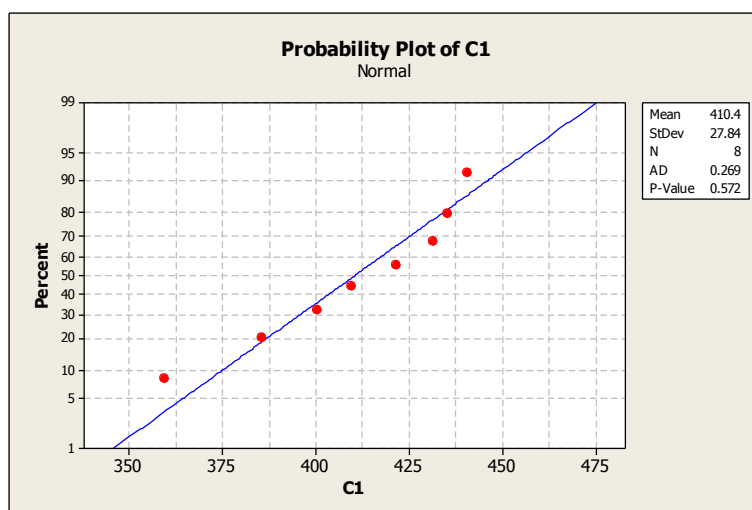


## บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาผลกระทบจากอิทธิพลการเชื่อมชั้นแนวโลหะต่างชนิด ระหว่าง เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1010 กับเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ด้วยกรรมวิธีการเชื่อม Gas Metal Arc Welding ต่อสมบัติทางกล ด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด(Ultimate Tensile Strength) และจุดคราก (Yield Point) ต่อโครงสร้างจุลภาคบริเวณ Fusion zone, Heat Affected Zone(HAZ)และBase Metal โดยกำหนดปัจจัยในการทดลอง 2 ชนิดคือ ความเร็วในการเชื่อม และการเชื่อมชั้นแนว จากการทดลองในห้องปฏิบัติการได้มีรวบรวมผลการทดลอง เพื่อหาสมบัติทางกลได้ดังนี้คือ ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด และความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดคราก รวมทั้งการวิเคราะห์โครงสร้างในระดับ จุลภาค(Microstructure) และมหภาค (Macrostructure) โดยการหาค่าของผลกระทบจากอิทธิพลหลัก(Main Effect) ของตัวแปรแต่ละตัว และปฏิริยาสัมพันธ์หรือค่าอิทธิพลร่วม(Interaction Effect) ระหว่างตัวแปร การวิเคราะห์ข้อมูล จากผลการทดลองครั้งนี้ โดยการใช้สถิติวิเคราะห์ข้อมูลแบบแผนการทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ช่วยในการคำนวณค่าทางสถิติ และวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยค่าทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ F-Ratio และระดับความเชื่อมั่น 99 % หรือที่ระดับนัยสำคัญ 1 % ( $\alpha = .01$ )

### 4.1 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองเบื้องต้น (Pilot study)

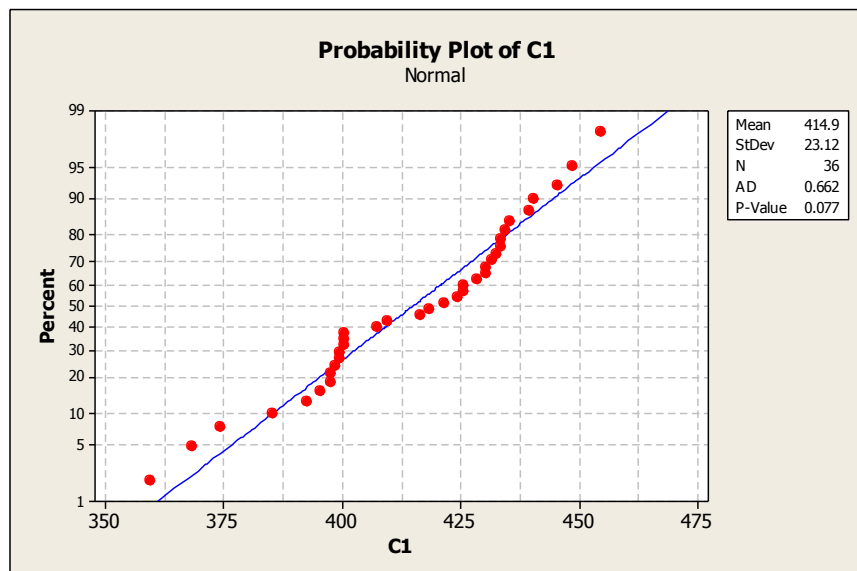
จากการศึกษาผลการทดลองเบื้องต้น(Pilot study) เพื่อวิเคราะห์หาผลกระทบต่อสมบัติทางกลด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด พบว่า ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองทั้ง 2 ชนิด คือ ความเร็วในการเชื่อม และการเชื่อมชั้นแนว มีผลกระทบต่อสมบัติทางกลด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น .01 (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 กราฟการทดสอบการแจกแจงปกติค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดของการทดลองเบื้องต้น

## 4.2 การวิเคราะห์ตัวแปรในการเชื่อมต่อสมบัติทางกลด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength)

ในการศึกษาเมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อหาผลกระทบต่อสมบัติทางกล ด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด(Ultimate Tensile Strength) ของการเชื่อมโลหะต่างชนิด (Dissimilar weld) ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 กับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำด้วยกรรมวิธีการเชื่อมมิก Ga Meta Arc Welding(GMAW) พบว่า ปัจจัยหรือตัวแปรที่ใช้ในการทดลองทั้ง 2 ชนิด คือ ความเร็วในการเชื่อม และการเชื่อมซ้อนแนว มีผลกระทบต่อสมบัติทางกลด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength)อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น .01 (ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2)



รูปที่ 4.2 กราฟการทดสอบการแจกแจงปกติค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength)

ตารางที่ 4.1 แสดงผลรวมกำลังสององศาอิสระ ค่า F และค่านัยสำคัญของสาเหตุความผันแปรของการทดลอง แสดงผลการวิเคราะห์ค่าตัวแปรทั้ง 2 ชนิด ที่มีผลกระทบต่อสมบัติทางกลด้านความเค้น แรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) โดยใช้สถิติ One-Way ANOVA

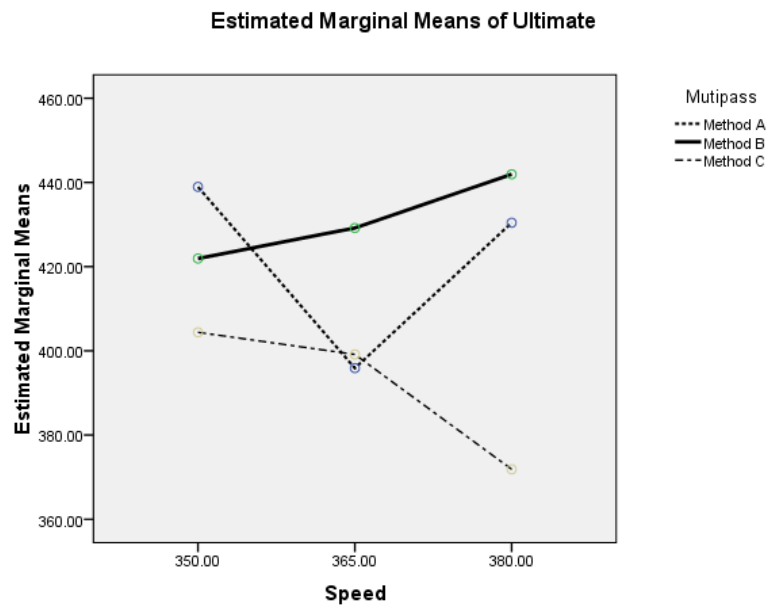
#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Ultimate

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	17181.701 <sup>a</sup>	8	2147.713	37.788	.000
Intercept	6195884.317	1	6195884.317	1.090E5	.000
Speed	2532.112	2	1266.056	22.276	.000
Mutipass	10078.516	2	5039.258	88.664	.000
Speed * Mutipass	4571.073	4	1142.768	20.107	.000
Error	1534.565	27	56.836		
Total	6214600.582	36			
Corrected Total	18716.265	35			

a. R Squared = .918 (Adjusted R Squared = .894)

การวิเคราะห์หาปฏิกริยาสัมพันธ์ (Interaction) หรืออิทธิพลร่วมจากการทดลอง หลังจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปร เพื่อหาค่าประมาณแบบช่วงของความเค้นแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) แยกตามระดับของความเร็วในการเชื่อม และวิธีการเชื่อมชั้นแนว ส่งผลให้ได้ค่าผลการทดลองที่สูงที่สุด คือ ทำการเชื่อมชั้นแนววิธี B (Method B : แนวที่ 1 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 2 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 3 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L) โดยใช้ความเร็วในการเชื่อมที่ 380 mm./min พบว่าความเค้นแรงดึงสูงสุดมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดที่ 441.94 N/mm<sup>2</sup> (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.3)



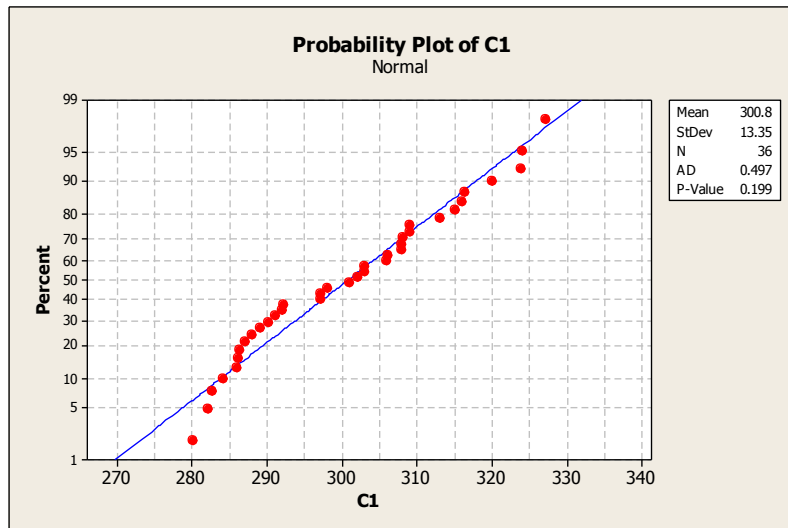
- Method A : แนวที่ 1 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 2 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L, แนวที่ 3 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L
- Method B : แนวที่ 1 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 2 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 3 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L
- Method C : แนวที่ 1 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L, แนวที่ 2 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L, แนวที่ 3 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L

รูปที่ 4.3 แสดงกราฟอิทธิพลร่วม ของตัวแปรในการเชื่อมที่มีผลต่อความเค้นแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength)

### 4.3 การวิเคราะห์ตัวแปรในการเชื่อมต่อสมบัติทางกลด้านความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดคราก (Yield Point)

ในการศึกษาเมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อหาผลกระทบต่อสมบัติทางกล ด้านความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดคราก(Yield Point) ของการเชื่อมโลหะต่างชนิด (Dissimilar weld) ระหว่างเหล็กกล้าสแตนเลส AISI304 กับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำด้วยกรรมวิธีการเชื่อมมิก Gas Metal Arc Welding(GMAW) พบว่า ปัจจัยหรือตัวแปรที่ใช้ในการทดลองทั้ง 2 ชนิด คือ ความเร็วในการเชื่อม และการเชื่อมชั้น

แนว มีผลกระทบต่อสมบัติทางกลด้านความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดคราก (Yield Point) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.01 (ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2)



รูปที่ 4.4 กราฟการทดสอบการแจกแจงปกติค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดคราก (Yield Point)

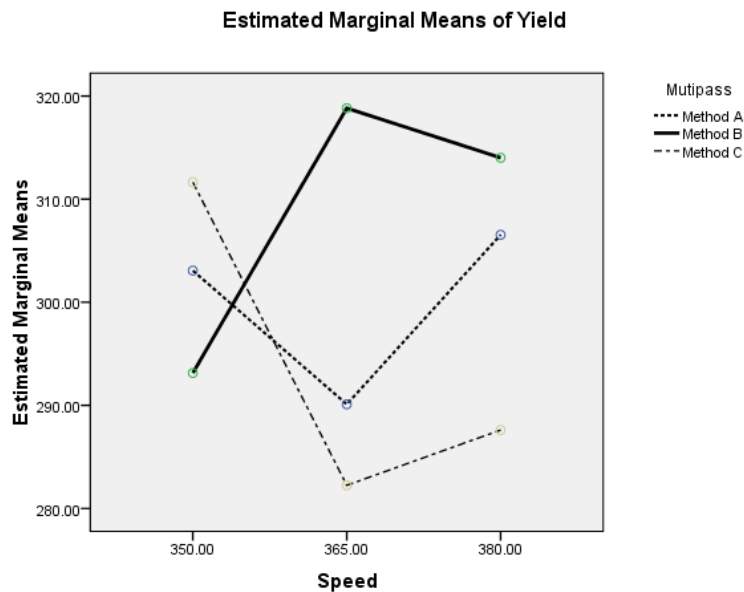
ตารางที่ 4.2 แสดงผลรวมกำลังสององศาอิสระ ค่า F และค่านัยสำคัญของสาเหตุความผันแปรของการทดลองแสดงผลการวิเคราะห์ค่าตัวแปรทั้ง 2 ชนิด ที่มีผลกระทบต่อสมบัติทางกล ด้านความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดคราก(Yield Point) โดยใช้สถิติ One-Way ANOVA

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: Yield

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5384.940 <sup>a</sup>	8	673.117	21.416	.000
Intercept	3257248.466	1	3257248.466	1.036E5	.000
Speed	251.859	2	125.929	4.007	.030
Mutipass	1333.529	2	666.764	21.214	.000
Speed * Mutipass	3799.552	4	949.888	30.221	.000
Error	848.638	27	31.431		
Total	3263482.044	36			

การวิเคราะห์หาปฏิกริยาสัมพันธ์ (Interaction) หรืออิทธิพลร่วมจากการทดลอง หลังจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเพื่อหาค่าประมาณแบบช่วงของความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดคราก (Yield Point) แยกตามระดับของความเร็วในการเชื่อม และวิธีการเชื่อมซ้อนแนว ส่งผลให้ได้ค่าผลการทดลองที่สูงที่สุด คือ ทำการเชื่อมซ้อนแนววิธี B (Method B : แนวที่ 1 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 2 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 3 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L) โดยใช้ความเร็วในการเชื่อมที่ 365 mm./min พบว่าความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดครากมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดที่ 318.82 N/mm<sup>2</sup> ( ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.5)



Method A : แนวที่ 1 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 2 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L, แนวที่ 3 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L

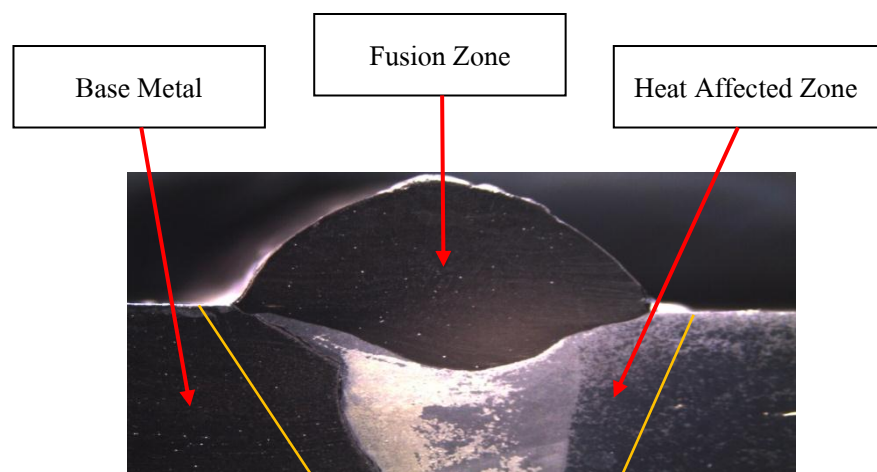
Method B : แนวที่ 1 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 2 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 3 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L

Method C : แนวที่ 1 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L, แนวที่ 2 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L, แนวที่ 3 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L

**รูปที่ 4.5** แสดงกราฟอิทธิพลร่วม ของตัวแปรในการเชื่อมที่มีผลต่อความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดคราก (Yield Point)

#### 4.4 การวิเคราะห์ปัจจัยในการเชื่อมที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) และมหภาค(Macrostructure)

ในการศึกษาผลกระทบจากการเชื่อมโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำกับเหล็กกล้าไร้สนิม ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมมิก (Gas Metal Arc Welding :GMAW) ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค หรือการปรับสภาพเกรน เมื่อโลหะชิ้นงานได้รับความร้อนจากการเชื่อมจะทำให้โครงสร้างจุลภาค (Microstructure)และมหภาค(Macrostructure) บริเวณ Fusion Zone, Heat Affected Zone (HAZ) และ Base Metalเกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคจะแสดงผลที่แตกต่างกันเช่นความต้านทานการกัดกร่อน และสมบัติทางกลฯ ในการเชื่อม ส่วนผสมทางเคมีของธาตุในรอยเชื่อมก็จะสามารถเปลี่ยนแปลงไปด้วยการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของเนื้อ โลหะรอยเชื่อมเหล็กกล้าสแตนเลสออสเทนนิติก ถือได้ว่าเป็นเรื่องสำคัญ เนื่องจากเหล็กกล้าสแตนเลสออสเทนนิติกที่ผ่านกระบวนการเชื่อมแบบหลอมละลายมีโอกาสเกิดโครงสร้างจุลภาคได้หลายรูปแบบ ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เนื้อ โลหะรอยเชื่อมมีโครงสร้างจุลภาคที่แตกต่างกัน คือส่วนผสมทางเคมีของเนื้อโลหะรอยเชื่อม ฉะนั้นก่อนปฏิบัติการเชื่อมประสานโลหะชนิดใดผู้ควบคุมการเชื่อมควรรู้ส่วนผสมทางเคมีของโลหะชนิดนั้น ๆ ก่อน เพื่อเลือกกรรมวิธีการเชื่อมที่เหมาะสม เพื่อได้โครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะรอยเชื่อมที่ดี เหล็กกล้าสแตนเลสออสเทนนิติกที่ผ่านกระบวนการเชื่อมแบบ GMAW มีการใช้แก๊สปกคลุมบ่อหลอมละลายขณะทำการเชื่อม เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชันแก๊สไนโตรเจนจากสถานะแวดล้อมก็ยังสามารถผสมไปในบ่อน้ำโลหะได้ ดังนั้นสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ปัจจัยในการเชื่อมที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างจุลภาค(Microstructure) และมหภาค (Macrostructure) ดังต่อไปนี้



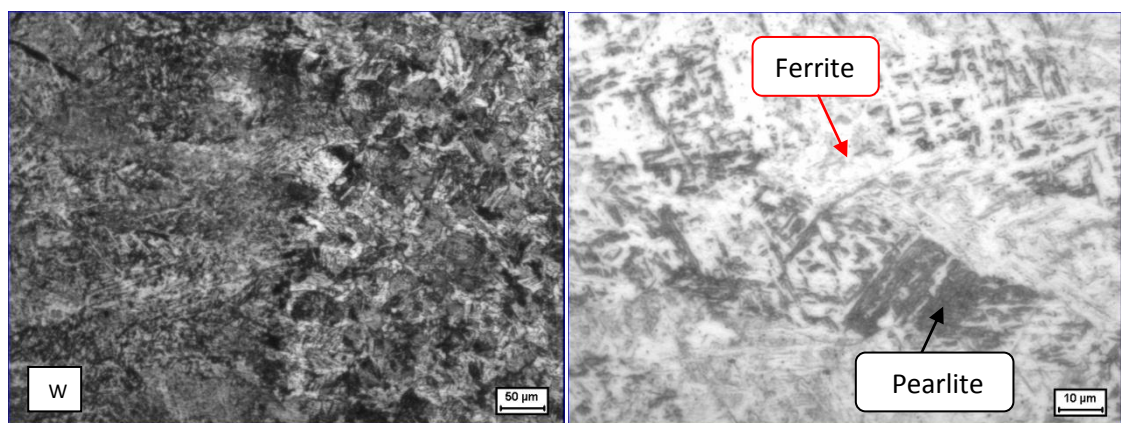
รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะโครงสร้างมหภาค บริเวณ Fusion Zone, Heat Affected Zone (HAZ) และ Base Metal

#### 4.4.1 โครงสร้างจุลภาค (Microstructure) และมหภาค (Macrostructure) ของชิ้นงานที่มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด

ในการทดลองเชื่อมต่อโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1010 กับเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ด้วยกระบวนการเชื่อม GMAW จากการเชื่อมที่พารามิเตอร์ ทำการเชื่อมซ้อนแนววิธี B (Method B : แนวที่ 1 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 2 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 3 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L) ใช้ความเร็วในการเชื่อมที่ 380 mm./min กล่าวคือการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าพารามิเตอร์การเชื่อมมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงต้านแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ  $441.94 \text{ N/mm}^2$  และเมื่อตรวจสอบโครงสร้างมหภาค และ โครงสร้างจุลภาคของโลหะฐาน (Base Metal) บริเวณผลกระทบร้อนจากการเชื่อม (HAZ) และบริเวณของรอยเชื่อม (Weld metal) ปรากฏผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของโลหะงานได้ ดังนี้

##### 4.4.1.1 ผลกระทบต่อโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อม (Weld metal)

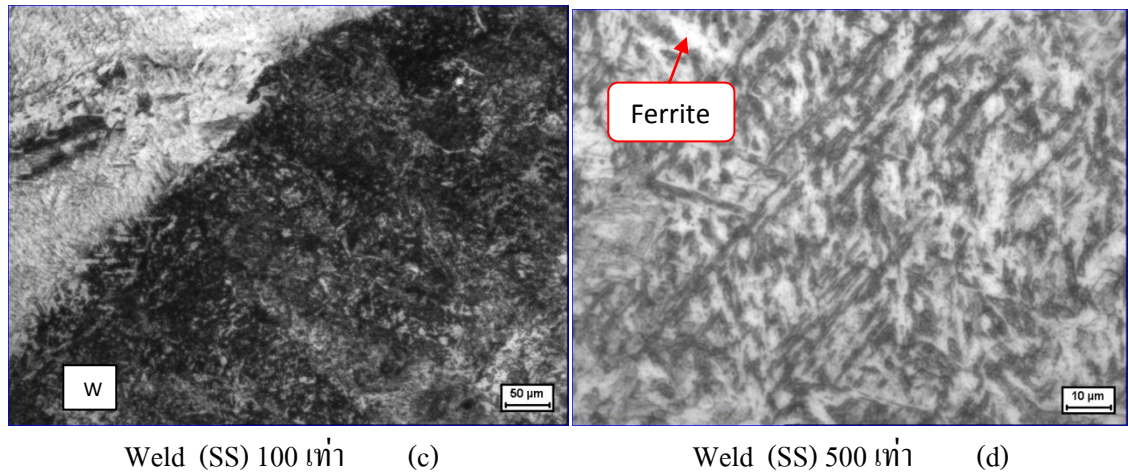
ลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อเชื่อม (Weld Metal) หรือบริเวณที่เกิดการหลอมละลาย (Fusion zone) พิจารณาโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อมด้านเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เมื่อยเชื่อมเกิดการเย็นตัวที่อุณหภูมิห้องจะปรากฏโครงสร้างที่มีลักษณะเกรนหยาบโครงสร้างประกอบด้วยเฟอร์ไรต์พื้นสีขาวหรือสีจางและเพิร์ลไลต์ที่มีทิศทางการเติบโตของเกรนในทุกทิศทาง และเมื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างจากรอยเชื่อมด้านเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ลักษณะของโครงสร้างประกอบด้วยพื้นสีขาวของเฟอร์ไรต์กระจายกับพื้นสีเทาเข้มเรียวยาวของ เฟอร์ไรต์รูปเข็ม (acicular ferrite) (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.7 a, b,c,d,e)



Weld (CS) 100 เท่า (a)

Weld (CS) 500 เท่า (b)

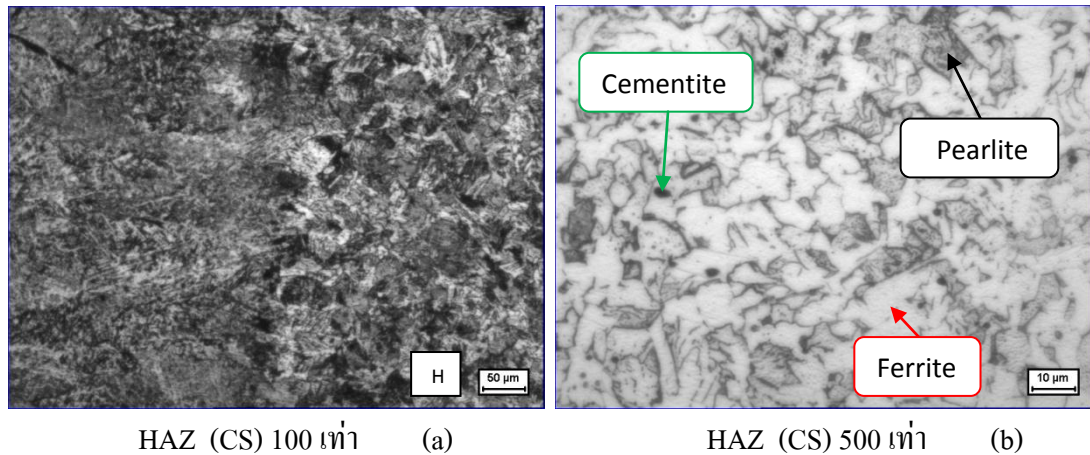
รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาค บริเวณรอยเชื่อม ของชิ้นงานทดสอบที่มีค่าความเค้นแรงดึงเฉลี่ยสูงสุด กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า



รูปที่ 4.7 (ต่อ) แสดงลักษณะ โครงสร้างจุลภาค บริเวณรอยเชื่อม ของชิ้นงานทดสอบที่มีค่าความเค้นแรงดึงเฉลี่ยสูงสุด กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า

#### 4.4.1.2 ผลกระทบต่อโครงสร้างจุลภาคบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (Heat Affected Zone) ด้านเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

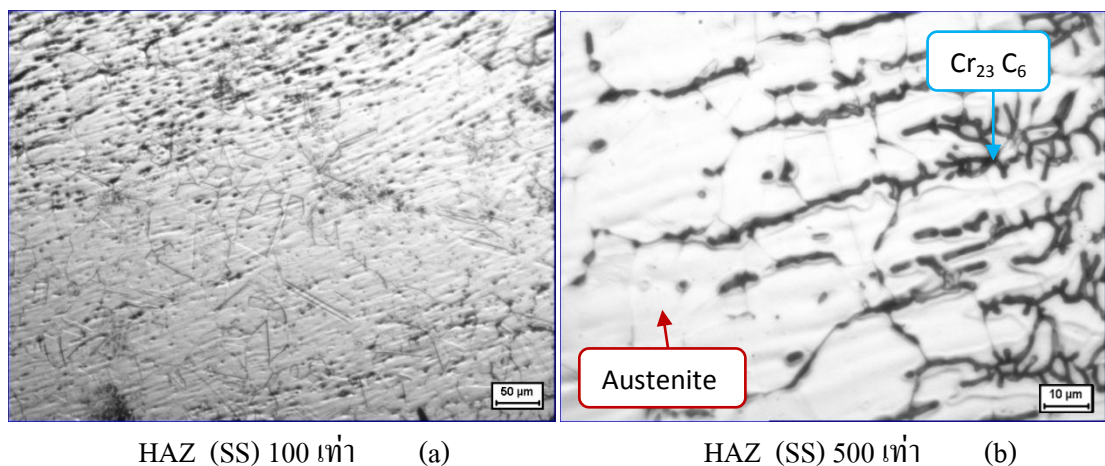
โครงสร้างจุลภาคบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) ด้านเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำพิจารณาบริเวณที่ติดกับรอยต่อการหลอมละลาย (Fusion Line) ระหว่างเนื้อรอยเชื่อมกับโลหะงาน จากอิทธิพลของความร้อน เมื่อยรอยเชื่อมเกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้องจะปรากฏโครงสร้างที่มีลักษณะเกรนหยาบ โครงสร้างประกอบด้วยเฟอไรต์พื้นสีขาวหรือสีจางมีทิศทางการเติบโตของเกรนในทุกทิศทาง และผลึกของคาร์ไบด์ที่กระจายอยู่บริเวณขอบเกรน เมื่อพิจารณาบริเวณที่ถัดออกไปจะพบโครงสร้างเพิร์ลไลท์ที่กระจายอยู่ในโครงสร้าง และบริเวณขอบเกรน เมื่อพิจารณาโครงสร้างบริเวณถัดออกไปพบลักษณะโครงสร้างประกอบด้วยเกรนที่มีขนาดโตขึ้น โดยมีรูปร่างและขนาดกลมกลืนกับโครงสร้างบริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.8 a, b)



รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาค บริเวณที่ได้รับผลกระทบร้อน (HAZ) ของชิ้นงานทดสอบที่มีค่าความเค้นแรงดึงเฉลี่ยสูงสุด เหล็กกล้าคาร์บอน กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า

#### 4.4.1.3 ผลกระทบต่อโครงสร้างจุลภาคบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (Heat Affected Zone) ด้านเหล็กกล้าไร้สนิม

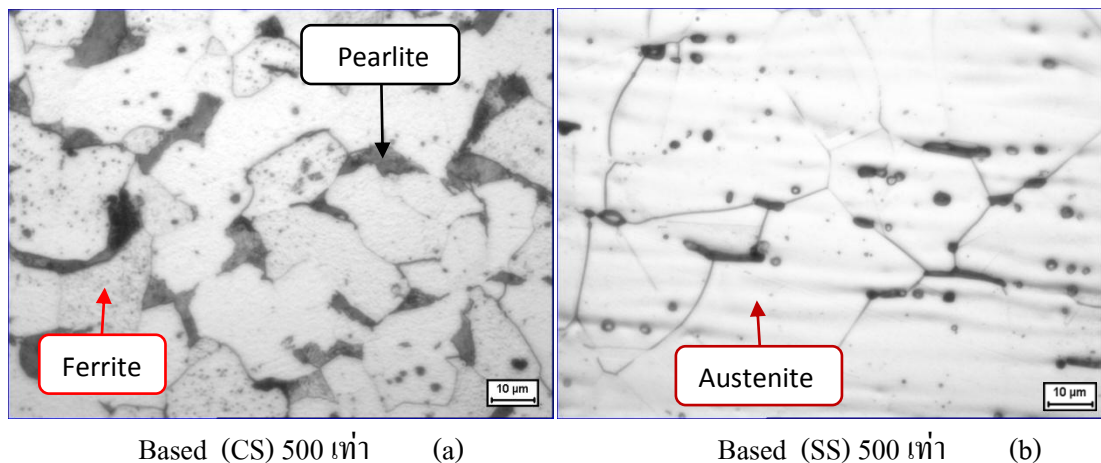
บริเวณผลกระทบร้อนจากการเชื่อม (HAZ) เป็นบริเวณที่อยู่ถัดจากแนวเส้นแบ่งเขตการหลอมละลาย (Fusion line) ระหว่างเนื้อเชื่อมกับโลหะงาน ประกอบด้วยโครงสร้างออสเทนไนต์ และ ผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์ ( $Cr_{23}C_6$ ) มีกระจายตัวหนาแน่น ณ บริเวณ Fusion line และหลังจากนั้นก็จะจางลดลง เมื่อพิจารณาโครงสร้างจุลภาคบริเวณถัดไปพบว่า โครงสร้างมีลักษณะเกรนที่โต พบผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์ ( $Cr_{23}C_6$ ) กระจายตามขอบเกรน และโครงสร้างในบริเวณนี้จะมีรูปร่างและขนาดใกล้เคียงกลมกลืนกับโครงสร้างบริเวณไม่ได้รับผลกระทบร้อนจากการเชื่อม (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.9 a, b)



รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาค บริเวณที่ได้รับผลกระทบร้อน (HAZ) ของชิ้นงานทดสอบที่มีค่าความเค้นแรงดึงเฉลี่ยสูงสุด เหล็กกล้าไร้สนิม กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า

#### 4.4.1.4 ผลกระทบต่อโครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะงาน (Base metal) ด้านเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ และเหล็กกล้าไร้สนิม

เมื่อพิจารณาโครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะงานด้านเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ พบว่าโครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะงานไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อนในการเชื่อม ซึ่งโครงสร้างประกอบด้วยเฟอร์ไรท์ ฟีนีสขาวหรือสีจาง และมีโครงสร้างเพิร์ลไลต์ กระจายอยู่ทั่วไปโครงสร้าง (ดังรูปที่ 4.10 a) โครงสร้างโลหะงานด้านเหล็กกล้าสแตนเลส เนื่องจากเป็นบริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อนในการเชื่อม จึงทำให้โครงสร้างจุลภาคไม่มีการเปลี่ยนแปลงโดยมีลักษณะของโครงสร้างจะประกอบด้วยโครงสร้างออสเทนไนท์เป็นหลัก เป็นแถบลายยาวตามทิศทางการรีด ลักษณะของเกรนจะมีขนาดสม่ำเสมอ (equiaxial growth) (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.10 b)

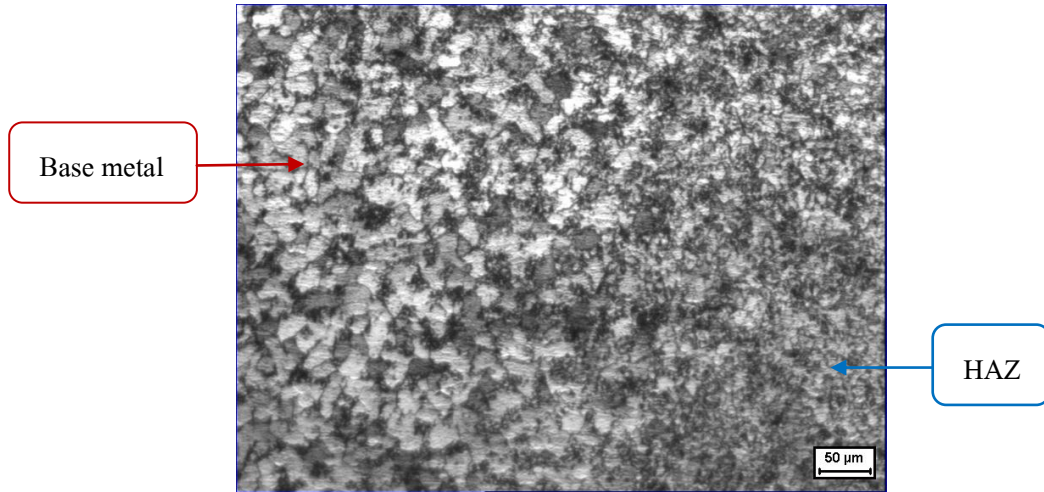


รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาค บริเวณโลหะงาน ของชิ้นงานทดสอบที่มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด ด้านเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ และเหล็กกล้าไร้สนิม กำลังขยาย 500 เท่า

#### 4.4.1.5 ผลกระทบต่อโครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะงาน (Base metal) ด้านเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ชิ้นงานขาด

โครงสร้างจุลภาคบริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) ด้านเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำพิจารณาบริเวณที่ติดกับรอยต่อการหลอมละลาย (Fusion Line) ระหว่างเนื้อรอยเชื่อมกับโลหะงาน จากอิทธิพลของความร้อน เมื่อยรอยเชื่อมเกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้องจะปรากฏโครงสร้างที่มีลักษณะเกรนหยาบโครงสร้างประกอบด้วยเฟอร์ไรท์ ฟีนีสขาวหรือสีจางมีทิศทางการเติบโตของเกรนในทุกทิศทาง และผลึกของคาร์ไบด์กระจายอยู่บริเวณขอบเกรน และโครงสร้างเพิร์ลไลต์กระจายอยู่ในโครงสร้างไปจนถึงบริเวณเนื้องาน (Base metal) ที่ไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อน ซึ่งโครงสร้างประกอบด้วยเฟอร์ไรท์เกรนที่มีขนาดโต ทั้งสองบริเวณมีความแตกต่างด้านโครงสร้างกัน

โดยสิ้นเชิงจึงส่งผลให้ชิ้นงานเมื่อนำไปทดสอบแรงดึงเกิดการขาดบริเวณด้านเนื้องานที่ไม่ได้รับความร้อน(ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.11 )



รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาค บริเวณ โลหะงาน(Base metal) และบริเวณกระทบร้อน (HAZ) ด้านเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ชิ้นงานขาด กำลังขยาย 100 เท่า

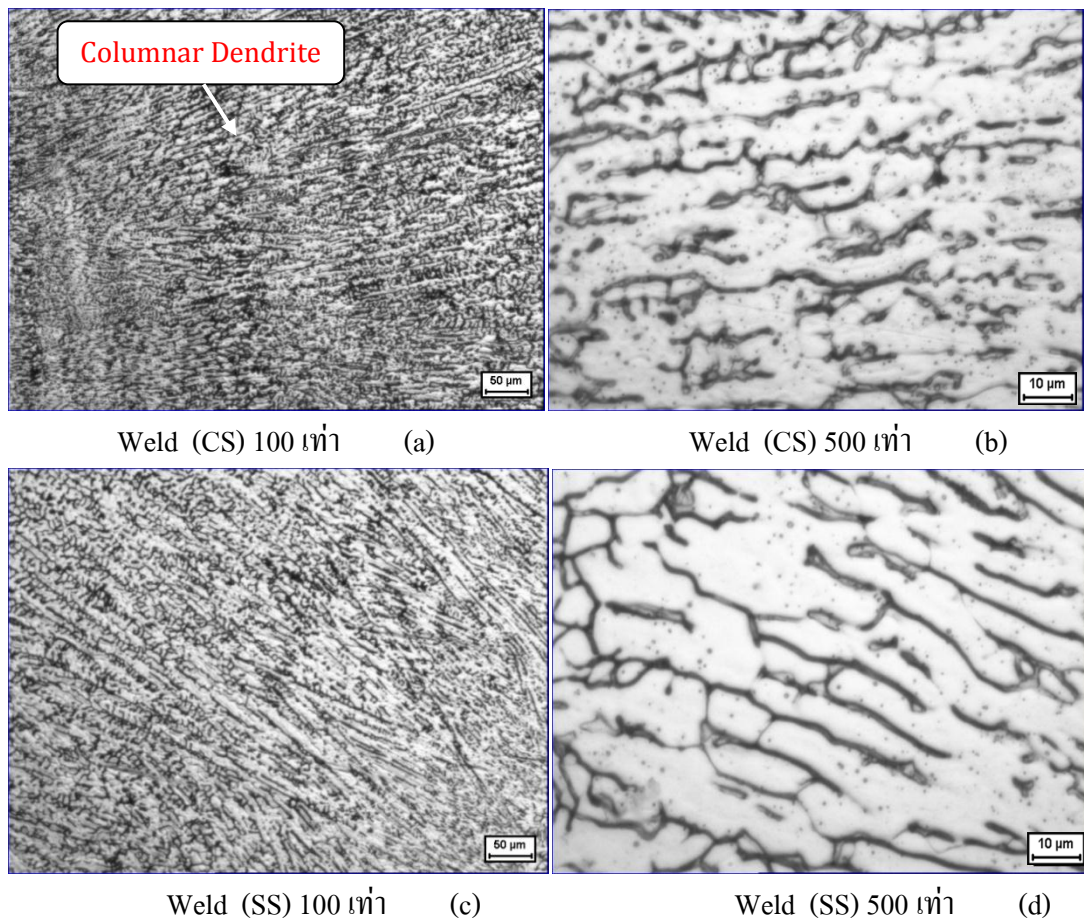
#### 4.4.2 โครงสร้างจุลภาค (Microstructure)และมหภาค (Macrostructure) ของชิ้นงานที่มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด

ในการทดลองเชื่อมต่อโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1010 กับเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ด้วยกระบวนการเชื่อม GMAW จากการเชื่อมที่พารามิเตอร์ ทำการเชื่อมซ้อนแนววิธี C (Method C : แนวที่ 1 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L, แนวที่ 2 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L, แนวที่ 3 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L) ใช้ความเร็วในการเชื่อมที่ 380 mm./min กล่าวคือการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าพารามิเตอร์การเชื่อมมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงด้านแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 371.87 N/mm<sup>2</sup> และเมื่อตรวจสอบโครงสร้างมหภาค และ โครงสร้างจุลภาคของโลหะฐาน (Base Metal) บริเวณผลกระทบร้อนจากการเชื่อม (HAZ) และบริเวณของรอยเชื่อม (Weld metal) ปรากฏผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของโลหะงานได้ ดังนี้

##### 4.4.1.1 ผลกระทบต่อโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อม (Weld metal)

ลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อเชื่อม (Weld Metal) หรือบริเวณที่เกิดการหลอมละลาย (Fusion zone) พิจารณาโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อมด้านเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ พบว่าโครงสร้างประกอบด้วยโครงสร้างออสเทนไนท์ และมีผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์(Cr<sub>23</sub> C<sub>6</sub>) กระจายอยู่ที่ขอบเกรน ลักษณะของโครงสร้างเริ่มต้นที่เส้นแบ่งเขตการหลอมละลาย ติดกับบริเวณได้รับผลกระทบจาก

ความร้อน (HAZ)เติบโตเป็นเดนไดรต์ (Dendrite) ขยายตัวยื่นเข้าไปในบ่อหลอมละลายเกิดเกรนหรือผลึกลักษณะเป็นแถบยาว (Columnar Grain) มีทิศทางพุ่งเข้าหาที่กึ่งกลางของรอยเชื่อมนอกจากนี้ยังพบกลุ่มของโครงสร้างเพิร์ลไลท์ (Pearlite) ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นคล้ายกับการหล่อโลหะ และเมื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อมด้านเหล็กกล้าสเตนเลส พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างจากรอยเชื่อมด้านเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ขนาดและรูปร่างของเกรนโดยที่มีปริมาณของโครงสร้างออสเทนไนท์มากกว่า มีผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์ กระจายอยู่ที่ขอบเกรน (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.12 a, b,c,d,e)

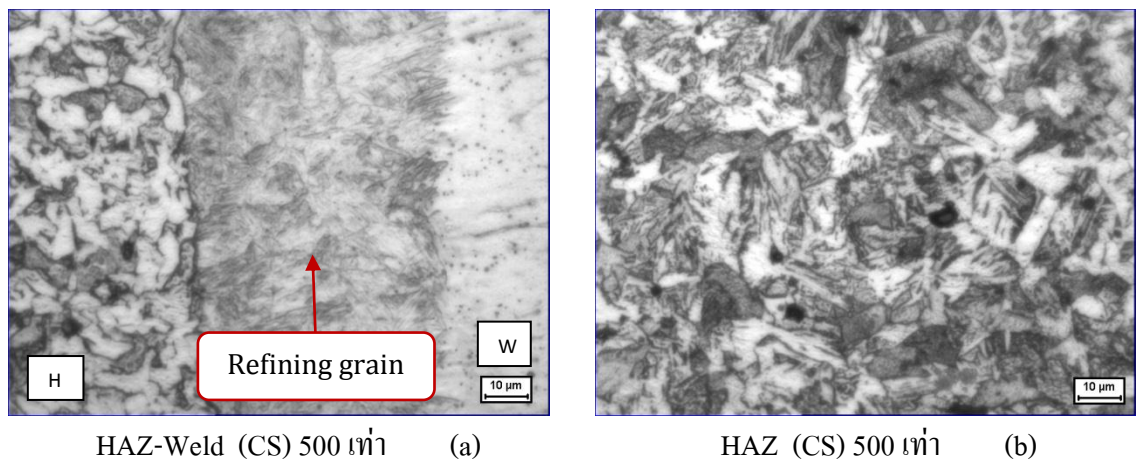


รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะ โครงสร้างจุลภาค บริเวณรอยเชื่อม ของชิ้นงานทดสอบที่มีค่าความเค้นแรงดึงเฉลี่ยต่ำสุด กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า

#### 4.4.1.2 ผลกระทบต่อโครงสร้างจุลภาคบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (Heat Affected Zone) ด้านเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

โครงสร้างจุลภาคบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) ด้านเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในช่วงที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดวิกฤติแต่ต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมละลายโดยมีลักษณะ

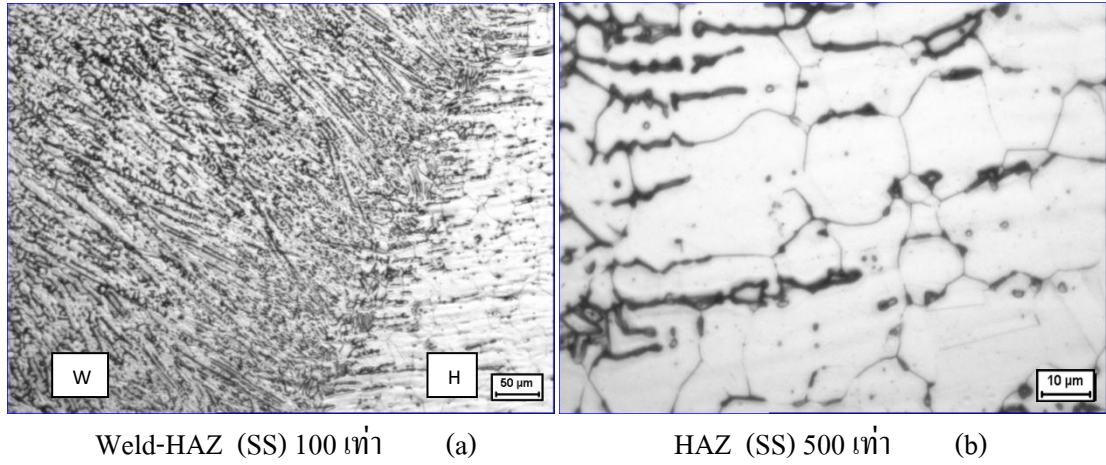
ของการจัดเรียงผลึกขึ้นใหม่ (Refining grain) จากอิทธิพลของความร้อน เมื่อรอยเชื่อมเกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้องจะปรากฏโครงสร้างที่มีลักษณะเกรนละเอียดซึ่งประกอบด้วยเฟอร์ไรท์ ฟีนีสขาวหรือสีจางและจะพบโครงสร้างเพิร์ลไลท์ มีทิศทางการเติบโตของเกรนในทุกทิศทาง และผลึกสีดำของคาร์ไบด์กระจายอยู่ในโครงสร้าง เมื่อพิจารณาโครงสร้างบริเวณถัดออกไปพบลักษณะโครงสร้างประกอบด้วยเกรนที่มีขนาดโตขึ้น โดยมีรูปร่างและขนาดกลมกลืนกับโครงสร้างบริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.13 a, b)



รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาค บริเวณได้รับผลกระทบร้อน (HAZ) ของชิ้นงานทดสอบที่มีค่าความเค้นแรงดึงเฉลี่ยต่ำสุด เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ กำลังขยาย 500 เท่า

#### 4.4.1.3 ผลกระทบต่อโครงสร้างจุลภาคบริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อน (Heat Affected Zone) ด้านเหล็กกล้าไร้สนิม

โครงสร้างจุลภาคบริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) ด้านเหล็กกล้าสแตนเลส เริ่มจากพื้นที่ติดกับเส้นแบ่งเขตการหลอมละลาย (Fusion Line) เนื่องจากมีลักษณะการเย็นตัวที่เร็วประกอบด้วยโครงสร้างออสเทนไนท์ ขณะเดียวกัน และพบผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์ ( $Cr_{23}C_6$ ) แพร่กระจายตามขอบเกรนและในเกรน กระจายทั่วไป และโครงสร้างในบริเวณนี้จะ มีรูปร่างและขนาดใกล้เคียงกลมกลืนกับโครงสร้างที่ไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.14 a, b)



**รูปที่ 4.14** แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาค บริเวณได้รับผลกระทบร้อน (HAZ) ของชิ้นงานทดสอบ ที่มีค่าความเค้นแรงดึงเฉลี่ยต่ำสุด เหล็กกล้าไร้สนิม กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า