บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

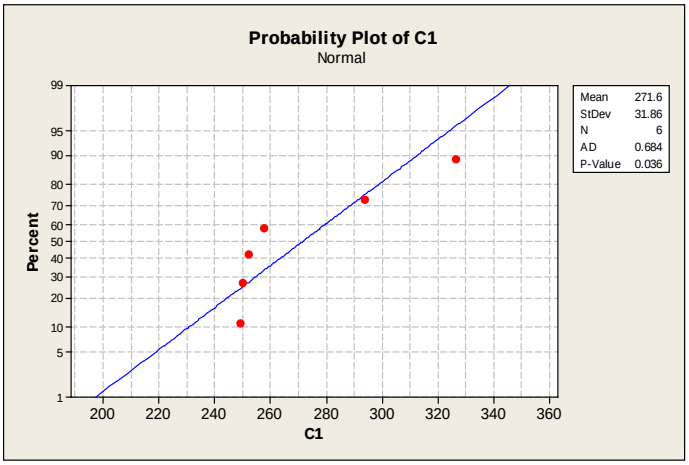
ศึกษาผลกระทบทางกระบวนการความร้อนต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ เกรด UNS S31803 โดยการวิจัยเป็นการออกแบบการทดลองแบบ Factorial Design ผ่านกรรมวิธีการบ่มแข็งและบริเวณที่ทดสอบคือ บริเวณเนื้องาน (Base Metal), เขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone((HAZ) และแนวเชื่อม (Welded) โดยกำหนดปัจจัยในการทดลอง 2 ชนิดคือ อุณหภูมิและเวลา จากการทดลองในห้องปฏิบัติการได้รวบรวมผลการทดลอง เพื่อหาสมบัติทางกล ดังนี้คือ การหาค่าความแข็ง การหาค่าปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์ (Ferrit Content) และวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค (Micro Structure)) การหาค่าของผลกระทบจากอิทธิพลหลัก(Main Effect) ของตัวแปรแต่ละตัว และปฏิกิริยาสัมพันธ์หรือค่าอิทธิพลร่วม(Interaction Effect) ระหว่างตัวแปร การวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดลองครั้งนี้ โดยการใช้สถิติวิเคราะห์ข้อมูลแบบแผนการทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ช่วยในการคำนวณค่าทางสถิติ และวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยค่าทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ F-Ratio และระดับความเชื่อมั่น 95 % หรือที่ระดับนัยสำคัญ 5 % ($\alpha = .05$)

4.1 การวิเคราะห์ทางสถิติของผลการทดลองเบื้องต้น

การศึกษาการดำเนินการก่อนการทดลอง (Pilot Study) ซึ่งได้ทำการทดลองเบื้องต้นโดยใช้การอบละลายเฟสที่อุณหภูมิ 1050^{O}C ในเวลา1ชั่วโมงและใช้การเย็นตัวในน้ำจากนั้นใช้การบ่มแข็งชิ้นงานที่อุณหภูมิต่ำสุด 650^{O}C และอุณหภูมิ สูงสุด 850^{O}C โดยเวลาที่ใช้ในการบ่มแข็งมี 3ระดับ คือ 1 ชั่วโมง 4 ชั่วโมงและ 8 ชั่วโมง เพื่อหาระดับของตัวแปรอิสระที่เหมาะสมในการทดลอง และการหาค่าความแข็งของชิ้นงานทดลอง

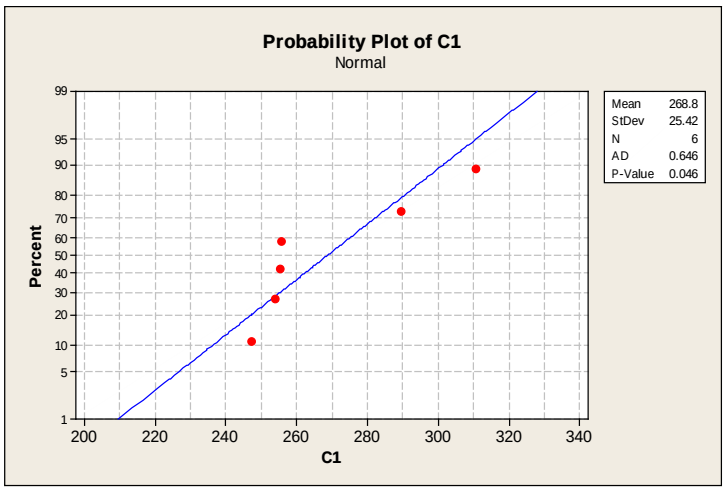
4.1.1 ผลการทดลองเบื้องต้น โดยหาค่าความแข็ง(Hardness)

จากการทดลองเบื้องต้นผลที่ได้ในการทดลองโดยหาค่าความแข็ง จะทดสอบในหน่วย Vickers (HV) ได้แก่ บริเวณเนื้องาน (Base Metal), เขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone((HAZ) และแนวเชื่อม (Welded) อยู่ในขอบเขตที่เหมาะสมของระดับตัวแปร



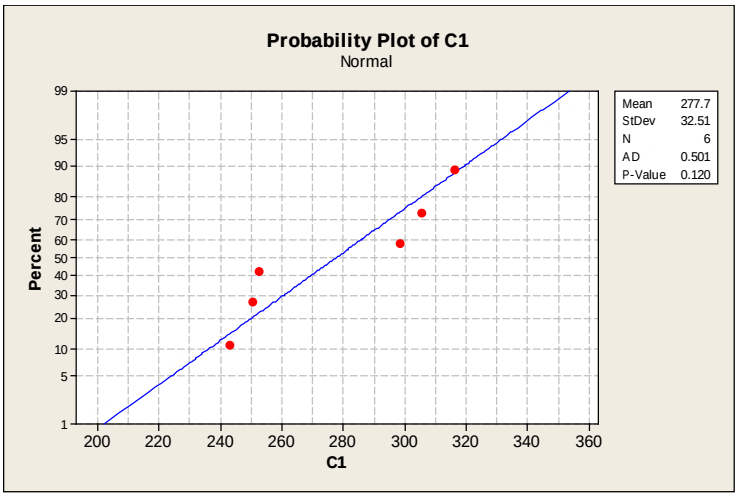
รูปที่ 4.1 การทดสอบการแจงแจงข้อมูล ค่าความแข็งบริเวณ เนื้องาน

จากรูปที่ 4.1 ผลการทดลองค่าอุณหภูมิที่ได้อยู่ในขอบเขตของเวลา ในการทดลองเบื้องต้นค่าความแข็ง ที่บริเวณเนื้องาน พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแปรมีการแจกแจงแบบปกติได้ค่า P-Valule = .036



รูปที่ 4.2 การทดสอบการแจงแจงข้อมูล ค่าความแข็งบริเวณ เขตอิทธิพลความร้อน

จากรูปที่ 4.2 ผลการทดลองค่าอุณหภูมิที่ได้อยู่ในขอบเขตของเวลา ในการทดลองเบื้องต้นค่าความแข็ง ที่บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแปรมีการแจกแจงแบบปกติได้ค่า P-Valule = .045

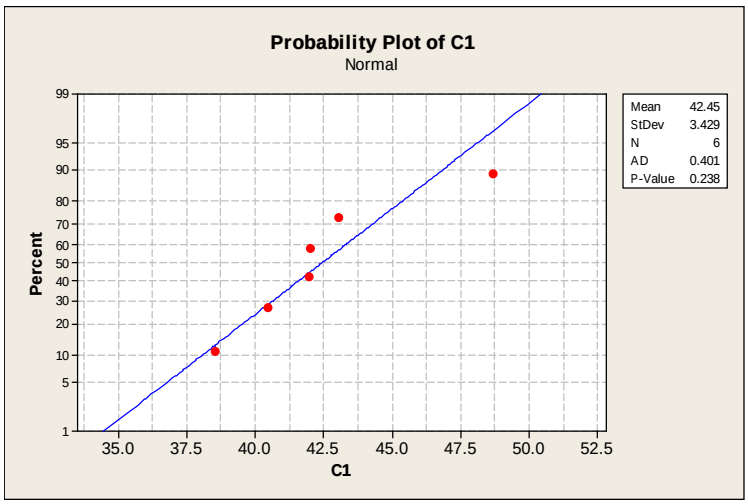


รูปที่ 4.3 การทดสอบการแจงแจงข้อมูลค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อม

จากรูปที่ 4.3 ผลการทดลองค่าอุณหภูมิที่ได้อยู่ในขอบเขตของเวลา ในการทดลองเบื้องต้นค่าความแข็ง ที่บริเวณแนวเชื่อม พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแปรมีการแจกแจงแบบปกติได้ค่า P-Valule = .120 ซึ่งมีค่ามากกว่า .05 มีความเหมาะสมของระดับตัวแปร

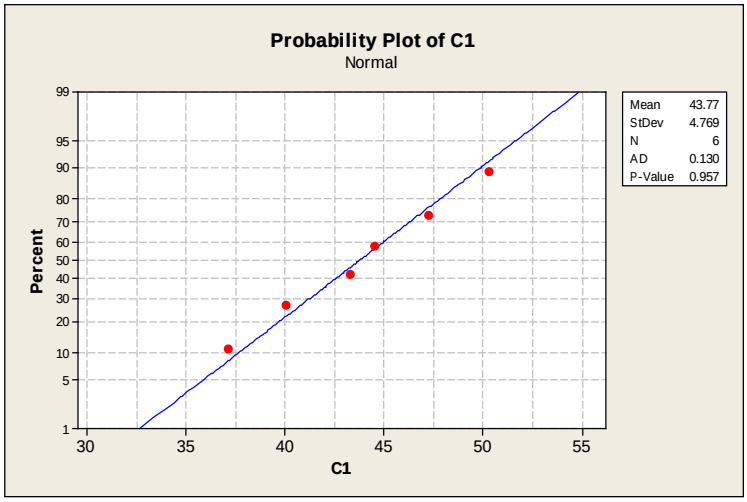
4.1.2 ผลการทดลองเบื้องต้น โดยหาเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์

จากการทดลองเบื้องต้นผลที่ได้ในการทดลองโดยหาเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์ ได้แก่ บริเวณเนื้องาน (Base Metal), เขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone((HAZ) และแนวเชื่อม (Welded) อยู่ในขอบเขตที่เหมาะสมของระดับตัวแปร



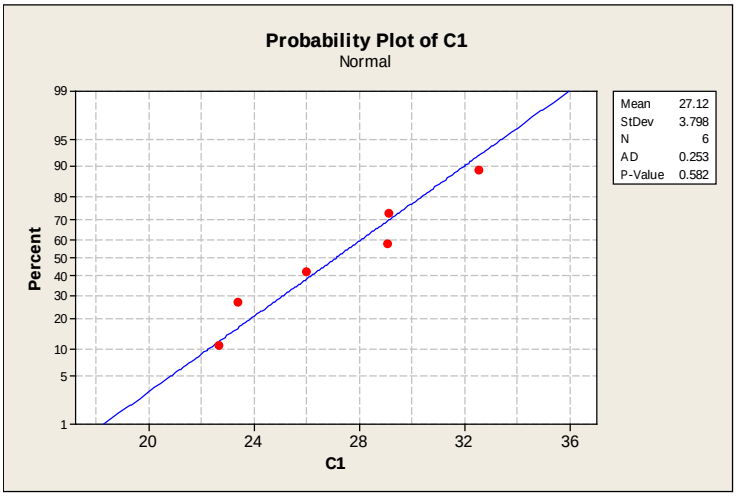
รูปที่ 4.4 การทดสอบการแจงแจงข้อมูลเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์บริเวณเนื้องาน

จากรูปที่ 4.4 ผลการทดลองค่าอุณหภูมิที่ได้อยู่ในขอบเขตของเวลา ในการทดลองเบื้องเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์ ที่บริเวณเนื้องาน พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแปรมีการแจกแจงแบบปกติได้ค่า P-Valule = .238 ซึ่งมีค่ามากกว่า .05 มีความเหมาะสมของระดับตัวแปร



รูปที่ 4.5 การทดสอบการแจงแจงข้อมูลเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์ บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน

จากรูปที่ 4.5 ผลการทดลองค่าอุณหภูมิที่ได้อยู่ในขอบเขตของเวลา ในการทดลองเบื้องต้นเปอร์เซ็นต์เฟอร์ไรท์ ที่บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแปรมีการแจกแจงแบบปกติได้ค่า P-Valule = .957 ซึ่งมีค่ามากกว่า .05 มีความเหมาะสมของระดับตัวแปร

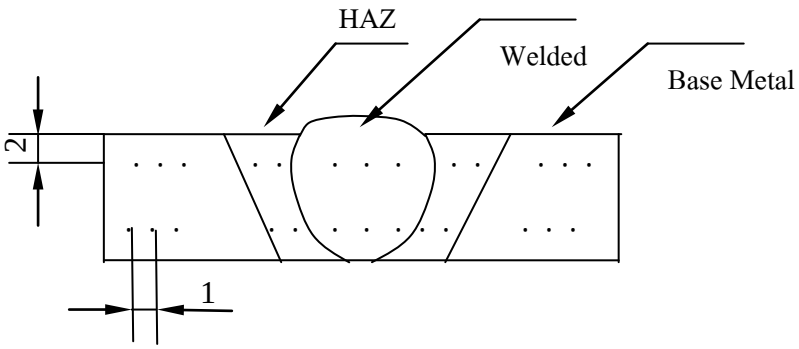


รูปที่ 4.6 การทดสอบการแจงแจงข้อมูลเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์บริเวณแนวเชื่อม

จากรูปที่ 4.6 ผลการทดลองค่าอุณหภูมิที่ได้อยู่ในขอบเขตของเวลา ในการทดลองเบื้องต้นเปอร์เซ็นต์เฟอร์ไรท์ ที่บริเวณแนวเชื่อม พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแปรมีการแจกแจงแบบปกติได้ค่า P-Valule = .582 ซึ่งมีค่ามากกว่า .05 มีความเหมาะสมของระดับตัวแปร

4.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ ของผลการทดลอง

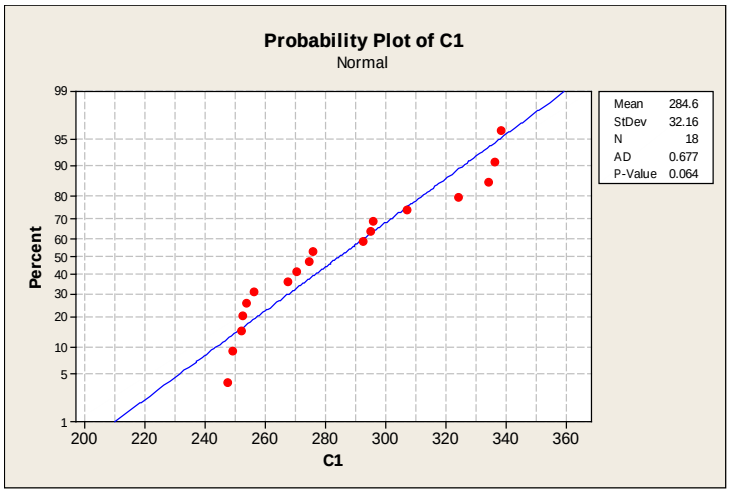
จากการศึกษา การทดลองโดยใช้ตัวแปร 2 ตัวแปรคือ อุณหภูมิและเวลาโดยใช้อุณหภูมิในการบ่มแข็ง มี 3 อุณหภูมิ ได้แก่ 650^{O}C , 750^{O}C 850^{O}C เวลาที่ใช้ในการอบอ่อน 3 ระดับ ได้แก่ 1,4 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ หาค่าความแข็งของชิ้นงาน ซึ่งค่าความแข็งจะทดสอบในหน่วย Vickers (HV) ในการหาตำแหน่งการทดลองได้แก่ บริเวณเนื้องาน (Base Metal), เขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone((HAZ) และแนวเชื่อม (Welded) จำนวน 16 ตำแหน่งต่อชิ้น ดังรูปที่ 4.7 แล้วนำมาวิเคราะห์เชิงสถิติดังรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 4.7 ตำแหน่งที่ใช้ในการตรวจสอบหาค่าเฟสเฟอร์ไรท์และค่าความแข็ง

4.2.1 การวิเคราะห์ทางสถิติ ของผลการทดลองการบ่มแข็ง ที่อุณหภูมิและเวลาต่างกันมีผลต่อความแข็ง บริเวณเนื้องาน (Base Metal)

จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิและเวลามีผล ต่อความแข็งบริเวณเนื้องาน โดยทำการวัดค่าความแข็งด้วยหน่วยหน่วย Vickers (HV) ค่าที่ได้จากการทดสอบ จะนำมาหาค่าเฉลี่ย ได้ค่าความแข็งบริเวณเนื้องานของชิ้นงานทดสอบ ภายใต้เงื่อนไขการทดลองตามแผนการทดลอง แล้วนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ ดังรายละเอียด ดังต่อไปนี้ การทดสอบการแจกแจงของข้อมูลของค่าความแข็งดังแสดงในรูปที่ 4.8 เมื่อกำหนดนัยสำคัญเท่ากับ .05 (ระดับความเชื่อมั่น 95 %) ค่าความแข็งมีการแจกแจงแบบปกติ และ ทำการทดสอบการกระจายข้อมูลของค่าความแข็ง พิจารณาการกระจายของข้อมูลแล้ว นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการบ่มแข็ง ที่มีผลต่อความแข็งบริเวณ เนื้องาน ดังแสดงในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.8 การทดสอบการแจกแจงข้อมูลบริเวณเนื้องาน

จากรูปที่ 4.8 ผลการการวิเคราะห์ข้อมูลความเป็นปกติ(P-value) ของชิ้นงานทดลองจำนวน 18 ชิ้น ผลที่ได้ ค่า P-value= .064>.05 จึงสรุปได้ว่าข้อมูลดังกล่าว มีการแจกแจงปกติ

4.2.1.1 การวิเคราะห์ ANOVA ต่อความแข็งบริเวณเนื้องาน (Base Metal)

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ต่อความแข็งบริเวณเนื้องาน (Base Metal)

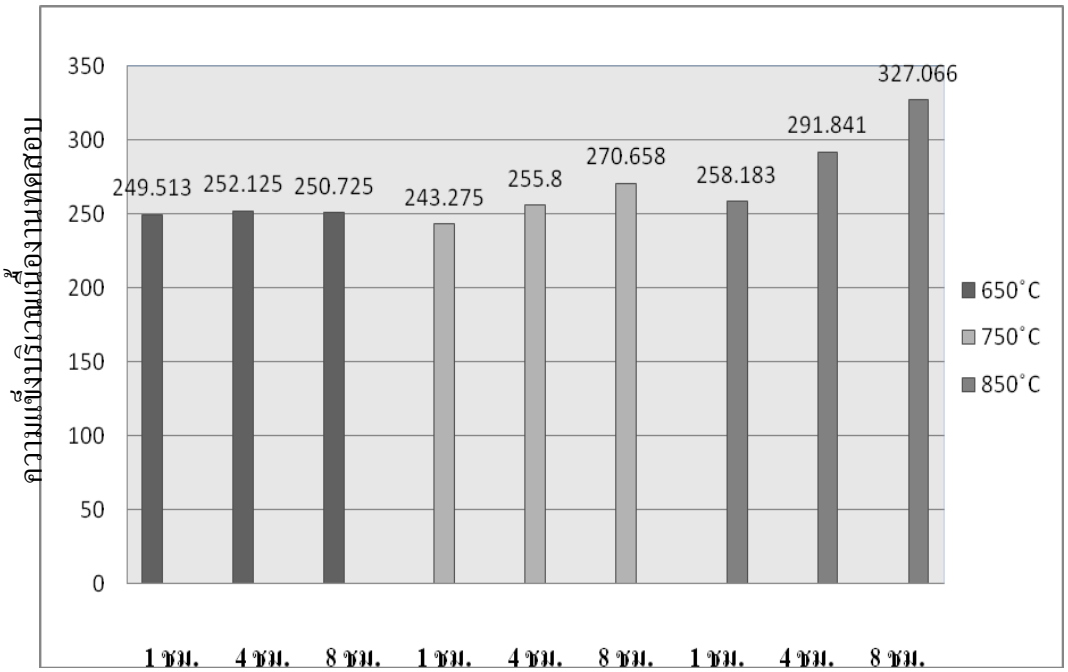
Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Base

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	11589.712[a]	8	1448.714	965.242	.000
Intercept	1279134.369	1	1279134.369	8.523E5	.000
อุณหภูมิ	6085.486	2	3042.743	2.027E3	.000
เวลา	3167.343	2	1583.672	1.055E3	.000
อุณหภูมิ * เวลา	2336.883	4	584.221	389.252	.000
Error	13.508	9	1.501		
Total	1290737.588	18			
Corrected Total	11603.220	17			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .998)

จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่า F (อุณหภูมิ * เวลา)เท่ากับ389.252, Sig(อุณหภูมิ * เวลา)= .000 Sig(อุณหภูมิ * เวลา)มีค่าน้อยกว่า a =.05 แสดงว่าปฏิเสธHo นั่นคือการบ่มแข็งด้วยอายุมีผลต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์เกรด UNS S31803 ต่อความแข็งบริเวณเนื้องานทดสอบ (Base Metal) ที่ระดับนัยสำคัญ .05



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของความแข็งบริเวณเนื้องาน (Base Metal)

จากรูปที่ 4.9 ปัจจัยร่วม (Interaction) มีผลกระทบต่อความแข็งบริเวณเนื้องาน (Base Metal) ที่ระดับ นัยสำคัญ .05 และพบว่า ความแข็งบริเวณเนื้องาน (Base Metal) มีค่าความแข็งเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 327.066 HV คือ อุณหภูมิที่850^{O}C เวลาที่ใช้ในการบ่มแข็ง 8 ชั่วโมง และค่าความแข็งเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 244.275 HV คือ อุณหภูมิที่ 750^{O}C เวลาที่ใช้ในการบ่มแข็ง 1 ชั่วโมง และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งของชิ้นงานทดลองบริเวณเนื้องานทดสอบ(Base Metal)เพิ่มมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.9

4.2.1.2 การวิเคราะห์ ANOVA ต่อความแข็งบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ)

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ต่อความแข็งบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ)

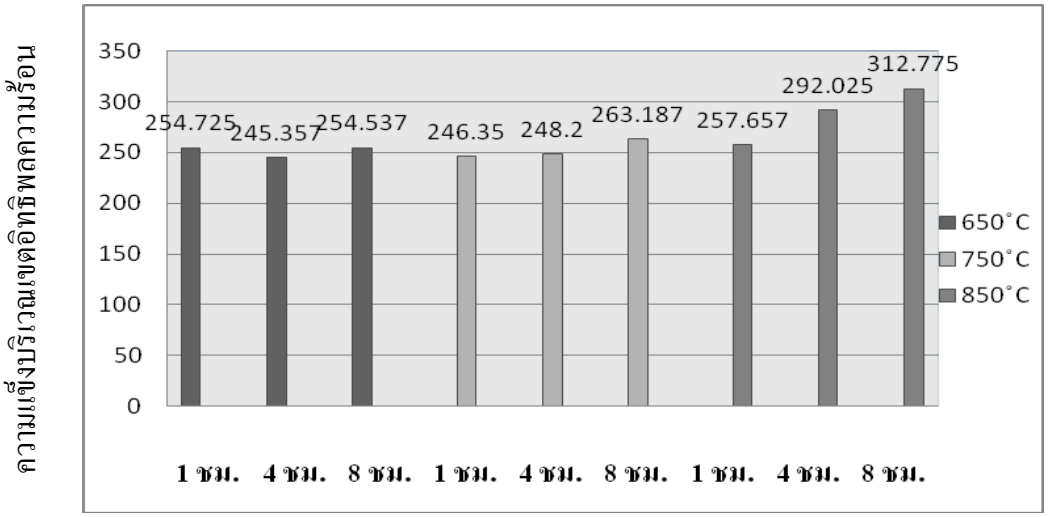
Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Base

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8577.075[a]	8	1072.134	170.592	.000
Intercept	1253313.894	1	1253313.894	1.994E5	.000
อุณหภูมิ	5024.107	2	2512.053	399.704	.000
เวลา	1752.221	2	876.111	139.402	.000
อุณหภูมิ * เวลา	1800.748	4	450.187	71.631	.000
Error	56.563	9	6.285		
Total	1261947.532	18			
Corrected Total	8633.639	17			

a. R Squared = .993 (Adjusted R Squared = .988)

จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่า F (อุณหภูมิ * เวลา)เท่ากับ71.631, Sig(อุณหภูมิ * เวลา)= .000 Sig (อุณหภูมิ * เวลา) มีค่าน้อยกว่า a =.05 แสดงว่าปฏิเสธ Ho นั่นคือการบ่มแข็งด้วยอายุมีผลต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์เกรด UNS S31803 ต่อความแข็งบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ) ที่ระดับนัยสำคัญ .05



รูปที่ 4.10 แสดงกราฟอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของความแข็งบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ)

จากรูปที่ 4.10 พบว่า ปัจจัยร่วม (Interaction) มีผลกระทบต่อความแข็งเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) ที่ระดับ นัยสำคัญ .05 และพบว่า ความแข็งบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ) มีค่าความแข็งเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 312.775 HV คือ อุณหภูมิที่850^{O}C เวลาที่ใช้ในการบ่มแข็ง 8 ชั่วโมง และค่าความแข็งเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 245.375 HV คือ อุณหภูมิที่ 650^{O}C เวลาที่ใช้ในการบ่มแข็ง 4 ชั่วโมง และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งของชิ้นงานทดลองบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ) เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.10

4.2.1.3 การวิเคราะห์ ANOVA ต่อความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (Weld)

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ต่อความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (Weld)

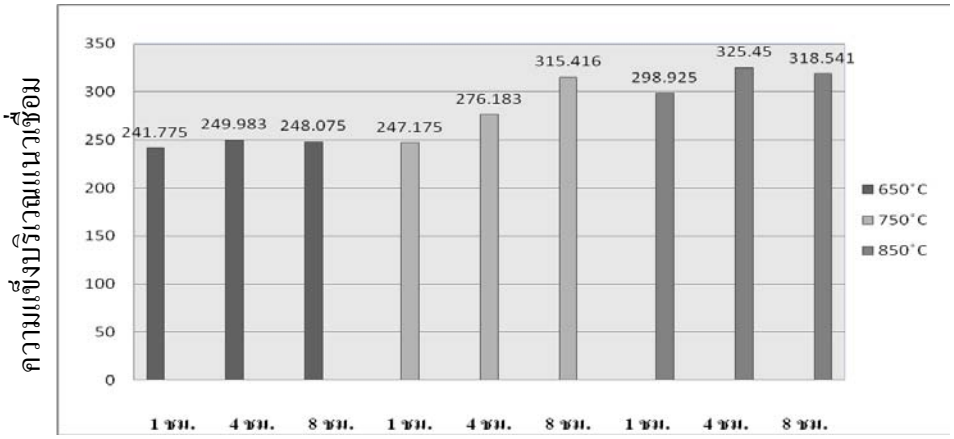
Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Base

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	19522.208[a]	8	2440.276	35.785	.000
Intercept	1410668.050	1	1410668.050	2.069E4	.000
อุณหภูมิ	14020.862	2	7010.431	102.804	.000
เวลา	3050.815	2	1525.407	22.369	.000
อุณหภูมิ * เวลา	2450.531	4	612.633	8.984	.003
Error	613.732	9	68.192		
Total	1430803.991	18			
Corrected Total	20135.941	17			

a. R Squared = .970 (Adjusted R Squared = .942)

จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่า F (อุณหภูมิ * เวลา)เท่ากับ8.984, Sig(อุณหภูมิ * เวลา)= .003 Sig(อุณหภูมิ * เวลา)มีค่าน้อยกว่า a =.05 แสดงว่าปฏิเสธHo นั่นคือการบ่มแข็งด้วยอายุมีผลต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์เกรด UNS S31803 ต่อความแข็งบริเวณแนวเชื่อม(Weld)ที่ระดับนัยสำคัญ .05



รูปที่ 4.11 แสดงกราฟอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (Weld)

จากรูปที่ 4.11 พบว่า ปัจจัยร่วม (Interaction) มีผลกระทบต่อความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (Weld) ที่ระดับ นัยสำคัญ .05 และพบว่า ความแข็งบริเวณบริเวณแนวเชื่อม (Weld) มีค่าความแข็งเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 325.45 HV คือ อุณหภูมิที่850^{O}C เวลาที่ใช้ในการบ่มแข็ง 4 ชั่วโมง และค่าความแข็งเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 241.775 HV คือ อุณหภูมิที่ 650^{O}C เวลาที่ใช้ในการบ่มแข็ง 1 ชั่วโมง และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งของชิ้นงานทดลองบริเวณแนวเชื่อม (Weld) เพิ่มมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.11

ผลการทดลองวัดความแข็ง ของชิ้นงานทั้ง 3 บริเวณ พบว่า (1) บริเวณเนื้องาน (Base Metal)มีความแข็งเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 327.006 HV ที่ผ่านการบ่มแข็งที่อุณหภูมิ 850^{O}C ใช้เวลา 8 ชั่วโมง (2)บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) มีความแข็งเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 312.775 HV ผ่านการบ่มแข็งที่อุณหภูมิ 850^{O}C เวลา 8 ชั่วโมง และ(3)บริเวณแนวเชื่อม (Weld metal)มีความแข็งเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 325.45 HV ผ่านการบ่มแข็งที่อุณหภูมิ 850^{O}C เวลา 4 ชั่วโมง

สรุปได้ว่าค่าความแข็งที่เป็นค่าที่ดีที่สุด คือบริเวณเนื้องาน (Base Metal)มีความแข็งเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 327.006 HV ที่ผ่านการบ่มแข็งที่อุณหภูมิ 850^{O}C ใช้เวลา 8 ชั่วโมง

4.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์

4.2.2.1 การวิเคราะห์ ANOVA ปริมาณเปอร์เซ็น เฟอร์ไรท์บริเวณเนื้องาน (Base Metal)

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ปริมาณเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์บริเวณเนื้องาน (Base Metal

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Base

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	158.763[a]	8	19.845	8.043	.003
Intercept	32059.748	1	32059.748	1.299E4	.000
อุณหภูมิ	17.535	2	8.767	3.553	.073
เวลา	59.695	2	29.848	12.097	.003

อุณหภูมิ * เวลา	81.533	4	20.383	8.261	.004

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ปริมาณเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์บริเวณเนื้องาน (Base Metal

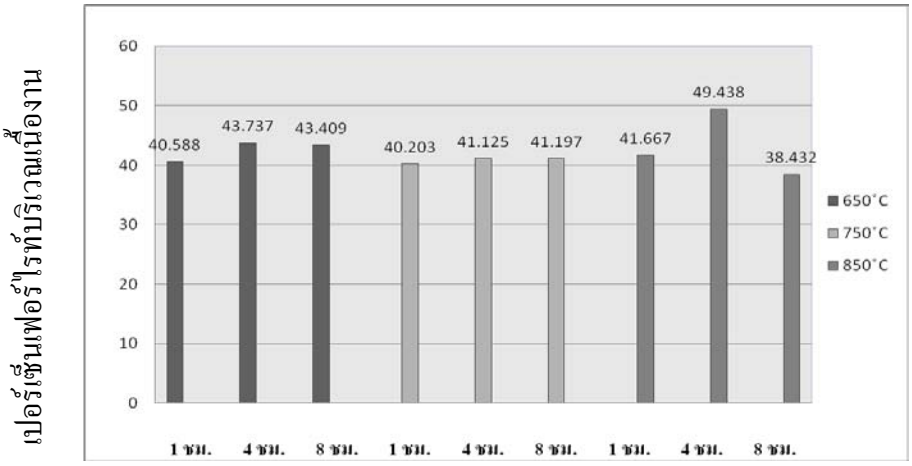
Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Base

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Error	22.206	9	2.467		
Total	32240.717	18			
Corrected Total	180.969	17			

a. R Squared = .877 (Adjusted R Squared = .768)

จากตารางที่ 4.4 พบว่าค่า F (อุณหภูมิ * เวลา) เท่ากับ 8.261, Sig (อุณหภูมิ * เวลา)= .004 Sig (อุณหภูมิ * เวลา) มีค่าน้อยกว่า a =.05 แสดงว่าปฏิเสธHo นั่นคือการบ่มแข็งด้วยอายุมีผลต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์เกรด UNS S31803 ต่อปริมาณเฟอร์ไรท์บริเวณเนื้องานทดสอบ (Base Metal)ที่ระดับนัยสำคัญ .05



รูปที่ 4.12 แสดงกราฟอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างอุณหภูมิและเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์บริเวณเนื้องาน (Base Metal)

จากรูปที่ 4.12 พบว่า ปัจจัยร่วม(Interaction) มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์บริเวณเนื้องานทดสอบ (Base Metal) ที่ระดับ นัยสำคัญ .05 และพบว่าเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์ บริเวณเนื้องาน (Base Metal) มีเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 49.4382 % คือ อุณหภูมิที่ 850^{O}C เวลาที่ใช้ในการบ่มแข็ง 4 ชั่วโมง และค่าเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์เฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 40.203 % คือ อุณหภูมิที่ 750^{O}C เวลาที่ใช้ในการบ่มแข็ง 1 ชั่วโมง และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้เปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์ที่ชิ้นงานทดลองบริเวณเนื้องาน (Base Metal)ลดลงดังแสดงในรูปที่ 4.12

4.2.2.2 การวิเคราะห์ ANOVA ปริมาณเปอร์เซ็น เฟอร์ไรท์บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ)

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ปริมาณเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ)

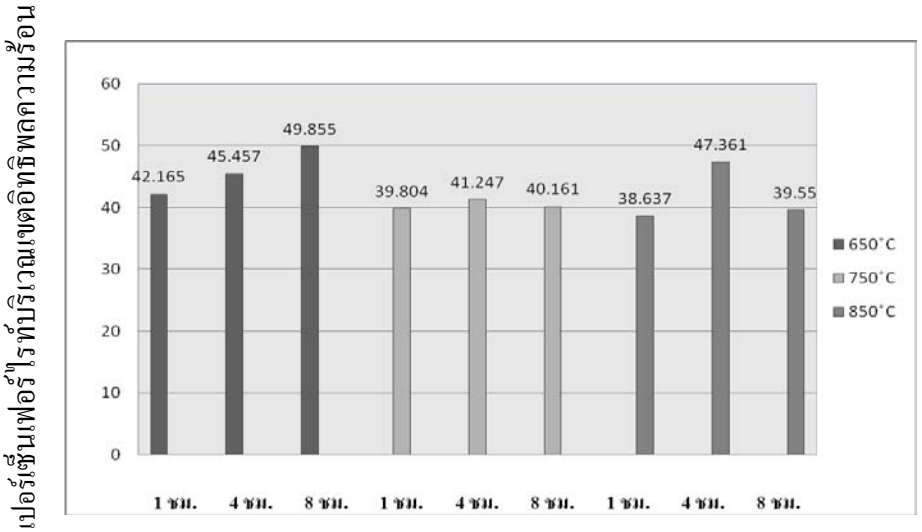
Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:HAZ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8577.075[a]	8	1072.134	170.592	.000
Intercept	1253313.894	1	1253313.894	1.994E5	.000
อุณหภูมิ	5024.107	2	2512.053	399.704	.000
เวลา	1752.221	2	876.111	139.402	.000
อุณหภูมิ * เวลา	1800.748	4	450.187	71.631	.000
Error	56.563	9	6.285		
Total	1261947.532	18			
Corrected Total	8633.639	17			

a. R Squared = .993 (Adjusted R Squared = .988)

จากตารางที่ 4.5 พบว่าค่า F (อุณหภูมิ * เวลา)เท่ากับ 71.631, Sig (อุณหภูมิ * เวลา)= .000 Sig (อุณหภูมิ * เวลา) มีค่าน้อยกว่า a =.05 แสดงว่าปฏิเสธHo นั่นคือการบ่มแข็งด้วยอายุมีผลต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์เกรด UNS S31803 ต่อปริมาณเฟอร์ไรท์บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) ที่ระดับนัยสำคัญ .05



รูปที่ 4.13 แสดงกราฟอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างอุณหภูมิและเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์เขตอิทธิพลความร้อน (HAZ)

จากรูปที่ 4.13 พบว่า ปัจจัยร่วม (Interaction) มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) ที่ระดับนัยสำคัญ.05และพบว่าเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) มีเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 49.855 % คือ อุณหภูมิที่ 650^{O}C เวลาที่ใช้ในการบ่มแข็ง 8 ชั่วโมง และค่าเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์เฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 38.637 % คือ อุณหภูมิที่ 850^{O}C เวลาที่ใช้ในการบ่มแข็ง 1 ชั่วโมง และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้เปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์ที่ชิ้นงานทดลองบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) ลดลงดังแสดงในรูปที่ 4.13

4.2.2.3 การวิเคราะห์ ANOVA ปริมาณเปอร์เซ็น เฟอร์ไรท์บริเวณแนวเชื่อม(Weld)

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ปริมาณเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์บริเวณแนวเชื่อม (Weld)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Weid

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	290.434[a]	8	36.304	12.423	.000
Intercept	14604.041	1	14604.041	4.997E3	.000
อุณหภูมิ	115.998	2	57.999	19.847	.001
เวลา	112.298	2	56.149	19.214	.001

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ปริมาณเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์บริเวณแนวเชื่อม (Weld)

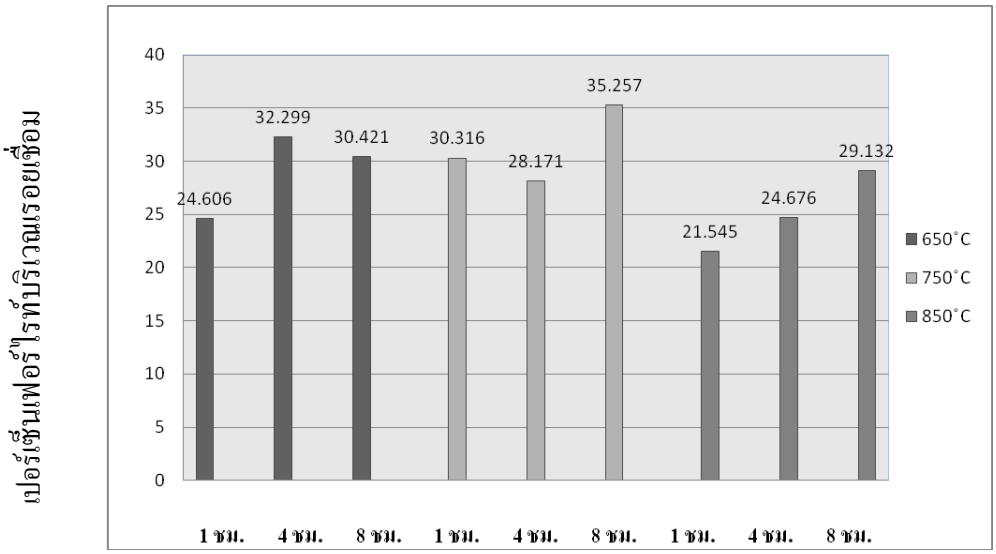
Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Weid

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
อุณหภูมิ* เวลา	62.138	4	15.534	5.316	.018
Error	26.301	9	2.922		
Total	14920.775	18			
Corrected Total	316.734	17			

a. R Squared = .917 (Adjusted R Squared = .843)

จากตารางที่ 4.6 พบว่าค่า F (อุณหภูมิ * เวลา) เท่ากับ 5.316, Sig (อุณหภูมิ * เวลา) = .018 Sig (อุณหภูมิ * เวลา)มีค่าน้อยกว่า a =.05 แสดงว่าปฏิเสธHo นั่นคือการบ่มแข็งด้วยอายุมีผลต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์เกรด UNS S31803 ต่อปริมาณเฟอร์ไรท์บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) ที่ระดับนัยสำคัญ .05



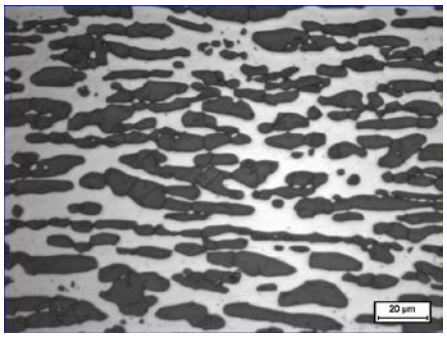
รูปที่ 4.14 แสดงกราฟอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างอุณหภูมิและเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์บริเวณแนวเชื่อม (Weld)

จากรูปที่ 4.14 พบว่า ปัจจัยร่วม (Interaction) มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์บริเวณแนวเชื่อม (Weld) ที่ระดับ นัยสำคัญ .05 และพบว่าเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์บริเวณแนวเชื่อม(Weld) มีเปอร์เซ็นเฟอร์

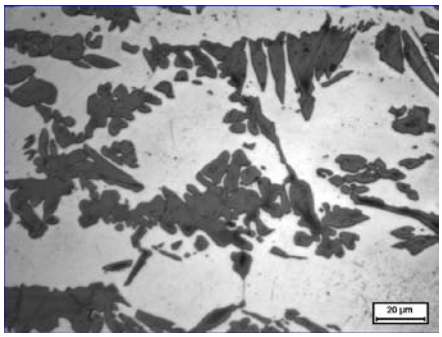
ไรท์เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 35.257 % คือ อุณหภูมิที่ 750^{O}C เวลาที่ใช้ในการบ่มแข็ง 8 ชั่วโมง และค่าเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์เฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 21.454 % คือ อุณหภูมิที่ 850^{O}C เวลาที่ใช้ในการบ่มแข็ง 1 ชั่วโมง และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้เปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์ที่ชิ้นงานทดลองบริเวณแนวเชื่อม(Weld) ลดลงดังแสดงในรูปที่ 4.14

4.2.3 โครงสร้างจุลภาคและการประเมินความสมดุลของเฟส ชิ้นงานที่ไม่ผ่านการบ่มแข็ง

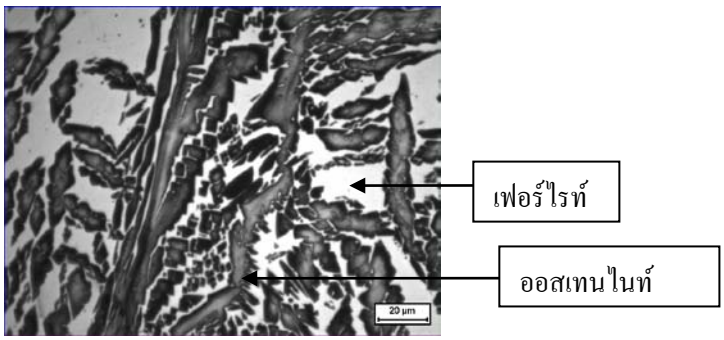
วัสดุที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์เกรด S31803 หลังการเชื่อมชิ้นงานทดลอง ที่ไม่ผ่านการบ่มแข็ง ตามอุณหภูมิและระยะเวลาที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 4.13 โครงสร้างจุลภาค ภาคตัดขวางชิ้นงานทดลอง 3 บริเวณ ได้แก่ บริเวณเนื้องาน (Base Metal), เขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone((HAZ) และแนวเชื่อม (Welded) ตามลำดับ โครงสร้างจุลภาค บนภาพประกอบด้วยเฟอร์ไรท์(Ferrite) และ ออสเทนไนท์ (Austenite) บริเวณสีขาวซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นคือเฟอร์ไรท์และบริเวณที่เห็นเป็นหมู่เกาะแถบยาวสีดำตามทิศทางการรีด คือ ออสเทนไนท์ ดังแสดงในรูปที่ 4.15



(1)บริเวณเนื้องานทดสอบ Base



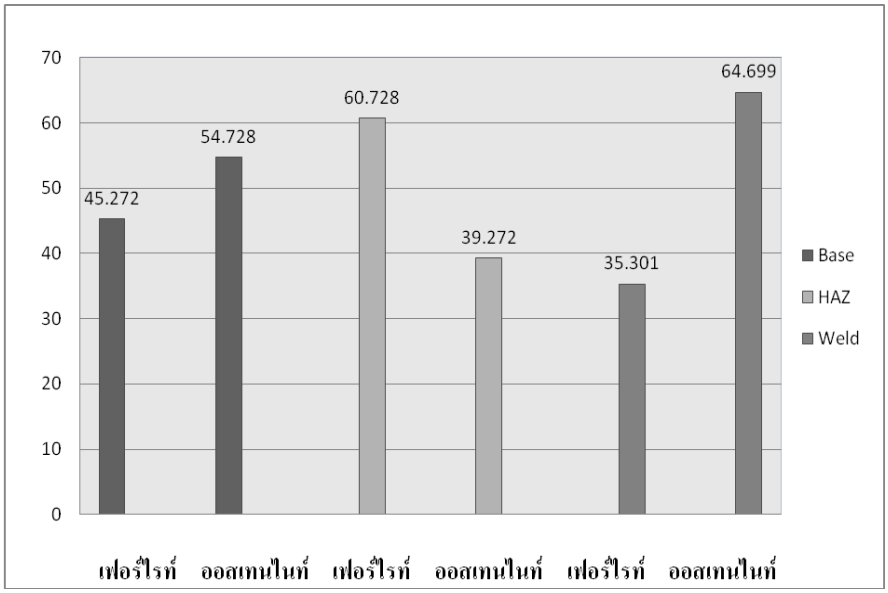
(2) บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected



(3) บริเวณแนวเชื่อม Welded

รูปที่ 4.15 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดลองที่ไม่ผ่านกระบวนการบ่มแข็งที่กำลังขยาย 400 เท่า

จากรูปที่ 4.15 ภาพที่ (1) แสดงถึงโครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้องาน (Base Metal) ซึ่งพบปริมาณออสเทนไนท์ในปริมาณที่ใกล้เคียงกับเฟอร์ไรท์ ลักษณะของโครงสร้างออสเทนไนท์มีลักษณะเป็นเกร็ดก้อนยาว คล้ายตัวหนอนวางตัวตามแนวยาวแนวรีด ซึ่งพบว่ามีปริมาณออสเทนไนท์มากกว่าบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) ภาพที่ (2)บริเวณกระทบร้อน(HAZ) พบว่า มีลักษณะโครงสร้างออสเทนไนท์ วางตัวกระจัดกระจายเกาะกลุ่มใหญ่เป็นเกล็ดยาว คล้ายใบไผ่และเป็นก้อนเล็กๆ บนโครงสร้างพื้นเฟอร์ไรท์ทั่วบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน ซึ่งมีออสเทนไนท์น้อยกว่าเฟอร์ไรท์ โครงสร้างออสเทนไนท์จะกระจายตัวอยู่เบาบางมากกว่าบริเวณเนื้องาน(Base Metal) เฟอร์ไรท์มีการวางตัวอย่างกระจัดกระจายมากขึ้น ภาพที่(3) บริเวณแนวเชื่อม(Weld) โครงสร้างออสเทนไนท์ มีจำนวนมากกว่าโครงสร้างเฟอร์ไรท์ ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างของออสเทนไนท์จับตัวเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ตามแนวตั้งขวางตามรีด ต่างจากบริเวณเนื้องาน(Base Metal) และบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) ซึ่งมีจำนวนของออสเทนไนท์มากกว่าและอยู่อย่างหนาแน่นไม่เป็นระเบียบ



รูปที่ 4.16 แสดงปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์บริเวณต่างๆของชิ้นทดสอบที่ไม่ผ่านการบ่มแข็ง

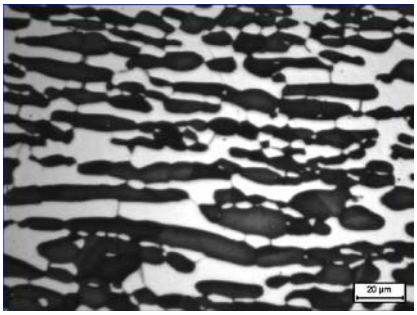
จากการประเมินความสมดุลเฟสดังรูปที่ 4.16 พบว่าบริเวณแนวเชื่อมมีปริมาณเฟสออสเทนไนท์อยู่มากกว่าปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์ โดยเฉพาะบริเวณแนวเชื่อมมีปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์เพียง 35.301% เท่านั้น มีเพียงบริเวณเขตอิทธิพลความร้อนที่มีปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์มากกว่าปริมาณเฟสออสเทนไนท์ โดยมีปริมาณเฟอร์ไรท์ 60.728 % ส่วนบริเวณเนื้องานทดสอบจะมีปริมาณเฟสออสเทนไนท์ใกล้เคียงกับปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์

4.3 ผลการทดลองของชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการบ่มแข็ง

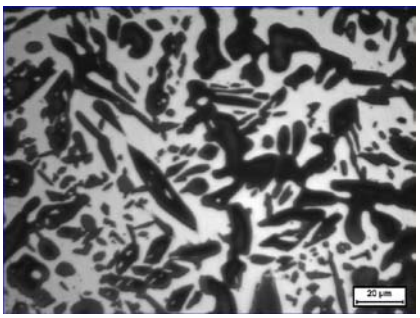
4.3.1 โครงสร้างจุลภาคและการประเมินความสมดุลของเฟสของชิ้นงานที่ผ่านการบ่มแข็ง

ชิ้นงานที่ผ่านการบ่มแข็งโดยการอบละลายเฟสที่อุณหภูมิ 1,050^{O}C แล้วทำการบ่มแข็งที่อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกันได้แก่ อุณหภูมิ 650^{O}C,750^{O}C,850^{O}C และเวลา 1,4,8 ชั่วโมง ทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ได้ผลโครงสร้างจุลภาคดังแสดงต่อไปนี้

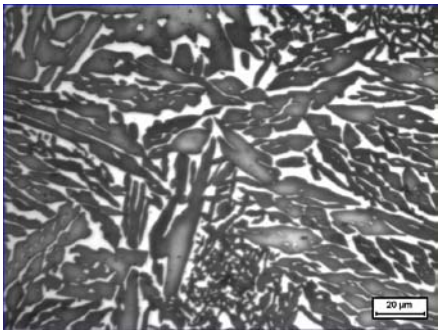
4.3.1.1 ชิ้นทดสอบบ่มแข็งที่อุณหภูมิ 650 ^{O}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



(1)บริเวณเนื้องานทดสอบ Base



(2) บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone

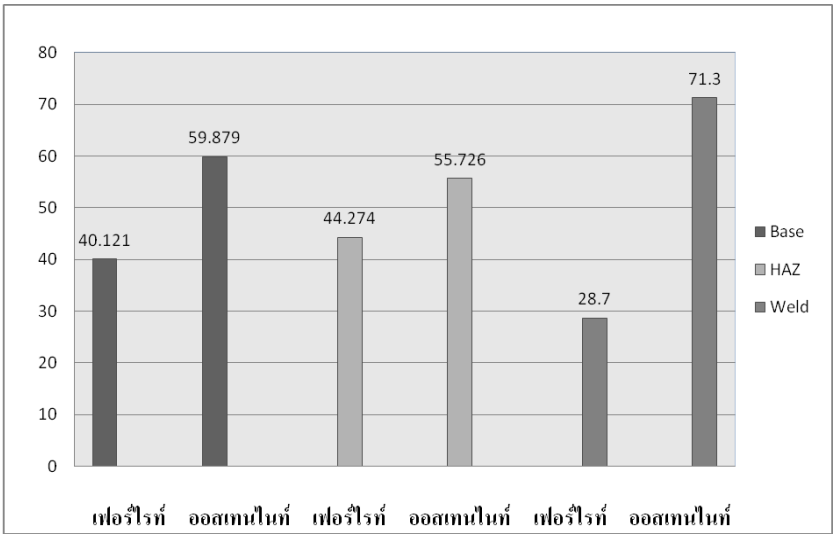


(3) บริเวณแนวเชื่อม Welded

รูปที่ 4.17 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่บ่มแข็งที่อุณหภูมิ 650 ^{O}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบที่กำลังขยาย 400 เท่า

จากรูปที่ 4.17 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่บ่มแข็งที่อุณหภูมิ 650 ^{O}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าบริเวณโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมดังรูป (3) จะมีโครงสร้างพื้นเป็นออสเทนไนท์ที่มีโครงสร้างเฟอร์ไรท์แทรกอยู่ตามขอบเกรนของออสเทนไนท์ ส่วนบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (2) จะพบโครงสร้างออสเทนไนท์ที่ต่างจากบริเวณแนวเชื่อม จะพบโครงสร้างออสเทนไนท์สลับกับ

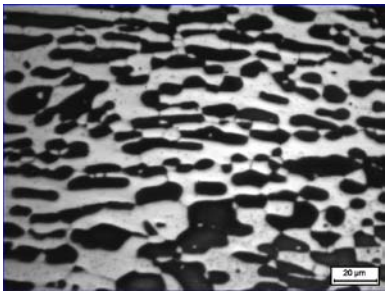
โครงสร้างเฟอร์ไรท์ ซึ่งโครงสร้างออสเทนไนท์จะแทรกอยู่ตามขอบเกรนยาวรีของเฟอร์ไรท์ ซึ่งโครงสร้าง เฟอร์ไรท์จะมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่มาก ทำให้พบโครงสร้างออสเทนไนท์เพียงเล็กน้อยแทรกอยู่ตามขอบเกรนของเฟอร์ไรท์ ซึ่งคล้ายกับโครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้องานทดสอบและบริเวณเนื้องานทดสอบ (1)



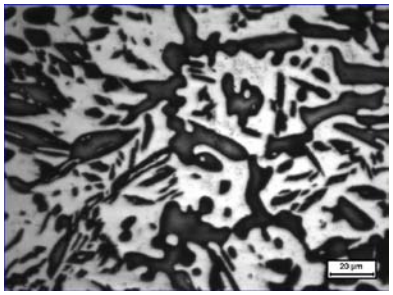
รูปที่ 4.18 แสดงปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์บริเวณต่าง ๆ ของชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 650 ^{O}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

จากการประเมินความสมดุลเฟสดังรูปที่ 4.18 พบว่าบริเวณเขตอิทธิพลความร้อนจะมีปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์ 44.274 เปอร์เซ็นส่วนบริเวณแนวเชื่อมพบว่าเฟอร์ไรท์ลดลงจากการเปรียบเทียบกับปริมาณเฟอร์ไรท์ที่ไม่ผ่านการบ่มแข็งและบริเวณเนื้องานทดสอบพบว่าปริมาณเฟอร์ไรท์ลดลงเล็กน้อยจากการเปรียบเทียบกับปริมาณเฟอร์ไรท์ที่ไม่ผ่านการบ่มแข็งโดยมีปริมาณปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์ 40.121 เปอร์เซ็น

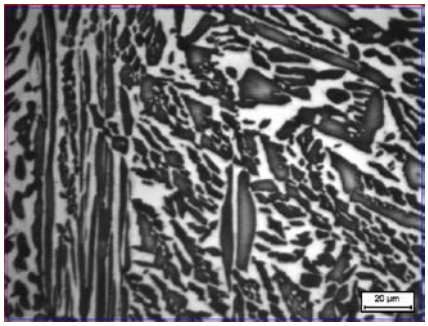
4.3.1.2 ชิ้นทดสอบบ่มแข็งที่อุณหภูมิ 650 ^{O}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง



(1)บริเวณเนื้องานทดสอบ Base



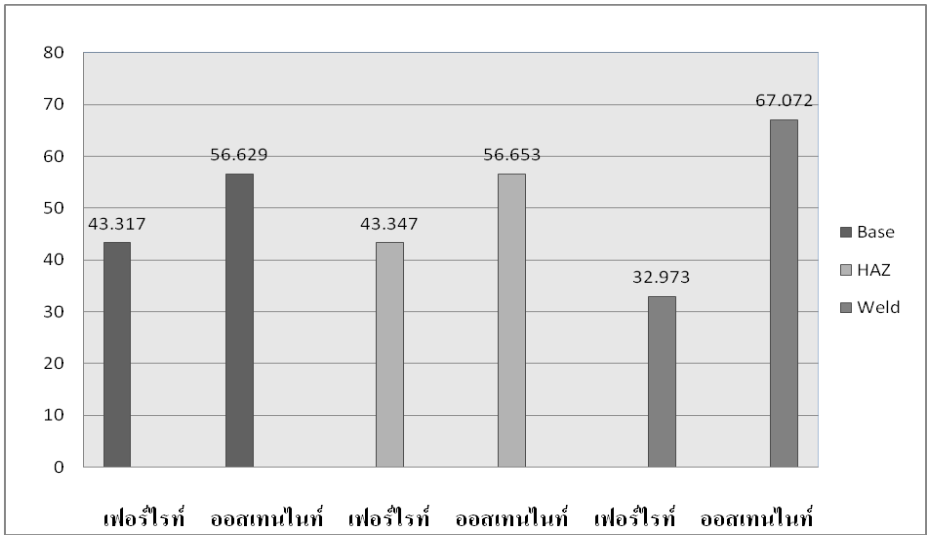
(2) บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone



(3) บริเวณแนวเชื่อม Welded

รูปที่ 4.19 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่บ่มแข็งที่อุณหภูมิ 650 ^{O}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เปรียบเทียบที่กำลังขยาย 400 เท่า

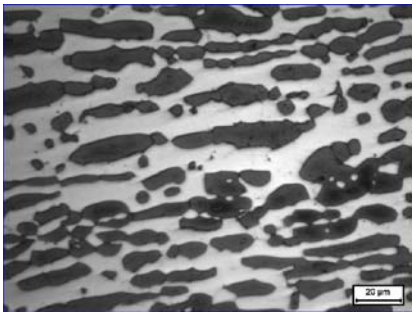
จากโครงสร้างจุลภาคดังรูปที่ 4.19 พบว่าบริเวณแนวเชื่อม (3) มีปริมาณออสเทนไนท์อย่างหนาแน่นทั่วทั้งชิ้นงานและมีเฟอร์ไรท์อยู่ตามขอบเกรนของออสเทนไนท์เพียงเล็กน้อย ลักษณะของออสเทนไนท์เป็นเส้นยาวรีคล้าใบไผ่แต่วางตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ ต่างจากบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (2) เฟอร์ไรท์จะมีขนาดก้อนใหญ่ขึ้นและมีปริมาณ



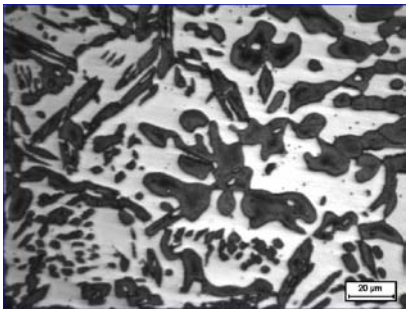
รูปที่ 4.20 แสดงปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์บริเวณต่างๆของชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 650 ^{O}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

จากการประเมินความสมดุลเฟสดังรูปที่ 4.20 พบว่า บริเวณแนวเชื่อม มีปริมาณออสเทนไนท์มากกว่าปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์ คล้ายกับที่เวลา 1 ชั่วโมง ส่วนบริเวณเขตอิทธิพลความร้อนมีปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์ใกล้เคียงกับปริมาณเฟสออสเทนไนท์ และบริเวณเนื้องานทดสอบมีปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์ลดลงน้อยกว่าปริมาณเฟสออสเทนไนท์แต่ไม่มากนัก

4.3.1.3 ชิ้นทดสอบบ่มแข็งที่อุณหภูมิ 650 ^{O}C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

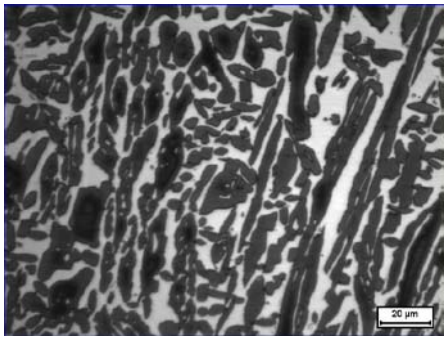


(1)บริเวณเนื้องานทดสอบ Base



(2) บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone

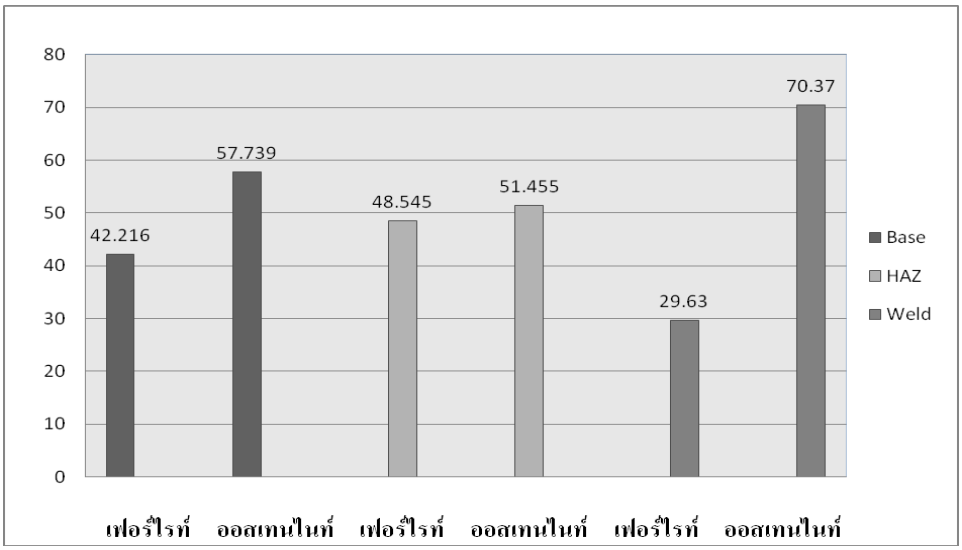
รูปที่ 4.21 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่บ่มแข็งที่อุณหภูมิ 650 ^{O}C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เปรียบเทียบที่กำลังขยาย 400 เท่า



(3) บริเวณแนวเชื่อม Welded

รูปที่ 4.21 (ต่อ) โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่บ่มแข็งที่อุณหภูมิ 650 ^{O}C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เปรียบเทียบที่กำลังขยาย 400 เท่า

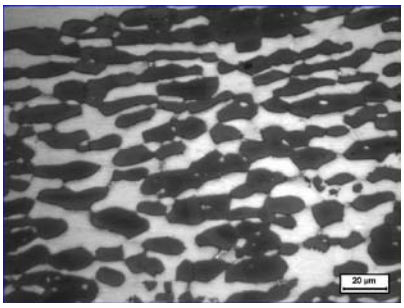
จากรูปที่ 4.21 โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อม (3) มีโครงสร้างเฟอร์ไรท์เบาบาง ทำให้มีโครงสร้างออสเทนไนท์ตามขอบเกรน ของ เฟอร์ไรท์มากขึ้น ส่วนบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (2) และบริเวณเนื้องานทดสอบ (1) มีโครงสร้างของเฟอร์ไรท์และออสเทนไนท์สลับกัน แต่ขนาดของเฟอร์ไรท์บริเวณเนื้องานทดสอบขยายขนาดขึ้นกว่าบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน



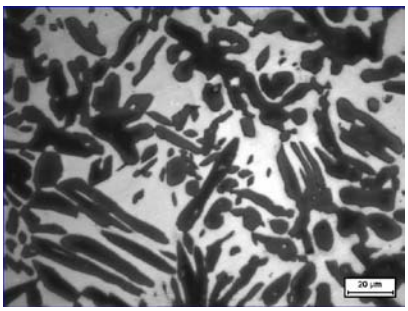
รูปที่ 4.22 แสดงปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์บริเวณต่างๆของชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 650 ^{O}C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

จากการประเมินความสมดุลเฟสดังรูปที่ 4.22 พบว่าที่บริเวณเขตอิทธิพลความร้อนจะมีปริมณเฟสเฟอร์ไรท์ 48.545 เปอร์เซ็น ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับเฟสออสเทนไนท์ส่วนบริเวณเนื้องานทดสอบจะมีเฟอร์ไรท์ 42.216 เปอร์เซ็น และบริเวณแนวเชื่อมจะมีปริมณเฟสเฟอร์ไรท์ น้อยมากซึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของเฟสออสเทนไนท์ที่บริเวณแนวเชื่อมอย่างมากโดยปริมณเฟสเฟอร์ไรท์ ลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบที่อุณหภูมิ650 ^{O}C ในเวลา 4 ชั่วโมง โดยมีปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์ 29.63 เปอร์เซ็น

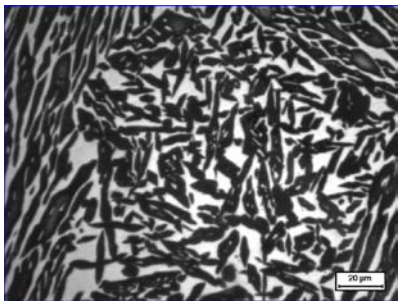
4.3.1.4 ชิ้นทดสอบบ่มแข็งที่อุณหภูมิ 750 ^{O}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



(1)บริเวณเนื้องานทดสอบ Base



(2) บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone

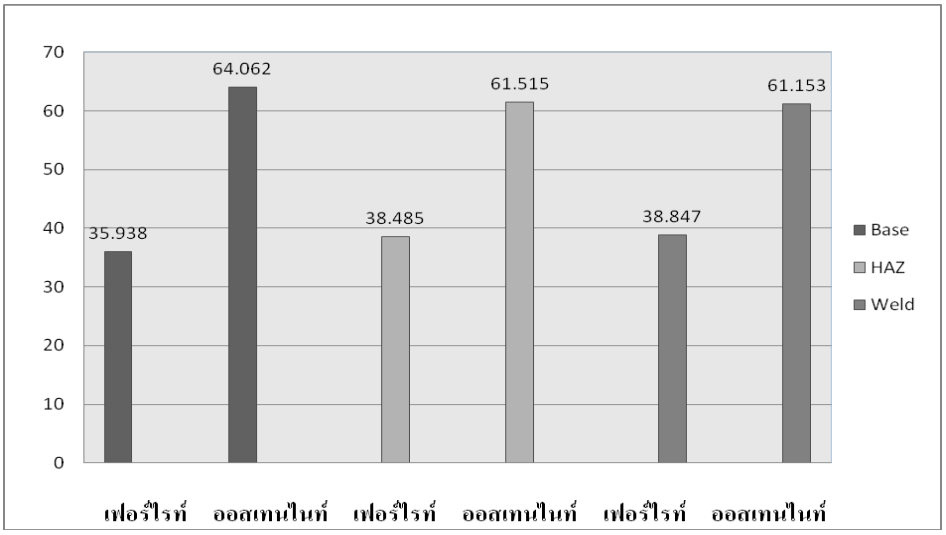


(3) บริเวณแนวเชื่อม Welded

รูปที่ 4.23 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่บ่มแข็งที่อุณหภูมิ 750 ^{O}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบที่กำลังขยาย 400 เท่า

จากรูปที่ 4.23 พบว่าโครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อรอยเชื่อม (3) มีปริมาณเฟอร์ไรท์เพิ่มมากขึ้นและเกาะกลุ่มเป็นก้อนขนาดใหญ่มากขึ้นกว่า ณ. อุณหภูมิ650 ^{O}C ที่เวลา ส่วนบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (2) จะพบโครงสร้างเฟอร์ไรท์มีลักษณะจับกลุ่มเป็นก้อนมีขนาดใหญ่กว่า โครงสร้างออสเทนไนท์ ทำให้ ออสเทนไนท์ที่อยู่บริเวณขอบเกรนของเฟอร์ไรท์ขยายขนาดมากขึ้น และบริเวณเนื้องานทดสอบ (1) มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับบริเวณเขตอิทธิพลความร้อนแต่เฟอร์ไรท์จะมีปริมาณมากขึ้น โครง

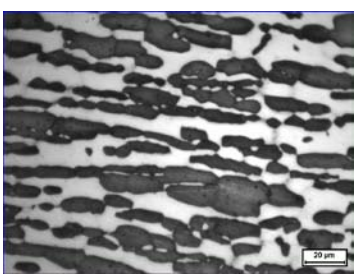
สร้างเฟอร์ไรท์สลับกับโครงสร้างออสเทนไนท์คล้ายกับบริเวณเนื้องานทดสอบ ณ.อุณหภูมิและเวลาอื่นๆ



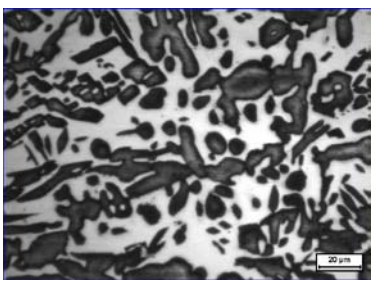
รูปที่ 4.24 แสดงปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์บริเวณต่างๆของชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 750 ^{O}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

จากการประเมินความสมดุลเฟสดังรูปที่ 4.24 พบว่า บริเวณแนวเชื่อมและบริเวณเขตอิทธิพลความร้อนมีปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์ที่ใกล้เคียงกันคือบริเวณเขตอิทธิพลความร้อนมีปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์ 38.485 เปอร์เซ็น และบริเวณแนวเชื่อมมีปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์38.847 เปอร์เซ็น ส่วนบริเวณเนื้องานทดสอบเฟสเฟอร์ไรท์ลดลงเล็กน้อยโดยมีปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์35.938เปอร์เซ็น

4.3.1.5 ชิ้นทดสอบบ่มแข็งที่อุณหภูมิ 750 ^{O}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

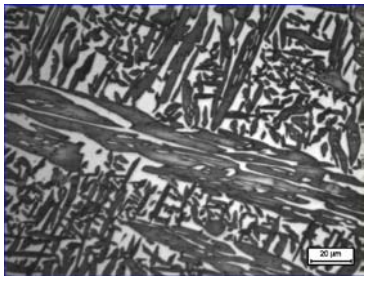


(1)บริเวณเนื้องานทดสอบ Base



(2) บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone

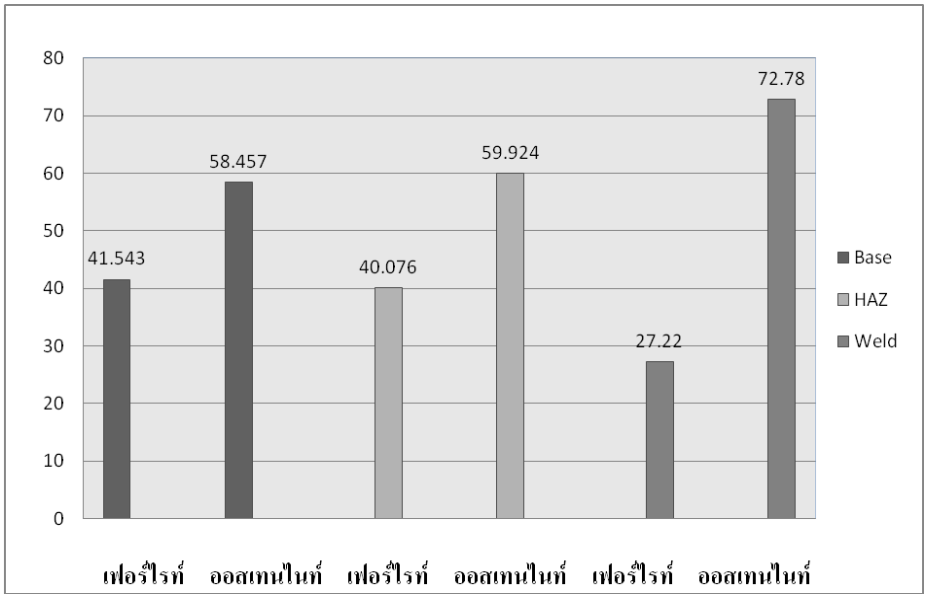
รูปที่ 4.25 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่บ่มแข็งที่อุณหภูมิ 750 ^{O}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เปรียบเทียบที่กำลังขยาย 400 เท่า



(3) บริเวณแนวเชื่อม Welded

รูปที่ 4.25 (ต่อ) โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่บ่มแข็งที่อุณหภูมิ 750 ^{O}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เปรียบเทียบที่กำลังขยาย 400 เท่า

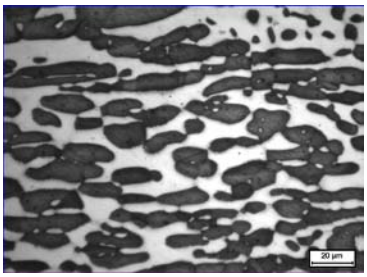
จากรูปที่ 4.25 โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อม (3) พบว่ามีโครงสร้างเฟอร์ไรท์มีลักษณะเล็กและแทรกตัวตามเฟสของออสเทนไนท์กระจายตัวทั่วทั้งบริเวณ และมีปริมาณเฟอร์ไรท์อยู่ตามขอบเกรนของออสเทนไนท์เพียงเล็กน้อย ซึ่งถือว่ามีขนาดใหญ่กว่าที่เวลา 1 ชั่วโมง ส่วนบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (2) พบว่าพบโครงสร้างเฟอร์ไรท์สลับกับโครงสร้างออสเทนไนท์ โครงสร้างเฟอร์ไรท์มีลักษณะเป็นก้อน กระจายตัวอย่างแน่นหนาทั่วบริเวณทำให้มีโครงสร้างออสเทนไนท์จำนวนมากตามขอบเกรนของโครงสร้างเฟอร์ไรท์ และบริเวณเนื้องานทดสอบ (1) ก็มีลักษณะคล้ายกับบริเวณเขตอิทธิพลความร้อนแต่เฟอร์ไรท์มีขนาดเล็กและมีปริมาณหนาแน่นน้อยกว่าเขตอิทธิพลความร้อน



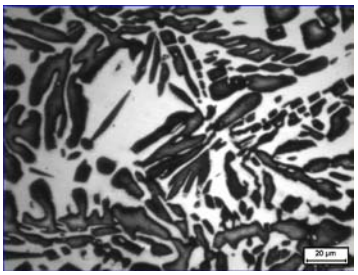
รูปที่ 4.26 แสดงปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์บริเวณต่างๆของชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 750 ^{O}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

จากการประเมินความสมดุลเฟสดังรูปที่ 4.26 พบว่า บริเวณแนวเชื่อมมีปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่อุณหภูมิ 750^{O}C เวลา 1 ชั่วโมง อย่างมากโดยจะมีปริมาณเฟอร์ไรท์เพียง27.22 เปอร์เซ็น แต่พบว่าบริเวณอื่นๆ คือ เขตอิทธิพลความร้อน และบริเวณเนื้องานทดสอบ มีปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์ใกล้เคียงกับปริมาณเฟสออสเทนไนท์

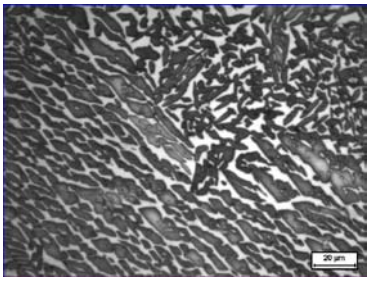
4.3.1.6 ชิ้นทดสอบบ่มแข็งที่อุณหภูมิ 750 ^{O}C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง



(1)บริเวณเนื้องานทดสอบ Base



(2) บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone

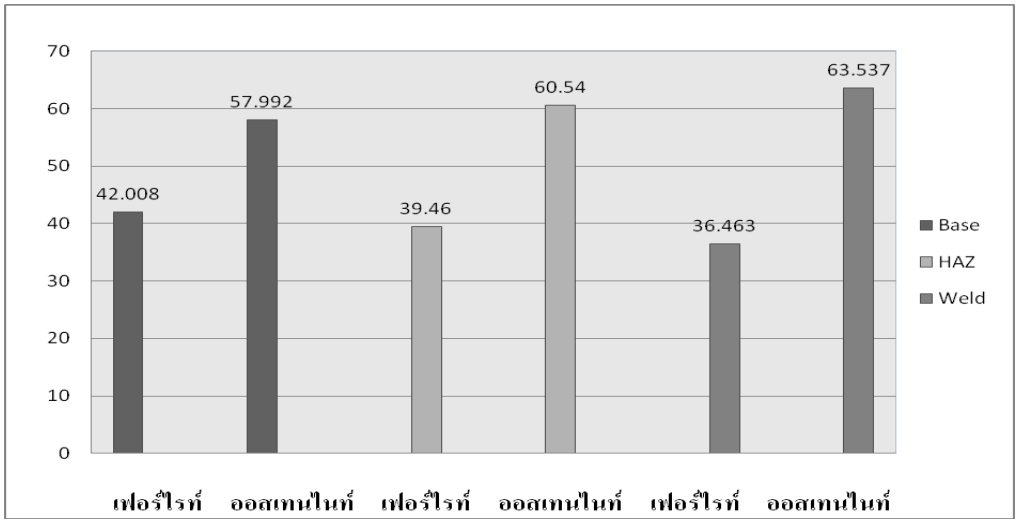


(3) บริเวณแนวเชื่อม Welded

รูปที่ 4.27 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่บ่มแข็งที่อุณหภูมิ 750 ^{O}C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เปรียบเทียบที่กำลังขยาย 400 เท่า

จากรูปที่ 4.27 พบว่าบริเวณแนวเชื่อม (3) มีโครงสร้างเฟอร์ไรท์รูปร่างลักษณะเกร็ดเล็ก ๆ อยู่ติดกันทั่วทั้งบริเวณ ทำให้มีโครงสร้างเฟอร์ไรท์เพียงเล็กน้อยอยู่ตามขอบเกรนของออสเทนไนท์ ส่วนบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (2)จะมีโครงสร้างของเฟอร์ไรท์เฟอร์ไรท์จับกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่กระจายอยู่ทั่วบริเวณเขติทธิพลความร้อน และบริเวณเนื้องานทดสอบ (1) พบโครงสร้างเฟอร์ไรท์สลับอยู่กับโครงสร้างออสเทนไนท์ แต่ขนาดของเฟอร์ไรท์บริเวณเขตอิทธิพลความร้อนมีขนาดเล็กและอยู่ห่างกันมากกว่าเฟอร์ไรท์บริเวณเนื้องานทดสอบ แต่ตามขอบเกรนของเฟอร์ไรท์มีโครงสร้าง

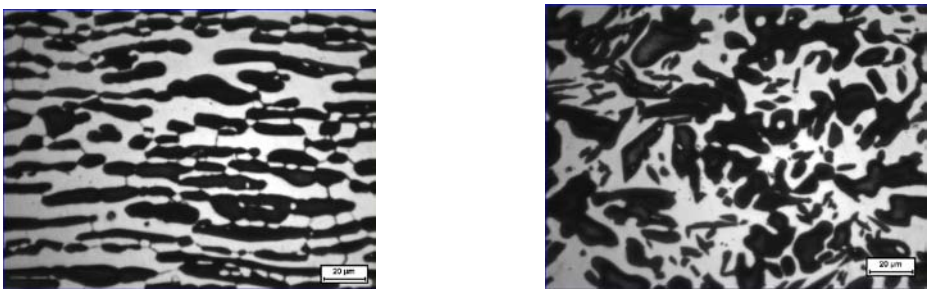
ของ ออสเทนไนท์และเฟสที่เป็นเกร็ดสีดำ คล้ายกับบริเวณอื่นๆ และปริมาณออสเทนไนท์มีขนาดลดลงไปตามการขยายตัวของพื้นที่เกรนเฟอร์ไรท์



รูปที่ 4.28 แสดงปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์บริเวณต่างๆของชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 750 ^{O}C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

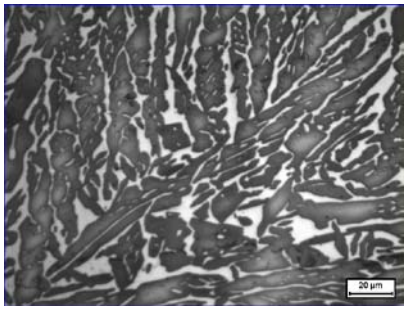
จากการประเมินความสมดุลเฟสดังรูปที่ 4.28 พบว่าปริมาณเฟอร์ไรท์เพิ่มขึ้นที่บริเวณแนวเชื่อมเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่อุณหภูมิ750^{O}C เวลา 4 ชั่วโมง โดยมีปริมาณเฟอร์ไรท์เพิ่มขึ้นที่แนวเชื่อมเป็น36.463เปอร์เซ็นและปริมาณเฟอร์ไรท์เพิ่มขึ้นที่บริเวณเขตอิทธิพลความร้อนโดยมีปริมาณเฟอร์ไรท์ เป็น39.46 เปอร์เซ็นและบริเวณเนื้องานทดสอบมีปริมาณเฟอร์ไรท์ เป็น42.008เปอร์เซ็น

4.3.1.7 ชิ้นทดสอบบ่มแข็งที่อุณหภูมิ 850 ^{O}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



(1)บริเวณเนื้องานทดสอบ Base (2) บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone

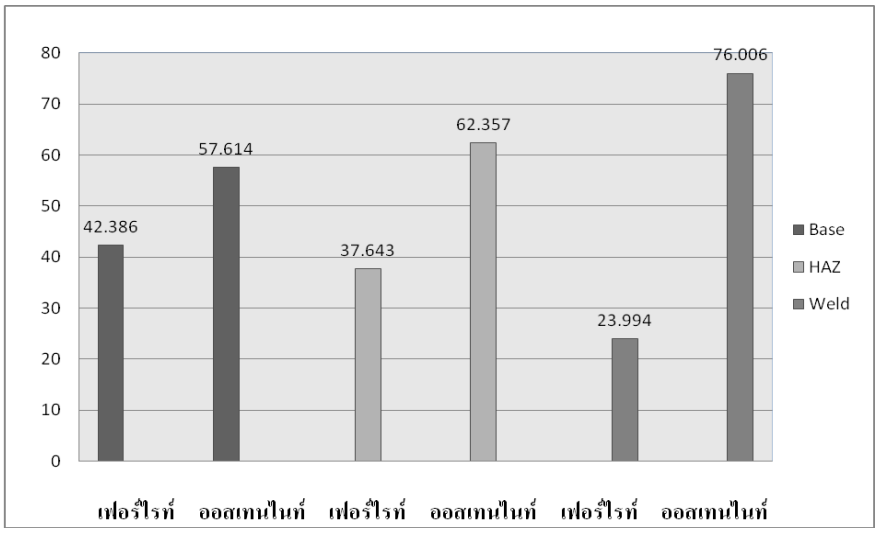
รูปที่ 4.29 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่บ่มแข็งที่อุณหภูมิ 850 ^{O}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบที่กำลังขยาย 400 เท่า



(3) บริเวณแนวเชื่อม Welded

รูปที่ 4.29 (ต่อ) โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่บ่มแข็งที่อุณหภูมิ 850 ^{O}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบที่กำลังขยาย 400 เท่า

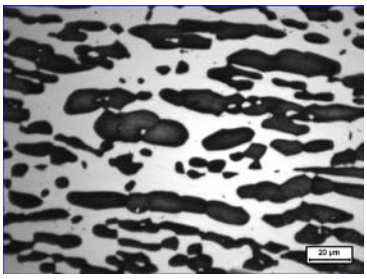
จากรูปที่ 4.29 โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อม (3) พบโครงสร้างเฟอร์ไรท์ลักษณะเป็นหมู่เกาะยาว รีวางตัวติดๆกัน หนาแน่นมากนัก และวางตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ และมีปริมาณเฟอร์ไรท์เพิ่มขึ้น กระจัดกระจายทั่วทั้งบริเวณ ส่วนบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (2) มีลักษณะคล้ายกัน แต่โครงสร้างเฟอร์ไรท์มีลักษณะเป็นเกร็ดม้วนกว่าเฟอร์ไรท์บริเวณแนวเชื่อม และบริเวณเนื้องานทดสอบ (1) มีโครงสร้างเฟอร์ไรท์สลับกับโครงสร้างออสเทนไนท์ คล้ายกับโครงสร้างเดิมของชิ้นทดสอบ ซึ่งในแต่ละบริเวณที่เป็นโครงสร้าง ออสเทนไนท์ตามขอบเกรนของเฟอร์ไรท์พบว่ามีเฟสเม็ดกลมสีดำเกิดขึ้นเล็กน้อย



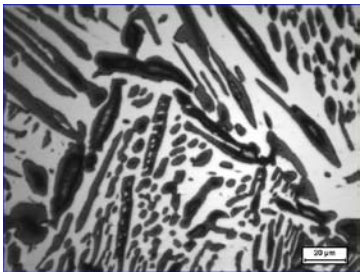
รูปที่ 4.30 แสดงปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์บริเวณต่างๆของชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 850 ^{O}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

จากการประเมินความสมดุลเฟสดังรูปที่ 4.30 พบว่าบริเวณแนวเชื่อมจะมีปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์ลดลงอย่างต่อเนื่องจากการทดสอบโดยมีปริมาณเฟอร์ไรท์ที่บริเวณแนวเชื่อม23.994 เปอร์เซ็น แต่บริเวณอื่น ๆ คือ เขตอิทธิพลความร้อนจะมีเฟสเฟอร์ไรท์ลดลงเล็กน้อยและมีปริมาณเฟอร์ไรท์ 37.643 เปอร์เซ็น และบริเวณเนื้องานทดสอบ มีปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์และออสเทนไนท์ในปริมาณเกือบใกล้เคียงกัน

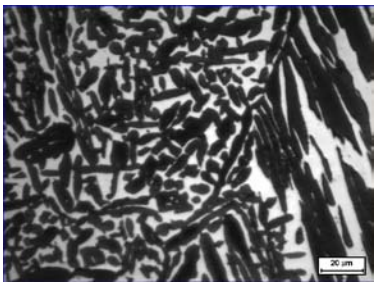
4.3.1.8 ชิ้นทดสอบบ่มแข็งที่อุณหภูมิ 850 ^{O}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง



(1)บริเวณเนื้องานทดสอบ Base



(2) บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone

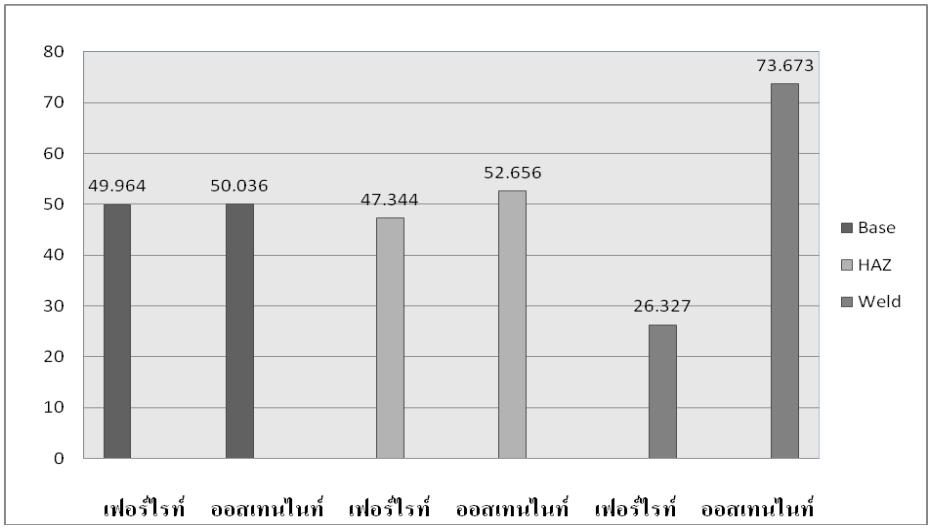


(3) บริเวณแนวเชื่อม Welded

รูปที่ 4.31 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่บ่มแข็งที่อุณหภูมิ 850 ^{O}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เปรียบเทียบที่กำลังขยาย 400 เท่า

จากรูปที่ 4.31 พบว่าโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อม (3) มีโครงสร้างออสเทนไนท์กระจายตัวอย่างหนาแน่นเต็มบริเวณและเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนขนาดใหญ่มากและมีลักษณะเรียวคล้ายใบหมากอยู่ในซีกด้านขวาและมีลักษณะกระจัดกระจายอยู่ในด้านขวา และมากขึ้นกว่าที่อุณหภูมิและเวลาอื่น ๆ ทำให้พบโครงสร้างเฟอร์ไรท์ เพียงเล็กน้อยตามขอบเกรนของออสเทนไนท์ เล็ก ๆ สีดำ และมีบางส่วนเกาะกลุ่มกันเป็นกลุ่มพื้นที่สีดำ ส่วนบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (2) และบริเวณเนื้องานทดสอบ (1)

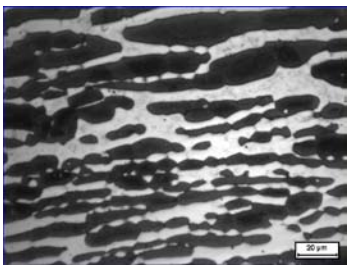
พบว่ามีโครงสร้างของออสเทนไนท์สลับกัน และบนโครงสร้างออสเทนไนท์จะพบเฟสก้อนกลมขนาดเล็กๆ เป็นเกล็ดย่อยๆกระจายตัวอยู่ทั่วโครงสร้าง แต่บริเวณเนื้องานทดสอบพบว่าโครงสร้างออสเทนไนท์มีการจับตัวของเฟอร์ไรท์เป็นก้อนเรียวยาวชัดเจนกว่าบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน



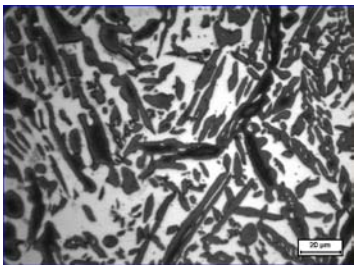
รูปที่ 4.32 แสดงปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์บริเวณต่างๆของชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 850 ^{O}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

จากการประเมินความสมดุลเฟสดังรูปที่ 4.32 พบว่า บริเวณแนวเชื่อมจะมีเฟสเฟอร์ไรท์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบที่อุณหภูมิ850 ^{O}C เวลา 1 ชั่วโมง โดยมี ปริมาณเฟอร์ไรท์ 26.327 เปอร์เซ็นส่วนบริเวณเขตอิทธิพลความร้อนจะมีปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยน้อยเช่นเดียวกันโดยมีปริมาณเฟอร์ไรท์ 47.344 เปอร์เซ็น และบริเวณเนื้องานทดสอบพบว่าปริมาณเฟอร์ไรท์เพิ่มขึ้นอย่างมากและมีปริมาณกว่าเฟสเฟอร์ไรท์ 49.964 เปอร์เซ็น และพบว่าเป็นปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์ที่ใกล้เคียงกับเฟสออสเทนไนท์มากที่สุด

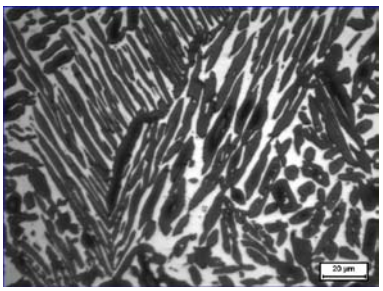
4.3.1.9 ชิ้นทดสอบบ่มแข็งที่อุณหภูมิ 850 ^{O}C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง



(1)บริเวณเนื้องานทดสอบ Base



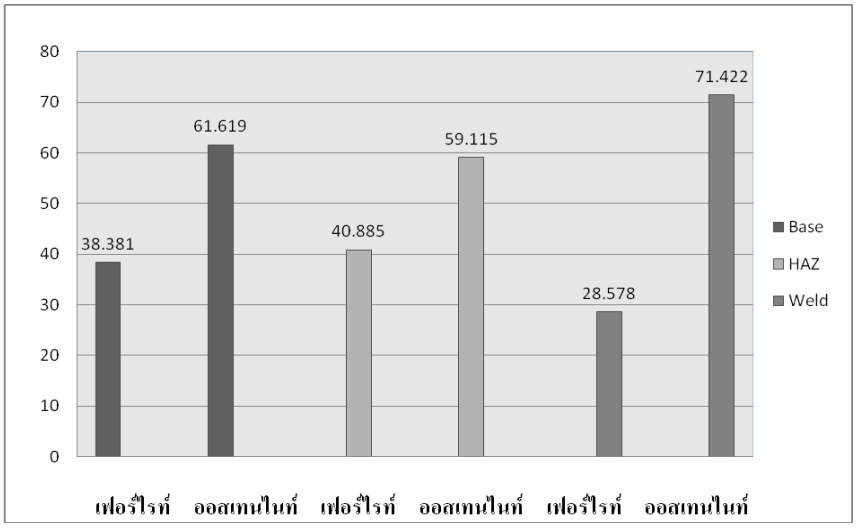
(2) บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone



(3) บริเวณแนวเชื่อม Welded

รูปที่ 4.33 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่บ่มแข็งที่อุณหภูมิ 850 ^{O}C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เปรียบเทียบที่กำลังขยาย 400 เท่า

จากรูปที่ 4.33 โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อม (3) พบโครงสร้างเฟอร์ไรท์ลักษณะกระจัดกระจายทั่วบริเวณ โครงสร้างเฟอร์ไรท์บางส่วนเป็นลักษณะยาวรีขว้างแนวรีดตามลักษณะโครงสร้างจุลภาคของเฟสออสเทนไนท์ ส่วนบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (2)จะมีโครงสร้างเฟอร์ไรท์จับกันเป็นกลุ่มก้อนกระจัดกระจายอยู่ทั่วบริเวณ และบริเวณเนื้องานทดสอบ (1) จะมีลักษณะโครงสร้างเฟอร์ไรท์ คือ มีโครงสร้างเฟอร์ไรท์ลักษณะเรียวยาวโค้งคล้ายสายน้ำสลับกับโครงสร้างออสเทนไนท์ซึ่งมีลักษณะคล้ายภูเขา



รูปที่ 4.34 แสดงปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์บริเวณต่างๆของชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 850 ^{O}C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

จากการประเมินความสมดุลดังรูปที่ 4.34 พบว่าบริเวณแนวเชื่อมมีปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากการเปรียบเทียบกับการทดสอบที่อุณหภูมิ 850 ^{O}C เวลา 4 ชั่วโมงโดยมีปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์ 28.578 เปอร์เซ็น และบริเวณเขตอิทธิพลความร้อนจะมีปริมาณเฟอร์ไรท์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบที่อุณหภูมิ 850 ^{O}C เวลา 4 ชั่วโมงโดยมีปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์ 40.885 เปอร์เซ็น และบริเวณเนื้องานทดสอบพบว่ามีปริมาณเฟสออสเทนไนท์มากกว่าปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์โดยมีปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์ 38.381 เปอร์เซ็น

ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค เปรียบเทียบปริมาณเฟอร์ไรท์ ของชิ้นงานทั้ง 3 บริเวณ พบว่าบริเวณเนื้องาน (Base Metal)มีปริมาณเฟอร์ไรท์เท่ากับ 49.438 เปอร์เซ็นที่ผ่านการบ่มแข็งที่อุณหภูมิ 850^{O}C ใช้เวลา 4 ชั่วโมง (2)บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) ที่ผ่านการบ่มแข็งที่อุณหภูมิ 850 ^{O}C เวลา 4 ชั่วโมง มีปริมาณเฟอร์ไรท์เท่ากับ 47.361เปอร์เซ็น และ(3)บริเวณแนวเชื่อม (Weld metal) ที่ผ่านการบ่มแข็งที่อุณหภูมิ 750 ^{O}C เวลา 8 ชั่วโมง มีค่าปริมาณเฟอร์ไรท์เท่ากับ 35.257 เปอร์เซ็น

สรุปได้ว่าค่าปริมาณเฟอร์ไรท์ที่ใกล้เคียงกับปริมาณออสเทนไนท์เป็นค่าที่ดีที่สุด คืออุณหภูมิ850^{O}C เวลา 4 ชั่วโมง มีปริมาณเฟอร์ไรท์เท่ากับ 49.438 เปอร์เซ็น ออสเทนไนท์ จะพบมากบริเวณแนวเชื่อม(Weld metal) อุณหภูมิในการบ่มแข็งที่เหมาะสม คือ850 ^{O}C ใช้เวลา 4 ชั่วโมง อีกทั้งการที่อัตราส่วนระหว่างเฟอร์ไรท์และออสเทนไนท์เท่ากัน ยังส่งผลให้สมบัติทางกลดีขึ้น