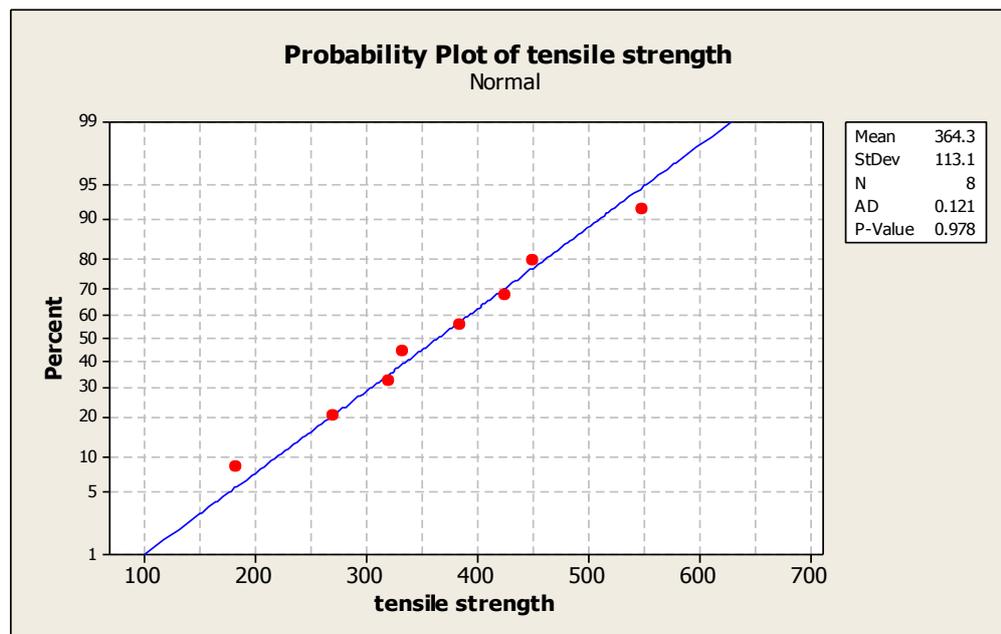


## บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาผลกระทบของกระบวนการเชื่อมมิก (Gas Metal Arc Welding : GMAW) ต่อสมบัติเหล็กกล้าผสม AISI4140 ที่ผ่านการชุบแข็ง ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของพารามิเตอร์การเชื่อมที่มีต่อสมบัติทางกลบริเวณรอยเชื่อม (Weld metal) บริเวณกระทบร้อน (HAZ) และผลของพารามิเตอร์การเชื่อมที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างบริเวณรอยเชื่อม (Weld metal) และบริเวณกระทบร้อน (HAZ) โดยการวิจัยเป็นการออกแบบการทดลองแบบ Factorial Design  $3^2$  ปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วย (1) ความเร็วในการเชื่อม 3 ระดับ คือ 220 , 250 และ 280 มม./นาที (2) คือ กระแสเชื่อม กำหนดที่ 120 , 140 และ 160 แอมป์ ผลตอบสนองได้แก่ ความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ความแข็งแรงดึงจุดคราก(Yield Point) ความแข็ง(Hardness) การวิเคราะห์โครงสร้างมหภาค และโครงสร้างจุลภาค โดยการหาค่าอิทธิพลหลัก(Main Effect) ของตัวแปรแต่ละตัว และค่าอิทธิพลร่วม(Interaction Effect) ระหว่างตัวแปร การวิเคราะห์ผลการทดลองใช้สถิติวิเคราะห์ข้อมูลแบบแผนการทดลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS 16.0 for Windows ช่วยในการคำนวณค่าทางสถิติ และทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยค่าทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ F-Ratio และระดับความเชื่อมั่น 95 % หรือที่ระดับนัยสำคัญ 5 % ( $\alpha = 0.05$ )

### 4.1 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งแรงดึง ในการทดลองขั้นต้น



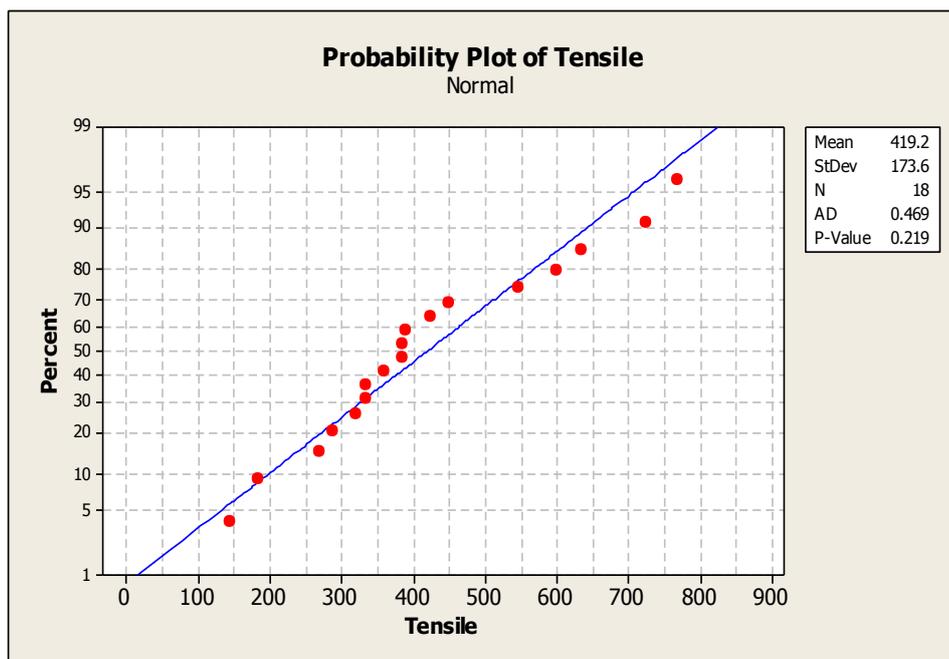
ก

รูปที่ 4.1 แสดงข้อมูลการแจกแจงแบบปกติของความแข็งแรงดึง ในการทดลองขั้นต้น

จากรูปที่ 4.1 แสดงผลการทดลองเพื่อหาความแปรปรวนของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความแข็งแรงดึง ในการทดลองขั้นต้น โดยการทดสอบความแข็งแรงดึง ของชิ้นงานเชื่อม ตามมาตรฐาน ASME จำนวน 4 ชิ้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองพบว่าการแจกแจงปกติ ซึ่งพิจารณาได้จากค่า P-Value ที่มีค่ามากกว่า .05 ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ .978

#### 4.2 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งแรงดึง ในการทดลอง

ผลการทดลองพบว่าพารามิเตอร์ของการเชื่อมต่อความแข็งแรงดึง โดยการทดสอบความแข็งแรงดึง งานเชื่อม จะได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงสูงที่สุด เมื่อทำการเชื่อมกระแสเชื่อม 160 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มม./นาที เท่ากับ  $746.16 \text{ N/mm}^2$  และในขณะเดียวกันค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยที่ต่ำสุดได้แก่การเชื่อมที่ กระแสเชื่อม 140 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 280 มม./นาที มีค่าเท่ากับ  $217.09 \text{ N/mm}^2$  ถ้วนนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงข้อมูลการแจกแจงแบบปกติของความแข็งแรงดึงในการทดลอง

จากรูปที่ 4.2 แสดงผลการทดลองเพื่อหาความแปรปรวนของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความแข็งแรงดึง ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองพบว่าการแจกแจงปกติ ซึ่งพิจารณาได้จากค่า P-Value ที่มีค่ามากกว่า .05 ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ .219

ตารางที่ 4.1 ตารางการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนต่อความแข็งแรงดึงในการทดลอง

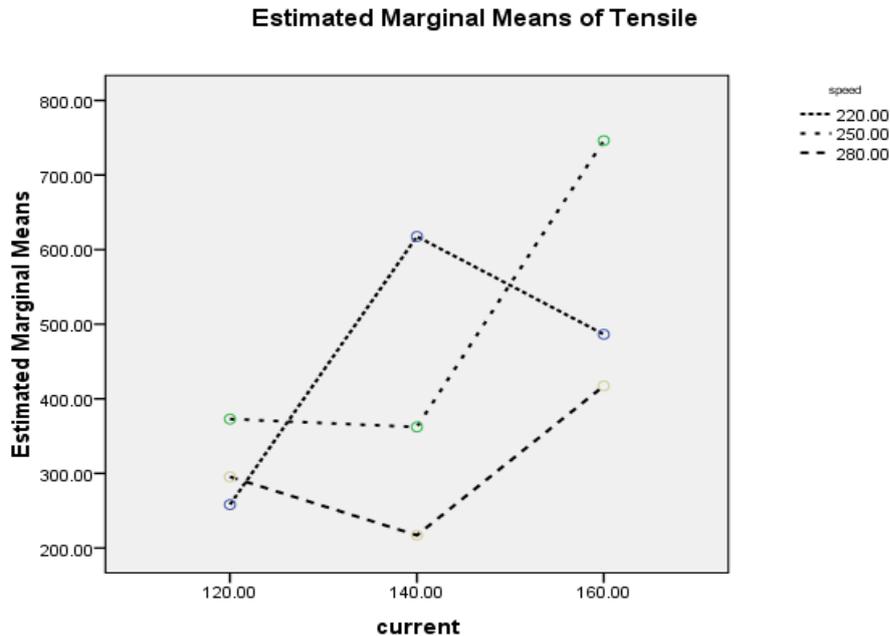
Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Tensile

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	476615.876 <sup>a</sup>	8	59576.984	15.002	.000
Intercept	3163470.961	1	3163470.961	796.612	.000
current	178147.700	2	89073.850	22.430	.000
speed	112285.697	2	56142.849	14.138	.002
current * speed	186182.478	4	46545.620	11.721	.001
Error	35740.430	9	3971.159		
Total	3675827.267	18			
Corrected Total	512356.305	17			

a. R Squared = .930 (Adjusted R Squared = .868)

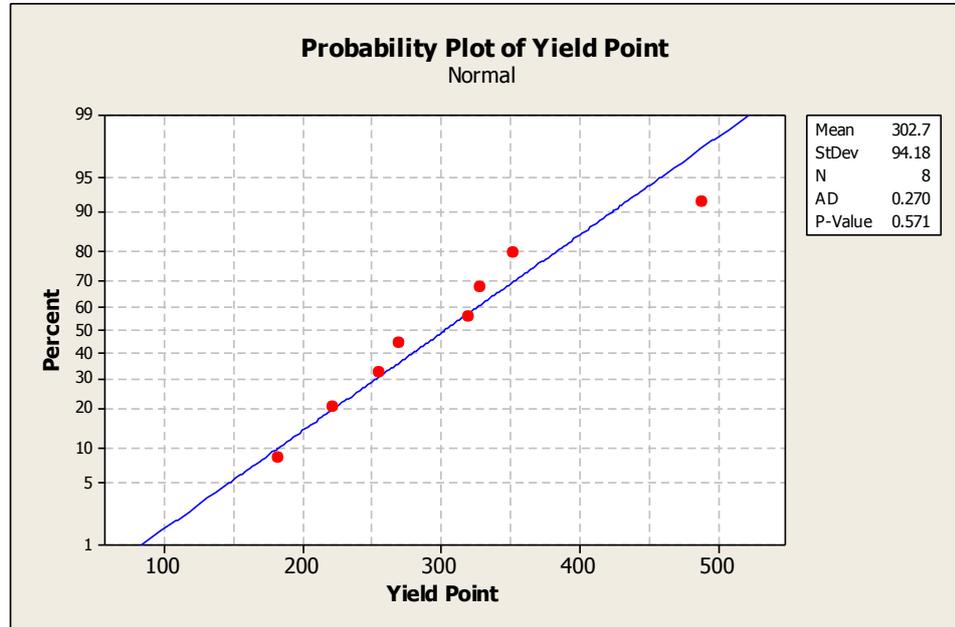
เมื่อพิจารณาผลจากตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งแรงดึง พบว่า อิทธิพลหลัก กระแสในการเชื่อม มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ความเร็วในการเชื่อม มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนอิทธิพลร่วม กระแสเชื่อมและความเร็วในการเชื่อมมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



**รูปที่ 4.3** จากความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์การเชื่อม

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.3 จากความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์การเชื่อมแล้วทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าประมาณแบบช่วงของความแข็งแรงดึงสูงสุด เฉลี่ยแยกตามระดับของกระแสเชื่อม และระดับของความเร็วในการเชื่อม จะพบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด ที่แยกตามระดับของกระแสเชื่อม และระดับของความเร็วในการเชื่อม สามารถอธิบายได้ ดังนี้ เมื่อความเร็วในการเชื่อมมีค่าเท่ากับ 220 มม./นาที ระดับของกระแสไฟเชื่อมที่ 120 แอมป์ ความแข็งแรงดึงสูงสุดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 258.14 N/mm<sup>2</sup> เมื่อเปลี่ยนกระแสไฟสูงขึ้นที่ 140 แอมป์ ความแข็งแรงดึงสูงสุดเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 617.61 N/mm<sup>2</sup> ถ้าเปลี่ยนระดับของกระแสเชื่อมสูงขึ้นที่ 160 แอมป์ ความแข็งแรงดึงสูงสุดลดลงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 486.34 N/mm<sup>2</sup> เมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมที่ 250 มม./นาที ระดับของกระแสไฟเชื่อมที่ 120 แอมป์ ความแข็งแรงดึงสูงสุดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 372.84 N/mm<sup>2</sup> เมื่อเปลี่ยนกระแสไฟสูงขึ้นที่ 140 แอมป์ ความแข็งแรงดึงสูงสุดลดลงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 362.21 N/mm<sup>2</sup> ถ้าเปลี่ยนระดับของกระแสเชื่อมสูงขึ้นที่ 160 แอมป์ ความแข็งแรงดึงสูงสุดเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 746.16 N/mm<sup>2</sup> เมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมที่ 280 มม./นาที ระดับของกระแสไฟเชื่อมที่ 120 แอมป์ ความแข็งแรงดึงสูงสุดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 295.36 N/mm<sup>2</sup> เมื่อเปลี่ยนกระแสไฟสูงขึ้นที่ 140 แอมป์ ความแข็งแรงดึงสูงสุดลดลงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 217.09 N/mm<sup>2</sup> ถ้าเปลี่ยนระดับของกระแสเชื่อมสูงขึ้นที่ 160 แอมป์ ความแข็งแรงดึงสูงสุดเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 417.27 N/mm<sup>2</sup>

### 4.3 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งแรงดึงจุดครากในการทดลองขั้นต้น

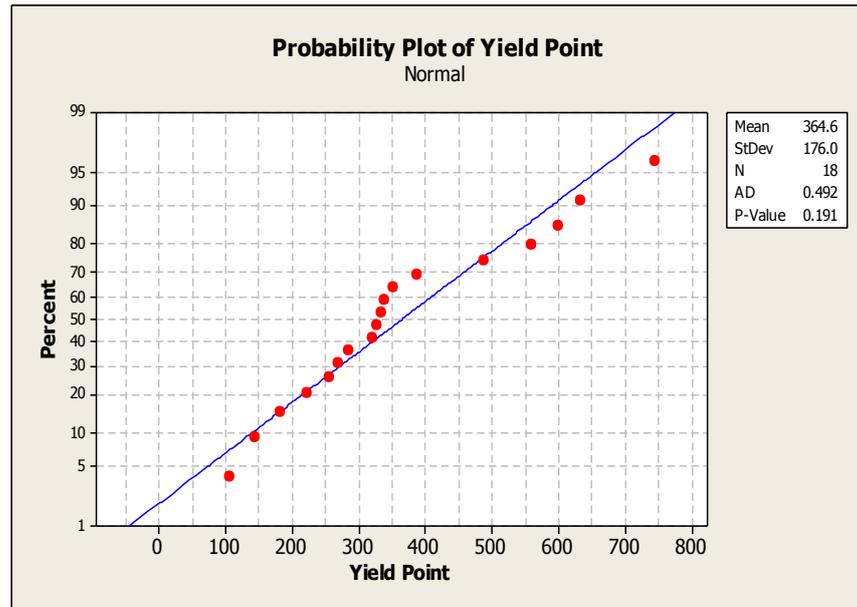


รูปที่ 4.4 แสดงข้อมูลการแจกแจงแบบปกติของความแข็งแรงดึงจุดครากในการทดลองขั้นต้น

จากรูปที่ 4.4 แสดงผลการทดลองเพื่อหาความแปรปรวนของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความแข็งแรงดึงจุดคราก ในการทดลองขั้นต้น โดยการทดสอบความแข็งแรงดึง ของชิ้นงานเชื่อม ตามมาตรฐาน ASME จำนวน 4 ชิ้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองพบว่าการแจกแจงปกติ ซึ่งพิจารณาได้จากค่า P-Value ที่มีค่ามากกว่า .05 ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ .571

### 4.4 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งแรงดึงจุดครากในการทดลอง

ผลการทดลองพบว่าพารามิเตอร์ของการเชื่อมต่อความแข็งแรงดึงจุดคราก โดยการทดสอบความแข็งแรงดึงงานเชื่อม จะได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงจุดครากสูงที่สุด เมื่อทำการเชื่อมกระแสดเชื่อม 160 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มม./นาที เท่ากับ  $652.14 \text{ N/mm}^2$  และในขณะเดียวกันค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยที่ต่ำสุดได้แก่การเชื่อมที่ กระแสดเชื่อม 140 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 280 มม./นาที มีค่าเท่ากับ  $215.88 \text{ N/mm}^2$  แล้วนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงผลการทดลองเพื่อหาความแปรปรวนของพารามิเตอร์ต่อความแข็งแรงดึงจุดคราก

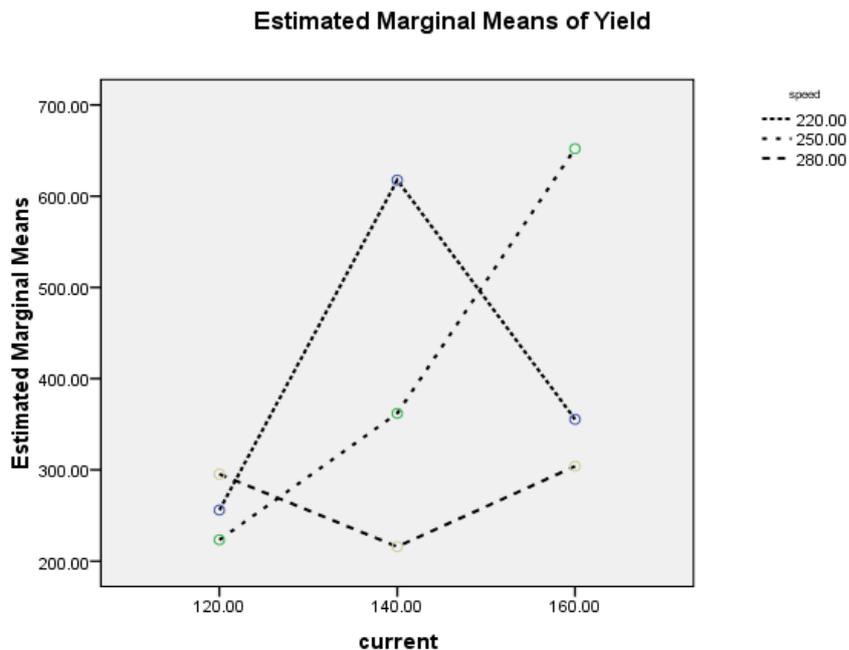
จากรูปที่ 4.5 แสดงผลการทดลองเพื่อหาความแปรปรวนของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความแข็งแรงดึงจุดคราก ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองพบว่าการแจกแจงปกติ ซึ่งพิจารณาได้จากค่า P-Value ที่มีค่ามากกว่า .05 ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ .191

ตารางที่ 4.2 ตารางการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนต่อความแข็งแรงดึงจุดครากในการทดลอง

Dependent Variable: Yield

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	418227.346 <sup>a</sup>	8	52278.418	4.343	.021
Intercept	2393333.937	1	2393333.937	198.846	.000
current	106412.397	2	53206.198	4.421	.046
speed	77673.198	2	38836.599	3.227	.088
current * speed	234141.752	4	58535.438	4.863	.023
Error	108325.223	9	12036.136		
Total	2919886.506	18			
Corrected Total	526552.569	17			

เมื่อพิจารณาผลจากตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งแรงดึงจุดคราก พบว่าอิทธิพลหลัก กระแสในการเชื่อม มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงดึงจุดครากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนอิทธิพลร่วม กระแสเชื่อมและความเร็วในการเชื่อมมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงดึงจุดครากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

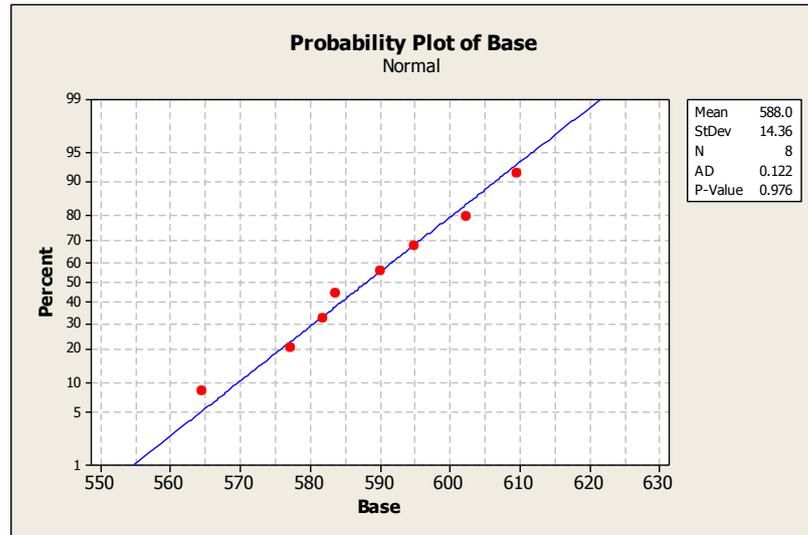


รูปที่ 4.6 แสดงกราฟอิทธิพลร่วม ระหว่างกระแสเชื่อมและ ความเร็วในการเชื่อม

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.6 จากความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์การเชื่อม แล้วทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าประมาณแบบช่วงของความความแข็งแรงดึงจุดคราก เฉลี่ยแยกตามระดับของกระแสเชื่อม และระดับของความเร็วในการเชื่อม จะพบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความความแข็งแรงดึงจุดครากที่แยกตามระดับของกระแสเชื่อม ความเร็วในการเชื่อม สามารถอธิบายได้ ดังนี้ เมื่อความเร็วในการเชื่อมมีค่าเท่ากับ 220 มม./นาที่ ระดับของกระแสไฟเชื่อมที่ 120 แอมป์ ความแข็งแรงดึงจุดคราก โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 255.96 N/mm<sup>2</sup> เมื่อเปลี่ยนกระแสไฟสูงขึ้นที่ 140 แอมป์ ความแข็งแรงดึงจุดคราก เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 617.61 N/mm<sup>2</sup> ถ้าเปลี่ยนระดับของกระแสเชื่อมสูงขึ้นที่ 160 แอมป์ ความแข็งแรงดึงจุดคราก ลดลง โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 355.46 N/mm<sup>2</sup> เมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมที่ 250 มม./นาที่ ระดับของกระแสไฟเชื่อมที่ 120 แอมป์ ความแข็งแรงดึงจุดคราก โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 223.36 N/mm<sup>2</sup> เมื่อเปลี่ยนกระแสไฟสูงขึ้นที่ 140 แอมป์ ความแข็งแรงดึงจุดครากเพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 361.97 N/mm<sup>2</sup> ถ้าเปลี่ยนระดับของกระแสเชื่อมสูงขึ้นที่ 160 แอมป์ ความแข็งแรงดึงจุดคราก เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 652.14 N/mm<sup>2</sup> เมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมที่ 280 มม./นาที่ ระดับของกระแสไฟเชื่อมที่ 120 แอมป์ ความแข็งแรงดึงจุดคราก (Yield Point) โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 295.36 N/mm<sup>2</sup> เมื่อเปลี่ยนกระแสไฟสูงขึ้นที่ 140 แอมป์ ความ

แข็งแรงดึงจุดคราก สูงสุดลดลงโดยเฉลี่ยอยู่ที่  $215.88 \text{ N/mm}^2$  ถ้าเปลี่ยนระดับของกระแสเชื่อมสูงขึ้นไป 160 แอมป์ ความแข็งแรงดึงจุดคราก เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยอยู่ที่  $304.03 \text{ N/mm}^2$

#### 4.5 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งแรงบริเวณโลหะงาน (Base metal) ในการทดลองขั้นต้น

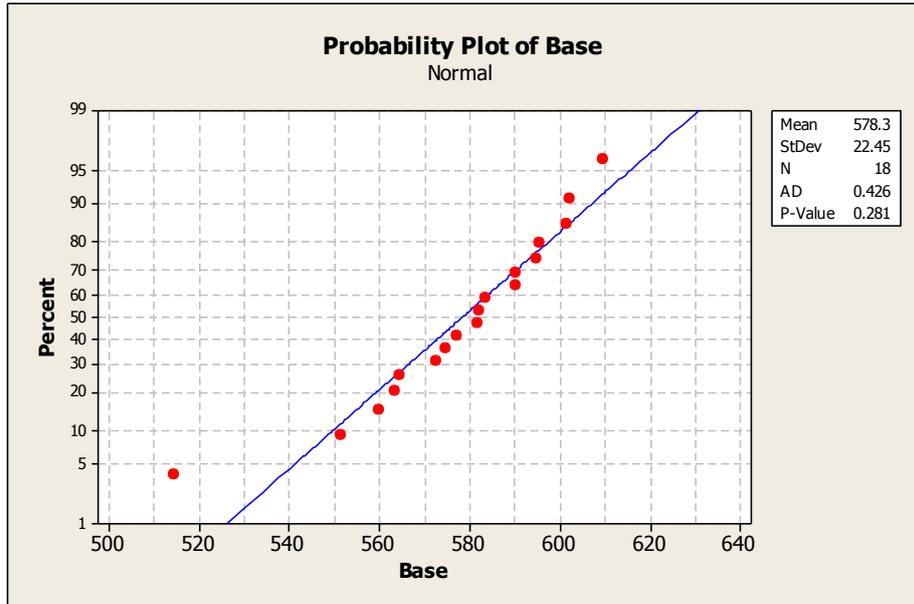


รูปที่ 4.7 แสดงข้อมูลการแจกแจงแบบปกติของความแข็งแรงบริเวณโลหะงานในการทดลองขั้นต้น

จากรูปที่ 4.7 แสดงผลการทดลองเพื่อหาความแปรปรวนของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความแข็งแรงบริเวณโลหะงานในการทดลองขั้นต้น โดยการทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงานเชื่อม ตามมาตรฐาน ASME จำนวน 4 ชิ้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองพบว่าการแจกแจงปกติ ซึ่งพิจารณาได้จากค่า P-Value ที่มีค่ามากกว่า .05 ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ .976

#### 4.6 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งแรงบริเวณโลหะงาน (Base metal) ในการทดลอง

ผลการทดลองพบว่าพารามิเตอร์ของการเชื่อมต่อความแข็งแรงบริเวณโลหะงาน โดยการทดสอบความแข็งแรงจะได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงสูงสุด เมื่อทำการเชื่อมกระแสเชื่อม 120 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 280 มม./นาที เท่ากับ  $598.63 \text{ HV}$  และในขณะเดียวกันค่าความแข็งแรงสูงสุดเฉลี่ยที่ต่ำสุดได้แก่การเชื่อมที่กระแสเชื่อม 140 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 220 มม./นาที มีค่าเท่ากับ  $533.01 \text{ HV}$  แล้วนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงข้อมูลการแจกแจงแบบปกติของความแข็งแรงบริเวณ โลหะงานในการทดลอง

จากรูปที่ 4.8 แสดงผลการทดลองเพื่อหาความแปรปรวนของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความแข็งแรงบริเวณ โลหะงาน ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองพบว่าการแจกแจงปกติ ซึ่งพิจารณาได้จากค่า P-Value ที่มีค่ามากกว่า .05 ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ .281

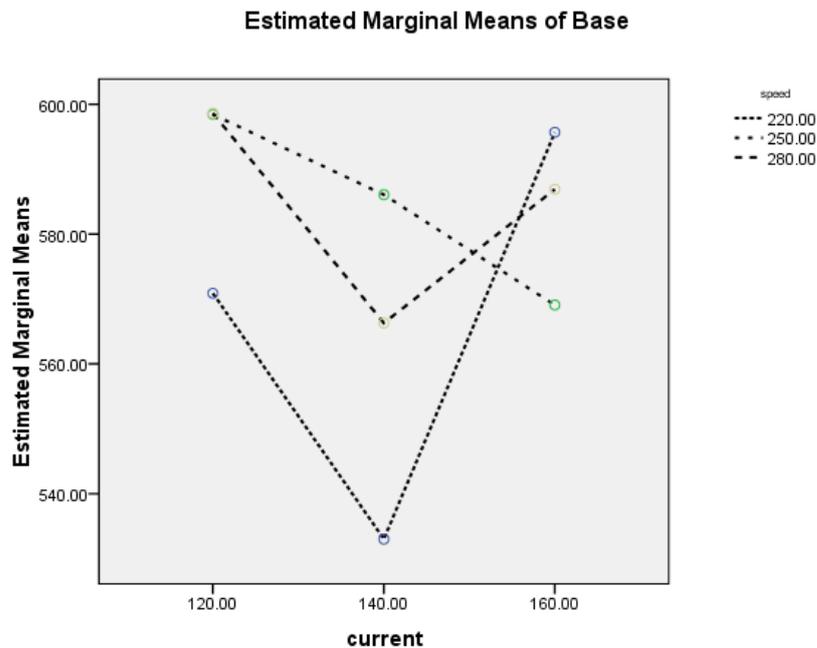
ตารางที่ 4.3 ตารางการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนต่อความแข็งแรงบริเวณโลหะงานในการทดลอง

Dependent Variable:Base

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	7181.027 <sup>a</sup>	8	897.628	5.825	.008
Intercept	6020403.733	1	6020403.733	3.907E4	.000
current	2550.155	2	1275.077	8.274	.009
speed	1255.473	2	627.737	4.073	.055
current * speed	3375.399	4	843.850	5.476	.016
Error	1386.945	9	154.105		
Total	6028971.706	18			
Corrected Total	8567.973	17			

a. R Squared = .838 (Adjusted R Squared = .694)

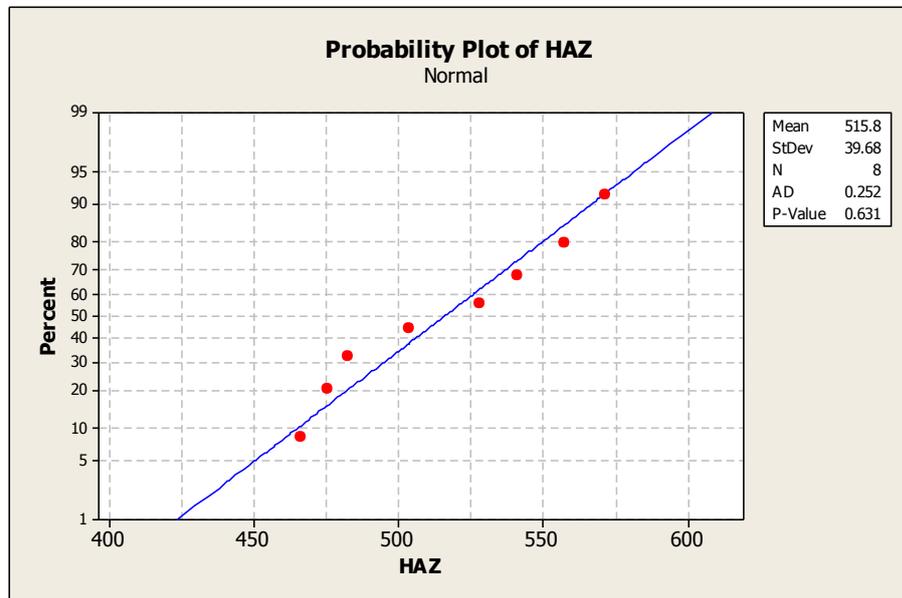
เมื่อพิจารณาผลจากตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งแรงบริเวณโลหะงาน พบว่าอิทธิพลหลัก กระแสในการเชื่อม มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงบริเวณโลหะงานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนอิทธิพลร่วม กระแสเชื่อมและความเร็วในการเชื่อมมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงบริเวณโลหะงานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



**รูปที่ 4.9** แสดงกราฟอิทธิพลร่วม ระหว่างกระแสเชื่อมและความเร็วในการเชื่อม

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.9 จากความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์การเชื่อมแล้วทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าประมาณแบบช่วงของความแข็งแรงบริเวณโลหะงานเฉลี่ยแยกตามระดับของกระแสเชื่อมและระดับของความเร็วในการเชื่อมจะพบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งแรงที่แยกตามระดับของกระแสเชื่อม ความเร็วในการเชื่อมสามารถอธิบายได้ ดังนี้ เมื่อความเร็วในการเชื่อมมีค่าเท่ากับ 220 มม./นาที ระดับของกระแสไฟเชื่อมที่ 120 แอมป์ความแข็งแรงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 570 HV เมื่อเปลี่ยนกระแสไฟสูงขึ้นที่ 140 แอมป์ ความแข็งแรง เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 533.01 HV ถ้าเปลี่ยนระดับของกระแสเชื่อมสูงขึ้นที่ 160 แอมป์ ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 595.68 HV เมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมที่ 250 มม./นาที ระดับของกระแสไฟเชื่อมที่ 120 แอมป์ ความแข็งแรงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 598.45 HV เมื่อเปลี่ยนกระแสไฟสูงขึ้นที่ 140 แอมป์ ความแข็งแรงลดลง โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 586.06 HV ถ้าเปลี่ยนระดับของกระแสเชื่อมสูงขึ้นที่ 160 แอมป์ความแข็งแรงลดลง โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 569.06 HV เมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมที่ 280 มม./นาที ระดับของกระแสไฟเชื่อมที่ 120 แอมป์ ความแข็งแรง โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 598.63 HV เมื่อเปลี่ยนกระแสไฟสูงขึ้นที่ 140 แอมป์ ความแข็งแรงลดลง โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 566.3 HV ถ้าเปลี่ยนระดับของกระแสเชื่อมสูงขึ้นที่ 160 แอมป์ ความแข็งแรง เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 586.9 HV

#### 4.7 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งบริเวณที่ได้รับผลกระทบร้อน (Heat Affected Zone: HAZ) ในการทดลองขั้นต้น

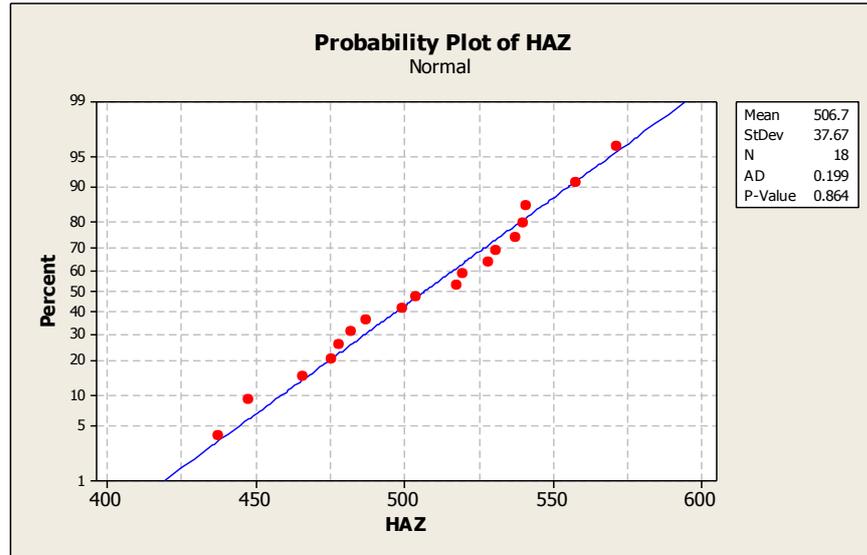


รูปที่ 4.10 แสดงข้อมูลการแจกแจงแบบปกติความแข็งบริเวณที่ได้รับผลกระทบร้อนการทดลองขั้นต้น

จากรูปที่ 4.10 แสดงผลการทดลองเพื่อหาความแปรปรวนของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความแข็งบริเวณที่ได้รับผลกระทบร้อนในการทดลองขั้นต้น โดยการทดสอบความแข็ง ของชิ้นงานเชื่อม ตามมาตรฐาน ASME จำนวน 4 ชิ้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองพบว่าการแจกแจงปกติ ซึ่งพิจารณาได้จากค่า P-Value ที่มีค่ามากกว่า .05 ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ .631

#### 4.8 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งบริเวณที่ได้รับผลกระทบร้อน (Heat Affected Zone: HAZ) ในการทดลอง

ผลการทดลองพบว่าพารามิเตอร์ของการเชื่อมต่อความแข็งบริเวณที่ได้รับผลกระทบร้อน โดยการทดสอบความแข็งจะได้ค่าเฉลี่ยความแข็งสูงสุด เมื่อทำการเชื่อมกระแสเชื่อม 120 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 280 มม./นาที่ เท่ากับ 549.43 HV และในขณะเดียวกันค่าความแข็งสูงสุดเฉลี่ยที่ต่ำสุดได้แก่ การเชื่อมที่ กระแสเชื่อม 160 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มม./นาที่ มีค่าเท่ากับ 442.55 HV แล้วนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงข้อมูลการแจกแจงแบบปกติความแข็งแรงบริเวณได้รับผลกระทบร้อนในการทดลอง

จากรูปที่ 4.11 แสดงผลการทดลองเพื่อหาความแปรปรวนของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความแข็งแรงบริเวณที่ได้รับผลกระทบร้อน ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองพบว่ามีการแจกแจงปกติ ซึ่งพิจารณาได้จากค่า P-Value ที่มีค่ามากกว่า .05 ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ .864

ตารางที่ 4.4 ตารางการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนต่อความแข็งแรงบริเวณได้รับผลกระทบร้อน ในการทดลอง

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable:HAZ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	16913.476 <sup>a</sup>	8	2114.185	2.640	.085
Intercept	4622117.427	1	4622117.427	5.771E3	.000
current	9134.905	2	4567.452	5.703	.025
speed	2154.384	2	1077.192	1.345	.308
current * speed	5624.188	4	1406.047	1.756	.222
Error	7208.126	9	800.903		
Total	4646239.029	18			

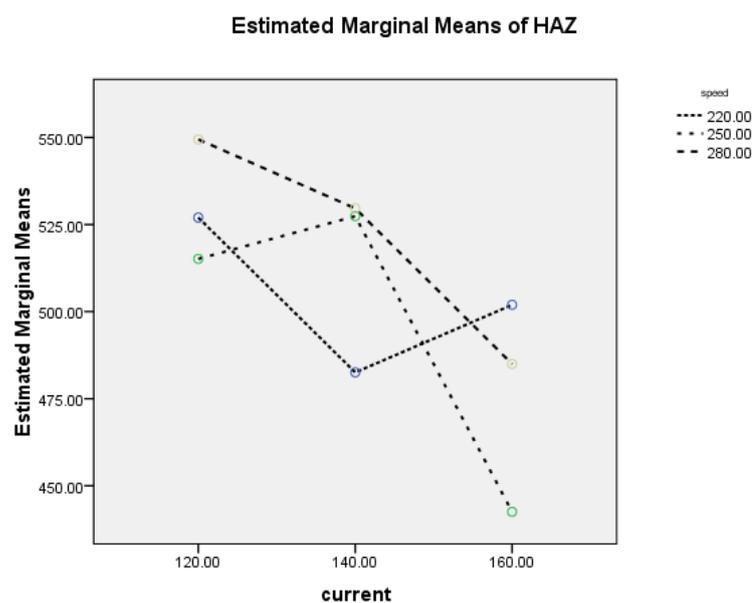
### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:HAZ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	16913.476 <sup>a</sup>	8	2114.185	2.640	.085
Intercept	4622117.427	1	4622117.427	5.771E3	.000
current	9134.905	2	4567.452	5.703	.025
speed	2154.384	2	1077.192	1.345	.308
current * speed	5624.188	4	1406.047	1.756	.222
Error	7208.126	9	800.903		
Total	4646239.029	18			
Corrected Total	24121.602	17			

a. R Squared = .701 (Adjusted R Squared = .436)

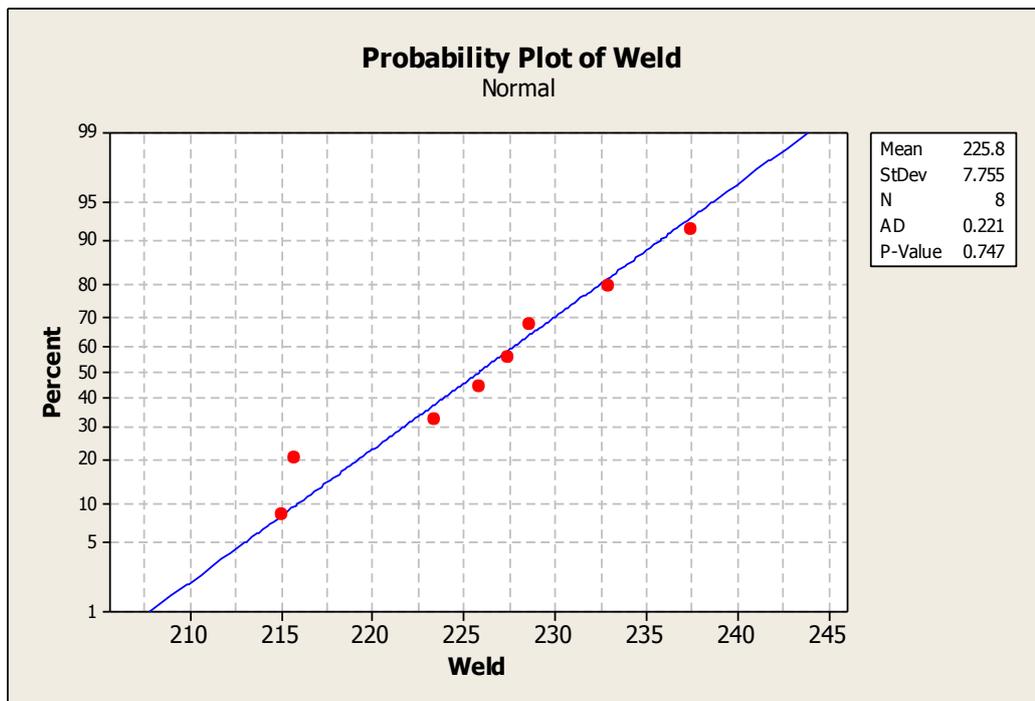
เมื่อพิจารณาผลจากตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งแรงบริเวณที่ได้รับผลกระทบอื่น พบว่าอิทธิพลหลัก กระแสในการเชื่อม มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงบริเวณที่ได้รับผลกระทบอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 4.12 แสดงกราฟอิทธิพลร่วม ระหว่างกระแสเชื่อมและความเร็วในการเชื่อม

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.12 จากความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์การเชื่อมแล้วทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าประมาณแบบช่วงของความความแข็งแรงบริเวณได้รับผลกระทบร้อนเฉลี่ยแยกตามระดับของกระแสเชื่อมและระดับของความเร็วในการเชื่อมจะพบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความความแข็งแรงที่แยกตามระดับของกระแสเชื่อม ความเร็วในการเชื่อมสามารถอธิบายได้ ดังนี้ เมื่อความเร็วในการเชื่อมมีค่าเท่ากับ 220 มม./นาที ระดับของกระแสไฟเชื่อมที่ 120 แอมป์ ความแข็งแรงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 500 HV เมื่อเปลี่ยนกระแสไฟสูงขึ้นที่ 140 แอมป์ ความแข็งแรงลดลงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 482.56 HV ถ้าเปลี่ยนระดับของกระแสเชื่อมสูงขึ้นที่ 160 แอมป์ ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 501.95 HV เมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมที่ 250 มม./นาที ระดับของกระแสไฟเชื่อมที่ 120 แอมป์ ความแข็งแรงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 518.15 HV เมื่อเปลี่ยนกระแสไฟสูงขึ้นที่ 140 แอมป์ ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 527.4 HV ถ้าเปลี่ยนระดับของกระแสเชื่อมสูงขึ้นที่ 160 แอมป์ ความแข็งแรงลดลง โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 442.55 HV เมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมที่ 280 มม./นาที ระดับของกระแสไฟเชื่อมที่ 120 แอมป์ ความแข็งแรง โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 549.43 HV เมื่อเปลี่ยนกระแสไฟสูงขึ้นที่ 140 แอมป์ ความแข็งแรงลดลง โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 529.65 HV ถ้าเปลี่ยนระดับของกระแสเชื่อมสูงขึ้นที่ 160 แอมป์ ความแข็งแรงลดลงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 484.98 HV

#### 4.9 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งแรงบริเวณแนวเชื่อม (Weld metal or Fusion zone) ในการทดลองขั้นต้น

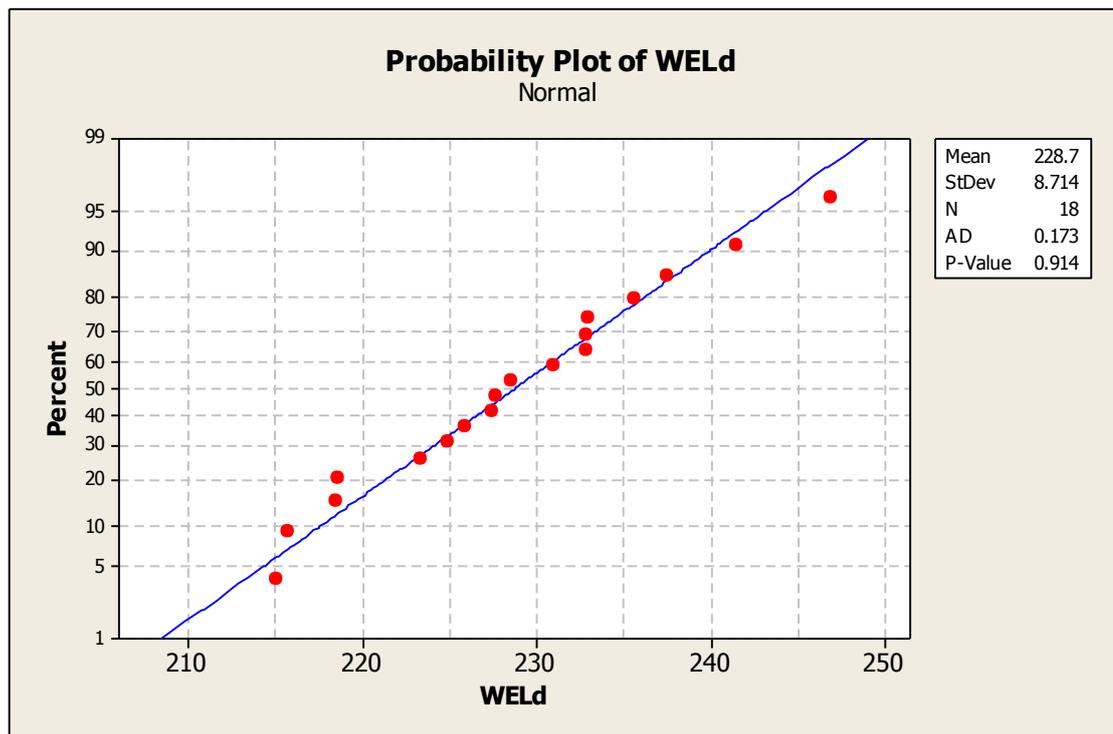


รูปที่ 4.13 แสดงข้อมูลการแจกแจงแบบปกติความแข็งแรงบริเวณแนวเชื่อมในการทดลองขั้นต้น

จากรูปที่ 4.13 แสดงผลการทดลองเพื่อหาความแปรปรวนของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความแข็งบริเวณแนวเชื่อมในการทดลองขั้นต้น โดยการทดสอบความแข็ง ของชิ้นงานเชื่อม ตามมาตรฐาน ASME จำนวน 4 ชั้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองพบว่าการแจกแจงปกติ ซึ่งพิจารณาได้จากค่า P-Value ที่มีค่ามากกว่า .05 ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ .747

#### 4.10 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (Weld metal or Fusion zone) ในการทดลอง

ผลการทดลองพบพารามิเตอร์ของการเชื่อมต่อความแข็งบริเวณแนวเชื่อม โดยการทดสอบความแข็งจะได้ค่าเฉลี่ยความแข็งสูงสุด เมื่อทำการเชื่อมกระแสเชื่อม 120 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มม./นาที เท่ากับ 244.18 HV และในขณะเดียวกันค่าความแข็งสูงสุดเฉลี่ยที่ต่ำสุดได้แก่การเชื่อมที่กระแสเชื่อม 140 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 220 มม./นาที มีค่าเท่ากับ 218.56 HV เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงข้อมูลการแจกแจงแบบปกติความแข็งบริเวณแนวเชื่อมในการทดลอง

จากรูปที่ 4.14 แสดงผลการทดลองเพื่อหาความแปรปรวนของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความแข็งบริเวณแนวเชื่อม ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองพบว่าการแจกแจงปกติ ซึ่งพิจารณาได้จากค่า P-Value ที่มีค่ามากกว่า .05 ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ .914

ตารางที่ 4.5 ตารางการวิเคราะห์แปรปรวนต่อความแข็งแรงบริเวณแนวเชื่อม ในการทดลอง

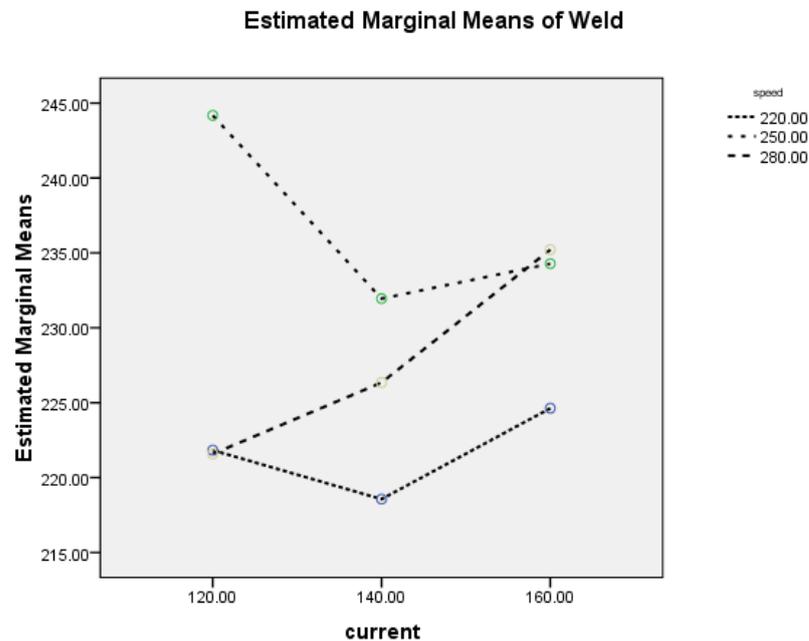
**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: Weld

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1092.973 <sup>a</sup>	8	136.622	6.209	.006
Intercept	941718.007	1	941718.007	4.280E4	.000
current	101.315	2	50.658	2.302	.156
speed	695.912	2	347.956	15.813	.001
current * speed	295.746	4	73.936	3.360	.061
Error	198.035	9	22.004		
Total	943009.014	18			
Corrected Total	1291.008	17			

a. R Squared = .847 (Adjusted R Squared = .710)

เมื่อพิจารณาผลจากตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งแรงบริเวณแนวเชื่อม พบว่าอิทธิพลหลัก ความเร็วในการเชื่อม มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงบริเวณแนวเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



**รูปที่ 4.15** แสดงกราฟอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างกระแสเชื่อมและความเร็วในการเชื่อม

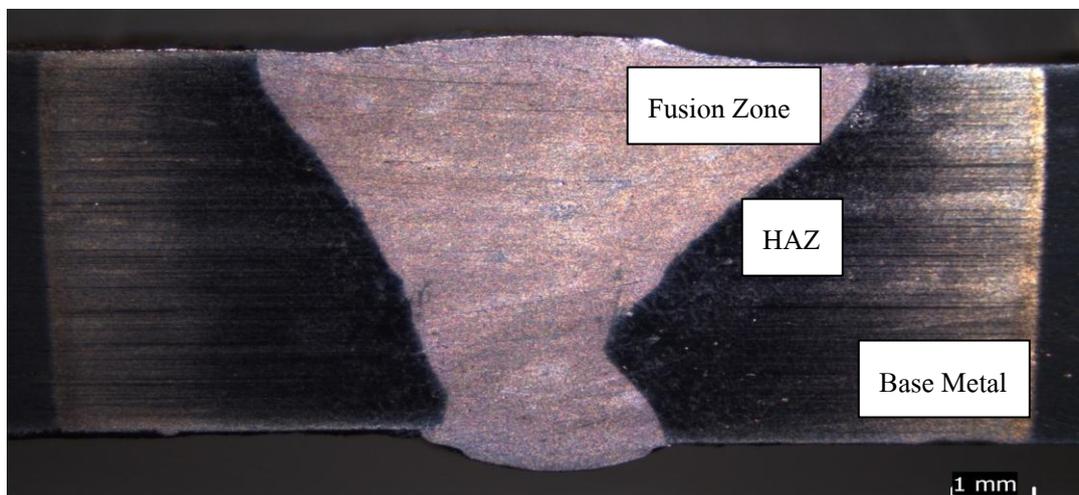
เมื่อพิจารณารูปที่ 4.15 จากความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์การเชื่อมแล้วทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าประมาณแบบช่วงของความความแข็งแรงบริเวณแนวเชื่อมเฉลี่ยแยกตามระดับของกระแสเชื่อมและระดับของความเร็วในการเชื่อมจะพบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความความแข็งแรงที่แยกตามระดับของกระแสเชื่อม ความเร็วในการเชื่อมสามารถอธิบายได้ ดังนี้ เมื่อความเร็วในการเชื่อมมีค่าเท่ากับ 220 มม./นาที่ ระดับของกระแสไฟเชื่อมที่ 120 แอมป์ ความแข็งแรงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 221.83 HV เมื่อเปลี่ยนกระแสไฟสูงขึ้นที่ 140 แอมป์ ความแข็งแรงลดลงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 218.56 HV ถ้าเปลี่ยนระดับของกระแสเชื่อมสูงขึ้นที่ 160 แอมป์ ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 224.63 HV เมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมที่ 250 มม./นาที่ ระดับของกระแสไฟเชื่อมที่ 120 แอมป์ ความแข็งแรงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 244.83 HV เมื่อเปลี่ยนกระแสไฟสูงขึ้นที่ 140 แอมป์ ความแข็งแรงลดลงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 231.95 HV ถ้าเปลี่ยนระดับของกระแสเชื่อมสูงขึ้นที่ 160 แอมป์ ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 234.28 HV เมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมที่ 280 มม./นาที่ ระดับของกระแสไฟเชื่อมที่ 120 แอมป์ ความแข็งแรง โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 221.58 HV เมื่อเปลี่ยนกระแสไฟสูงขึ้นที่ 140 แอมป์ ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 226.35 HV ถ้าเปลี่ยนระดับของกระแสเชื่อมสูงขึ้นที่ 160 แอมป์ ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 235.21 HV

#### 4.11 การวิเคราะห์โครงสร้างมหภาค และ โครงสร้างจุลภาค

การวิเคราะห์โครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาคได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นชิ้นงานที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่สูงที่สุดและชิ้นงานทดสอบที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ต่ำสุดดังรายละเอียดต่อไปนี้

##### 4.11.1 ลักษณะโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานที่มีความแข็งแรงดึงสูงสุด ที่สูงที่สุด

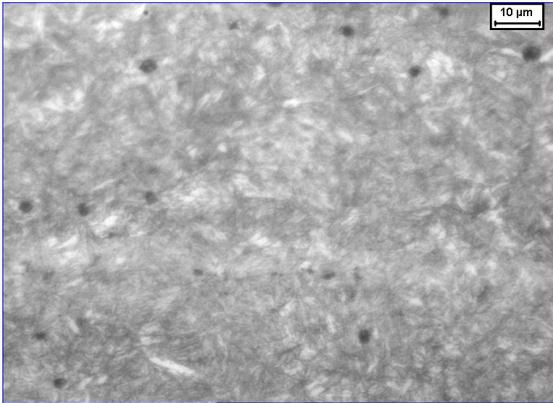
จากการทดสอบพารามิเตอร์การเชื่อม พบว่าชิ้นงานที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดมากที่สุดคือการเชื่อมที่พารามิเตอร์ ที่กระแสเชื่อมเท่ากับ 160 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อมที่ 250 มม./นาที ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $746.16 \text{ N/mm}^2$  และเมื่อทำการตรวจสอบโครงสร้างสามารถวิเคราะห์ได้ รูปที่ 4.16



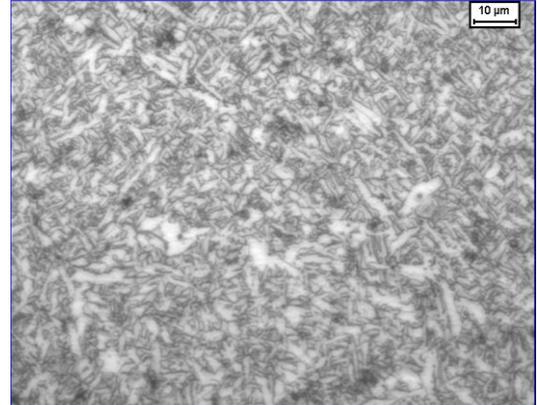
รูปที่ 4.16 แสดงโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานที่มีความแข็งแรงดึงสูงสุด

##### 4.11.2 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่มีความแข็งแรงดึงสูงสุด ที่สูงที่สุด

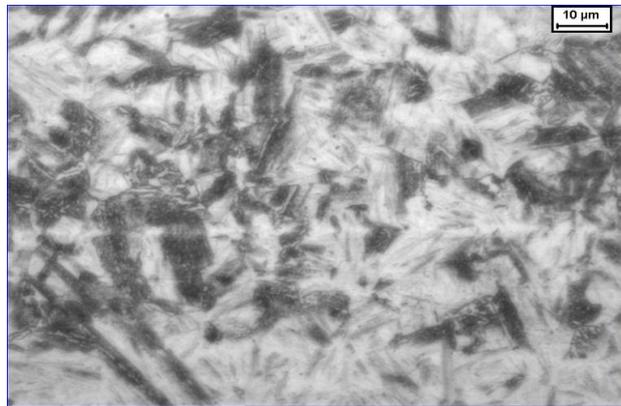
จากการทดสอบพารามิเตอร์การเชื่อม พบว่าชิ้นงานที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดมากที่สุดคือการเชื่อมที่พารามิเตอร์ ที่กระแสเชื่อมเท่ากับ 160 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อมที่ 250 มม./นาที ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $746.16 \text{ N/mm}^2$  และเมื่อทำการตรวจสอบโครงสร้างสามารถวิเคราะห์ได้ รูปที่ 4.17



ก) บริเวณเนื้องาน(Base Metal)



ข) บริเวณที่เกิดการหลอมละลาย (Fusion Zone)



ค) บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ)

รูปที่ 4.17 ก. แสดงลักษณะของโครงสร้างบริเวณโลหะงานมาร์เทนไซต์ (Base Metal)

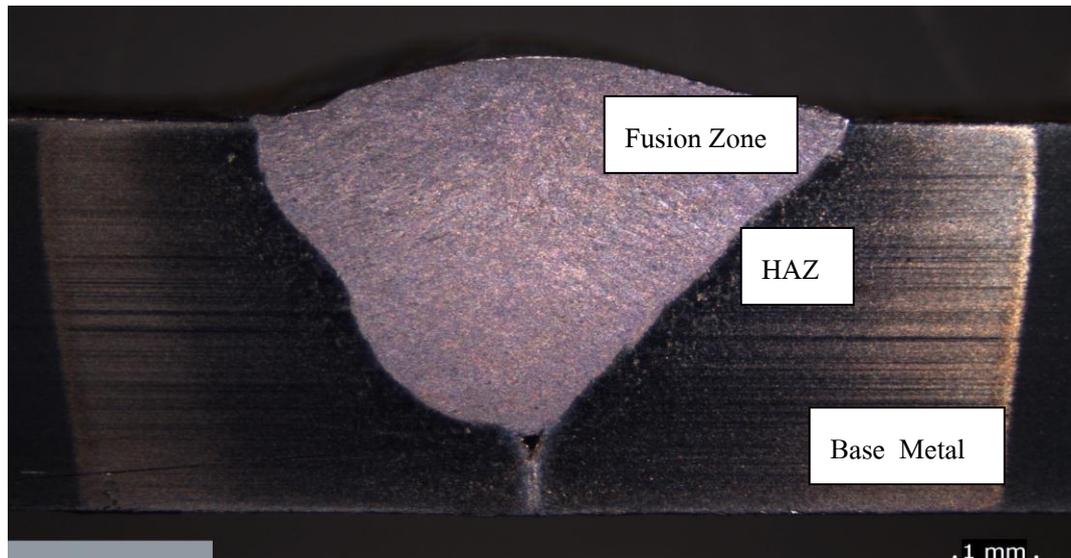
ข. บริเวณที่เกิดการหลอมละลาย (Fusion Zone) เฟอร์ไรต์ ซีเมนไตท์

ค. แสดงโครงสร้างบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ) เป็นโครงสร้างเฟอร์ไรต์ เฟอร์ไรต์

เมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างบริเวณเนื้องาน และบริเวณที่เกิดการหลอมละลาย บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน สามารถอธิบายได้ว่า โลหะงานหลังจากการชุบแข็ง โครงสร้างเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ ส่วนบริเวณที่เกิดการหลอมละลายเป็นโครงสร้างเฟอร์ไรต์และ ซีเมนไตท์ บางส่วน ส่วนบริเวณอิทธิพลความร้อนโครงสร้างเฟอร์ไรต์ เฟอร์ไรต์

#### 4.11.3 ลักษณะโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานที่มีความแข็งแรงดึงสูงสุด ที่ต่ำสุด

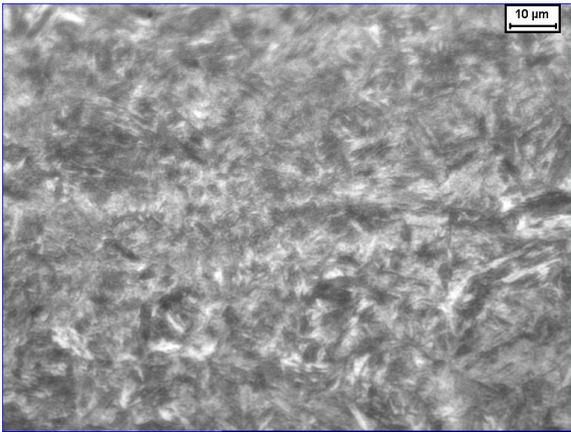
จากการทดสอบพารามิเตอร์การเชื่อม พบว่าชิ้นงานที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด ต่ำที่สุดคือการเชื่อมที่พารามิเตอร์ ที่กระแสเชื่อมเท่ากับ 140 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อมที่ 280 มม./นาที ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $217.09 \text{ N/mm}^2$  และเมื่อตรวจสอบ โครงสร้างสามารถวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 4.8



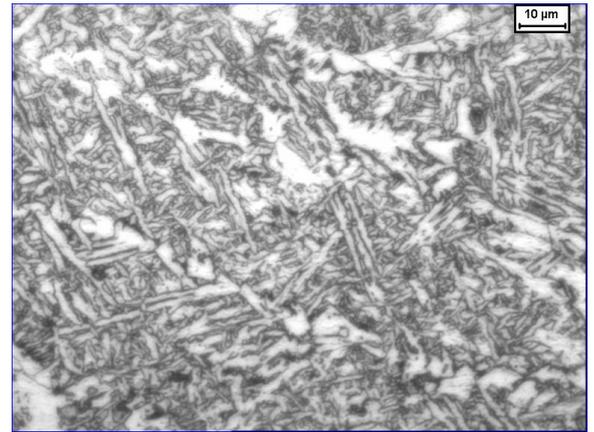
รูปที่ 4.18 แสดง โครงสร้างมหภาคของชิ้นงานที่มีค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุด

#### 4.11.4 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่มีความแข็งแรงดึงสูงสุด ที่ต่ำสุด

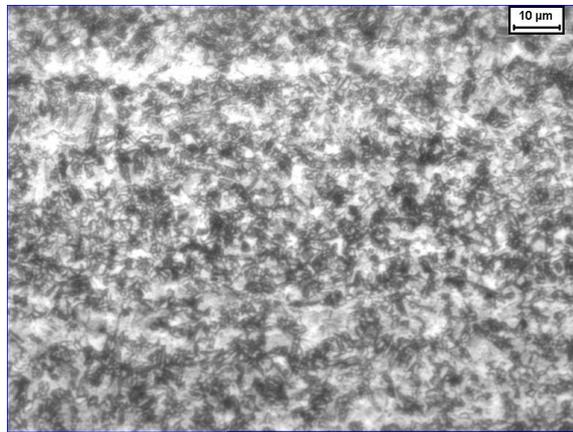
จากการทดสอบพารามิเตอร์การเชื่อม พบว่าชิ้นงานที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด ต่ำที่สุดคือการเชื่อมที่พารามิเตอร์ ที่กระแสเชื่อมเท่ากับ 140 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อมที่ 280 มม./นาที ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $217.09 \text{ N/mm}^2$  และเมื่อตรวจสอบ โครงสร้างสามารถวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 4.19



ก) บริเวณเนื้องาน



ข) บริเวณที่เกิดการหลอมละลาย



ค) บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน

**รูปที่ 4.19** ก. แสดงลักษณะของโครงสร้างบริเวณโลหะงาน โครงสร้าง มาร์เทนไซต์  
 ข. บริเวณที่เกิดการหลอมละลาย โครงสร้างเฟอร์ไรท์และเพิร์ลไลต์  
 ค. แสดงโครงสร้างบริเวณเขตอิทธิพลความร้อนเป็นโครงสร้างเฟอร์ไรท์  
 เพิร์ลไลต์

เมื่อทำการวิเคราะห์ โครงสร้างบริเวณเนื้องาน บริเวณเนื้องานทดสอบ และบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน สามารถอธิบายได้ว่า โลหะงานหลังจากการชุบแข็ง โครงสร้างเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ ส่วนบริเวณที่เกิดการหลอมละลาย เป็นโครงสร้าง โครงสร้างเฟอร์ไรท์(Ferrite)และเพิร์ลไลต์ (Pearlite)จำนวนมาก ส่วนบริเวณอิทธิพลความร้อน โครงสร้างเฟอร์ไรท์ เพิร์ลไลต์จำนวนมาก