

## บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

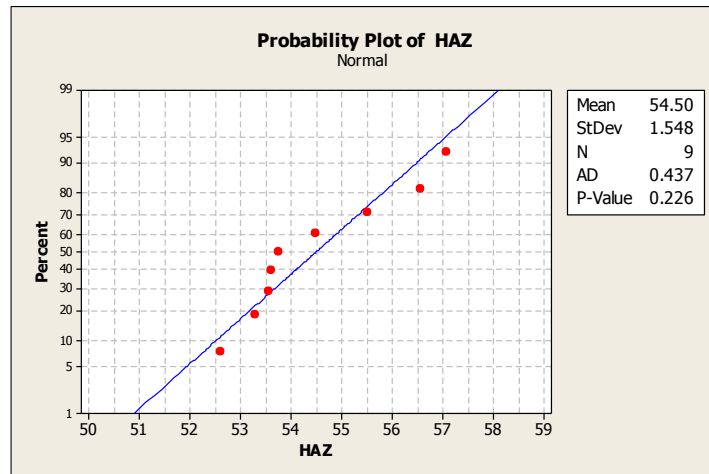
การศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์การเชื่อมต่อโครงสร้าง และสมบัติทางกล ของเหล็กกล้าไร้สนิมคูลเพล็กซ์ เกรด 2205 และเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 304 เพื่อศึกษาผลของพารามิเตอร์การเชื่อมที่มีต่อสมบัติทางกลบริเวณรอยเชื่อม (Weld metal) บริเวณกระทบร้อน (HAZ) และผลของพารามิเตอร์การเชื่อมที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างบริเวณรอยเชื่อม (Weld metal) และบริเวณกระทบร้อน (HAZ) ปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วย (1) ความเร็วในการเชื่อม 3 ระดับ คือ 95 , 100 และ 105 มม./นาที (2) กระแสเชื่อม กำหนดที่ 180 , 185 และ 190 แอมป์ ผลตอบสนองได้แก่ ความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ความแข็งแรงดึงจุดคราก (Yield Point) การวิเคราะห์โครงสร้างมหภาค และโครงสร้างจุลภาค โดยการหาค่าอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของตัวแปรแต่ละตัว และค่าอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ระหว่างตัวแปร

การวิเคราะห์ผลการทดลองใช้สถิติวิเคราะห์ข้อมูลแบบแผนการทดลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS 16 for Windows ช่วยในการคำนวณค่าทางสถิติ และทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยค่าทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ F-Ratio ที่ระดับนัยสำคัญ .01

### 4.1 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็ง

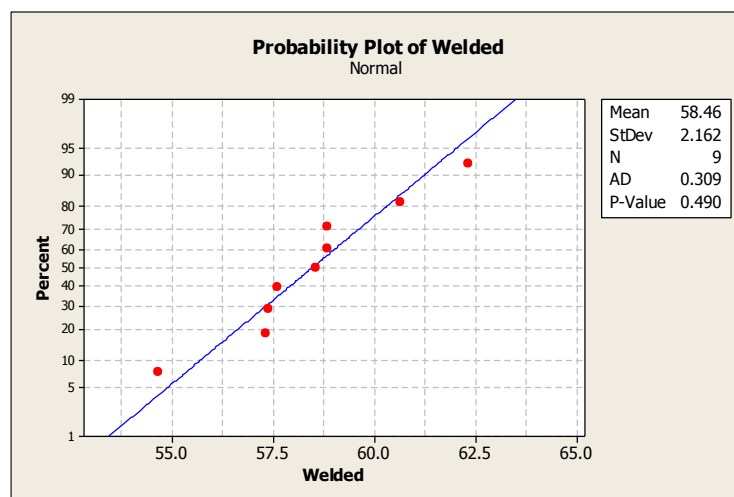
จากการทดลองพบว่า ความเร็วในการเชื่อม และ กระแสเชื่อม ต่อค่าความแข็ง(Hardness) โดยทำการวัดค่าการทดสอบที่ได้จากการทดสอบค่าความแข็งของรอยเชื่อม จะได้ค่าความแข็งในรอยเชื่อมของชิ้นงานทดสอบภายใต้เงื่อนไขการทดลองตามแผนการทดลอง แล้วนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ ดังรายละเอียด ดังต่อไปนี้

**4.1.1** การแจกแจงของข้อมูลของความเร็วในการเชื่อม และ กระแสเชื่อม ต่อค่าความแข็ง (Hardness) โดยพบว่าเมื่อกำหนดนัยสำคัญเท่ากับ .05 ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (Hardness) ทุกระดับของพารามิเตอร์การเชื่อมมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 4.1 การแจกแจงข้อมูลการทดสอบค่าความแข็ง บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ)

จากรูปที่ 4.1 ผลการทดลองทดลองเบื้องต้นของความเร็วในการเชื่อม และ กระแสเชื่อม ในการหาค่าความแข็งที่บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ) พบว่าค่า P-Value = .226 > .05 จึงสรุปได้ว่าข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงปกติ



รูปที่ 4.2 การแจกแจงข้อมูลการทดสอบค่าความแข็ง บริเวณแนวเชื่อม(Welded)

จากรูปที่ 4.2 ผลการทดลองทดลองเบื้องต้นของความเร็วในการเชื่อม และ กระแสเชื่อม ในการหาค่าความแข็งที่บริเวณแนวเชื่อม(Welded) พบว่าค่า P-Value = .490 > .05 จึงสรุปได้ว่าข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงปกติ

**4.1.2** ทำการตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลแล้วทำการทดสอบการกระจายของข้อมูลของค่าความแข็ง (Hardness)

**4.1.3** ทำการพิจารณาการกระจายของข้อมูลแล้ว นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของความเร็วในการเชื่อม และ กระแสเชื่อม ที่มีผลต่อความแข็ง

**ตารางที่ 4.1** แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ของค่าตัวแปรตอบสนองต่อความแข็ง (Hardness) บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ)

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:hardH

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	41.534 <sup>a</sup>	8	5.192	10.778	.001
Intercept	54310.719	1	54310.719	1.128E5	.000
speed	27.220	2	13.610	28.255	.000
amp	6.819	2	3.409	7.078	.014
speed * amp	7.496	4	1.874	3.890	.042
Error	4.335	9	.482		
Total	54356.589	18			
Corrected Total	45.869	17			

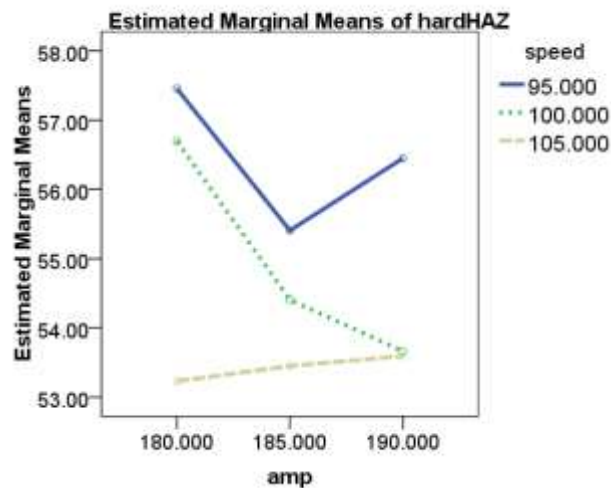
a. R Squared = .905 (Adjusted R Squared = .821)

#### 4.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ)

ความเร็วที่ใช้ในการเชื่อม (Speed) จำนวน F-test ได้ 28.255 และมีนัยสำคัญที่ระดับ  $.000 < .05$  แสดงว่าปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือ ที่ระดับความเร็วในการเชื่อม (Speed) ที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าความแข็ง (Hardness) บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) แตกต่างกันอย่างสถิติ มีนัยสำคัญที่ระดับ.05

กระแสเชื่อม (Amp) จำนวน F-test ได้ 7.078 และมีนัยสำคัญที่ระดับ  $.014 < .05$  แสดงว่าปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือ กระแสเชื่อม (Amp) ในการเชื่อมที่ต่างกันมีผลต่อค่าความความแข็ง (Hardness) บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ) แตกต่างกันอย่างสถิติ มีนัยสำคัญที่ระดับ.05

ปฏิสัมพันธ์อิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่าง กระแสเชื่อม (Amp) และความเร็วในการเชื่อม (Speed) จำนวน F-test ได้ 3.890 และมีนัยสำคัญที่ระดับ  $.042 < .05$  แสดงว่าปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือปฏิสัมพันธ์อิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่าง กระแสเชื่อม (Amp) และความเร็วในการเชื่อม (Speed) มีผลต่อค่าความความแข็ง (Hardness) บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ) แตกต่างกันอย่างสถิติ มีนัยสำคัญที่ระดับ.05



**รูปที่ 4.3** แสดงกราฟปฏิสัมพันธ์อิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างกระแสเชื่อม (Amp) และความเร็วในการเชื่อม (Speed) ต่อค่าความแข็งบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ)

จากรูปที่ 4.3 ผลการสร้างกราฟปฏิสัมพันธ์ พบว่าปัจจัยร่วม (Interaction) ระหว่างกระแสเชื่อม (Amp) และความเร็วในการเชื่อม (Speed) ที่มีผลต่อการเติมเนื้อโลหะด้านความแข็ง (Hardness) บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ) คือที่ความเร็วในการเชื่อม 95 มม./นาที ระดับกระแสเชื่อม 180 แอมป์ มีค่าความแข็งโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 57.883 HRA ถ้าเปลี่ยนระดับของกระแสเชื่อม พบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนถึงระดับกระแสเชื่อมที่ 185 แอมป์ เริ่มปรับตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับกระแสเชื่อม ถ้าความเร็วในการเชื่อมเพิ่มขึ้นเป็น 100 มม./นาที ที่กระแสเชื่อม 180 แอมป์ พบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ และเมื่อความเร็วในการเชื่อมเพิ่มขึ้นเป็น 105 มม./นาที พบว่าที่กระแสเชื่อมที่ 180 แอมป์ จะให้ค่าความแข็งต่ำกว่าระดับของความเร็วในการเชื่อมที่ 100 มม./นาที แต่เมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นพบว่า ค่าความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ของค่าตัวแปรตอบสนองต่อความแข็ง ( Hardness )  
บริเวณแนวเชื่อม(Welded)

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:hardw

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	45.054 <sup>a</sup>	8	5.632	7.548	.003
Intercept	62067.980	1	62067.980	8.319E4	.000
speed	13.393	2	6.697	8.976	.007
amp	20.522	2	10.261	13.753	.002
speed * amp	11.138	4	2.785	3.732	.047
Error	6.715	9	.746		
Total	62119.748	18			
Corrected Total	51.768	17			

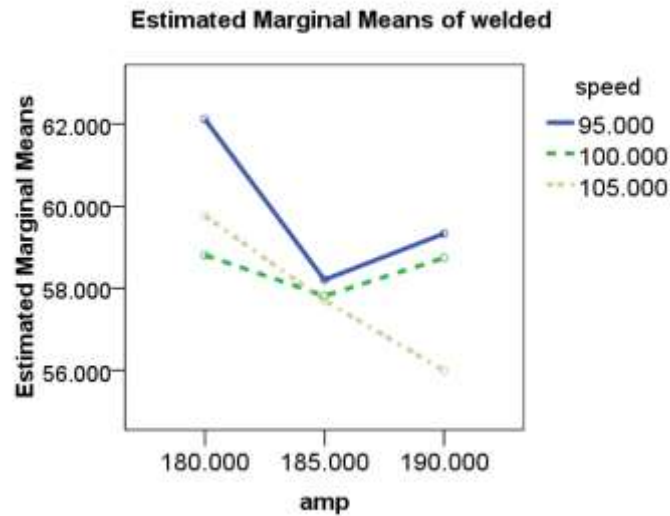
a. R Squared = .870 (Adjusted R Squared = .755)

### 4.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติบริเวณแนวเชื่อม (Welded)

ความเร็วที่ใช้ในการเชื่อม (Speed) คำนวณ F-test ได้ 8.976 และมีนัยสำคัญที่ระดับ  $.007 < .05$  แสดงว่าปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือ ที่ระดับความเร็วในการเชื่อม (Speed) ที่แตกต่างกันมีผลต่อความแข็งแรง ( Hardness ) แตกต่างกันอย่างสถิติ มีนัยสำคัญที่ระดับ.05

กระแสเชื่อม (Amp) คำนวณ F-test ได้ 13.753 และมีนัยสำคัญที่ระดับ  $.002 < .05$  แสดงว่าปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือ กระแสเชื่อม (Amp) ในการเชื่อมที่ต่างกันมีผลต่อค่าความแข็ง ( Hardness ) ต่างกันทางสถิติ มีนัยสำคัญที่ระดับ.05

ปฏิสัมพันธ์อิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่าง กระแสเชื่อม (Amp) และความเร็วในการเชื่อม (Speed) คำนวณ F-test ได้ 3.732 และมีนัยสำคัญที่ระดับ  $.047 < .05$  แสดงว่าปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือปฏิสัมพันธ์อิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่าง กระแสเชื่อม (Amp) และความเร็วในการเชื่อม (Speed) มีผลต่อค่าความแข็ง ( Hardness ) มีนัยสำคัญที่ระดับ .05



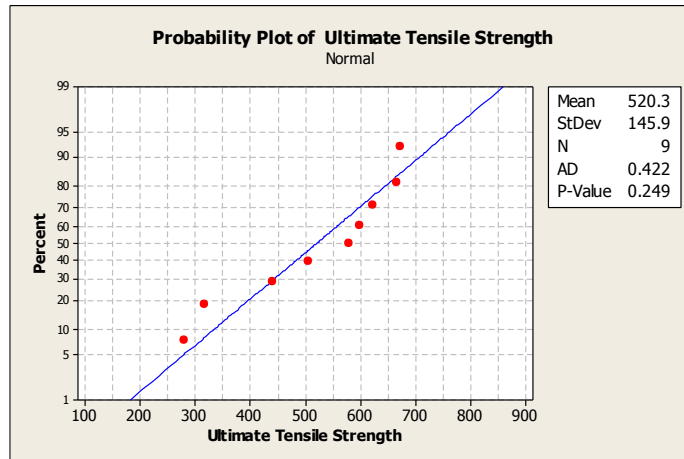
**รูปที่ 4.4** แสดงกราฟปฏิสัมพันธ์หรืออิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างกระแสเชื่อม (Amp) และความเร็วในการเชื่อม (Speed) ต่อค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อม

จากรูปที่ 4.4 ผลการสร้างกราฟปฏิสัมพันธ์ พบว่าปัจจัยร่วม (Interaction) ระหว่างกระแสเชื่อม (Amp) และความเร็วในการเชื่อม (Speed) ที่มีผลต่อการเติมเนื้อโลหะด้านความแข็ง (Hardness) บริเวณแนวเชื่อม คือที่ความเร็วในการเชื่อม 95 มม./นาที ระดับกระแสเชื่อม 180 แอมป์ มีค่าความแข็งแรงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 62.316 HRA ถ้าเปลี่ยนระดับของกระแสเชื่อม พบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนถึงระดับกระแสเชื่อมที่ 185 แอมป์ เริ่มปรับตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับกระแสเชื่อม ที่กระแสเชื่อม 180 แอมป์ระดับความเร็วในการเชื่อมเพิ่มขึ้นเป็น 100 มม./นาที พบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนถึงระดับกระแสเชื่อมที่ 185 แอมป์ เริ่มปรับตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับกระแสเชื่อม และที่ความเร็วในการเชื่อมเพิ่มขึ้นเป็น 105 มม./นาที ที่กระแสเชื่อมที่ 180 แอมป์ จะให้ค่าความแข็งสูงกว่าระดับของความเร็วในการเชื่อมที่ 100 มม./นาที แต่เมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นพบว่า ค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลง และลดลงต่ำสุดที่กระแสเชื่อมอยู่ที่ 190 แอมป์

#### 4.4 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งแรงดึงสูงสุด

จากการทดลองพบว่า ความเร็วในการเชื่อม และ กระแสเชื่อม ต่อความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) โดยทำการวัดค่าการทดสอบที่ได้จากการทดสอบแรงดึงของรอยเชื่อม จะได้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด ในรอยเชื่อมของชิ้นงานทดสอบภายใต้เงื่อนไขการทดลองตามแผนการทดลอง แล้วนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ ดังรายละเอียด ดังต่อไปนี้

**4.4.1** การแจกแจงของข้อมูลของความเร็วในการเชื่อม และ กระแสเชื่อม ต่อความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) โดยพบว่าเมื่อกำหนดนัยสำคัญเท่ากับ .01 ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ทุกระดับของพารามิเตอร์การเชื่อมมีการแจกแจงแบบปกติ



**รูปที่ 4.5** การทดสอบการแจกแจงข้อมูลค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength)

**4.4.2** ทำการตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลแล้วทำการทดสอบการกระจายของข้อมูลของค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength)

**4.4.3** ทำการพิจารณาการกระจายของข้อมูลแล้ว นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของความเร็วในการเชื่อม และ กระแสเชื่อม ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงสูงสุด

**ตารางที่ 4.3** แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ของค่าตัวแปรตอบสนองต่อความแข็งแรงดึงสูงสุด  
(Ultimate Tensile Strength)

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable:tensile

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	202009.617 <sup>a</sup>	8	25251.202	10.754	.001
Intercept	5861311.641	1	5861311.641	2.496E3	.000
speed	68829.077	2	34414.539	14.657	.001
amp	48114.867	2	24057.434	10.246	.005
speed * amp	85065.672	4	21266.418	9.057	.003
Error	21132.462	9	2348.051		
Total	6084453.719	18			
Corrected Total	223142.079	17			

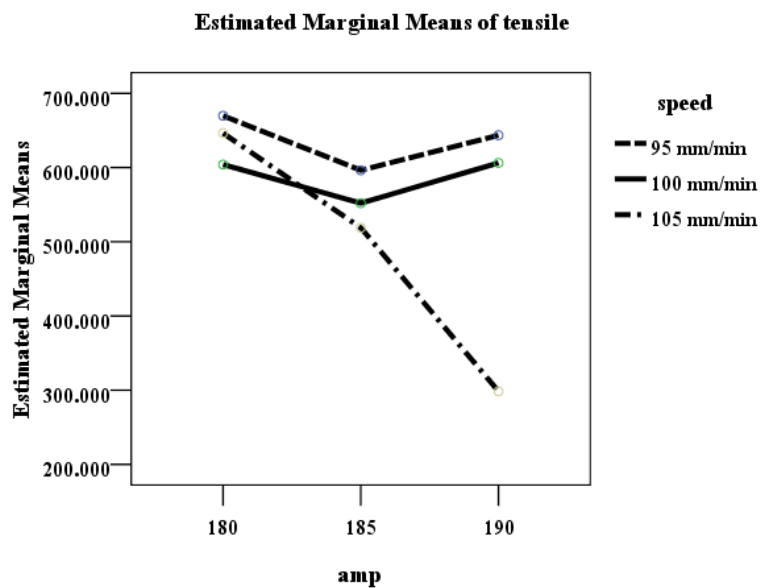
a. R Squared = .905 (Adjusted R Squared = .821)

#### 4.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ความเร็วที่ใช้ในการเชื่อม (Speed) จำนวน F-test ได้ 14.657 และมีนัยสำคัญที่ระดับ  $.001 < .01$  แสดงว่าปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือ ที่ระดับความเร็วในการเชื่อม (Speed) ที่แตกต่างกันมีผลต่อความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) แตกต่างกันอย่างสถิติ มีนัยสำคัญที่ระดับ.01

กระแสเชื่อม (Amp) จำนวน F-test ได้ 10.246 และมีนัยสำคัญที่ระดับ  $.005 < .01$  แสดงว่าปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือ กระแสเชื่อม (Amp) ในการเชื่อมที่ต่างกันมีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด(Ultimate Tensile Strength) ต่างกันทางสถิติ มีนัยสำคัญที่ระดับ.01

ปฏิสัมพันธ์อิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่าง กระแสเชื่อม (Amp) และความเร็วในการเชื่อม (Speed) คำนวณ F-test ได้ 9.057 และมีนัยสำคัญที่ระดับ  $.003 < .01$  แสดงว่าปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือปฏิสัมพันธ์อิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่าง กระแสเชื่อม (Amp) และความเร็วในการเชื่อม (Speed) มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด(Ultimate Tensile Strength) มีนัยสำคัญที่ระดับ  $.01$



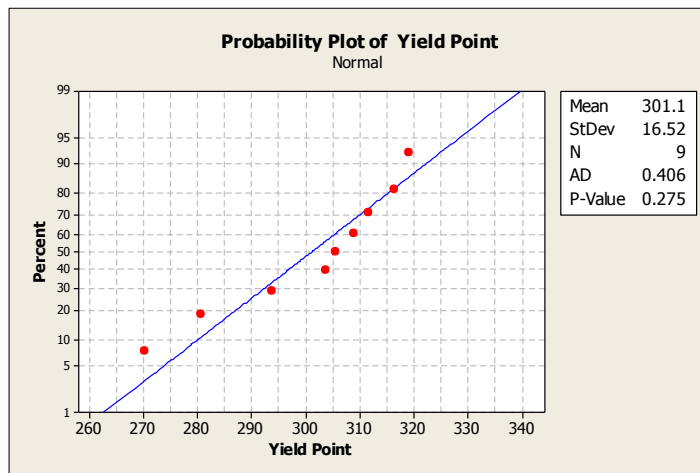
**รูปที่ 4.6** แสดงกราฟปฏิสัมพันธ์อิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างกระแสเชื่อม (Amp) และความเร็วในการเชื่อม (Speed)

จากรูปที่ 4.6 ผลการสร้างกราฟปฏิสัมพันธ์ พบว่าปัจจัยร่วม (Interaction) ระหว่างกระแสเชื่อม (Amp) และความเร็วในการเชื่อม (Speed) ที่มีผลต่อการเติมเนื้อโลหะด้านความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) คือที่ความเร็วในการเชื่อม 95 มม./นาที ระดับกระแสเชื่อม 180 แอมป์ มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดโดยเฉลี่ยอยู่ที่  $672.151 \text{ N/mm}^2$  ถ้าเปลี่ยนระดับของกระแสเชื่อม พบว่าค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ จนถึงระดับกระแสเชื่อมที่ 185 แอมป์ เริ่มปรับตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับกระแสเชื่อม ถ้าความเร็วในการเชื่อมเพิ่มขึ้นเป็น 100 มม./นาที ที่กระแสเชื่อม 180 แอมป์ พบว่าค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ จากนั้นเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นที่ 185 แอมป์ ความแข็งแรงดึงสูงสุดก็เพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อความเร็วในการเชื่อมเพิ่มขึ้นเป็น 105 มม./นาที ที่กระแสเชื่อมที่ 180 แอมป์ จะให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดสูงกว่าระดับของความเร็วในการเชื่อมที่ 100 มม./นาที แต่เมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นพบว่า ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดมีค่าลดลงอย่างมาก และลดลงต่ำสุดที่กระแสเชื่อมอยู่ที่ 190 แอมป์

## 4.6 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งแรงดึงจุดคราก

จากการทดลองทำให้พบว่า ความเร็วในการเชื่อม และ กระแสเชื่อม ต่อความแข็งแรงดึงจุดคราก (Yield Point) โดยทำการวัดค่าการทดสอบที่ได้จากการทดสอบแรงดึงของรอยเชื่อม จะได้ค่าความแข็งแรงดึงจุดคราก (Yield Point) ในรอยเชื่อมของชิ้นงานทดสอบภายใต้เงื่อนไขการทดลองตามแผนการทดลอง แล้วนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ ดังรายละเอียด ดังต่อไปนี้

**4.6.1** การแจกแจงของข้อมูลของความเร็วในการเชื่อม และ กระแสเชื่อม ต่อความแข็งแรงดึงจุดคราก(Yield Point) โดยพบว่าเมื่อกำหนดนัยสำคัญเท่ากับ .01 ค่าความแข็งแรงดึงจุดคราก(Yield Point) ทุกระดับของพารามิเตอร์การเชื่อมมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 4.7 การทดสอบการแจกแจงข้อมูลค่าความแข็งแรงดึงจุดคราก (Yield Point)

**4.6.2** ทำการตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลแล้วทำการทดสอบการกระจายของข้อมูลของค่าความแข็งแรงดึงจุดคราก (Yield Point)

**4.6.3** ทำการพิจารณาการกระจายของข้อมูลแล้ว นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของความเร็วในการเชื่อม และ กระแสเชื่อม ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงจุดคราก (Yield Point)

ตารางที่ 4.4 แสดงตารางการวิเคราะห์ ANOVA ของค่าตัวแปรตอบสนองต่อความแข็งแรงดึง  
จุดคราก (Yield Point)

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: yield

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6299.343 <sup>a</sup>	8	787.418	5.415	.010
Intercept	1686902.426	1	1686902.426	1.160E4	.000
amp	229.378	2	114.689	.789	.483
speed	1352.609	2	676.304	4.651	.041
amp * speed	4717.356	4	1179.339	8.110	.005
Error	1308.757	9	145.417		
Total	1694510.525	18			
Corrected Total	7608.099	17			

a. R Squared = .828 (Adjusted R Squared = .675)

### 4.7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ปฏิสัมพันธ์อิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่าง กระแสเชื่อม (Amp) และความเร็วในการเชื่อม (Speed) คำนวณ F-test ได้ 8.110 และมีนัยสำคัญที่ระดับ  $.005 < .01$  แสดงว่าปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือปฏิสัมพันธ์อิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่าง กระแสเชื่อม (Amp) และความเร็วในการเชื่อม (Speed) มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงจุดคราก (Yield Point) โดยมีนัยสำคัญที่ระดับ  $.01$

ตารางที่ 4.5 แสดงความแตกต่างของระดับของความเร็วในการเชื่อม (Speed) โดยวิธี LSD ต่อความแข็งแรงดึงจุดคราก (Yield Point)

### Multiple Comparisons

yield

LSD

(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
speed 95	speed 100	20.97717*	6.962217	.015	5.22754	36.72680
	speed 105	13.33833	6.962217	.088	-2.41130	29.08796
speed 100	speed 95	-20.97717*	6.962217	.015	-36.72680	-5.22754
	speed 105	-7.63883	6.962217	.301	-23.38846	8.11080
speed 105	speed 95	-13.33833	6.962217	.088	-29.08796	2.41130
	speed 100	7.63883	6.962217	.301	-8.11080	23.38846

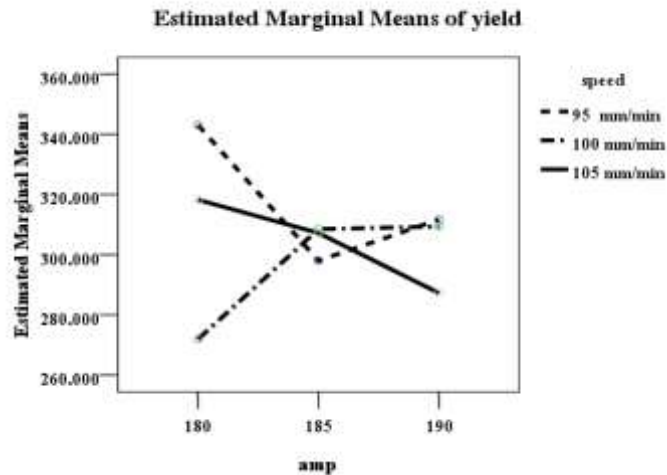
Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) =

145.417.

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

จากตารางที่ 4.5 เมื่อใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบ LSD พบว่าที่ระดับความเร็วในการเชื่อม (Speed) มีเพียง 1 คู่เท่านั้นที่ พบว่ามีนัยสำคัญของการทดสอบ คือ คู่ของความเร็วในการเชื่อมที่ 95 มม./นาที กับ 100 มม./นาที ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ความเร็วในการเชื่อม (Speed) ของแต่ละระดับ แตกต่างกันอย่างสถิติมีนัยสำคัญที่ระดับ .01



**รูปที่ 4.8** แสดงกราฟอิทธิพลร่วม (Interaction) กระแสเชื่อม (Amp) ความเร็วในการเชื่อม (Speed)

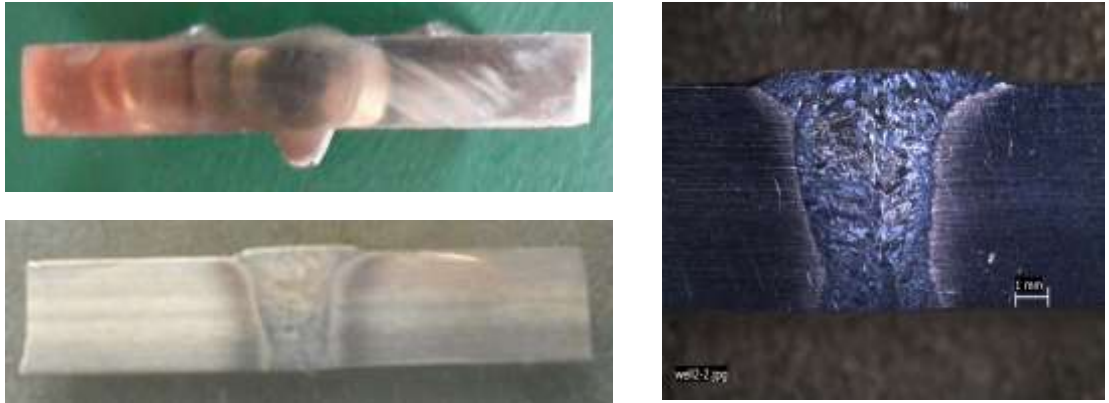
เมื่อพิจารณารูปที่ 4.8 จากความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสเชื่อม (Amp) ความเร็วในการเชื่อม (Speed) ที่มีผลต่อการเติมเนื้อโลหะด้านความแข็งแรงถึงจุดคราก (Yield Point) เฉลี่ยแยกตามระดับของ กระแสเชื่อม และความเร็วในการเชื่อม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่าค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงถึงจุดคราก (Yield Point) สูงสุด เมื่อทำการเชื่อมที่กระแสเชื่อม 180 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 95 มม./นาที่ จะได้ค่าความแข็งแรงถึงจุดคราก (Yield Point) เท่ากับ  $336.924 \text{ N/mm}^2$  ซึ่งสูงกว่าทุก ๆ ค่าที่ระดับของตัวแปรต่าง ๆ และในขณะเดียวกันค่าความแข็งแรงถึงจุดคราก (Yield Point) เฉลี่ยที่ต่ำสุดได้แก่การเชื่อมที่ กระแสเชื่อม 180 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 100 มม./นาที่ ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $270.206 \text{ N/mm}^2$

#### 4.8 การวิเคราะห์โครงสร้างมหภาค และ โครงสร้างจุลภาค

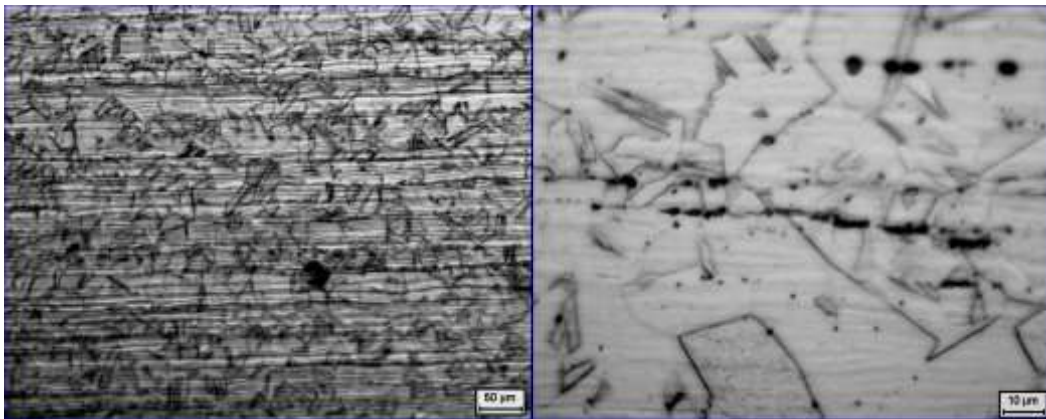
การวิเคราะห์โครงสร้างมหภาค และ โครงสร้างจุลภาค ได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นชิ้นงานที่มีค่าความแข็ง (Hardness) สูงสุด ชิ้นงานทดสอบที่มีค่าความแข็ง (Hardness) ต่ำสุด ชิ้นงานที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ที่สูงที่สุด และชิ้นงานทดสอบที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ที่ต่ำสุด ดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### 4.8.1 โครงสร้างมหภาค และ โครงสร้างจุลภาคชิ้นงานที่ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด

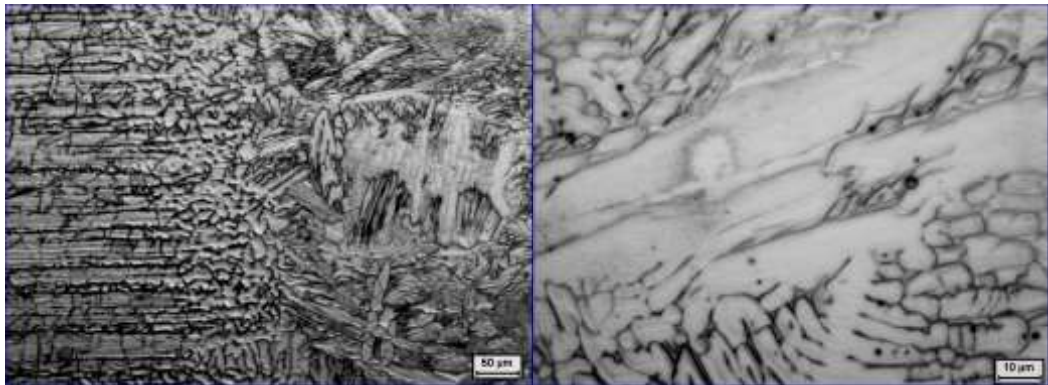
จากการทดสอบพารามิเตอร์การเชื่อม พบว่าชิ้นงานที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) มากที่สุดคือการเชื่อมที่พารามิเตอร์ ที่กระแสเชื่อมเท่ากับ 180 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม ที่ 95 มม./นาที ซึ่งมึค่าเท่ากับ  $672.151 \text{ N/mm}^2$  และเมื่อทำการตรวจสอบโครงสร้างสามารถวิเคราะห์ ได้ดังรูปที่ 4.9



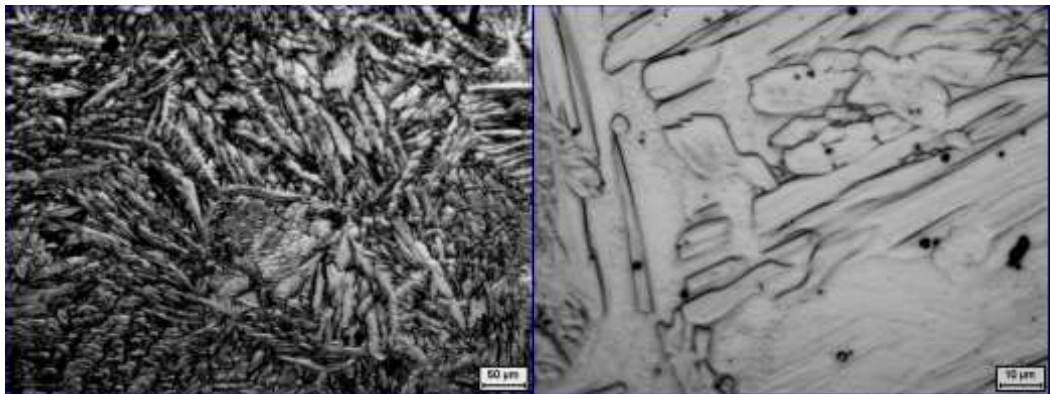
รูปที่ 4.9 ก แสดง โครงสร้างมหภาคของชิ้นงานที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด



รูปที่ 4.9 ข แสดงลักษณะโครงสร้างบริเวณเนื้อโลหะงาน 304



รูปที่ 4.9 ค แสดงลักษณะโครงสร้างบริเวณHAZ



รูปที่ 4.9 ง แสดงลักษณะโครงสร้างบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม 2205

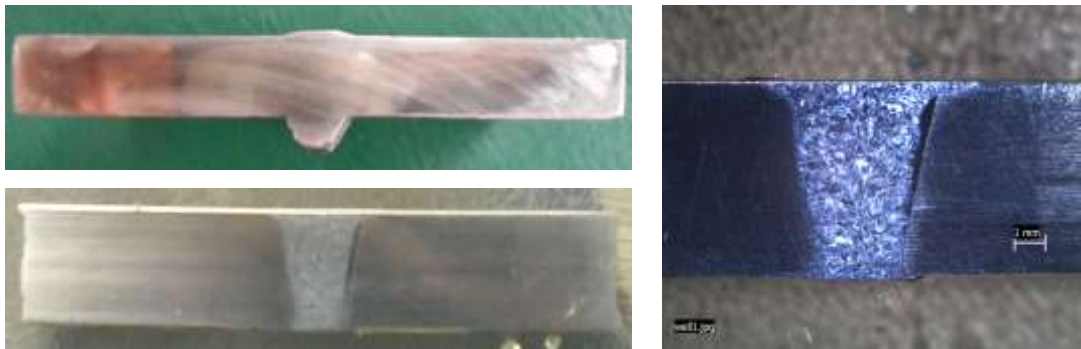
รูปที่ 4.9 ก. แสดงลักษณะของ โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อม ข.แสดงลักษณะของ โครงสร้างจุลภาค บริเวณโลหะงาน 304 (Baste Metal) ค.แสดงลักษณะของ โครงสร้างจุลภาคบริเวณ HAZ ของรอยเชื่อม ง. แสดง โครงสร้างจุลภาคบริเวณบริเวณเนื้อ โลหะเชื่อม 2205

โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดที่มีค่าสูงสุดแต่ละบริเวณ ดังรูป 4.9 ด้วยกำลังขยาย 100 และ 500 เท่า บริเวณโลหะเดิม (Base metal) เป็นโครงสร้างจุลภาคของโลหะงานบริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบร้อนจากการเชื่อม เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI304 มีโครงสร้างหลักเป็นออสเทนไนต์ (Austenite) เป็นแถบลายยาวตามทิศทางการรีด ลักษณะของเกรนจะมีขนาดสม่ำเสมอ ที่ของบริเวณกระทบร้อนมีบริเวณกว้างพอสมควร ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเนื่องจากการแพร่ของความร้อน โดยมีลักษณะของการจัดเรียงผลึกขึ้นใหม่ ประกอบด้วยโครงสร้างออสเทนไนต์ และผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์เกิดขึ้น บริเวณถัดไปพบว่า โครงสร้างมีลักษณะเกรนที่โต โครงสร้างในบริเวณนี้จะมีรูปร่างและขนาดใกล้เคียงกับโครงสร้าง

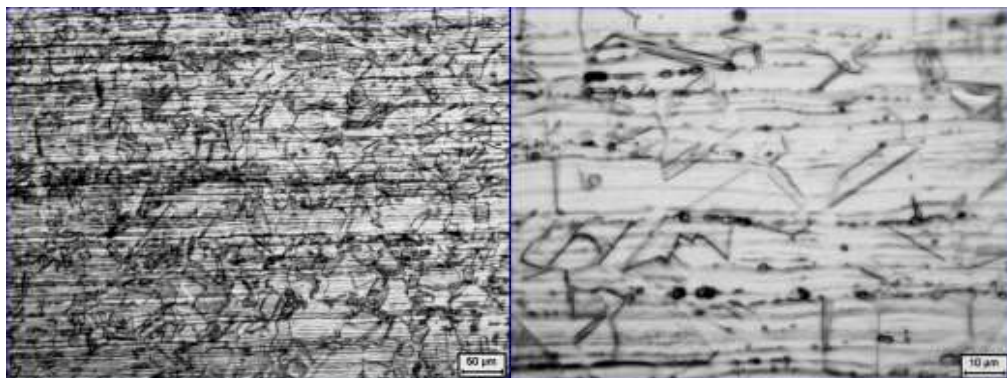
บริเวณไม่ได้รับผลกระทบร้อนจากการเชื่อม และถัดจากบริเวณกระทบร้อนเข้าไปหาจุดศูนย์กลางของการอาร์ค เป็นบริเวณที่เกิดการหลอมละลาย (Fusion Zone) และมีการแข็งตัวเกิดขึ้น บริเวณดังกล่าวเป็นโครงสร้างของเหล็กกล้าเพอแล็กซ์ 2205 ซึ่งมีโครงสร้างเฟอร์ไรท์และโครงสร้างออสเทนไนท์อย่างละ 50 % โดยประมาณ โดยมีพื้นเป็นโครงสร้างเฟอร์ไรท์และโครงสร้างออสเทนไนท์โดยมีลักษณะเป็นเส้นไม่ยาวมากเกาะกันเป็นกลุ่ม

#### 4.8.2 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่มีความแข็งแรงดึงสูงสุด ที่ต่ำสุด

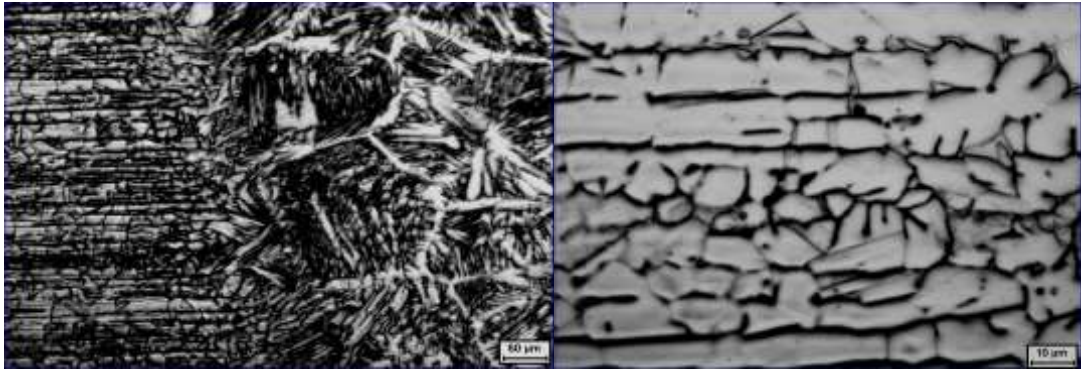
จากการทดสอบพารามิเตอร์การเชื่อม พบว่าชิ้นงานที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ต่ำที่สุดคือการเชื่อมที่พารามิเตอร์ ที่กระแสเชื่อมเท่ากับ 190 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อมที่ 105 มม./นาที ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $280.683 \text{ N/mm}^2$  และเมื่อตรวจสอบโครงสร้างสามารถวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 4.10



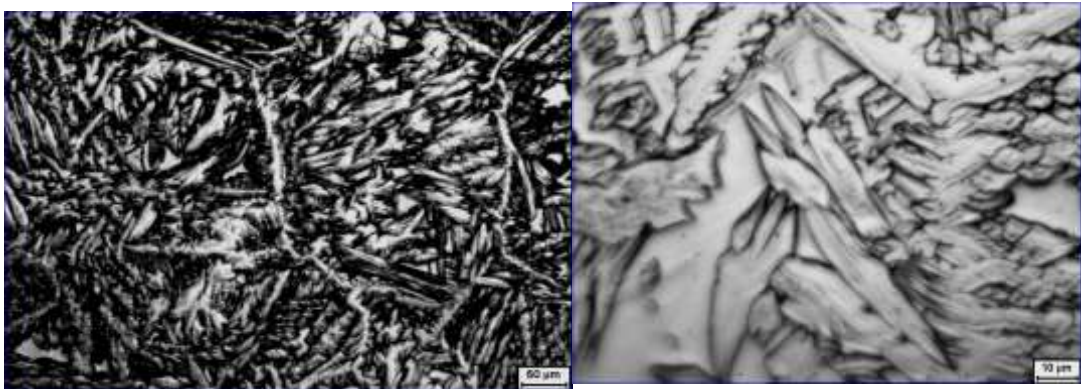
รูปที่ 4.10 ก แสดงโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานที่มีค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุด



รูปที่ 4.10 ข แสดงลักษณะโครงสร้างบริเวณเนื้อโลหะงาน 304



รูปที่ 4.10 ค แสดงลักษณะโครงสร้างบริเวณHAZ



รูปที่ 4.10 ง แสดงลักษณะโครงสร้างบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม 2205

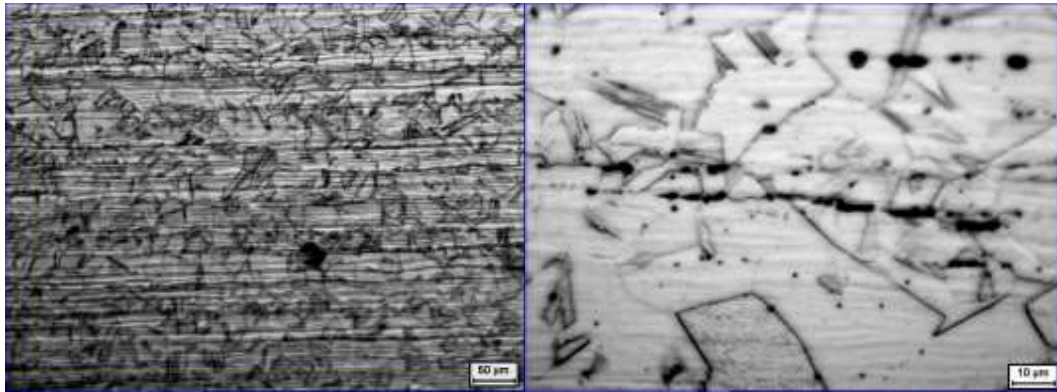
รูปที่ 4.10 ก. แสดงลักษณะของโครงสร้างมหภาค ข.แสดงลักษณะของโครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะงาน (Baste Metal) ค.แสดงลักษณะของโครงสร้างจุลภาคบริเวณ HAZ ของรอยเชื่อม ง. แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม 2205

เมื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดที่มีค่าต่ำสุดแต่ละบริเวณ ดังรูป 4.10 ด้วยกำลังขยาย 100 และ 500 เท่า บริเวณโลหะเดิม (Base metal) เป็นโครงสร้างจุลภาคของโลหะงานบริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบร้อนจากการเชื่อม เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม ออสเทนนิติก AISI304 มีโครงสร้างหลักเป็นออสเทนไนต์ (Austenite) ลักษณะของเกรนจะมีขนาดสม่ำเสมอ พื้นที่ของบริเวณกระทบร้อน มีพื้นที่แคบมีลักษณะของการจัดเรียงผลึกขึ้นใหม่ผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์ มีกระจายตัวหนาแน่น โครงสร้างในบริเวณนี้จะมีรูปร่างและขนาดใกล้เคียงกับบริเวณโลหะเดิม (Base metal) ถัดจากบริเวณกระทบร้อนเข้าไปหาจุดศูนย์กลางของการอาร์ค เป็นบริเวณที่เกิดการหลอมละลาย (Fusion Zone) เป็นโครงสร้างออสเทนไนต์ที่เป็นเส้นเกิดขึ้นตามขอบ

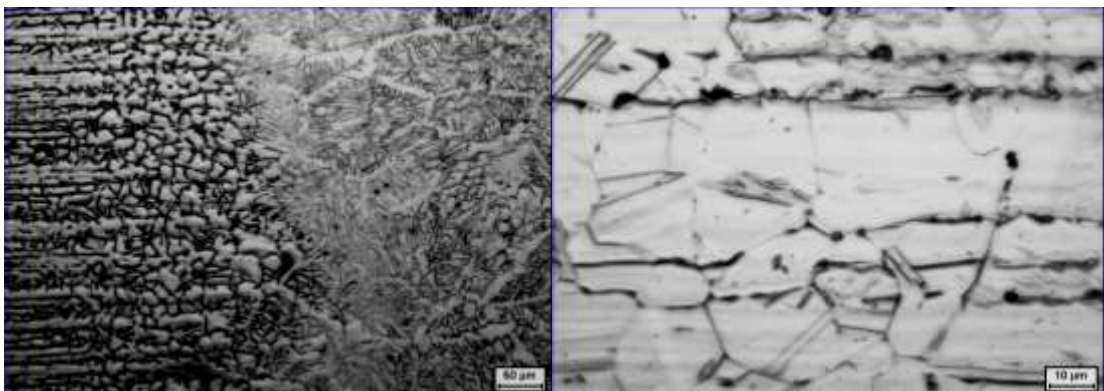
เกรนโครงสร้างเฟอร์ไรท์จะมีขนาดเส้นที่ใหญ่ โครงสร้างออสเทนไนท์ลักษณะเกร็ดก้อนที่อยู่ภายในเกรนก็มีขนาดใหญ่เช่นกันและโครงสร้างออสเทนไนท์ลักษณะก้อนยาวมีการขยายขนาดเป็นเกร็ดโดยรอบ

#### 4.8.3 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่มีความแข็งสูงสุด

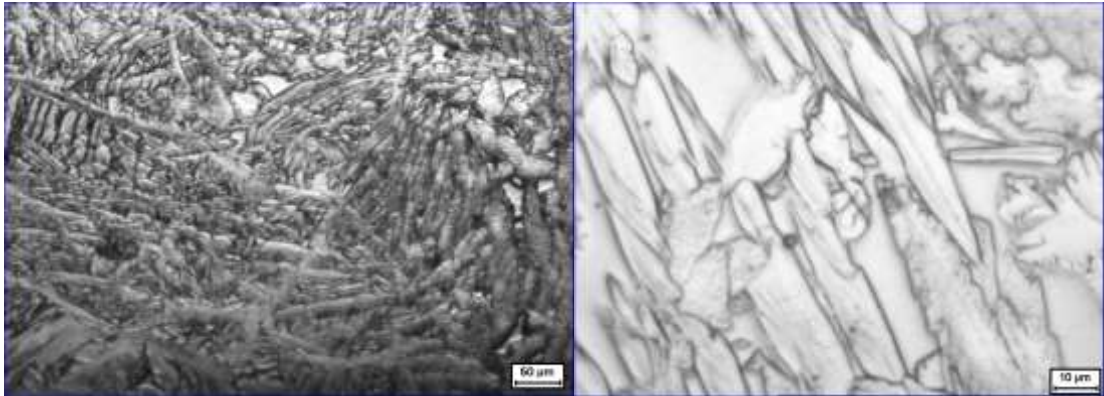
จากการทดสอบพารามิเตอร์การเชื่อม พบว่าชิ้นงานที่มีค่าความแข็งสูงสุด (Hardness) มากที่สุดคือการเชื่อมที่พารามิเตอร์ ที่กระแสเชื่อมเท่ากับ 180 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อมที่ 95 มม./นาที ซึ่งมีค่าเท่ากับ 62.316 HRA และเมื่อทำการตรวจสอบโครงสร้างสามารถวิเคราะห์ได้ รูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ก แสดงลักษณะโครงสร้างบริเวณเนื้อโลหะงาน 304



รูปที่ 4.11 ข แสดงลักษณะโครงสร้างบริเวณ HAZ



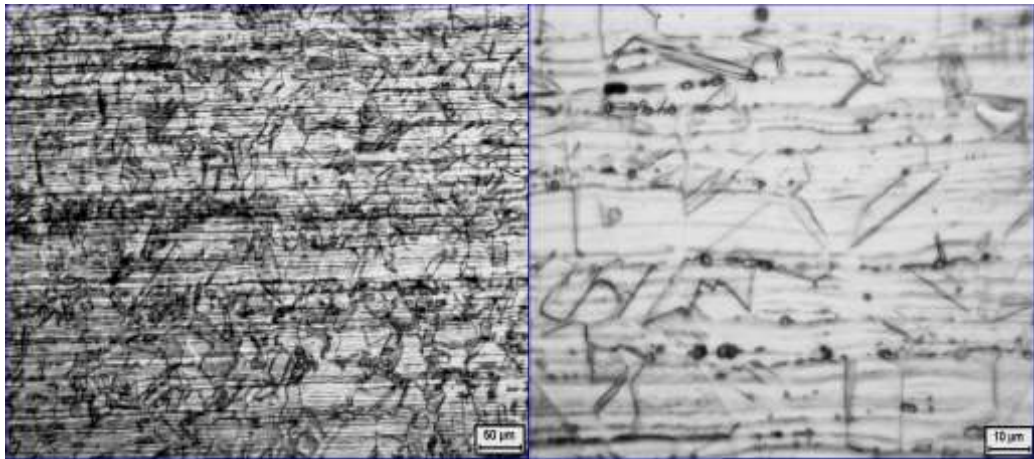
รูปที่ 4.11 ค แสดงลักษณะโครงสร้างบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม 2205

รูปที่ 4.11 ก. แสดงลักษณะของโครงสร้างบริเวณโลหะงาน 304 (Baste Metal) ข.แสดงลักษณะของโครงสร้างบริเวณ HAZ ของรอยเชื่อม ค. แสดงโครงสร้างบริเวณบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม 2205

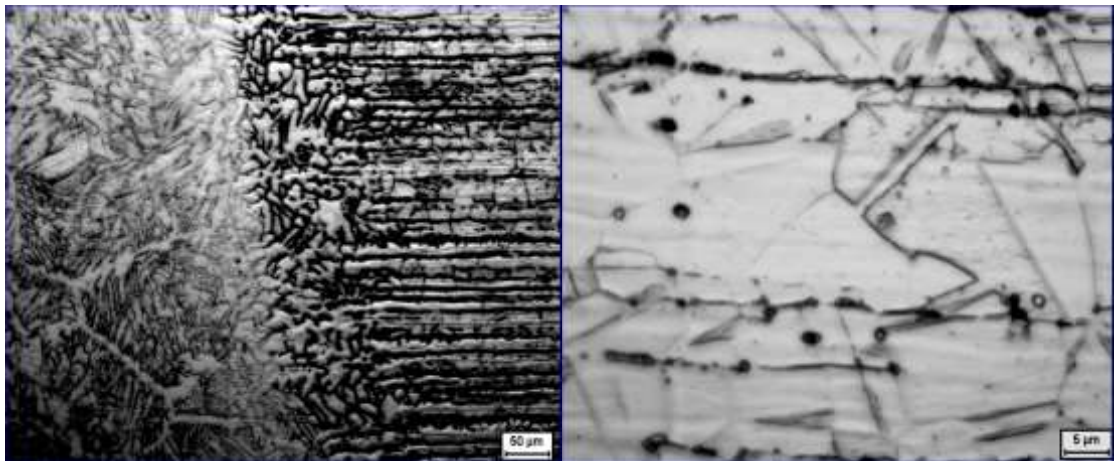
เมื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่มีค่าความแข็งสูงสุดแต่ละบริเวณ ดังรูป 4.11 ด้วยกำลังขยาย 100 และ 500 เท่า บริเวณโลหะเดิม (Base metal) ของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิค 304 ลักษณะเกรนเรียวยาวที่เกิดจากการรีดประกอบไปด้วยโครงสร้างออสเทนไนท์ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งโครงสร้างบริเวณดังกล่าวไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการแพร่กระจายของความร้อนไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ ที่ของบริเวณกระทบบร้อนจะมีขนาดเกรนโตกว่าบริเวณที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน และที่ตามบริเวณของขอบเกรนที่อยู่ในขอบเขตของบริเวณกระทบบร้อนมีโครเมียมคาร์ไบด์เกิดขึ้น และลักษณะของการจัดเรียงผลึกขึ้นใหม่ผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์ มีกระจายตัวหนาแน่น ถัดจากบริเวณกระทบบร้อนเข้าไปหาจุดศูนย์กลางของการอาร์คเป็นบริเวณที่เกิดการหลอมละลาย (Fusion Zone) บริเวณดังกล่าวเป็นโครงสร้างของเหล็กกล้าอูเทิลิตี้ 2205 ซึ่งมีโครงสร้างเฟอร์ไรท์และโครงสร้างออสเทนไนท์ อย่างละ 50 % โดยประมาณ โดยมีพื้นเป็นโครงสร้างเฟอร์ไรท์และโครงสร้างออสเทนไนท์โดยมีลักษณะเป็นเส้นยาวเกาะกันเป็นกลุ่มๆ

#### 4.8.4 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่มีความแข็งต่ำสุด

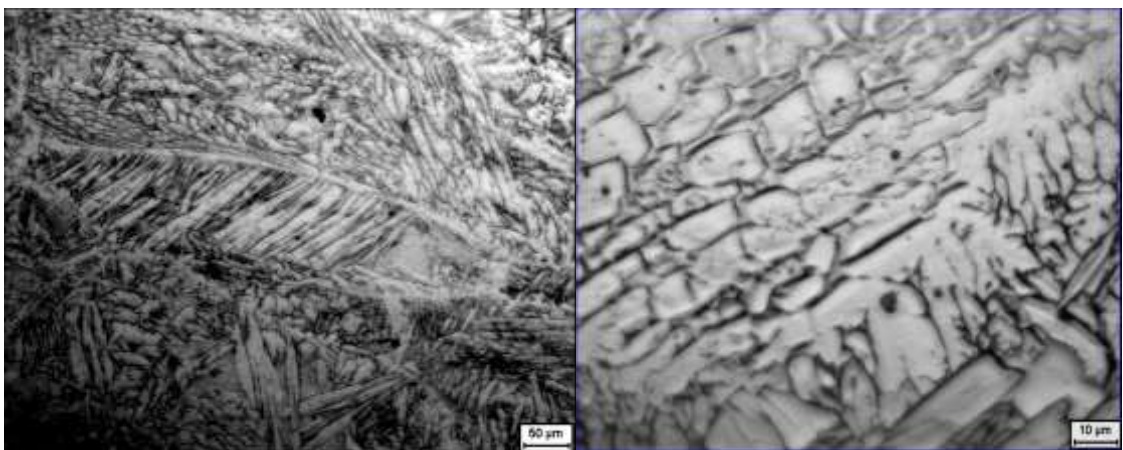
จากการทดสอบพารามิเตอร์การเชื่อม พบว่าชิ้นงานที่มีค่าความแข็งต่ำสุด (Hardness) คือการเชื่อมที่พารามิเตอร์ ที่กระแสมือเท่ากับ 190 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อมที่ 105 มม./นาที ซึ่งมีค่าเท่ากับ 54.680 HRA และเมื่อตรวจสอบโครงสร้างสามารถวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ก แสดงลักษณะโครงสร้างบริเวณเนื้อโลหะงาน 304



รูปที่ 4.12 ข แสดงลักษณะโครงสร้างบริเวณHAZ



รูปที่ 4.12 ค แสดงลักษณะโครงสร้างบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม 2205

รูปที่ 4.12 ก. แสดงลักษณะของโครงสร้างบริเวณโลหะงาน (Base Metal) ข.แสดงลักษณะของโครงสร้างบริเวณ HAZ ของรอยเชื่อม ค. แสดงโครงสร้างบริเวณบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม 2205

เมื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่มีค่าความแข็งต่ำสุดแต่ละบริเวณ ดังรูป 4.12 ด้วยกำลังขยาย 100 และ 500 เท่า บริเวณโลหะเดิม (Base metal) ของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนิติก 304 ลักษณะเกรนเรียวยาวที่เกิดจากการรีดประกอบไปด้วยโครงสร้างอสเทนไนท์ พื้นที่ของบริเวณกระทะร้อนที่ถัดออกมาจาก Fusion Line ที่มีขนาดเกรนโตกว่าบริเวณที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนเล็กน้อย และที่ตามบริเวณของขอบเกรนที่อยู่ในขอบเขตของบริเวณกระทะร้อนมีโครเมียมคาร์ไบด์เกิดขึ้นได้บ้าง และจะมารวมตัวกันที่บริเวณของขอบเกรนที่มองเห็นเป็นสีดำๆ และถัดจากบริเวณกระทะร้อนเข้าไปหาจุดศูนย์กลางของการอาร์ค เป็นบริเวณที่เกิดการหลอมละลาย (Fusion Zone) และมีการแข็งตัวเกิดขึ้น บริเวณดังกล่าวจะปรากฏโครงสร้าง Columnar Dendrite ที่มีทิศทางของการโตจะพุ่งเข้าหาศูนย์กลางของการอาร์ค