.5	251.7	246.6
6	198.2	218	208.1
7	280.1	241.2	260.7
8	266	282.4	274.2
9	273.3	280.3	276.8

ตาราง ค11 ค่าความแข็งของชิ้นงาน B-3U-2H เชื่อมในบรรยากาศ

ระยะทางจากผิวหน้า (มม.)	ความแข็ง (Hv)		
	1	2	เฉลี่ย
0			475.3
1	380.9	456.4	418.7
2	393.1	448.9	421.0
3	329.3	446.8	388.1
4	340.4	348.4	344.4
5	323	316.1	319.6
6	316	313.2	314.6
7	300	290.8	295.4
8	359.4	383.2	371.3
9	366.1	382.4	374.3

ตาราง ค12 ค่าความแข็งของชิ้นงาน B-3U-2H เชื่อม โดยควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ

ระยะทางจากผิวหน้า (มม.)	ความแข็ง (Hv)		
	1	2	เฉลี่ย
0			550.1
1	476	484.9	480.5
2	383	492.5	437.8
3	362	429.6	395.8
4	351	351.2	351.1
5	300	311.2	305.6
6	300.6	279	289.8
7	262.8	256.9	259.9
8	340.6	345.2	342.9
9	375.1	375.2	375.2
10	344.6	362.6	353.6

ภาคผนวก ง
บทความวารสาร

Wear behavior of hardfacing deposits on Hadfield steel

Chanin Dumrudkarn^{1,a}, and Prapas Muangjunburee^{1,b*}

¹ Department of Mining and Materials Engineering, Faculty of Engineering,

Prince of Songkla University, Hatyai, Songkhla, 90112 Thailand

^acdumrudkarn@gmail.com, ^{b*}mrapas@eng.psu.ac.th

Keywords: Mn steel, Hardfacing, Abrasive wear

Abstract The objectives of this research aim to develop the welding procedure for multilayer hardfacing of 13% Mn cast steel and to study behavior of hardfacing deposits after impact applied. Austenitic stainless steel and martensitic hardfacing electrode were selected as buffer and hardfacing, respectively. According to the shielded metal arc welding (SMAW) process, two different atmosphere conditions; control cooling rate on specimen (by water) and uncontrolled cooling rate on specimen (by air) during welding were compared. Macrostructure and microstructure were investigated by optical microscope. The hardfacing deposits were also determined by the dry sand rubber wheel machine according to procedure A of the ASTM G65 standard. The results indicated that the hardfacing layers revealed martensitic type microstructure in both controlled and uncontrolled cooling rate but their grain shapes were a little difference. Austenitic type microstructure of buffer layer was observed. By employing the controlled cooling rate condition, higher amount of carbide was provided. The best wear resistance was obtained from controlled cooling rate condition.

Introduction

Due to its properties of high hardness, good toughness and high wear resistance, steel are widely used in applications such as mine and rock crushing, etc which involve impact and abrasion [2,3]. High Mn steel is a most used material for wear and impact resistance applications. It was found that 11-14% of Mn can stabilize austenitic structure at room temperature. However, Mn₃C can be precipitated [1,3,4] in case temperature greater than 300°C is generated on Mn steel and this results in steel brittle.

Normally, crush rolls (made from Mn steel) in crusher is used for reduction of coal size particle. The crusher in practical operated continuously for a long period. Crush rolls can be abrasive and decrease its efficiency in case the running time is longer than 15 hours.

Generally, hardfacing is applied for crush roll repairing. This technique can be exploited by welding on any bases using high hardness electrode for extension their life time [5,6].

The present investigation aims to study buffer, build-up and hardfacing electrode applied in shielded metal arc welding (SMAW) on 13% Mn steel in terms of their microstructure, hardness and abrasive wear resistance.

Experimental procedure

Materials and welding conditions

Three commercial electrodes were applied onto Mn steel plate according to the manufacturer's direction. DIN8556:E 188MnR26, DIN8555:E 7-UM-250-KP, DIN8555:E 6-UM-60 were used for buffer, build-up and hardfacing, respectively (Fig.1) and 280mm x 75mm x 15mm plates were used in all cases. The chemical composition of Mn Steel can be seen in Table 1, composition of each electrode was shown in Table 2 and SMAW process parameters were specified in Table 3.

The deposition was carried out in flat position, by using SMAW technique in two different atmospheric conditions. The first is uncontrolled cooling rate on specimens by welding in the air and another is controlling cooling rate by water.

Table 1
Chemical composition of Mn steel plate [wt%]

C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Fe
1.08	0.85	13.5	0.33	2.06	0.05	balance

Table 2
Chemical composition of electrodes [wt%]

	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Fe
Hardfacing (DIN8555:E 6-UM-60)	0.5	0.8	1.3		7	1.3	balance
Build-up (DIN8555:E 7-UM-250-KP)	0.6	0.8	16.5		13.5		balance
Buffer (DIN8556:E 188MnR26)	0.11	1.2	4.2	8.5	19.2	0.7	balance

Table 3
SMAW process parameters

Electrode	Current [A]	Voltage [V]	Travel speed [mm min ⁻¹]	Number of layer
Hardfacing (DIN8555:E 6-UM-60)	120-123	20-25	23-24	1
				2
Build-up (DIN8555:E 7-UM-250-KP)	108-118	21-25	21-25	1
Buffer (DIN8556:E 188MnR26)	105-120	25-30	25-30	1

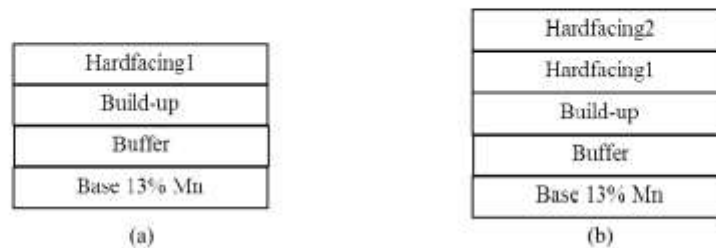


Fig.1. Schematic of welding layers deposition in the different atmospheric condition.

Hardness Measurement

The hardness of the deposits was measured by Vickers hardness method with a load of 100 kgf.

Microstructure analysis

Optical microscope (OM) was used to analyze the microstructure of the specimens. Cross sections of the weld were polished and etched with Kalling's agent (buffer and build-up) and Nital 2% (base and hardfacing).

Abrasive wear tests

Abrasive wear tests were carried out in a dry sand-rubber wheel testing machine according to ASTM G65 standard. Rounded quartz particles with mean diameter in the range of 212 and 300 μm were used. The normal load and duration of the tests are shown in Table 4.

Table 4
Abrasive wear test conditions, dry sand-rubber wheel testing machine

Procedure	Load [N]	Velocity [rpm]	Wear distance [m]
A	130	200	4000

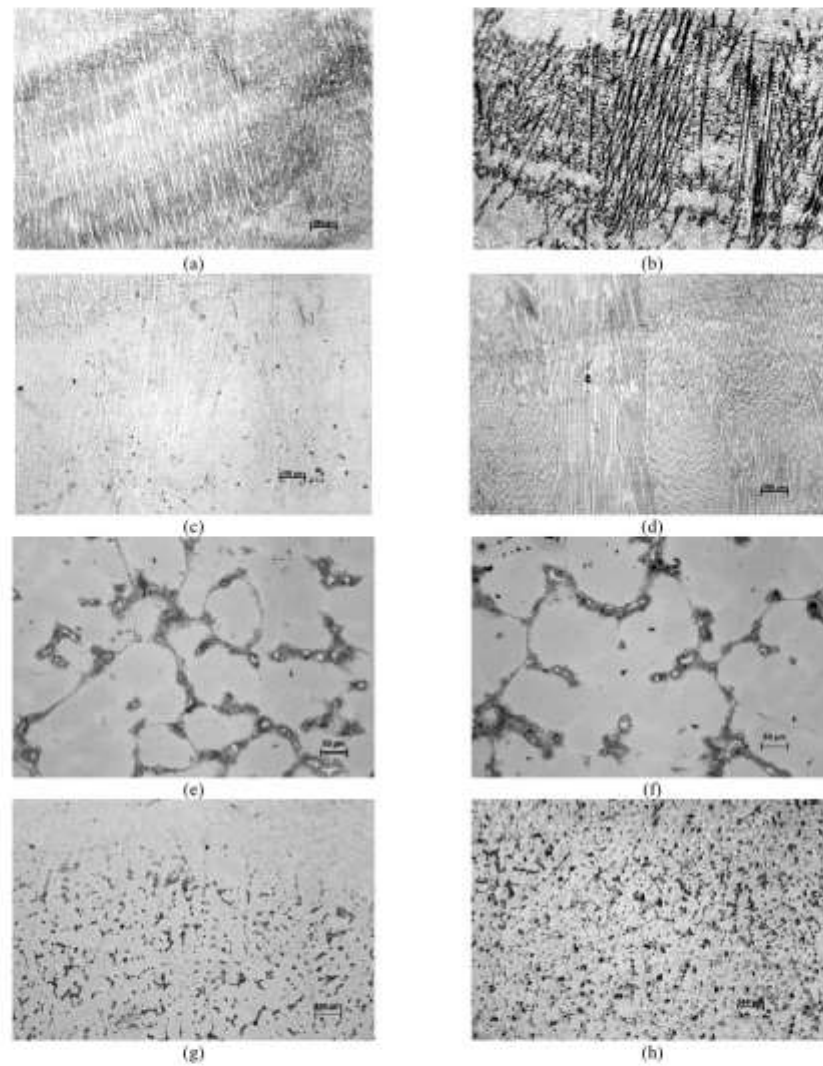


Fig.2 Microstructures: (a) hardfacing, first layer, (b) hardfacing, second layer, (c) buffer layer, (d) build-up layer, (e) Mn steel base, welding in air, (f) Mn steel base welding in water, (g) heat effected zone, welding in air, (h) heat effected zone, welding in water.

Results and discussion

Microstructure

The typical microstructure of the studied welding deposit is shown in Fig.2. The hardfacing layers show martensite which is penetrated in austenite matrix. The darker phase is martensite (Fig.2 a,b). The martensite on the second layer is sharper than the first layer. The buffer (Fig.2 c) and build-up layer (Fig.2 d) illustrate cellular dendritic structure which is austenite phase.

Specimens in uncontrol cooling rate welding; in air, carbide (Fig. 2 e) was precipitated and coarse grain area (Fig.2 g) was found in boundary between base and buffer layer, which are more than in the controlling cooling rate by water (Fig.2 f and g).

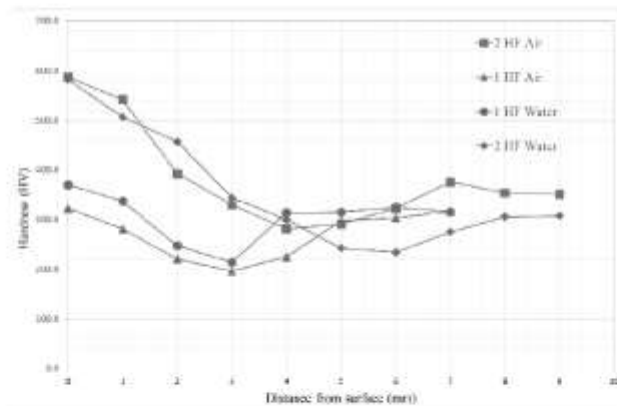


Fig.3 Hardness profile of cross section for welded specimens.

Hardness and abrasive wear test

Surface hardness of one hardfacing layer displayed about 320-360 HV and 580-600 HV for two hardfacing layers which effected from low dilution levels made more martensite phase in both atmospheric conditions (Fig.3). The best abrasive wear resistance was obtained in controlling cooling rate by water for two hardfacing layers (Fig.4).

There was no any significance for base hardness in one hardfacing layer in each specimen (~300 HV). On the other hand, base hardness in two hardfacing layers by uncontrolling cooling rate welding by air (~340 HV) is harder than by controlling cooling rate welding by water (~300 HV). This is due to the fact that there was heat deposition during welding which increased carbide precipitation.

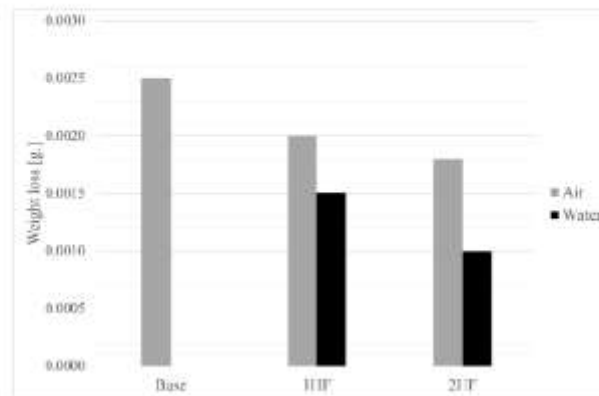


Fig.4 Mass loss of the welded specimens

Conclusions

- Carbide and coarse grain were generated on base metal by welding in un-controlling cooling rate by air.
- Surface hardness of two hardfacing layers is greater than one hardfacing layer.
- Surface hardness of specimens welded in controlling cooling rate by water is greater than in un-controlling cooling rate by air.
- Welding in controlling rate by water provided the best abrasive wear resistance.

Acknowledgement

The authors thank Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT) for financial support. Special thank to the Department of Mining and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University.

References

- [1] D.K. Subramanyam, A.E. Swansiger, H.S. Avery, Austenitic manganese steels, ASM Metals HandBook Volume 1, pp.1951-1962.
- [2] Medhi Mazar Atabaki, Sajjad Jafari, Hassan Abdollah-pour, Abrasive wear behavior of high chromium cast iron and Hadfield steel-A comparison, *Journal of iron and steel research, International*, 19(4) (2012) 43-50.
- [3] S.W. Bhero, B. Nyembe, K. Lentsoana, Common causes of premature failure of Hadfield steel crushers and hammers used in the mining industry international conference on mining, Mineral Processing and Metallurgical Engineering (ICMMME'2013), April 15-16 (2013).
- [4] J.Mendez, M.Ghoreshy, W.B.F.Mackay, T.J.N.Smith, R.W.Smith, Weldability of austenitic manganese steel, *Journal of Materials Processing Technology*. 153-154(2004) 596-602.
- [5] M.F.Buchely, J.C.Gutierrez, L.M. Leon, A.Toro, The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys, *Wear*. 259 (2005) 52-61.
- [6] John J. Coronada, Holman F. Caicedo, Adolfo L.Gomez, The effects of welding process on abrasive wear resistance for hardfacing deposits, *Tribology International*. 42 (2009) 745-749.

Metallurgy and Materials Engineering

10.4028/www.scientific.net/KEM.658

Wear Behavior of Hardfacing Deposits on Hadfield Steel

10.4028/www.scientific.net/KEM.658.172

DOI References

[5] M.F. Buchely, J.C. Gutierrez, L.M. Leon, A. Toro, The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys, *Wear*, 259 (2005) 52-61.
10.1016/j.wear.2005.03.002

[6] John J. Coronada, Holman F. Caicedo, Adolfo L. Gomez, The effects of welding process on abrasive wear resistance for hardfacing deposits, *Tribology International*, 42 (2009) 745-749.
10.1016/j.triboint.2008.10.012

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายชนินทร์ คำรัสการ

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5510120113

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมวัสดุ)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2544

ทุนการศึกษา

1. ทุนการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
2. ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ปิงบประมาณ 2557

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Chanin Dumrudkarn, Prapas Muangjunburee. Wear behavior of hardfacing deposits on Hadfield steel. Key Engineering Materials 2015; 658: 172-176