

บทที่ 4

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดสอบคุณสมบัติของเหล็ก AISI 1045 คือการทดสอบค่าความแข็ง ค่าความทนต่อแรงกระแทก ความทนต่อแรงดึง โมดูลัสความยืดหยุ่น และความล้าสัมพัทธ์จากสมการได้

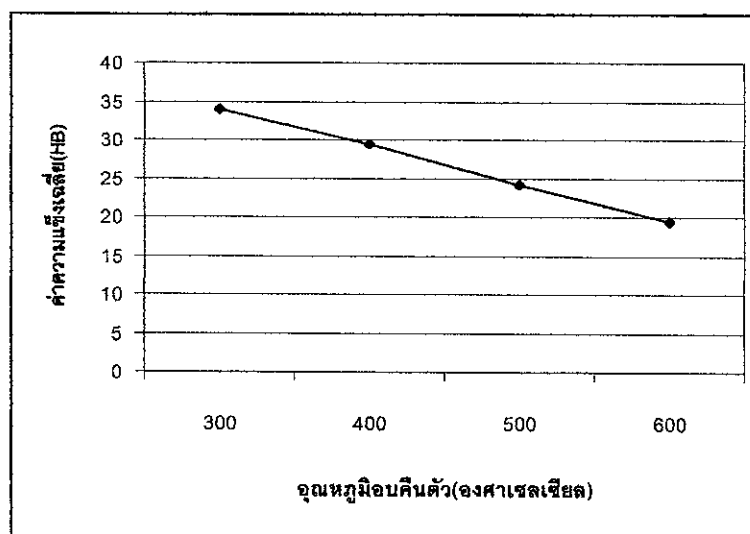
จากการนำชิ้นงานคือเหล็ก AISI 1045 จำนวนทั้งหมด 36 ชิ้นมาทำการอบชุบตามอุณหภูมิ และสารชุบดังนี้

- 1.ชุบแข็ง (Hardening) ที่อุณหภูมิ 800°C
 - 2.สารชุบ คือ น้ำ
 - 3.อุณหภูมิอบคืนตัวที่ 300°C , 400°C , 500°C , 600°C
- ทำให้ได้ค่าคุณสมบัติเชิงกล ดังนี้

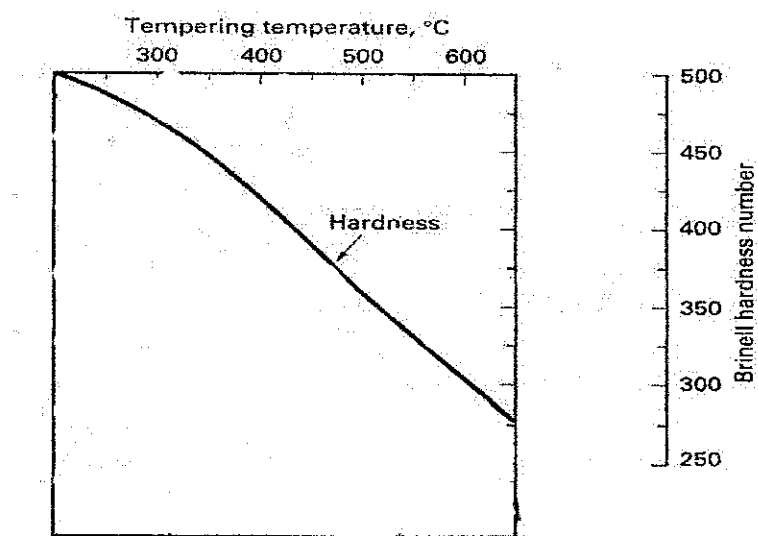
4.1 การทดสอบความแข็ง

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการทดสอบความแข็งเหล็ก AISI 1045 (หน่วย : HB)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิอบคืนตัว (องศาเซลเซียส)			
	300	400	500	600
1	35.3	30.8	24.7	19.5
2	35.5	29.7	25.3	18.3
3	35.2	29.7	24.0	19.8
4	33.3	30.0	24.4	18.5
5	28.1	28.7	25.8	19.2
6	34.5	29.0	26.6	20.6
7	35.7	30.0	24.0	19.2
8	33.6	28.3	23.3	20.1
9	34.8	27.5	19.3	20.2
ค่าเฉลี่ย	34.0	29.3	24.2	19.5



รูปที่ 4.1 กราฟทดสอบความแข็งที่อุณหภูมิอบคืนตัวต่างๆ



รูปที่ 4.2 กราฟทดสอบความแข็งที่อุณหภูมิอบคืนตัวต่างๆ จากทฤษฎี

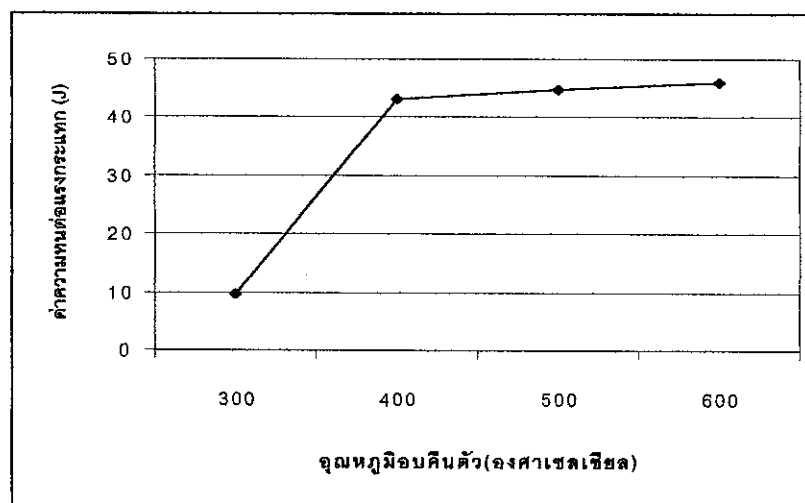
(ที่มา : Materials and Processes in Manufacturing , Ninth Edition , E. Paul Degarmo ,
JT. Black , Ronal A. Konser)

จากกราฟรูปที่ 4.1 เมื่อเปรียบเทียบกราฟรูปที่ 4.2 จะมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน และจะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิอบคืนตัวเพิ่มขึ้นค่าความแข็งจะลดลง ซึ่งเป็นเพราะว่าการทำการอบคืนตัวที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เหล็กมีการจัดเรียงตัวของเกรนใหม่ ซึ่งจะส่งผลให้ขนาดของเกรนเปลี่ยนแปลงไป จึงทำให้ความแข็งของเหล็กเปลี่ยนแปลงไปด้วย

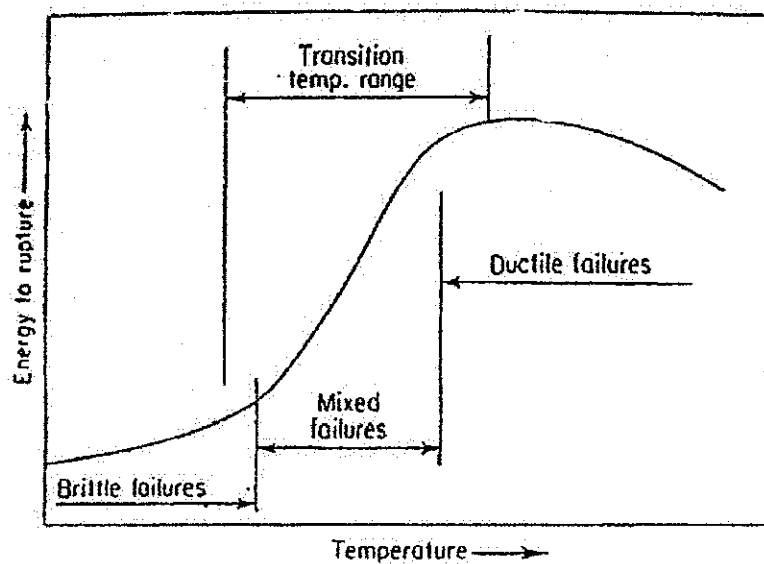
4.2 การทดสอบแรงกระแทก

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความทนต่อแรงกระแทกเหล็ก AISI 1045 (หน่วย : J)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิอบคืนตัว (องศาเซลเซียส)			
	300	400	500	600
1	8.331	44.025	45.027	46.115
2	13.993	43.093	44.648	46.115
3	6.701	46.115	44.842	45.983
4	14.446	42.051	45.027	46.115
5	8.331	40.601	44.648	45.843
6	10.450	43.093	45.027	45.843
7	11.320	46.240	44.842	45.983
ค่าเฉลี่ย	10.510	43.603	44.865	45.999



รูปที่ 4.3 กราฟทดสอบความทนต่อแรงกระแทกที่อุณหภูมิอบคืนตัวต่างๆ



รูปที่ 4.4 กราฟทดสอบแรงกระแทกที่อุณหภูมิอบคืนตัวต่างๆ จากทฤษฎี

(ที่มา : The Testing of Engineering Material, Hammer E. Davies, George Earl Troxell and George F.W. Hauck)

จากกราฟรูปที่ 4.3 เมื่อเปรียบเทียบกราฟรูปที่ 4.4 จะมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน และจะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิอบคืนตัวเพิ่มขึ้น ค่าความทนต่อแรงกระแทกจะสูงขึ้น เพราะว่าเหล็กที่ผ่านการอบคืนตัวจะมีการจัดเรียงเกรนใหม่ ซึ่งจะส่งผลให้โครงสร้าง และสมบัติเชิงกลของเหล็กเปลี่ยนแปลงไปด้วย เมื่อขนาดเกรนเปลี่ยนแปลงไปจึงทำให้ความทนต่อแรงกระแทกเปลี่ยนไปเช่นกัน

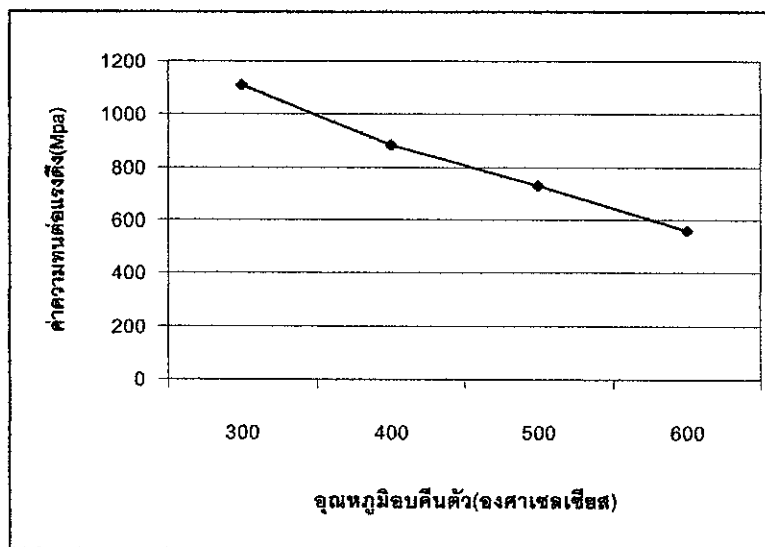
4.3 การทดสอบแรงดึง

จากการทดสอบแรงดึงได้ค่าคุณสมบัติเชิงกล ดังนี้

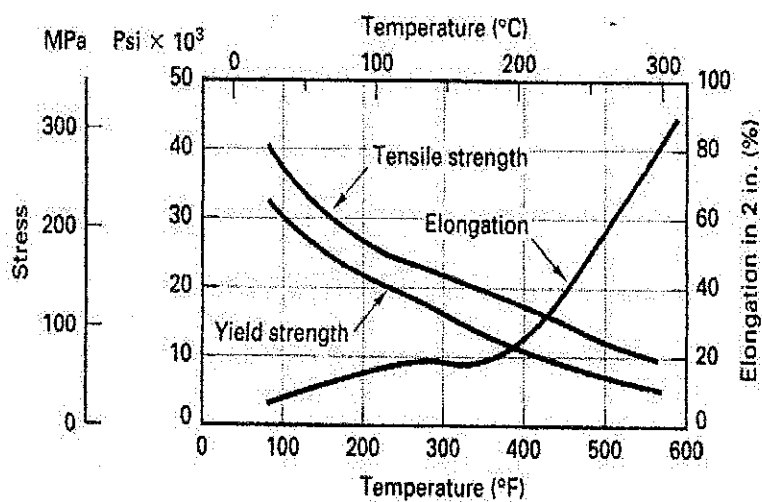
4.3.1 ค่าความทนต่อแรงดึง

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความทนต่อแรงดึง ณ จุด Yield ของเหล็ก AISI 1045 (หน่วย : Mpa)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิอบคืนตัว (องศาเซลเซียส)			
	300	400	500	600
1	1300.833	963.854	732.395	589.166
2	1225.625	835.937	700.000	533.333
3	977.500	859.895	694.791	537.916
4	988.125	935.104	695.833	626.770
5	1113.646	839.583	808.333	526.145
6	1054.896	940.937	749.375	491.875
7	1112.292	803.020	713.125	619.583
ค่าเฉลี่ย	1110.416	882.618	727.693	560.684



รูปที่ 4.5 กราฟทดสอบความทนต่อแรงดึงที่อุณหภูมิอบคืนตัวต่างๆ



รูปที่ 4.6 กราฟทดสอบความทนต่อแรงดึงที่อุณหภูมิอบคืนตัวต่างๆ จากทฤษฎี

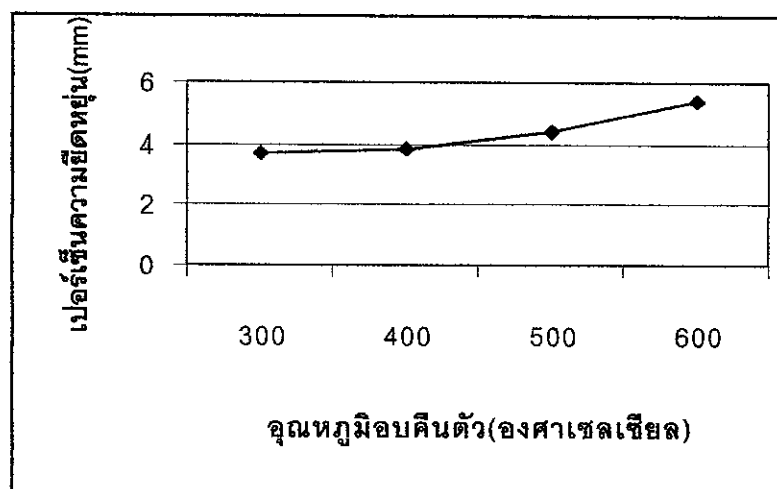
(ที่มา : Materials and Processes in Manufacturing , Ninth Edition ,E. Paul Degarmo ,
JT. Black , Ronal A. Konser)

จากกราฟรูปที่ 4.5 เมื่อเปรียบเทียบกราฟรูปที่ 4.6 จะมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน และ จะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิอบคืนตัวสูงขึ้นค่าความทนต่อแรงดึงจะลดลง เพราะว่าเหล็กที่ผ่านการอบคืนตัวจะมีการจัดเรียงเกรนใหม่ ซึ่งจะส่งผลให้โครงสร้าง และสมบัติเชิงกลของเหล็กเปลี่ยนแปลงไปด้วย เมื่อขนาดเกรนเปลี่ยนแปลงไปจึงทำให้ความทนต่อแรงดึงเปลี่ยนไปเช่นกัน

4.3.2 เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของเหล็ก AISI 1045 (หน่วย : mm)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิอบคืนตัว (องศาเซลเซียส)			
	300	400	500	600
1	4.757	4.336	4.307	5.421
2	3.256	4.421	4.512	4.684
3	3.148	3.753	3.705	5.279
4	3.376	3.147	4.356	4.887
5	4.562	3.091	4.621	4.753
6	3.748	4.140	4.516	6.338
7	2.956	3.951	4.528	6.225
ค่าเฉลี่ย	3.686	3.834	4.364	5.369



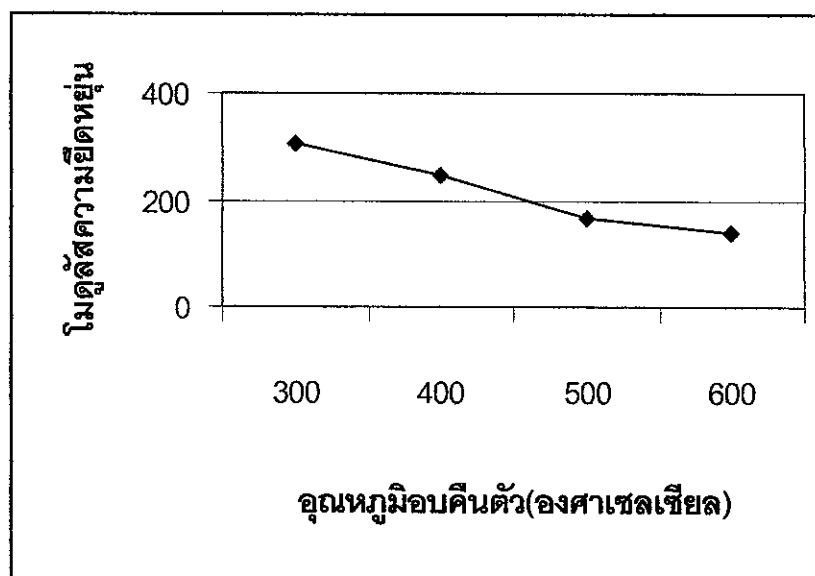
รูปที่ 4.7 กราฟเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิอบคืนตัวต่างๆ

จากกราฟรูปที่ 4.7 เมื่อเปรียบเทียบกราฟรูปที่ 4.6 จะมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน และจะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิอบคืนตัวสูงขึ้นค่าของเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นจะเพิ่มขึ้น เพราะว่าเหล็กที่ผ่านกระบวนการอบคืนตัวจะมีการจัดเรียงเกรนใหม่ ซึ่งจะส่งผลให้โครงสร้าง และสมบัติเชิงกลของเหล็กเปลี่ยนแปลงไปด้วย เมื่อขนาดเกรนเปลี่ยนแปลงไปจึงทำให้ค่าของเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นเปลี่ยนไปเช่นกัน

4.3.3 โมดูลัสความยืดหยุ่น

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของเหล็ก AISI 1045 (หน่วย : Mpa)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิอบคืนตัว (องศาเซลเซียส)			
	300	400	500	600
1	273.46	222.29	170.05	108.68
2	376.42	189.08	155.14	113.86
3	310.52	229.12	187.52	101.89
4	292.69	297.14	159.74	128.25
5	244.11	271.62	174.93	110.69
6	281.46	227.28	165.90	77.61
7	376.28	292.54	157.49	99.53
ค่าเฉลี่ย	307.85	247.01	167.25	105.78



รูปที่ 4.8 กราฟโมดูลัสความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิอบคืบตัวต่างๆ

จากกราฟรูปที่ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบกราฟรูปที่ 4.6 จะมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน และจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิอบคืบตัวสูงขึ้นค่าของโมดูลัสความยืดหยุ่นจะลดลง เพราะว่าเหล็กที่ผ่านการอบคืบตัวจะมีการจัดเรียงเกรนใหม่ ซึ่งจะส่งผลให้โครงสร้าง และสมบัติเชิงกลของเหล็กเปลี่ยนแปลงไปด้วย เมื่อขนาดเกรนเปลี่ยนแปลงไปจึงทำให้ค่าของโมดูลัสความยืดหยุ่นเปลี่ยนไปเช่นกัน

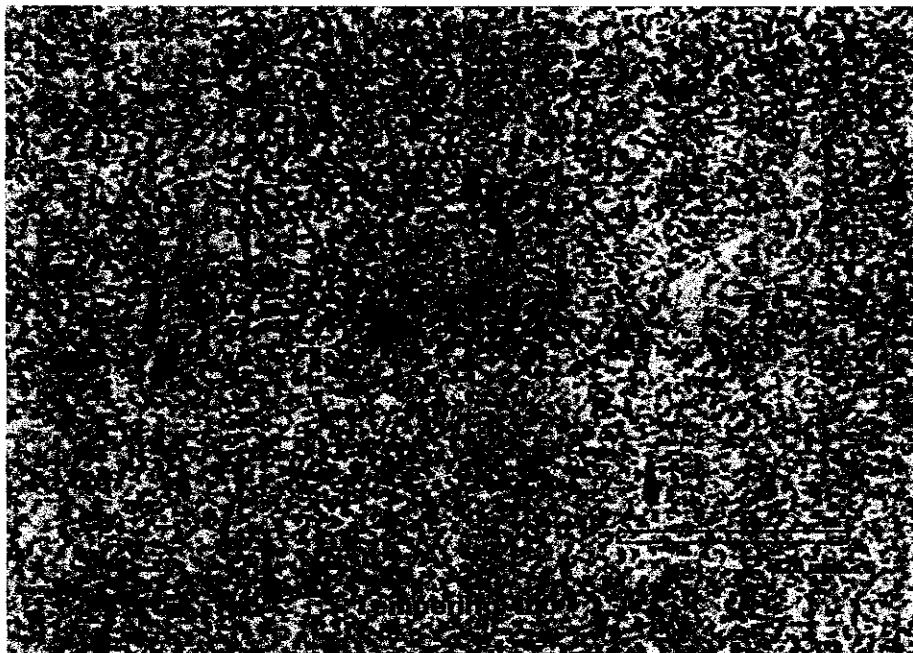
4.4 การศึกษาโครงสร้างจุลภาค

โครงสร้างจุลภาคของโลหะ สามารถดูได้จากการจัดเรียงตัวของอะตอมของโลหะนั้น การจัดเรียงตัวอะตอมของโลหะจะถูกแบ่งแยกด้วยขอบเกรน และในแต่ละเกรนจะสามารถบอกได้ถึงความแข็งแรงของโลหะ เพราะถ้าเกรนมีขนาดเล็กก็จะแสดงว่าโลหะนั้นมีความแข็งแรง เพราะถ้าเกรนมีขนาดเล็กจะทำให้ตัว dislocation ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้มาก และยังทำให้ตัว dislocation ไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามขอบเกรนแต่ละเกรนได้ การเคลื่อนที่ของตัว dislocation ถ้ามีการเคลื่อนที่น้อยที่สุดจะทำให้โลหะมีความแข็งแรงสูงขึ้นด้วย

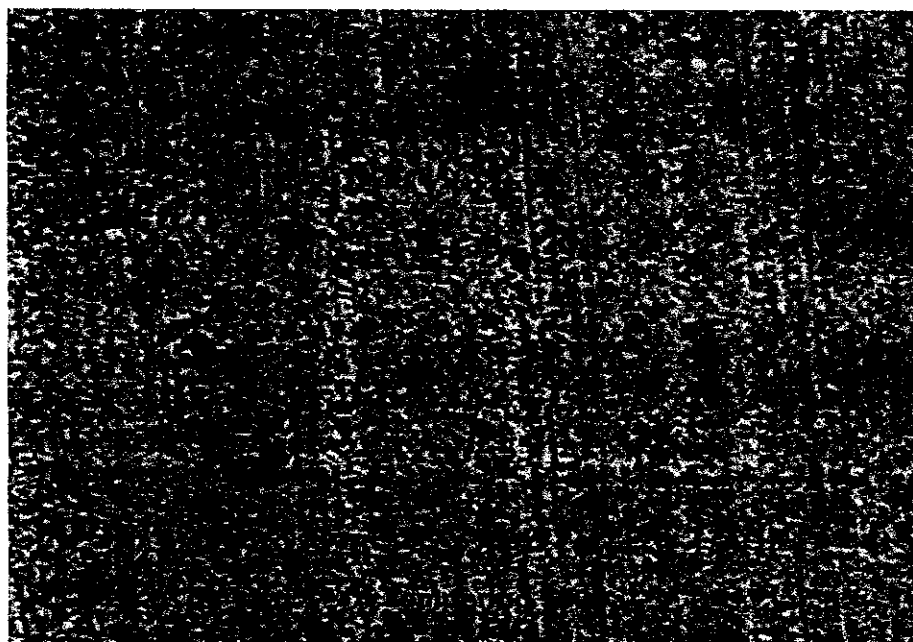
โครงสร้างจุลภาคที่ได้จากชิ้นงานทดสอบความแข็ง จำนวน 4 ชิ้น เมื่อนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์จะได้ภาพดังรูปต่อไปนี้



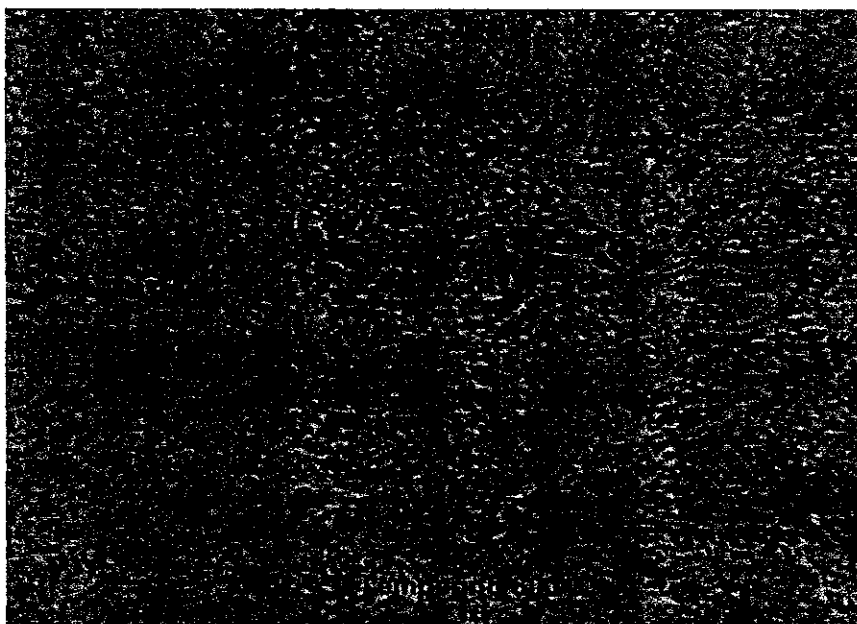
รูปที่ 4.9 รูปโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านการอบคืนตัวที่ 300 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.10 รูปโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านการอบคืนตัวที่ 400 องศาเซลเซียส



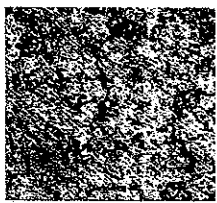
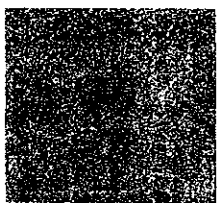
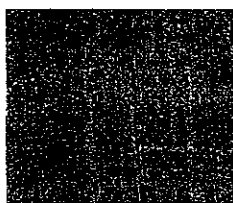
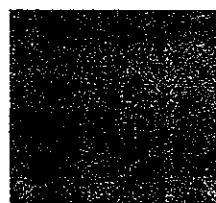
รูปที่ 4.11 รูปโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านการอบคืนตัวที่ 500 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.12 รูปโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านการอบคืนตัวที่ 600 องศาเซลเซียส

4.4.1 เปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาค

ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบ Microstructure of steel AISI 1045 ตามอุณหภูมิอบคืนตัว

300 °C	400 °C	500 °C	600 °C
			

หมายเหตุ จากรูปอุณหภูมิที่ 300 °C จะใช้กำลังขยาย 20 เท่า

อุณหภูมิที่ 400 °C จะใช้กำลังขยาย 20 เท่า

อุณหภูมิที่ 500 °C จะใช้กำลังขยาย 20 เท่า

อุณหภูมิที่ 600 °C จะใช้กำลังขยาย 10 เท่า

เปรียบเทียบจากรูปสรุปได้ว่า ที่สารชุบเดียวกันแตกต่างกันที่อุณหภูมิอบคืนตัว จะทำให้ขนาดของเกรนจะไม่เท่ากัน แต่มีขนาดใกล้เคียงกัน ที่อุณหภูมิสูงขึ้นขนาดของเกรนจะใหญ่ขึ้นและจะทำให้ความแข็งแรงลดลงตามลำดับด้วย แต่ความเหนียวจะเพิ่มขึ้น

4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

4.5.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าความแข็ง (Hardness)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวที่ส่งผลต่อค่าความแข็งของเหล็กในที่อุณหภูมิอบคืนตัว

1. ปัจจัยในการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ อุณหภูมิอบคืนตัวที่ 300,400,500,600 °C
2. สิ่งทดลอง (Treatment) มี 4 สิ่งทดลอง
3. แต่ละสิ่งทดลอง (Treatment) จะมีการทดสอบจำนวน 9 ชิ้นงานทดสอบ

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความแข็งที่อุณหภูมิต่างๆ

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิอบคืนตัว (องศาเซลเซียส)			
	300	400	500	600
1	35.3	30.8	24.7	19.5
2	35.5	29.7	25.3	18.3
3	35.2	29.7	24.0	19.8
4	33.3	30.0	24.4	18.5
5	28.1	28.7	25.8	19.2
6	34.5	29.0	26.6	20.6
7	35.7	30.0	24.0	19.2
8	33.6	28.3	23.3	20.1
9	34.8	27.5	19.3	20.2
ค่าเฉลี่ย	34.0	29.4	24.2	19.5

ตารางที่ 4.8 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของค่าความแข็ง

source	ss	df	ms	Fc
Tempering	1,066.672	3	355.5573	123.2286
Error	92.33111	32	2.885347	
Total	1,159.003	35		

$$F_{\text{ตาราง}} = F_{\alpha_{k-1, n-k}} = F_{0.05, 3, 32}$$

$$F_c = 123.2286 > F_{0.05, 3, 32} = 2.9011$$

สรุปผล

จากการวิเคราะห์ ANOVA ของค่าความแข็งที่ค่านัยสำคัญระดับความเชื่อมั่น 95% สรุปได้ว่าที่อุณหภูมิอบคืนตัวต่างๆ กัน จะมีอิทธิพลต่อความแข็งของเหล็ก กล่าวคือ เหล็กจะมีความแข็งลดลง และมีความเหนียวเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบคืนตัวสูงขึ้น

4.5.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าความทนต่อแรงกระแทก (Impact strength)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวหรือปัจจัยเดียวที่ส่งผลต่อความทนต่อแรงกระแทกของเหล็กที่อุณหภูมิอบคืนตัว

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความทนต่อแรงกระแทกเหล็ก AISI 1045 (หน่วย : J)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิอบคืนตัว (องศาเซลเซียส)			
	300	400	500	600
1	8.331	44.025	45.027	46.115
2	13.993	43.093	44.648	46.115
3	6.701	46.115	44.842	45.983
4	14.446	42.051	45.027	46.115
5	8.331	40.601	44.648	45.843
6	10.450	43.093	45.027	45.843
7	11.320	46.240	44.842	45.983
ค่าเฉลี่ย	10.510	43.603	44.865	45.999

ตารางที่ 4.10 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของค่าความทนต่อแรงกระแทก

Dependent Variable : Impact energy (J)

1. ปัจจัยในการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ อุณหภูมิอบคืนตัวที่ 300,400,500,600 °C
2. สิ่งทดลอง (Treatment) มี 4 สิ่งทดลอง
3. แต่สิ่งทดลอง (Treatment) จะมีการทดสอบจำนวน 7 ชิ้นงานทดสอบ

source	ss	df	ms	Fc
Tempering	6,201.162	3	2,067.057	636.554
Error	77.934	24	3.247	
Total	6,279.096	27		

$$F_{\text{ตาราง}} = F_{\alpha_{k-1, n-k}} = F_{0.05, 3, 24}$$

$$F_c = 636.554 > F_{0.05, 3, 24} = 3.008$$

จากการวิเคราะห์ ANOVA ของค่าความทนต่อแรงกระแทกที่คำนวณได้ระดับความเชื่อมั่น 95% สรุปได้ว่า

อุณหภูมิอบคืนตัวมีอิทธิพลต่อความทนต่อแรงกระแทกของเหล็ก ทำให้ความทนต่อแรงกระแทกของเหล็กเปลี่ยนไปที่อุณหภูมิอบคืนตัวกล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิ Tempering สูงขึ้นจะใช้พลังงานในการกระแทกเหล็กมากขึ้น และเหล็กจะทนต่อแรงกระแทกสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิ Tempering สูงขึ้น

4.5.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวหรือปัจจัยเดียวที่ส่งผลต่อความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) ที่อุณหภูมิอบคืนตัว
 ตารางที่ 4.11 แสดงค่าความทนต่อแรงดึง ณ จุด Yield ของเหล็ก AISI 1045 (หน่วย : Mpa)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิอบคืนตัว (องศาเซลเซียส)			
	300	400	500	600
1	1300.833	963.854	732.395	589.166
2	1225.625	835.937	700.000	533.333
3	977.500	859.895	694.791	537.916
4	988.125	935.104	695.833	626.770
5	1113.646	839.583	808.333	526.145
6	1054.896	940.937	749.375	491.875
7	1112.292	803.020	713.125	619.583
ค่าเฉลี่ย	1110.416	882.618	727.693	560.684

ตารางที่ 4.12 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ที่ใช้วิเคราะห์ค่าความทนต่อแรงดึง (Dependent Variable : Tensile Strength)

1. ปัจจัยในการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ อุณหภูมิอบคืนตัวที่ 300,400,500,600 °C
2. สิ่งทดลอง (Treatment) มี 4 สิ่งทดลอง
3. แต่สิ่งทดลอง (Treatment) จะมีการทดสอบจำนวน 7 ชิ้นงานทดสอบ

source	ss	df	ms	Fc
Tempering	1,148,195	3	382,731.500	68.142
Error	134,801.9	24	5,615.578	
Total	1,282,997	27		

$$F_{\text{ตาราง}} = F_{\alpha_{k-1, n-k}} = F_{0.05, 3, 24}$$

$$F_c = 68.142 > F_{0.05, 3, 24} = 3.008$$

จากการวิเคราะห์ ANOVA ค่าความทนต่อแรงดึงที่ค่านัยสำคัญระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % สรุปได้ว่า

อุณหภูมิอบคืนตัวมีอิทธิพลต่อความทนต่อแรงดึงของเหล็ก ซึ่งทำให้ความทนต่อแรงดึงของเหล็กเปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิอบคืนตัวเปลี่ยนไป กล่าวคือ อุณหภูมิในการทำอบคืนตัวจะแปรผกผันกับค่าความทนต่อแรงดึงของเหล็ก

4.5.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Percent of Elongation)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวหรือปัจจัยเดียวที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Percent of Elongation) ที่อุณหภูมิอบคืนตัว

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของเหล็ก AISI 1045 (หน่วย : mm)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิอบคืนตัว (องศาเซลเซียส)			
	300	400	500	600
1	4.757	4.336	4.307	5.421
2	3.256	4.421	4.512	4.684
3	3.148	3.753	3.705	5.279
4	3.376	3.147	4.356	4.887
5	4.562	3.091	4.621	4.753
6	3.748	4.140	4.516	6.338
7	2.956	3.951	4.528	6.225
ค่าเฉลี่ย	3.686	3.834	4.364	5.369

ตารางที่ 4.14 ความแปรปรวนการทดสอบแรงดึงส่วนของเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Percent of Elongation)

1. ปัจจัยในการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ อุณหภูมิอบคืนตัวที่ 300,400,500,600 °C
2. สิ่งทดลอง (Treatment) มี 4 สิ่งทดลอง
3. แต่ละสิ่งทดลอง (Treatment) จะมีการทดสอบจำนวน 7 ชิ้นงานทดสอบ

source	ss	df	ms	Fc
Tempering	12.18808	3	4.062693	12.04485
Error	8.095131	24	0.337297	
Total	20.28321	27		

$$F_{\text{ตาราง}} = F_{\alpha_{k-1, n-k}} = F_{0.05, 3, 24}$$

$$F_C = 12.04485 > F_{0.05, 3, 24} = 3.008$$

จากการวิเคราะห์ ANOVA ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของเหล็ก ที่ค่านัยสำคัญระดับความเชื่อมั่นที่ 95% สรุปได้ว่า

อุณหภูมิอบคืนตัวมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของเหล็ก ซึ่งทำให้เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของเหล็กเปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิอบคืนตัวเปลี่ยนไป กล่าวคือ อุณหภูมิในการทำอบคืนตัวจะแปรผันตรงกับค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของเหล็ก

4.5.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทาง เดียวหรือปัจจัยเดียวที่มีผลต่อความสามารถในการคืนตัว (Modulus of Elasticity) ของเหล็กที่อุณหภูมิอบคืนตัว

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของเหล็ก AISI 1045 (หน่วย : Mpa)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิอบคืนตัว (องศาเซลเซียส)			
	300	400	500	600
1	273.46	222.29	170.05	108.68
2	376.42	189.08	155.14	113.86
3	310.52	229.12	187.52	101.89
4	292.69	297.14	159.74	128.25
5	244.11	271.62	174.93	110.69
6	281.46	227.28	165.90	77.61
7	376.28	292.54	157.49	99.53
ค่าเฉลี่ย	307.85	247.01	167.25	105.78

ตารางที่ 4.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)

1. ปัจจัยในการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ อุณหภูมิอบคืนตัวที่ 300,400,500,600 °C
2. สิ่งทดลอง (Treatment) มี 4 สิ่งทดลอง
3. แต่สิ่งทดลอง (Treatment) จะมีการทดสอบจำนวน 7 ชิ้นงานทดสอบ

source	ss	df	ms	Fc
Tempering	165,165.80	3	55055.26	47.771
Error	27,659.57	24	1152.48	
Total	192825.37	27		

$$F_{\text{ตาราง}} = F_{\alpha-k-1, n-k} = F_{0.05, 3, 24}$$

$$F_c = 47.771 > F_{0.05, 3, 24} = 3.008$$

จากการวิเคราะห์ ANOVA ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น ที่ค่านัยสำคัญระดับความเชื่อมั่นที่ 95% สรุปได้ว่า

อุณหภูมิอบคืนตัวมีอิทธิพลต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของเหล็ก กล่าวคือ การอบคืนตัวจะแปรผกผันกับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของเหล็ก ซึ่งถ้าอุณหภูมิในการอบคืนตัวต่ำ ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นจะสูงขึ้น

4.6 การวิเคราะห์การถดถอย

4.6.1 การวิเคราะห์การถดถอยของค่าความแข็ง

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าความแข็งที่อุณหภูมิต่างๆ

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิอบคืนตัว (องศาเซลเซียส)			
	300	400	500	600
1	35.3	30.8	24.7	19.5
2	35.5	29.7	25.3	18.3
3	35.2	29.7	24.0	19.8
4	33.3	30.0	24.4	18.5
5	28.1	28.7	25.8	19.2
6	34.5	29.0	26.6	20.6
7	35.7	30.0	24.0	19.2
8	33.6	28.3	23.3	20.1
9	34.8	27.5	19.3	20.2
ค่าเฉลี่ย	34.0	29.4	24.2	19.5

เมื่อทำการคำนวณจะได้สมการถดถอยแบบลอการิทึม ดังนี้

$$Y = (-20.914) \ln(X) + 153.86 \quad (4.1)$$

โดยที่ $Y =$ ค่าความแข็ง (HB)

$X =$ ค่าของอุณหภูมิอบคืนตัว ($^{\circ}\text{C}$)

จากสมการสามารถนำไปใช้งานได้โดยการแทนค่าของตัวแปร X แล้วจะได้ตัวแปร Y โดยที่สามารถทราบค่าของความแข็งของเหล็กที่ต้องการ เพื่อนำไปใช้งานต่อไป

ตารางที่ 4.18 การวิเคราะห์การถดถอยโดยการเปรียบเทียบค่าสถิติ t ที่ละ 2 อุณหภูมิเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์

อุณหภูมิอบคืนตัว(°C)	t Stat (คำนวณ)	t Critical (ตาราง)
300 - 400	6.2512	2.3060
300 - 500	8.3623	2.3060
300 - 600	18.0356	2.3060
400 - 500	8.7935	2.3060
400 - 600	18.8192	2.3060
500 - 600	5.8295	2.3060

สรุป ถ้า $t_{\text{คำนวณ}} > t_{\text{ตาราง}}$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กัน เมื่อนำค่าจากตารางมาทำการวิเคราะห์มีความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญที่ 95%

ทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (sample correlation coefficient)

ถ้า $R^2 = 0$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กัน $R^2 < 0.30$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันต่ำ $0.50 < R^2 < 0.80$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันปานกลาง (สามารถนำไปใช้งานได้) $R^2 > 0.8$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันสูง (สมการนำไปใช้งานได้)

เมื่อทำการคำนวณจะได้ดังนี้

$$R^2 = 0.9876$$

สรุป ได้ว่า $R^2 = 0.9876 > 0.8$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันสูง (สมการนำไปใช้งานได้)

4.6.2 การวิเคราะห์การถดถอยของค่าความทนต่อแรงกระแทก

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าความทนต่อแรงกระแทกเหล็ก AISI 1045 (หน่วย : J)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิอบคืนตัว (องศาเซลเซียส)			
	300	400	500	600
1	8.331	44.025	45.027	46.115
2	13.993	43.093	44.648	46.115
3	6.701	46.115	44.842	45.983
4	14.446	42.051	45.027	46.115
5	8.331	40.601	44.648	45.843
6	10.450	43.093	45.027	45.843
7	11.320	46.240	44.842	45.983
ค่าเฉลี่ย	10.510	43.603	44.865	45.999

เมื่อทำการคำนวณจะได้สมการถดถอยแบบลอการิทึม ดังนี้

$$Y = 49.579 \ln(X) - 265.03 \quad (4.2)$$

โดยที่ $Y =$ ค่าความทนต่อแรงกระแทก (J)

$X =$ ค่าของอุณหภูมิอบคืนตัว ($^{\circ}\text{C}$)

จากสมการสามารถนำไปใช้งานได้โดยการแทนค่าของตัวแปร X แล้วจะได้ตัวแปร Y โดยที่สามารถทราบค่าความทนต่อแรงกระแทกของเหล็กที่ต้องการ เพื่อนำไปใช้งานต่อไป

ตารางที่ 4.20 การวิเคราะห์การถดถอย โดยการเปรียบเทียบค่าสถิติ t ทีละ 2 อุณหภูมิเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์

อุณหภูมิอบคืนตัว(°C)	t Stat (คำนวณ)	t Critical (ตาราง)
300 - 400	(-21.7753)	2.4469
300 - 500	(-30.7755)	2.4469
300 - 600	(-32.4077)	2.4469
400 - 500	(-2.6439)	2.4469
400 - 600	(-3.1117)	2.4469
500 - 600	(-15.6622)	2.4469

สรุป ถ้า $(-t_{\text{ตาราง}}) > t_{\text{คำนวณ}}$ แสดงว่า มีความสัมพันธ์กัน เมื่อนำค่าจากตารางมาทำการวิเคราะห์มีความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญที่ 95%

ทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (sample correlation coefficient)

ถ้า $R^2 = 0$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กัน $R^2 < 0.30$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันต่ำ $0.50 < R^2 < 0.80$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันปานกลาง (สามารถนำไปใช้งานได้) $R^2 > 0.8$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันสูง (สมการนำไปใช้งานได้)

เมื่อทำการคำนวณจะได้ดังนี้

$$R^2 = 0.7434$$

สรุป ได้ว่า $0.50 < R^2 = 0.7434 < 0.80$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันปานกลาง (สามารถนำไปใช้งานได้)

4.6.3 การคำนวณสมการถดถอยของค่าความทนต่อแรงดึง

ตารางที่ 4.21 แสดงค่าความทนต่อแรงดึง ณ จุด Yield ของเหล็ก AISI 1045 (หน่วย : Mpa)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิอบคืนตัว (องศาเซลเซียส)			
	300	400	500	600
1	1300.833	963.854	732.395	589.166
2	1225.625	835.937	700.000	533.333
3	977.500	859.895	694.791	537.916
4	988.125	935.104	695.833	626.770
5	1113.646	839.583	808.333	526.145
6	1054.896	940.937	749.375	491.875
7	1112.292	803.020	713.125	619.583
ค่าเฉลี่ย	1110.416	882.618	727.693	560.684

เมื่อทำการคำนวณจะได้สมการถดถอย ดังนี้

$$Y = (-781.67)\ln(X) + 5570.30 \quad (4.3)$$

โดยที่ $Y =$ ค่าความทนต่อแรงดึง (Mpa)

$X =$ ค่าของอุณหภูมิอบคืนตัว ($^{\circ}\text{C}$)

จากสมการสามารถนำไปใช้งานได้โดยการแทนค่าของตัวแปร X แล้วจะได้ตัวแปร Y โดยที่สามารถทราบค่าความทนต่อแรงดึงของเหล็กที่ต้องการ เพื่อนำไปใช้งานต่อไป

ตารางที่ 4.22 การวิเคราะห์การถดถอยโดยการเปรียบเทียบค่าสถิติ t ที่ละ 2 อุณหภูมิ เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์

อุณหภูมิอบคืนตัว(°C)	t Stat (คำนวณ)	t Critical (ตาราง)
300 - 400	4.6099	2.4469
300 - 500	8.4917	2.4469
300 - 600	11.3218	2.4469
400 - 500	5.4210	2.4469
400 - 600	10.5978	2.4469
500 - 600	5.6181	2.4469

สรุป ถ้า $t_{\text{คำนวณ}} > t_{\text{ตาราง}}$ แสดงว่า มีความสัมพันธ์กัน เมื่อนำค่าจากตารางมาทำการวิเคราะห์หามีความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญที่ 95%

ทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (sample correlation coefficient)

ถ้า $R^2 = 0$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กัน $R^2 < 0.30$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันต่ำ $0.50 < R^2 < 0.80$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันปานกลาง (สามารถนำไปใช้งานได้) $R^2 > 0.8$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันสูง (สมการนำไปใช้งานได้)

เมื่อทำการคำนวณจะได้ดังนี้

$$R^2 = 0.9979$$

สรุป ได้ว่า $R^2 = 0.9979 > 0.8$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันสูง (สมการนำไปใช้งานได้)

4.6.4 การคำนวณสมการถดถอยของค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

ตารางที่ 4.23 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของเหล็ก AISI 1045 (หน่วย : mm)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิอบคืนตัว (องศาเซลเซียส)			
	300	400	500	600
1	4.757	4.336	4.307	5.421
2	3.256	4.421	4.512	4.684
3	3.148	3.753	3.705	5.279
4	3.376	3.147	4.356	4.887
5	4.562	3.091	4.621	4.753
6	3.748	4.140	4.516	6.338
7	2.956	3.951	4.528	6.225
ค่าเฉลี่ย	3.686	3.834	4.364	5.369

เมื่อทำการคำนวณจะได้สมการถดถอยแบบลอการิทึม ดังนี้

$$Y = 2.3137 \ln(X) - 9.7466 \quad (4.4)$$

โดยที่ $Y =$ ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

$X =$ ค่าของอุณหภูมิอบคืนตัว ($^{\circ}\text{C}$)

จากสมการสามารถนำไปใช้งานได้โดยการแทนค่าของตัวแปร X แล้วจะได้ตัวแปร Y โดยที่สามารถทราบค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของเหล็กที่ต้องการ เพื่อนำไปใช้งานต่อไป

ตารางที่ 4.24 การวิเคราะห์การถดถอย โดยการเปรียบเทียบหาค่าสถิติ t ที่ละ 2 อุณหภูมิเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์

อุณหภูมิอบคืนตัว(°C)	t Stat (คำนวณ)	t Critical (ตาราง)
300 - 400	(-0.4244)	2.4469
300 - 500	(-2.5767)	2.4469
300 - 600	(-4.1539)	2.4469
400 - 500	(-2.2495)	2.4469
400 - 600	(-5.8794)	2.4469
500 - 600	(-3.6660)	2.4469

สรุป ถ้า $(-t_{\text{ตาราง}}) > t_{\text{คำนวณ}}$ แสดงว่า มีความสัมพันธ์กัน เมื่อนำค่าจากตารางมาทำการวิเคราะห์มีความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญที่ 95% ถ้า $(-t_{\text{ตาราง}} < t_{\text{คำนวณ}})$ แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน

ทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (sample correlation coefficient)

ถ้า $R^2 = 0$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กัน $R^2 < 0.30$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันต่ำ $0.50 < R^2 < 0.80$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันปานกลาง (สามารถนำไปใช้งานได้) $R^2 > 0.8$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันสูง (สมการนำไปใช้งานได้)

เมื่อทำการคำนวณจะได้ดังนี้

$$R^2 = 0.8241$$

สรุป ได้ว่า $R^2 = 0.8241 > 0.8$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันสูง (สมการนำไปใช้งานได้)

4.6.5 การคำนวณสมการถดถอยของค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น

ตารางที่ 4.25 แสดงค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของเหล็ก AISI 1045 (หน่วย : Mpa)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิอบคืนตัว (องศาเซลเซียส)			
	300	400	500	600
1	273.46	222.29	170.05	108.68
2	376.42	189.08	155.14	113.86
3	310.52	229.12	187.52	101.89
4	292.69	297.14	159.74	128.25
5	244.11	271.62	174.93	110.69
6	281.46	227.28	165.90	77.61
7	376.28	292.54	157.49	99.53
ค่าเฉลี่ย	307.85	247.01	167.25	105.78

เมื่อทำการคำนวณจะได้สมการถดถอยลอการิทึม ดังนี้

$$Y = (-294.57)\ln(X) + 1997 \quad (4.5)$$

โดยที่ Y = โมดูลัสความยืดหยุ่น (mm)

X = ค่าของอุณหภูมิอบคืนตัว ($^{\circ}\text{C}$)

จากสมการสามารถนำไปใช้งานได้โดยการแทนค่าของตัวแปร X แล้วจะได้ตัวแปร Y โดยที่สามารถทราบค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของเหล็กที่ต้องการ เพื่อนำไปใช้งานต่อไป

ตารางที่ 4.26 การวิเคราะห์การถดถอย โดยการเปรียบเทียบค่าสถิติ t ที่ละ 2 อุณหภูมิเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์

อุณหภูมิอบคืนตัว(°C)	t Stat (คำนวณ)	t Critical (ตาราง)
300 - 400	2.3090	2.4469
300 - 500	6.4265	2.4469
300 - 600	10.1025	2.4469
400 - 500	4.8588	2.4469
400 - 600	9.5306	2.4469
500 - 600	7.7682	2.4469

สรุป ถ้า $t_{\text{คำนวณ}} > t_{\text{ตาราง}}$ แสดงว่า มีความสัมพันธ์กัน เมื่อนำค่าจากตารางมาทำการวิเคราะห์มีความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญที่ 95%

ทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (sample correlation coefficient)

ถ้า $R^2 = 0$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กัน $R^2 < 0.30$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันต่ำ $0.50 < R^2 < 0.80$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันปานกลาง (สามารถนำไปใช้งานได้) $R^2 > 0.8$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันสูง (สมการนำไปใช้งานได้)

เมื่อทำการคำนวณจะได้ดังนี้

$$R^2 = 0.9851$$

สรุป ได้ว่า $R^2 = 0.9851 > 0.8$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันสูง (สมการนำไปใช้งานได้)

ตารางที่ 4.27 สรุปค่าสมการถดถอย และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของคุณสมบัติต่างๆ

คุณสมบัติ	สมการถดถอย	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2)
ความแข็ง	$Y = (-20.9140)\text{Ln}(x) + 153.86$	0.9876
ความทนต่อแรงกระแทก	$Y = 49.579\text{Ln}(x) + (-265.03)$	0.7434
ความทนต่อแรงดึง	$Y = (-781.67)\text{Ln}(x) + 5570.30$	0.9979
เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น	$Y = 2.3137 \text{Ln}(x) + (9.7466)$	0.8241
โมดูลัสความยืดหยุ่น	$Y = (-294.57)\text{Ln}(x) + 1997$	0.9851

กำหนดให้ Y = ค่าของคุณสมบัติทางกลต่าง ๆ

X = ค่าของอุณหภูมิอบคืบตัว ($^{\circ}\text{C}$)

จากตารางสรุปค่าสมการถดถอยสามารถนำไปใช้งานได้โดยการแทนค่าของตัวแปร X จะได้ตัวแปร Y โดยที่สามารถทราบค่าของคุณสมบัติทางกลต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้งานต่อไป

โดยที่สมการมีความเชื่อมั่นในการใช้งาน จากค่าของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (sample correlation coefficient) ถ้า $R^2 = 0$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กัน $R^2 < 0.30$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันต่ำ $0.50 < R^2 < 0.80$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันปานกลาง (สามารถนำไปใช้งานได้) $R^2 > 0.8$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันสูง (สมการนำไปใช้งานได้)