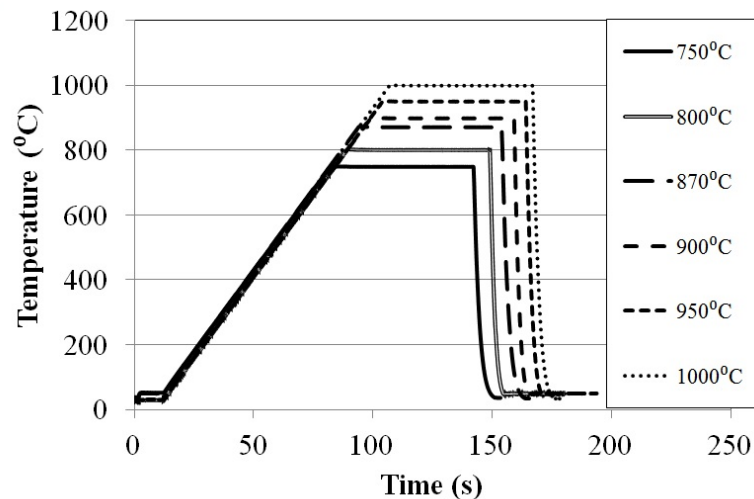


## ภาคผนวก ก

การคำนวณอัตราการเขียนตัวของการทดสอบโลหะผสมนิกเกิลอะลูมิเนียมบรอนซ์ด้วยเครื่องไคลมาเตอร์

**ก.1 การคำนวณอัตราการเย็นตัวของการทดสอบอบทางความร้อนของโลหะผสม  
นิกเกิลอะลูมิเนียมบรอนซ์ด้วยเครื่องไดลามิเตอร์**

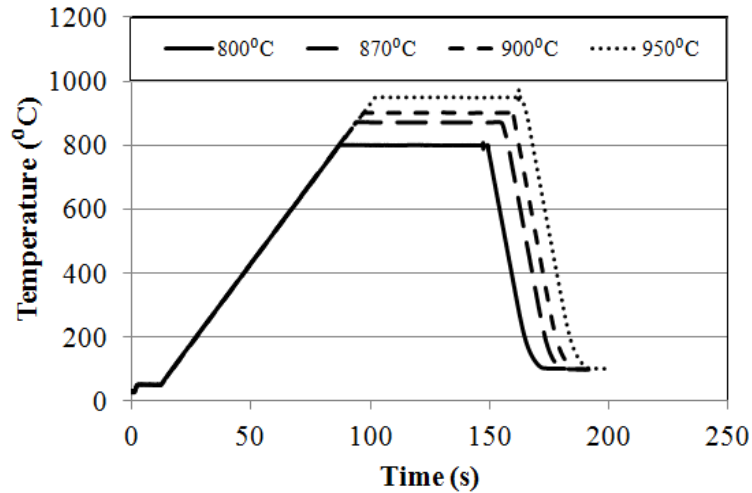


**รูปที่ ก.1** กราฟอัตราการเย็นตัวของการอบทางความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ และเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมิเนียมบรอนซ์ด้วยเครื่องไดลามิเตอร์

**ตารางที่ ก.1** การหาอัตราการเย็นตัวของการทดสอบอบทางความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ กำหนดช่วงอุณหภูมิการหาอัตราการเย็นตัวในช่วงอุณหภูมิ 700 - 500°C

การทดสอบ		750°C	800°C	870°C	900°C	950°C	1000°C
อุณหภูมิ (°C)	T <sub>1</sub>	700.37	700.61	700.29	700.32	700.39	700.49
	T <sub>2</sub>	500.07	500.05	500.55	500.00	500.26	500.08
เวลา (s)	t <sub>1</sub>	142.31	149.43	154.77	159.70	164.90	168.04
	t <sub>2</sub>	143.12	150.09	155.63	160.37	165.68	168.86
อัตราการเย็นตัว (°C/s)		247.28	303.88	232.26	298.99	256.57	244.40
ค่าเฉลี่ยอัตราการเย็นตัว		263.89 ± 30					

ก.2 การคำนวณอัตราการเย็นตัวของการทดสอบกดขึ้นรูปรีออนโลหะผสมนิกเกิลอะลูมิเนียมบรอนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ และอัตราการเย็น  $40^{\circ}\text{C/s}$  ด้วยเครื่องไคลาโตมิเตอร์

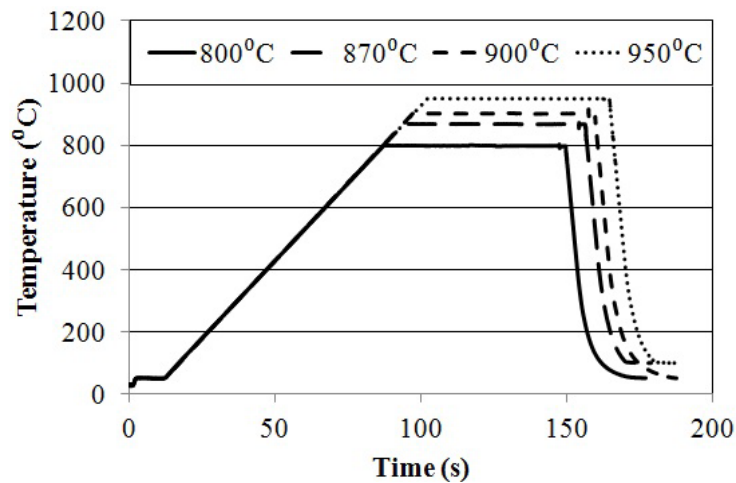


รูปที่ ก.2 กราฟอัตราการเย็นตัวของการกดขึ้นรูปรีออนที่อุณหภูมิต่างๆ และอัตราการเย็น  $40^{\circ}\text{C/s}$  ของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมิเนียมบรอนซ์ด้วยเครื่องไคลาโตมิเตอร์

ตารางที่ ก.2 การหาอัตราการเย็นตัวของการทดสอบกดขึ้นรูปรีออนที่อุณหภูมิต่างๆ และอัตราการเย็น  $40^{\circ}\text{C/s}$  ของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมิเนียมบรอนซ์ด้วยเครื่องไคลาโตมิเตอร์

การทดสอบ		800°C	870°C	900°C	950°C
อุณหภูมิ (°C)	$T_1$	702.45	701.60	699.24	699.17
	$T_2$	500.09	500.69	500.08	500.09
เวลา (s)	$t_1$	151.49	160.51	164.57	170.50
	$t_2$	156.59	165.55	169.58	175.58
อัตราการเย็นตัว ( $^{\circ}\text{C/s}$ )		39.68	39.86	39.75	39.19
ค่าเฉลี่ยอัตราการเย็นตัว		$39.62 \pm 0.29$			

ก.3 การคำนวณอัตราการเย็นตัวของการทดสอบกดขึ้นรูปรีออนโลหะผสมนิกเกิล  
อะลูมิเนียมบรอนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ และอัตราการเย็น  $100^{\circ}\text{C/s}$  ด้วยเครื่องไคลา  
โตมิเตอร์



รูปที่ ก.3 กราฟอัตราการเย็นตัวของการกดขึ้นรูปรีออนที่อุณหภูมิต่างๆ และอัตราการเย็น  $100^{\circ}\text{C/s}$   
ของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมิเนียมบรอนซ์ด้วยเครื่องไคลาโตมิเตอร์

ตารางที่ ก.3 การหาอัตราการเย็นตัวของการทดสอบกดขึ้นรูปรีออนที่อุณหภูมิต่างๆ และอัตราการเย็น  
 $100^{\circ}\text{C/s}$  ของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมิเนียมบรอนซ์ด้วยเครื่องไคลาโตมิเตอร์

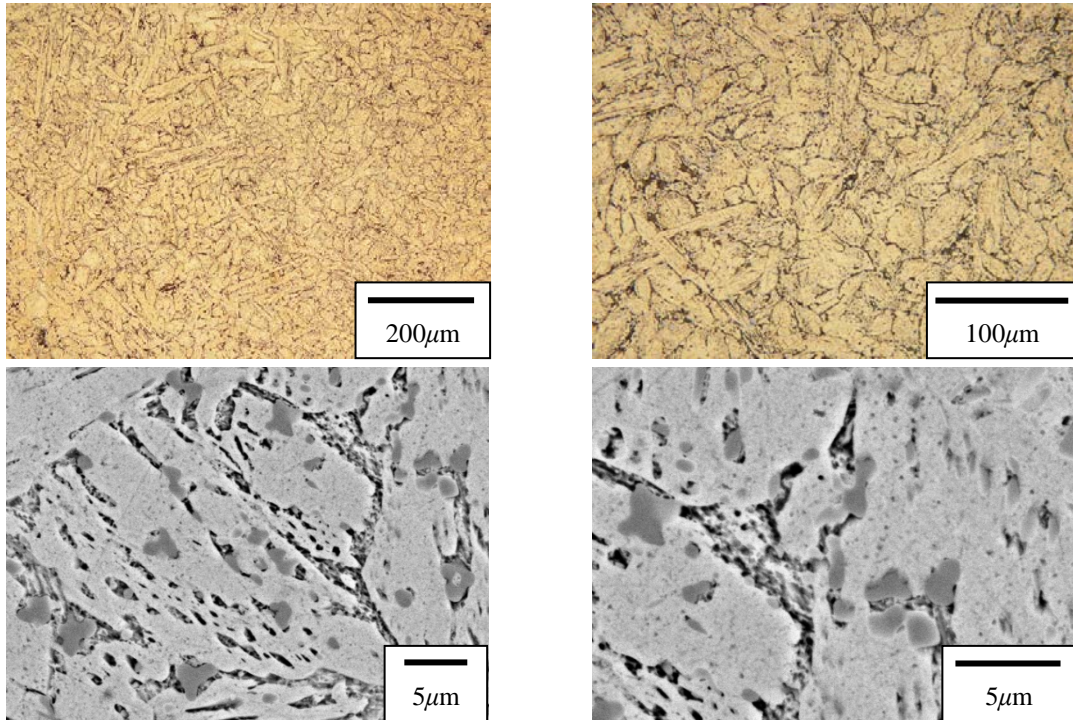
การทดสอบ		$800^{\circ}\text{C}$	$870^{\circ}\text{C}$	$900^{\circ}\text{C}$	$950^{\circ}\text{C}$
อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_1$	700.39	700.19	700.52	700.07
	$T_2$	500.19	500.22	500.04	500.42
เวลา (s)	$t_1$	150.29	157.98	161.29	166.79
	$t_2$	152.31	160.02	163.32	168.83
อัตราการเย็นตัว ( $^{\circ}\text{C/s}$ )		99.11	98.02	98.75	97.87
ค่าเฉลี่ยอัตราการเย็นตัว		$98.44 \pm 0.59$			

### ภาคผนวก ข

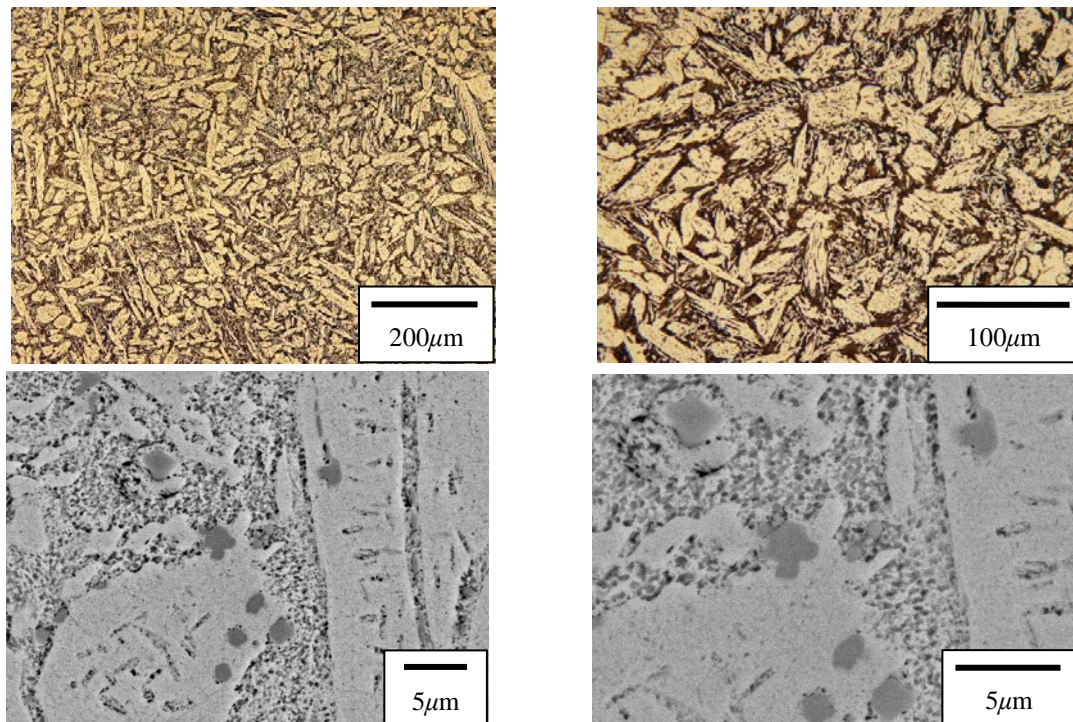
โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมิเนียมบรอนซ์

### ข.1 โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมิเนียมบรอนซ์

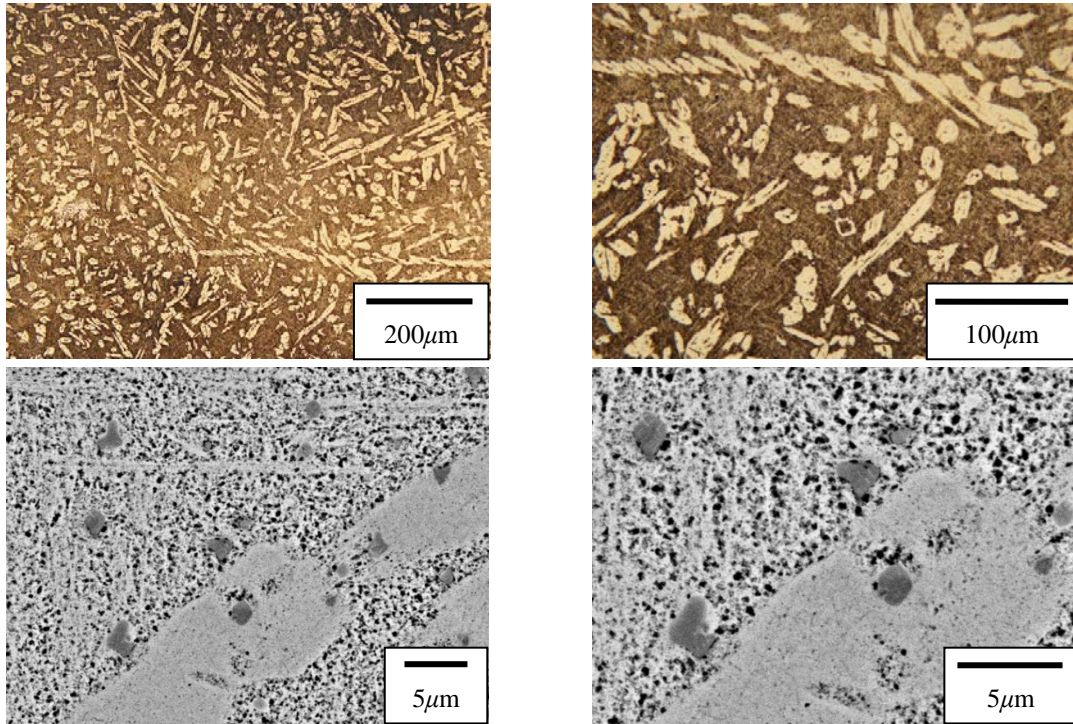
หลังการทดสอบอบทางความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ และเย็นตัวอย่างรวดเร็ว



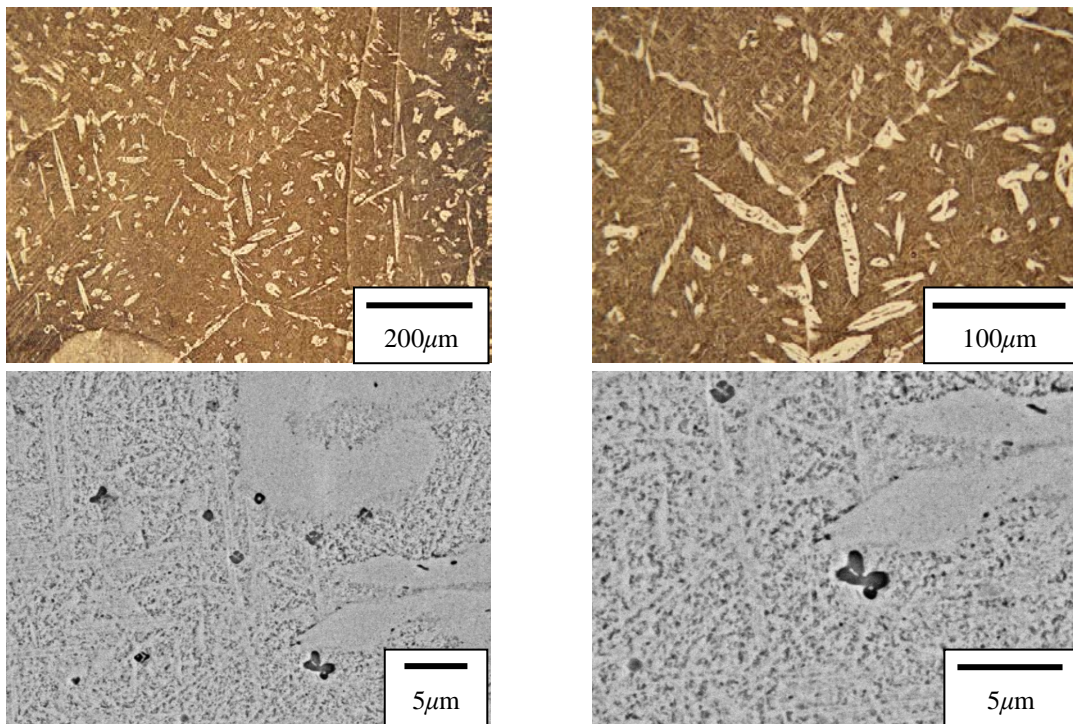
รูปที่ ข.1 โครงสร้างจุลภาคหลังอบทางความร้อนที่อุณหภูมิ 750°C และเย็นตัวอย่างรวดเร็ว



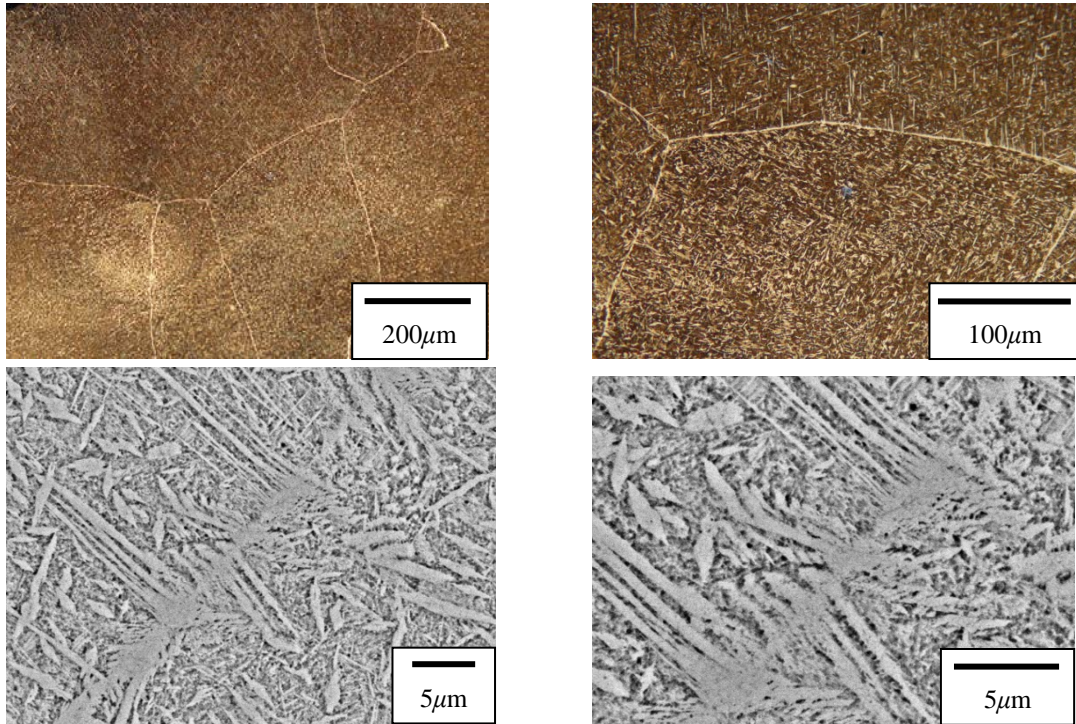
รูปที่ ข.2 โครงสร้างจุลภาคหลังอบทางความร้อนที่อุณหภูมิ 800°C และเย็นตัวอย่างรวดเร็ว



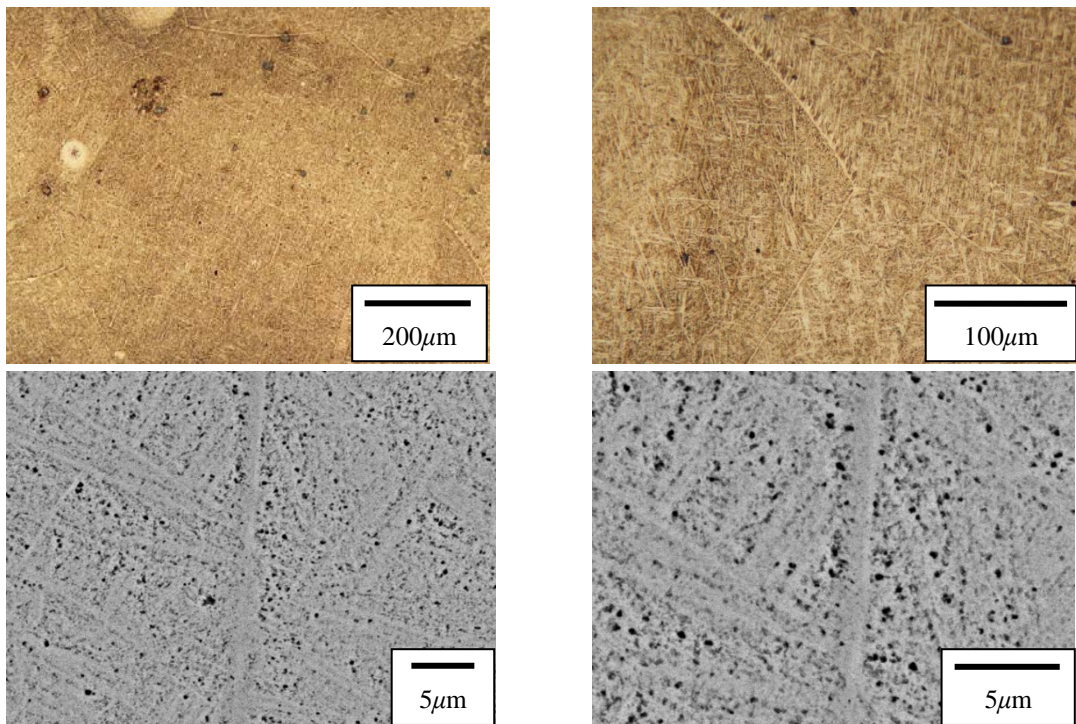
รูปที่ ข.3 โครงสร้างจุลภาคหลังอบทางความร้อนที่อุณหภูมิ 870°C และเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว



รูปที่ ข.4 โครงสร้างจุลภาคหลังอบทางความร้อนที่อุณหภูมิ 900°C และเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว



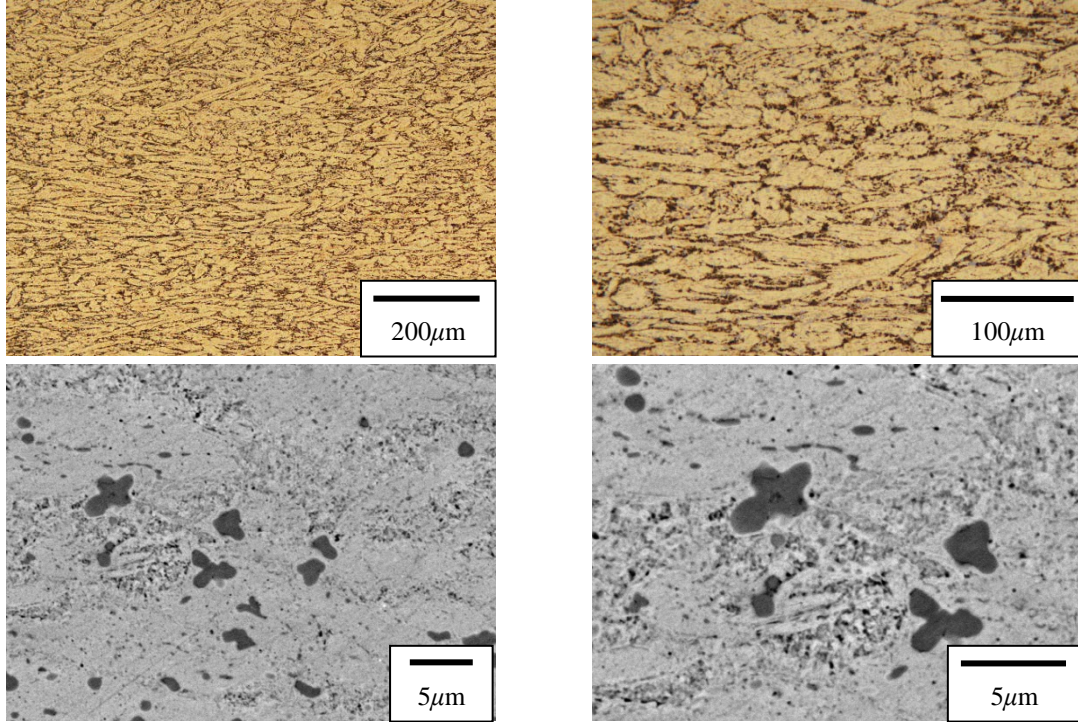
รูปที่ ข.5 โครงสร้างจุลภาคหลังอบทางความร้อนที่อุณหภูมิ 950°C และเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว



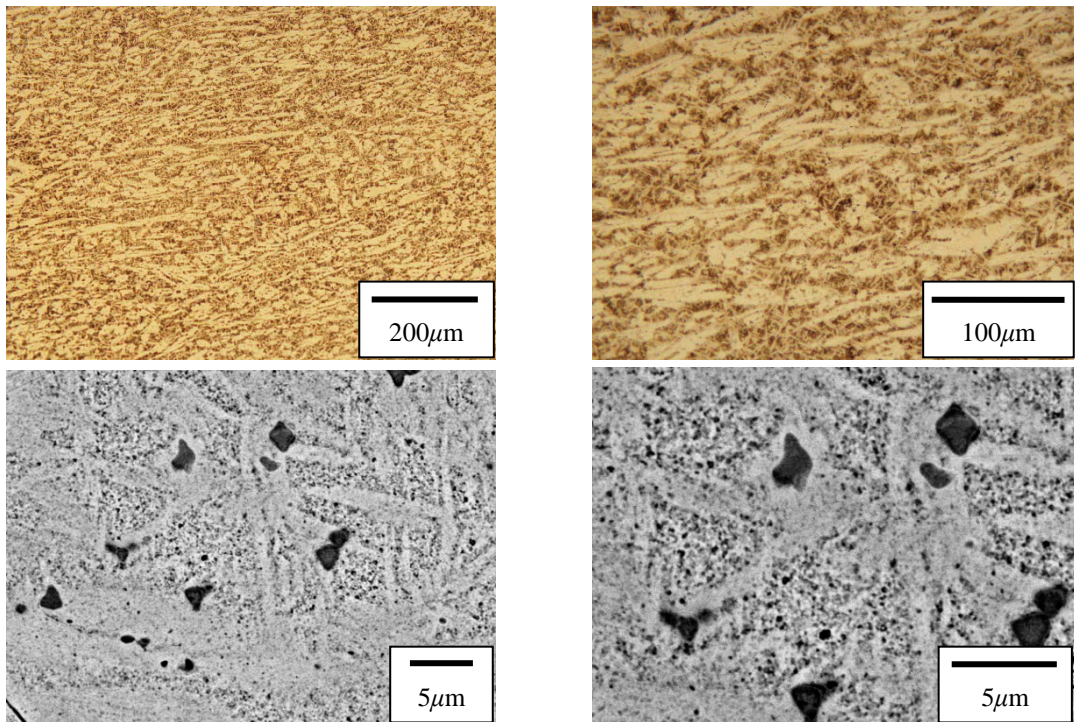
รูปที่ ข.6 โครงสร้างจุลภาคหลังอบทางความร้อนที่อุณหภูมิ 1,000°C และเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว

## ข.2 โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมิเนียมบรอนซ์

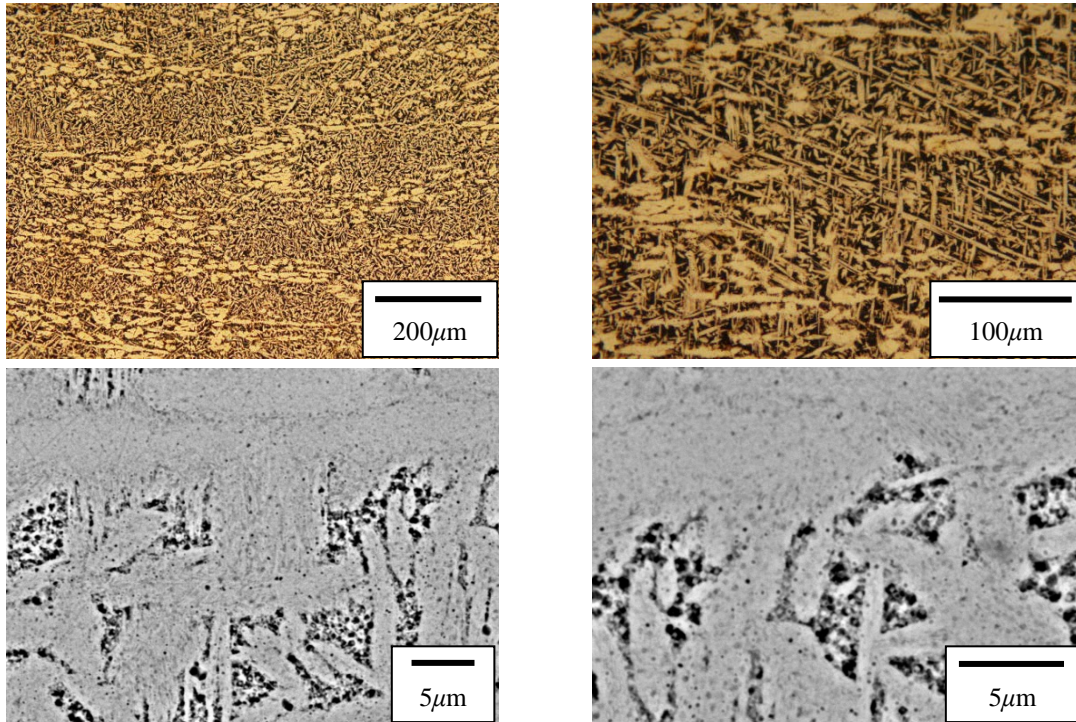
หลังการทดสอบกดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิและอัตราการเย็นตัวต่างๆ



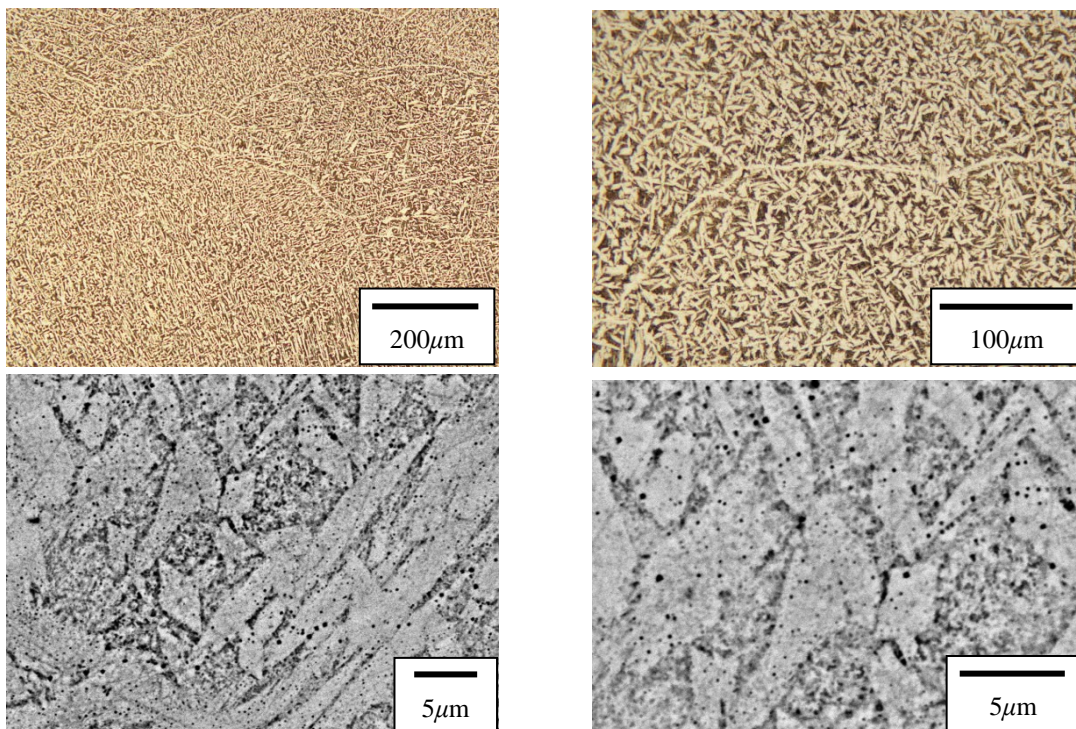
รูปที่ ข.7 โครงสร้างจุลภาคหลังกดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 800°C และอัตราการเย็นตัว 40°C/s



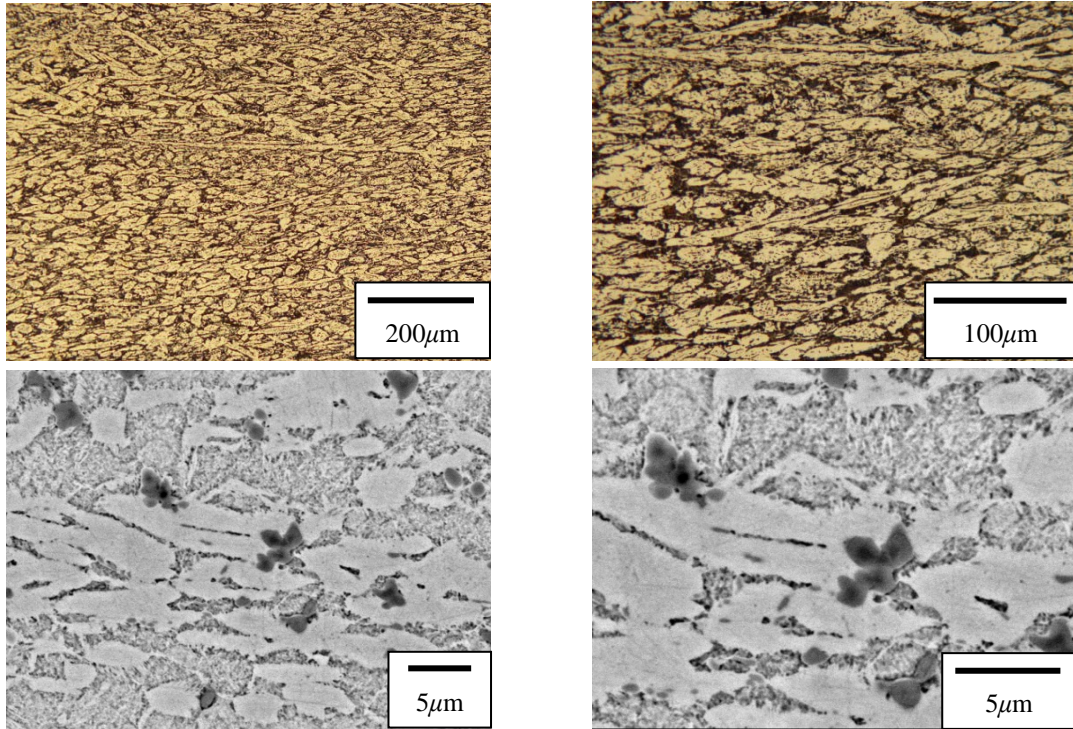
รูปที่ ข.8 โครงสร้างจุลภาคหลังกดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 800°C และอัตราการเย็นตัว 100°C/s



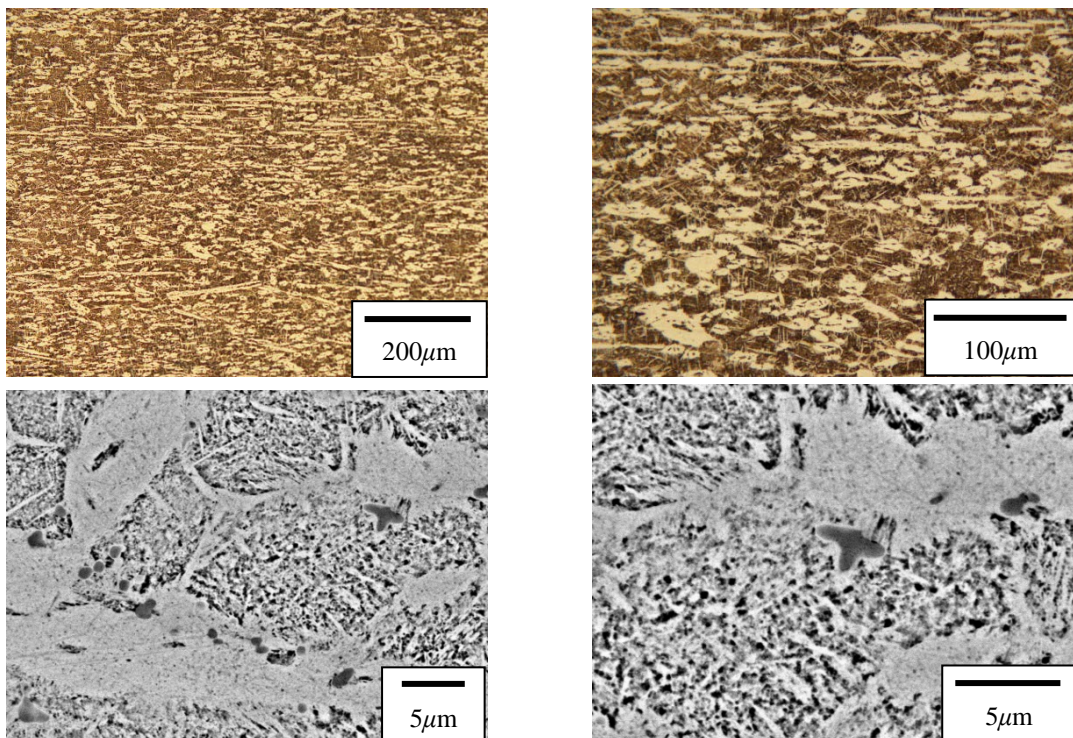
รูปที่ ข.9 โครงสร้างจุลภาคหลังกดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 870°C และอัตราการเย็นตัว 40°C/s



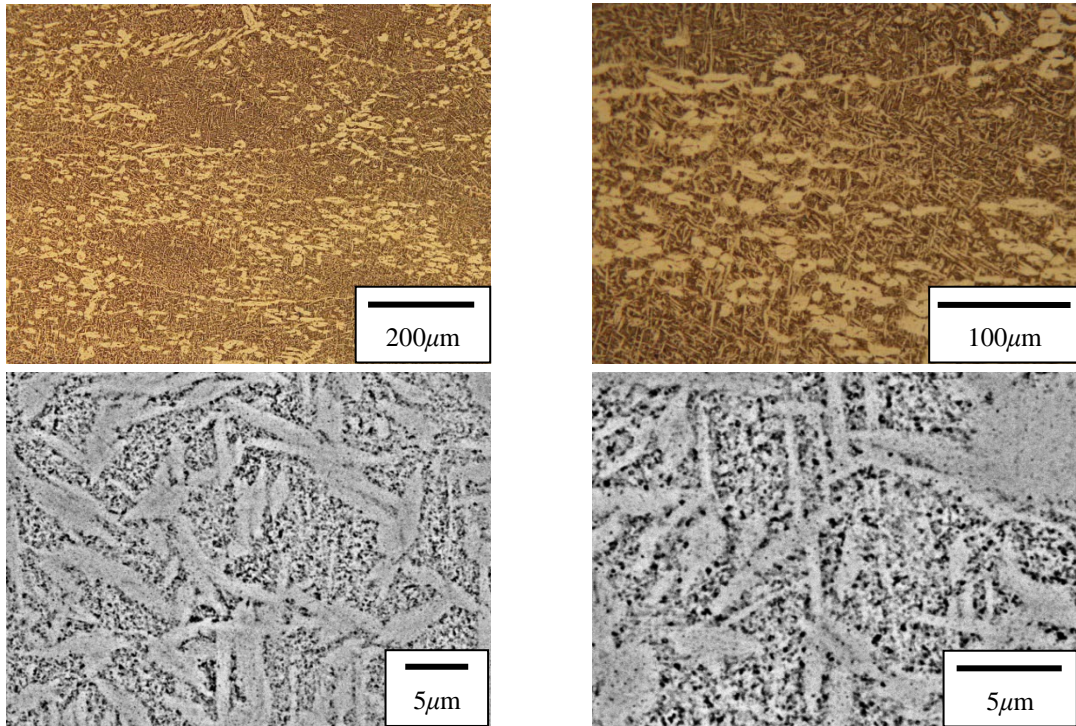
รูปที่ ข.10 โครงสร้างจุลภาคหลังกดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 870°C และอัตราการเย็นตัว 100°C/s



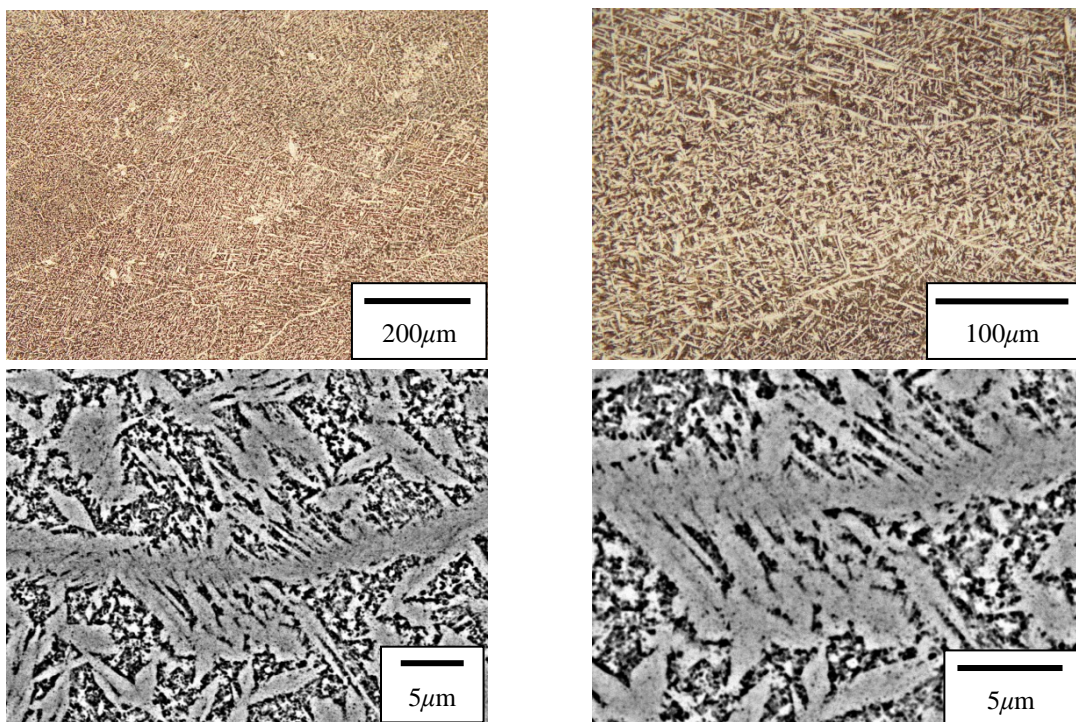
รูปที่ ข.11 โครงสร้างจุลภาคหลังกดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 900°C และอัตราการเย็นตัว 40°C/s



รูปที่ ข.12 โครงสร้างจุลภาคหลังกดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 900°C และอัตราการเย็นตัว 100°C/s



รูปที่ ข.13 โครงสร้างจุลภาคหลังกดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 950°C และอัตราการเย็นตัว 40°C/s



รูปที่ ข.14 โครงสร้างจุลภาคหลังกดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 950°C และอัตราการเย็นตัว 100°C/s

### ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ปริมาณเฟส

ตารางที่ ค.1 ค่าเปอร์เซ็นต์เฟสของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมิเนียมบรอนซ์ที่หลังการอบทางความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ และเขียนตัวเลขอย่างรวดเร็วด้วยเครื่องไดลาโตมิเตอร์

ปริมาณเฟส (%)	อุณหภูมิ 750°C		อุณหภูมิ 800°C		อุณหภูมิ 870°C		อุณหภูมิ 900°C		อุณหภูมิ 950°C		อุณหภูมิ 1,000°C	
	$\alpha$	$\beta'$	$\alpha$	$\beta'$	$\alpha$	$\beta'$	$\alpha$	$\beta'$	$\alpha$	$\beta'$	$\alpha$	$\beta'$
1	85.57	14.42	64.16	35.83	38.34	61.65	23.70	76.29	20.56	79.43	22.22	77.77
2	82.10	17.89	60.99	39.00	35.64	64.35	23.52	76.47	20.94	79.05	9.73	90.26
3	81.41	18.58	62.27	37.72	34.06	65.93	23.64	76.35	20.50	79.49	10.50	89.49
4	85.61	14.38	67.53	32.46	39.15	60.84	26.19	73.80	18.8	81.11	8.88	91.11
5	81.73	18.26	68.80	31.19	43.10	56.89	23.81	76.18	15.97	84.02	8.379	91.62
6	89.66	10.33	62.66	37.33	35.38	64.61	29.730	70.26	18.37	81.62	8.41	91.58
7	84.74	15.25	69.50	30.49	36.68	63.31	23.42	76.57	11.09	88.90	7.60	92.39
8	87.47	12.52	60.56	39.43	39.86	60.13	20.43	79.56	11.09	88.90	10.56	89.43
9	81.07	18.92	66.97	33.02	42.39	57.60	26.99	73.00	18.41	81.58	10.94	89.05
10	83.49	16.50	62.89	37.10	37.64	62.35	23.34	76.65	17.60	82.39	7.43	92.56
ค่าเฉลี่ย	84 ± 2.85	16 ± 2.85	65 ± 3.29	35 ± 3.29	38 ± 2.97	62 ± 2.97	24 ± 2.55	76 ± 2.55	17 ± 3.62	83 ± 3.62	10 ± 4.31	90 ± 4.31

ตารางที่ ค.2 ค่าเปอร์เซ็นต์เฟสของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมิเนียมบรอนซ์หลังการกดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ และอัตราการเย็นตัว 40°C/s ด้วยเครื่องไดลาโตมิเตอร์

ปริมาณเฟส (%)	อุณหภูมิ 800°C		อุณหภูมิ 870°C		อุณหภูมิ 900°C		อุณหภูมิ 950°C	
	$\alpha$	$\beta'$	$\alpha$	$\beta'$	$\alpha$	$\beta'$	$\alpha$	$\beta'$
1	57.49	42.50	57.29	42.70	51.56	48.43	48.50	51.49
2	66.87	33.12	57.37	42.62	54.50	45.49	40.77	59.22
3	66.22	33.77	60.53	39.46	47.86	52.13	47.10	52.89
4	65.32	34.67	56.13	43.86	51.32	48.67	45.61	54.38
5	65.51	34.48	61.29	38.70	56.37	43.62	44.24	55.75
6	63.63	36.36	46.69	53.30	53.97	46.02	40.96	59.03
7	56.58	43.41	52.45	47.54	50.43	49.56	45.19	54.80
8	69.13	30.86	54.98	45.01	55.30	44.69	46.24	53.75
9	59.41	40.58	64.07	35.92	50.90	49.09	45.92	54.07
10	60.25	39.74	66.01	33.98	55.33	44.66	38.14	61.85
ค่าเฉลี่ย	63 ± 4.31	37 ± 4.31	58 ± 5.67	42 ± 5.67	53 ± 2.73	47 ± 2.73	44 ± 3.62	56 ± 3.62

ตารางที่ ค.3 ค่าเปอร์เซ็นต์เฟสของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมิเนียมบรอนซ์หลังการกดขึ้นรูปร้อน ที่อุณหภูมิต่างๆ และอัตราการเย็นตัว 100°C/s ด้วยเครื่อง ไดลาโตมิเตอร์

ปริมาณเฟส (%)	อุณหภูมิ 800°C		อุณหภูมิ 870°C		อุณหภูมิ 900°C		อุณหภูมิ 950°C	
	$\alpha$	$\beta'$	$\alpha$	$\beta'$	$\alpha$	$\beta'$	$\alpha$	$\beta'$
1	53.04	46.95	42.70	57.29	45.07	54.92	40.39	59.60
2	51.57	48.42	45.06	54.93	31.87	68.12	46.15	53.84
3	55.39	44.60	45.73	54.26	33.29	66.70	44.01	55.98
4	53.53	46.46	46.50	53.49	30.20	69.79	41.24	58.75
5	53.32	46.67	46.16	53.83	40.76	59.23	37.14	62.85
6	54.36	45.63	54.31	45.68	45.13	54.86	37.61	62.38
7	52.49	47.50	44.34	55.65	37.98	62.01	39.61	60.38
8	53.39	46.60	46.68	53.31	40.24	59.76	44.86	55.13
9	54.73	45.26	40.95	59.04	35.53	64.46	50.28	49.71
10	53.28	46.71	41.35	58.64	45.35	54.64	43.82	56.17
ค่าเฉลี่ย	54 ± 1.09	46 ± 1.09	45 ± 3.77	55 ± 3.77	39 ± 5.69	61 ± 5.69	43 ± 4.09	57 ± 4.09

**ภาคผนวก ง**

**การทดสอบความแข็ง**

ตารางที่ ง.1 ค่าความแข็งของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมิเนียมบรอนซ์ หลังการอบทางความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ และเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว

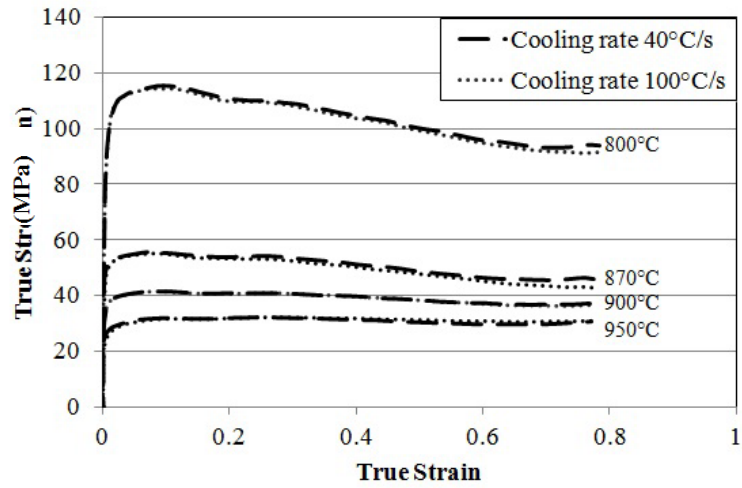
เงื่อนไขการทดสอบ	จุดที่ 1 (HV)	จุดที่ 2 (HV)	จุดที่ 3 (HV)	จุดที่ 4 (HV)	จุดที่ 5 (HV)	ค่าความแข็งเฉลี่ยรวม (HV)
750°C	191.0	188.9	191.5	192.4	191.9	191.14 ± 1.21
800°C	219.9	224.3	221.8	220.1	219.9	221.20 ± 1.71
870°C	281.8	281.7	278.6	280.0	283.5	281.12 ± 1.68
900°C	318.5	316.2	319.5	321.1	321.6	319.38 ± 1.94
950°C	327.8	333.9	330.5	327.4	326.4	329.20 ± 2.71
1,000°C	347.4	347.4	351.7	345.2	345.9	347.52 ± 2.26

ตารางที่ ง.2 ค่าความแข็งของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมิเนียมบรอนซ์หลังการทดสอบกดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิและอัตราการเย็นตัวต่างๆ ด้วยเครื่องไคลาโตมิเตอร์

อุณหภูมิ	อัตราการเย็นตัว 40°C/s				อัตราการเย็นตัว 100°C/s			
	จุดที่ 1 (HB)	จุดที่ 2 (HB)	จุดที่ 3 (HB)	เฉลี่ยรวม (HB)	จุดที่ 1 (HB)	จุดที่ 2 (HB)	จุดที่ 3 (HB)	เฉลี่ยรวม (HB)
800°C	221	221	229	223.7 ± 3.77	225	229	225	226.3 ± 1.89
870°C	237	233	233	234.3 ± 1.89	237	246	255	246.0 ± 7.35
900°C	225	242	229	232.0 ± 7.25	270	255	250	258.3 ± 8.49
950°C	241	233	229	234.3 ± 4.99	265	260	255	260.0 ± 4.08

### ภาคผนวก จ

กราฟความเค้นจริงและความเครียดจริงของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมิเนียมบรอนซ์



รูปที่ จ.1 กราฟความเค้นจริงและความเครียดจริงของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมิเนียมบรอนซ์ จากการทดสอบการกดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิและอัตราการเย็นตัว 40 และ 100°C/s