

รายการอ้างอิง

1. J.R. Davis, Heat-resistant Material, ASM SPECIALTY HANDBOOK, Ohio, April, 1999 :
: 200-211.
2. J.R. Davis, Nikle, Cobalt and Their alloy, ASM SPECIALTY HANDBOOK, Ohio, December
2000 : 62-67.
3. J.R. Davis, Stainless steel, ASM SPECIALTY HANDBOOK , Ohio, January 1996 : 66-88.
4. CHESTER T.SIMS, NORMAN S. STOLOFF and WILLIAM C. HAGEL, SUPERALLOYS II,
1987 :165-187.
5. H.J. Beattie, Jr. and W.C. Hagel. Precipitation Processes in steels, ISI, London, 1959
p147-170.
6. G.W. Meetham, M.H. Van de Voorde, Materials for High Temperature Engineering
Applications, Springer New York, 2000 :36-61.
7. J.W. Christain, The Theory of Transforms in Metal and Alloys, second edtion, Part I
Equilibrium and General Kinetic Theory, Pergamon Press, Oxford, 1985.
8. Colin J. Smithells and Eric A. Brandes, Metal Reference Book, Butterworths, London &
Boston, fifth ed., 1976.
9. Robert W.Cahn, Peter Haasen, Physical Metallurgy, Fourth, revised and enhanced
edition, Vol.2, North-Holland, 1996.
10. A.A. Kaya, P. Krauklis and D.J. Young, Micrstructure of HK40 alloy after high
temperature service in oxidizing / carburizing enviroment, I. Oxidation
phenomena and propagation of a crack, Material Characterization,
Vol.49, Issue 1, August 2002 : 11-21.
11. X. Q. Wu, H.M. Jing, Y. G. Zheng, Z.M. Yao, W.Ke and Z. Q. Hu, The eutectic of
carbides and creep rupture strength of 25Cr 20Ni heat resistant steel tubes
centrifugally cast with different solidification conditions, Materials Science
and Engineering A, Vol.293, Issue 1-2, 30 November 2000 : 252-260.
12. Bogdan Piekarski, Effect of Nb and Ti additions on microstructure and indentification of
precipitates in stabilized Ni-Cr cast austenitic steels, Materials
Characterization, Vol. 47, 2001 : 181-186.

13. Julian Rodriguez, Sergio Haro, Abraham Velasco and Rafael Colas, A Metallographic study of aging in cast heat-resisting alloy, *Materials Characterization*, Vol. 45, 2000 :23-32.
14. Raul Alejandro Pedro Ibanez, Gloria Dulce de Almeida Soares, Luiz Henrique de Almeida and Iain Le May, Effects of Si Content on the Microstructure of Modified-HP Austenitic steels, *Materials Characterization*, Vol. 30, 1993: 243-249.
15. Luiz Henrique de Almeida, Andre Freitas Ribeiro and Iain Le May, Microstructural characterization of modified 25Cr-35Ni centrifugally cast steel furnace tubes, *Materials Characterization*, Vol. 49, Issue 3, October 2002 : 219-229.
16. Gloria Dulce Barbabela, Luiz Henrique de Almeida, Tito Luiz da Silveira and Iain Le May, Role of Nb in Modifying the Microstructure of Heat-resistant Cast HP steel, *Materials Characterization*, Vol. 26, 1991 : 193-197.
17. Gloria Dulce Barbabela, Luiz Henrique de Almeida, Tito Luiz da Silveira and Iain Le May, Niobium additions in HP Heat-resistant Cast stainless steel, *Materials Characterization*, Vol. 26, 1992 : 387-396
18. E. A. Kenik, P. J. Maziasz. R. W. Swindeman, J. Cervenka and D. May, Structure and phase stability in a cast modified-HP austenite after long-term ageing, *Scripta Materialia*, Vol. 49, Issue 2, July 2003 : 117-122.
19. Gloria Dulce Barbabela, Luiz Henrique de Almeida, Tito Luiz da Silveira and Iain Le May, Phase characterization in Two Centrifugally Cast HK steel tubes, *Materials Characterization*, Vol. 26, 1991 : 1-7.
20. Ronald Mundt and Hans Hoffmeister, The isothermal $\delta - \gamma$ transformation of ferritic-austenitic iron-chromium-nickle alloys, Hamburg , *Arch Eisenhüttenwes* 54, 1983 : 291- 294.
21. J.R. Davis, Microstructure, ASM HANDBOOK, Vol. 9, ninth printing, April 1999 : 330-350.
22. J.R. Davis, Properties and Selection Irons, steels and High-Performance alloys, ASM HANDBOOK, Vol. 1, ninth printing, April 1999 : 920-929.

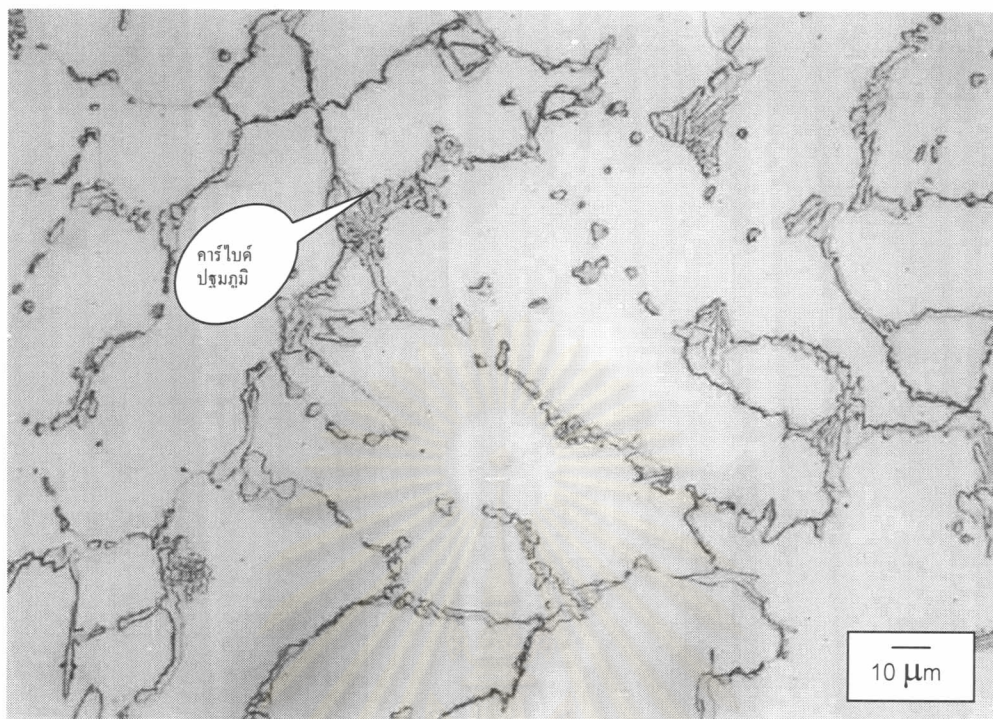


ภาคผนวก

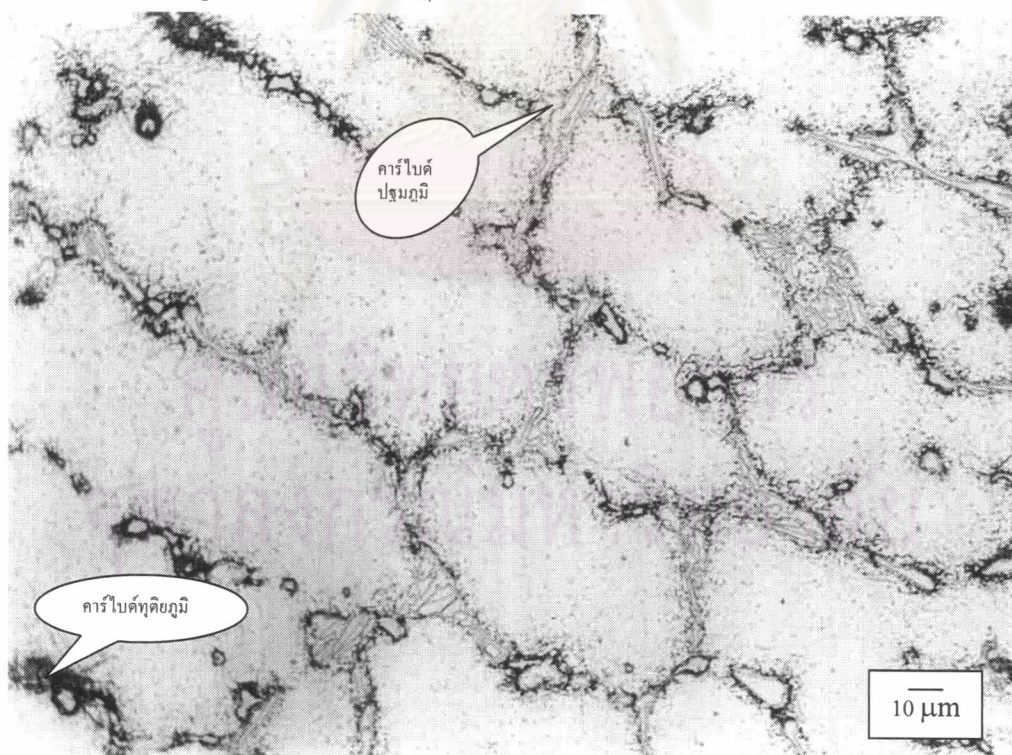
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

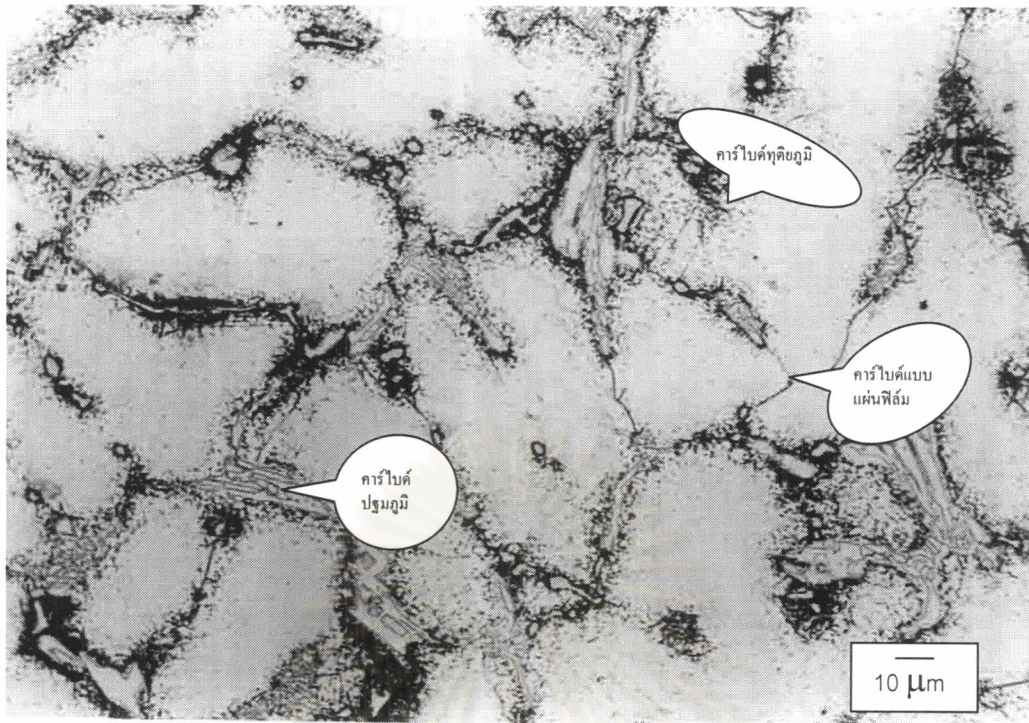
1. ภาพโครงสร้างจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์แสง



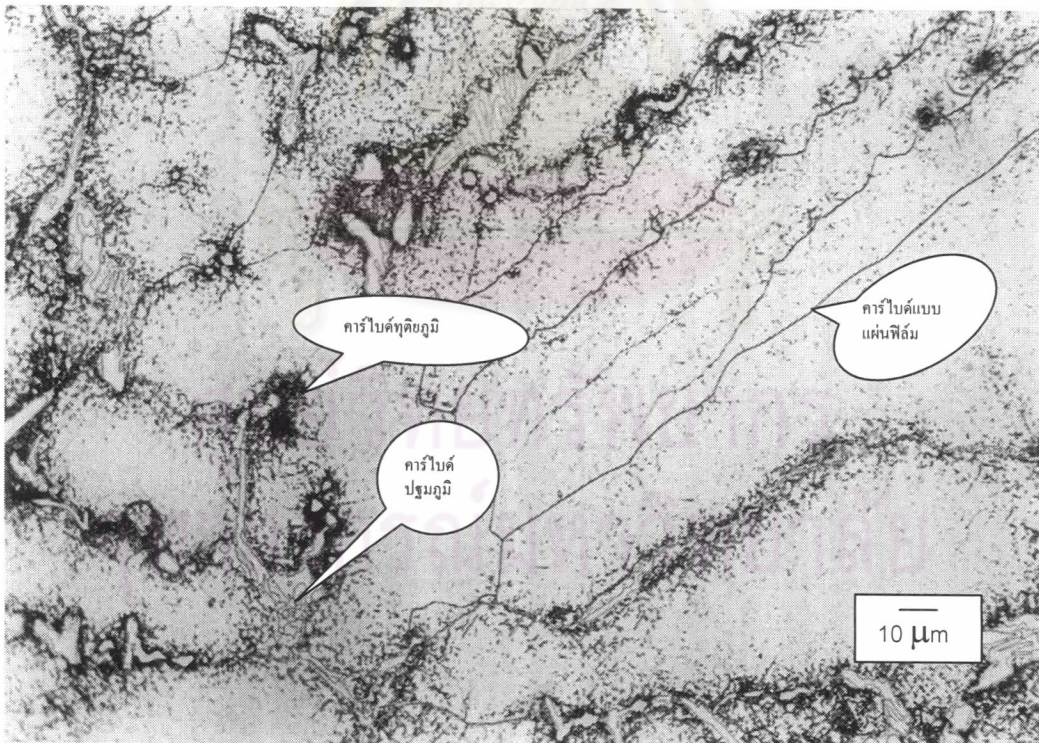
รูปที่ ก1. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่างในสภาพที่ได้รับ



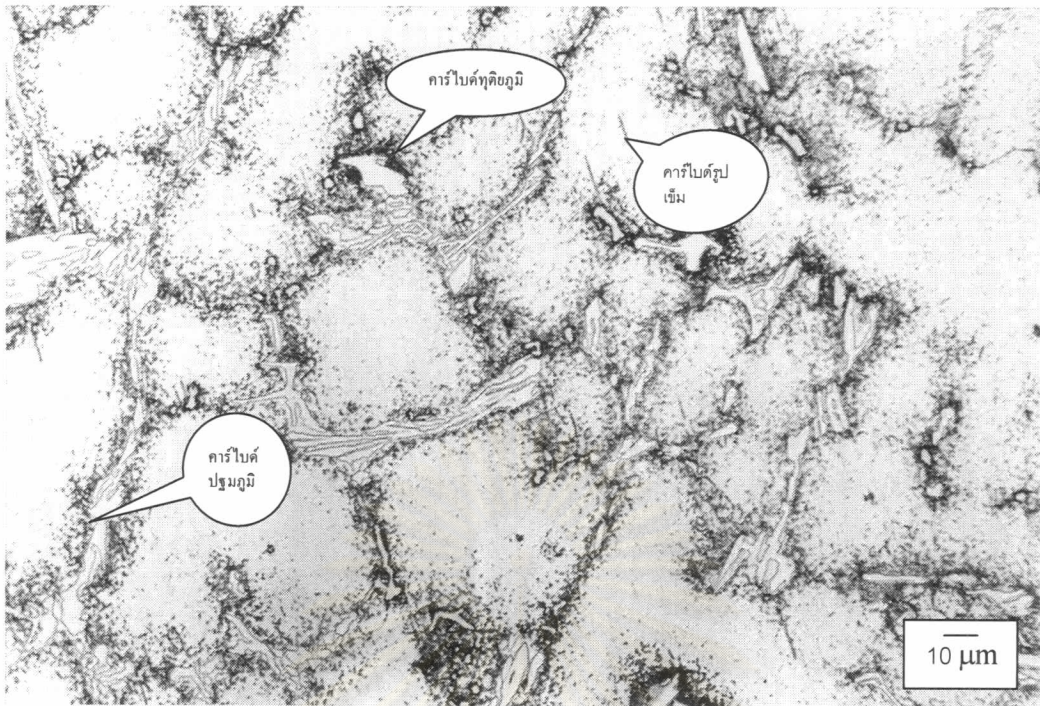
รูปที่ ก2. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 800 °ซ 1 ชม.



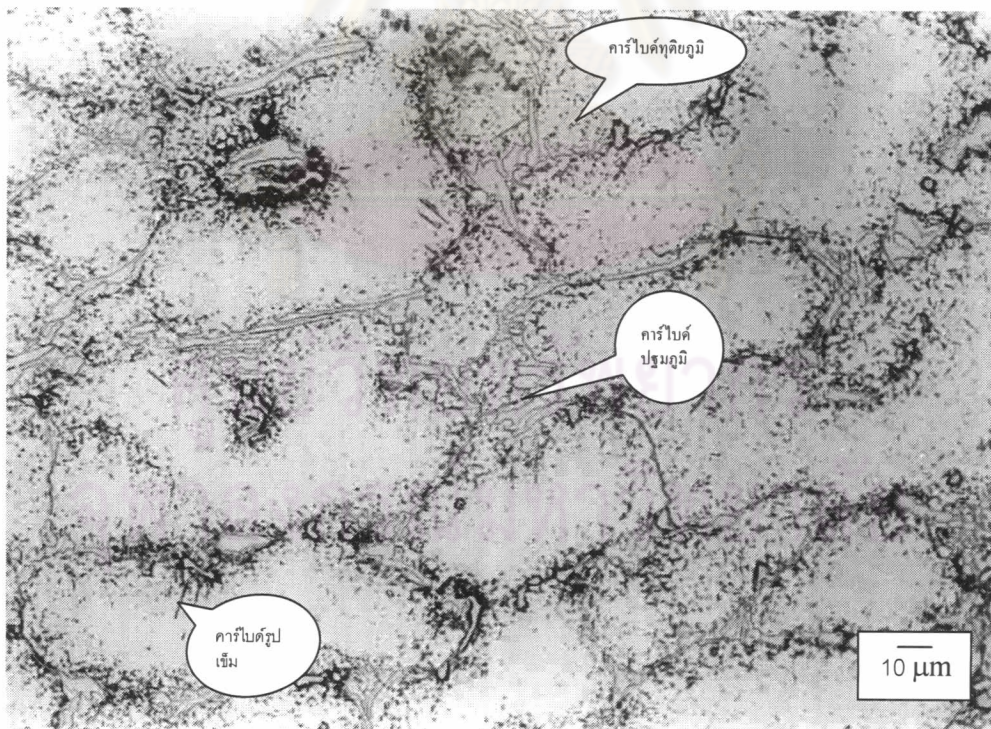
รูปที่ ก3. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 800 °ซ 3 ชม.



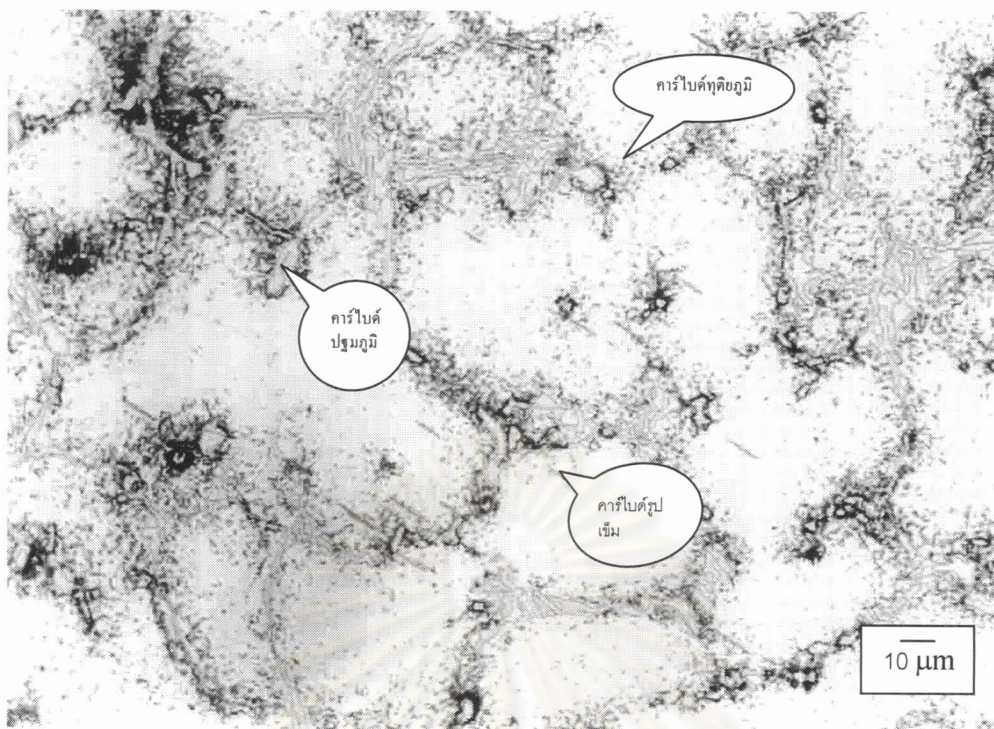
รูปที่ ก4. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 800 °ซ 10 ชม.



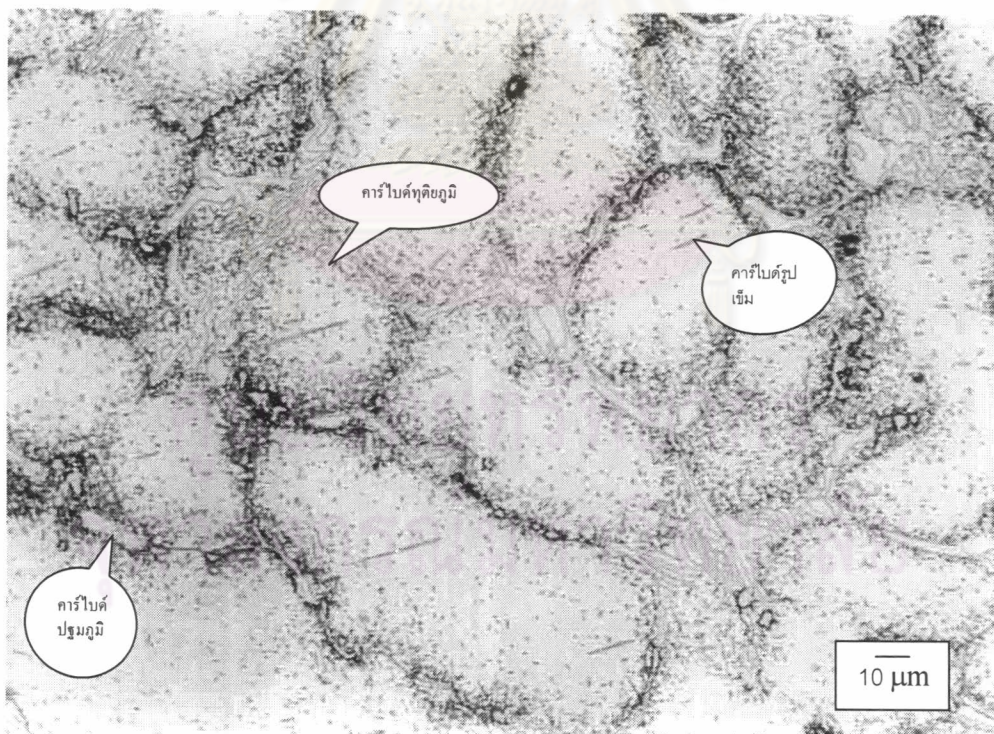
รูปที่ ก5. โครงสร้างจุลภาคของเส้นด้ายอย่างที่ผ่านมาการอบที่ 800 °ซ 24 ชม.



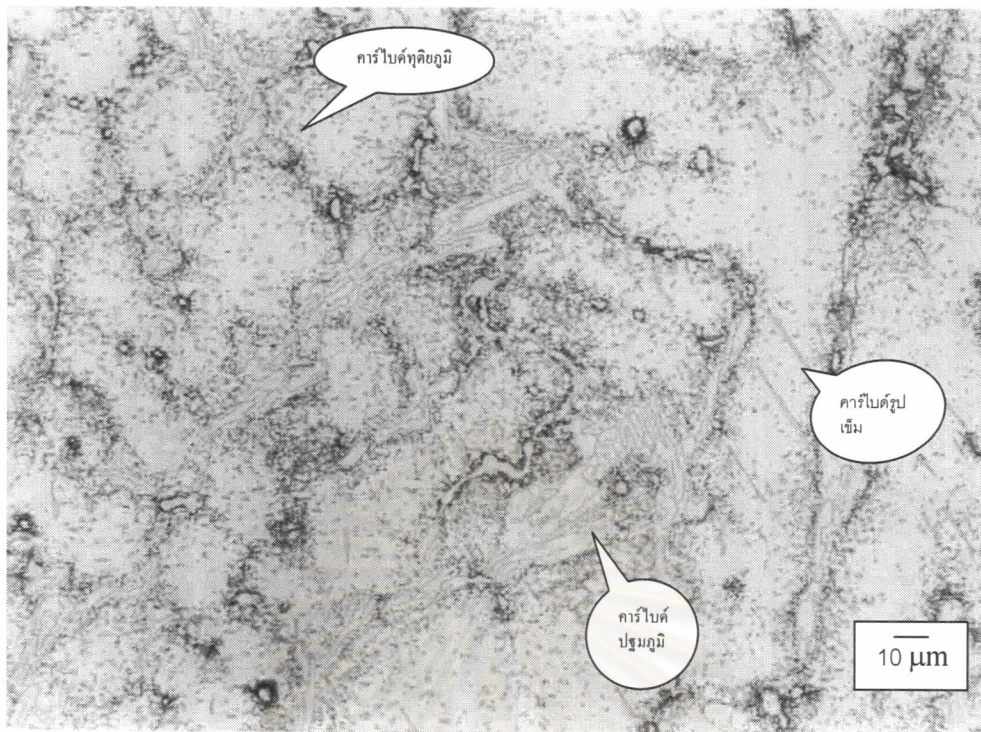
รูปที่ ก6. โครงสร้างจุลภาคของเส้นด้ายอย่างที่ผ่านมาการอบที่ 900 °ซ 1 ชม.



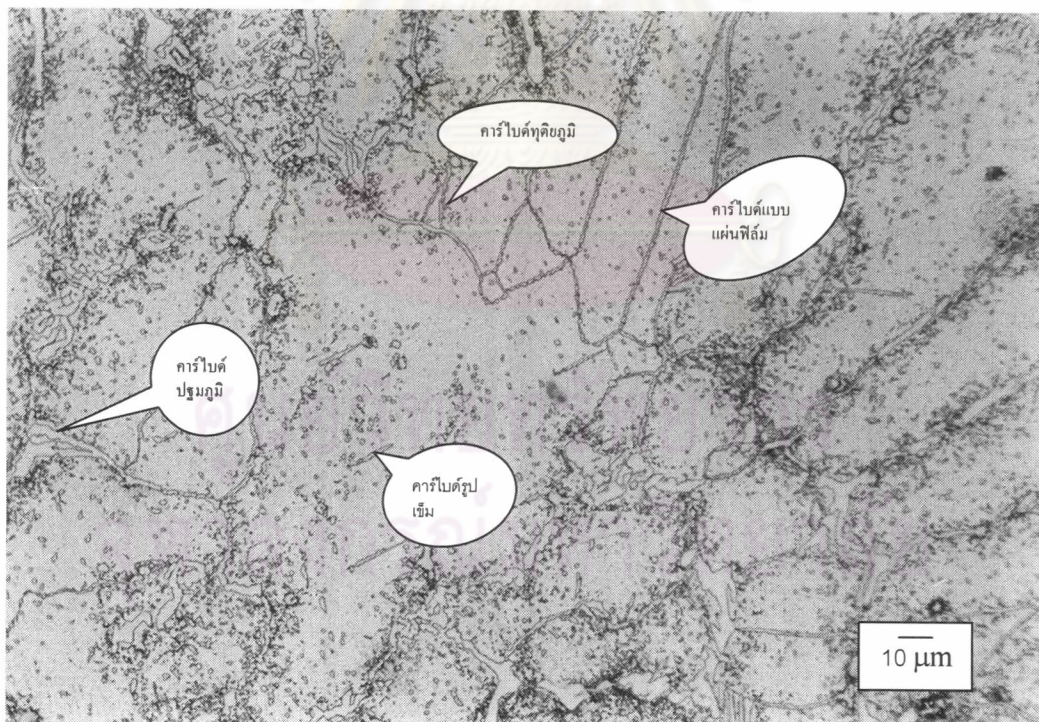
รูปที่ ก7. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 900 °ซ 3 ชม.



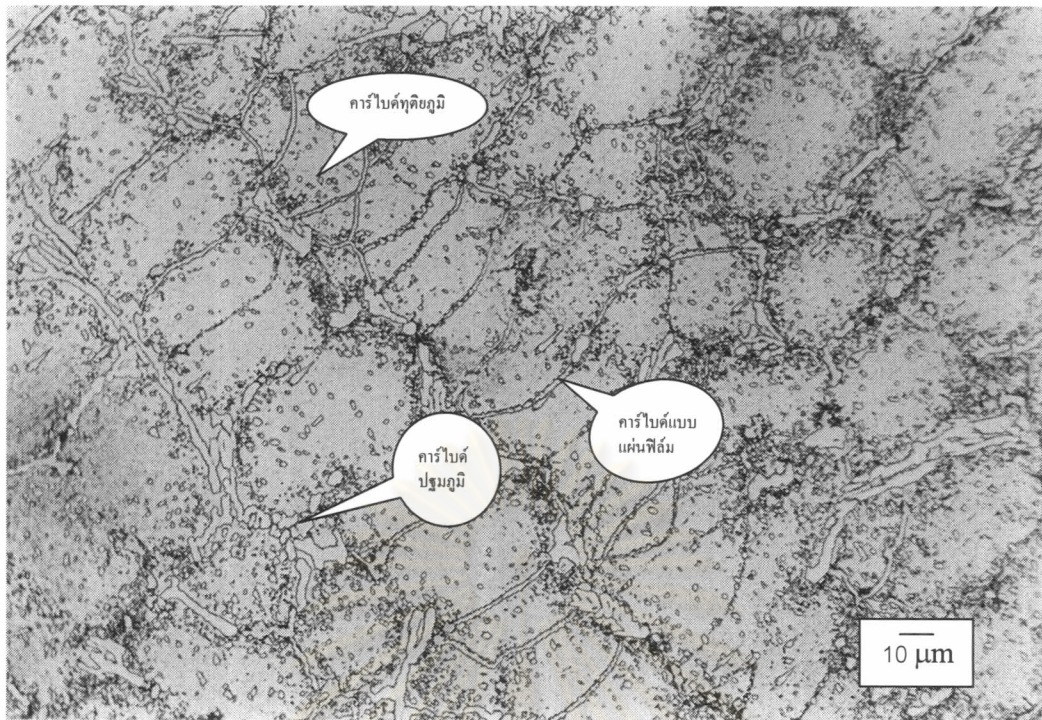
รูปที่ ก8. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 900 °ซ 10 ชม.



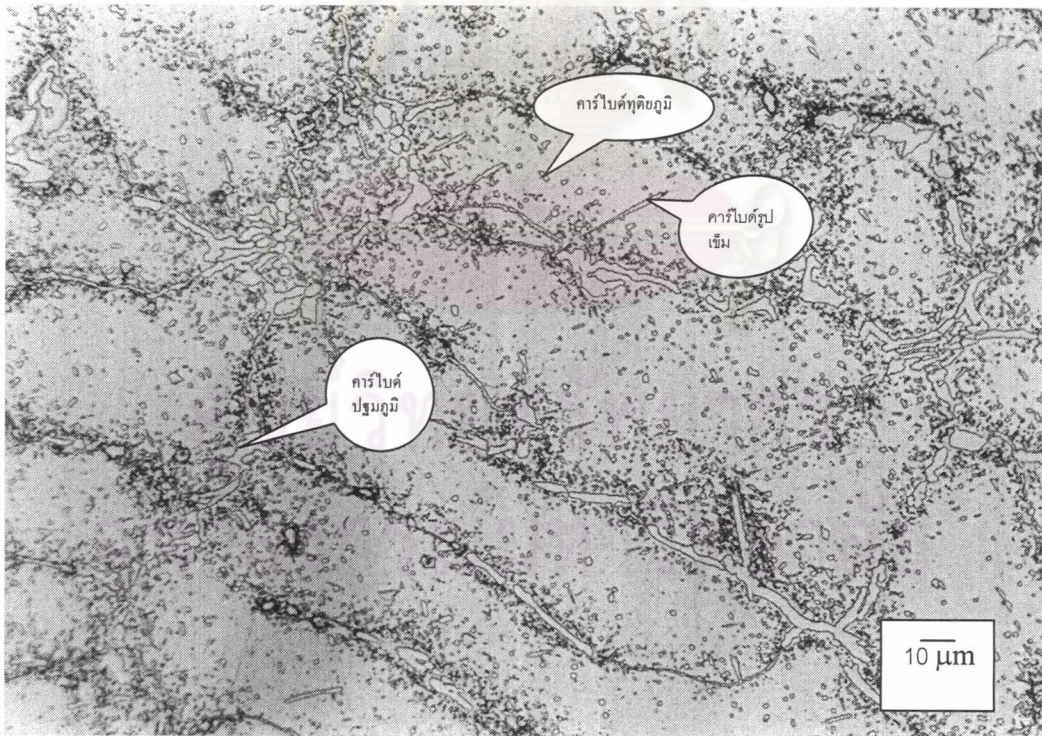
รูปที่ ก9. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 900 °ซ 24 ชม.



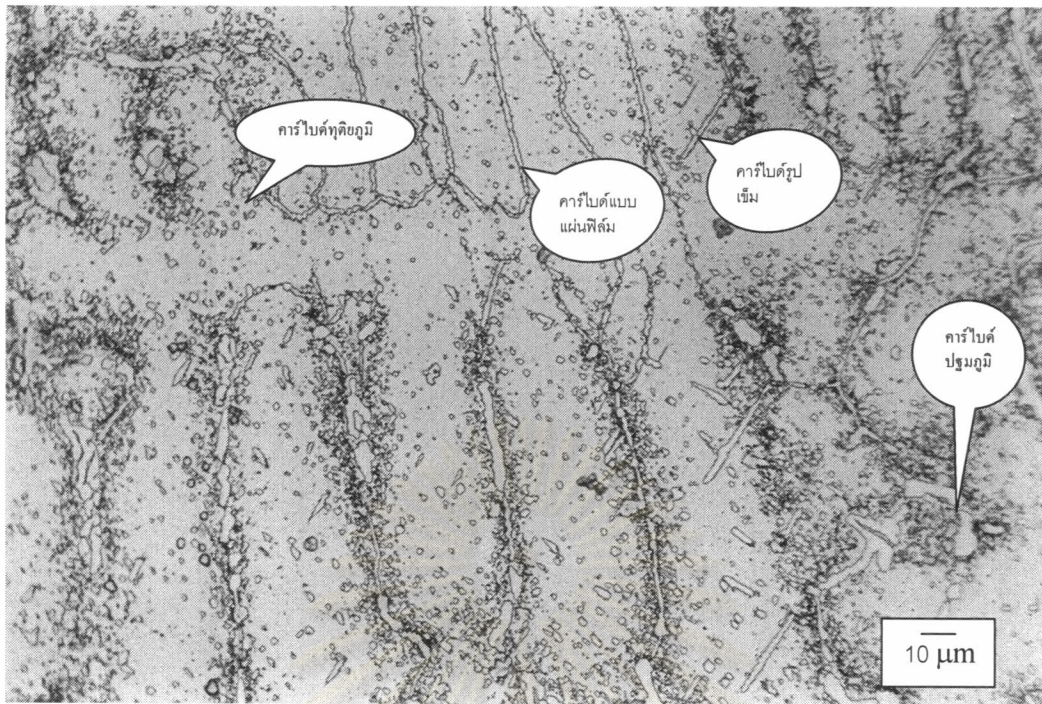
รูปที่ ก10. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 1000 °ซ 1 ชม.



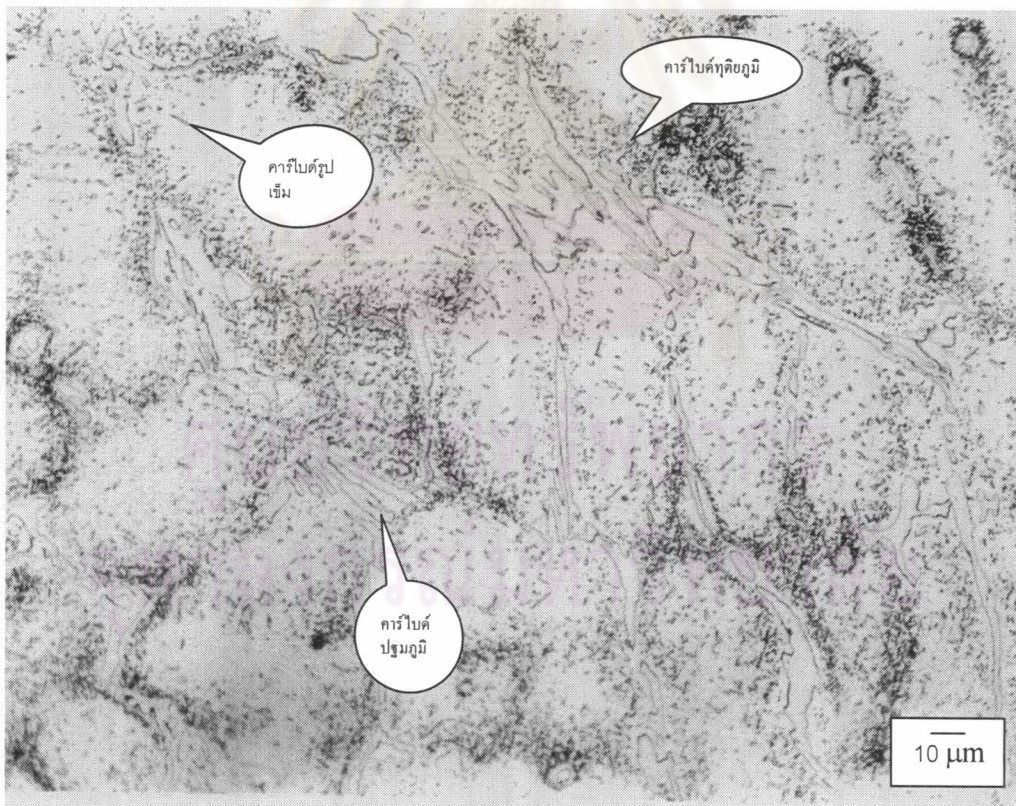
รูปที่ ก11. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 1000 °ซ 3 ชม.



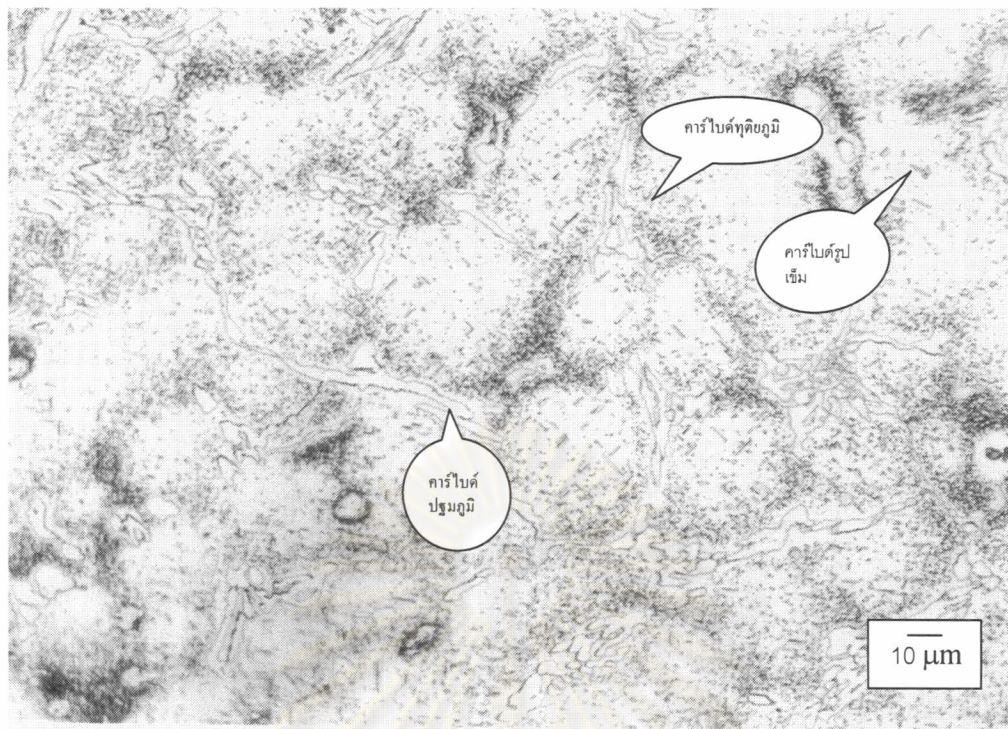
รูปที่ ก12. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 1000 °ซ 10 ชม.



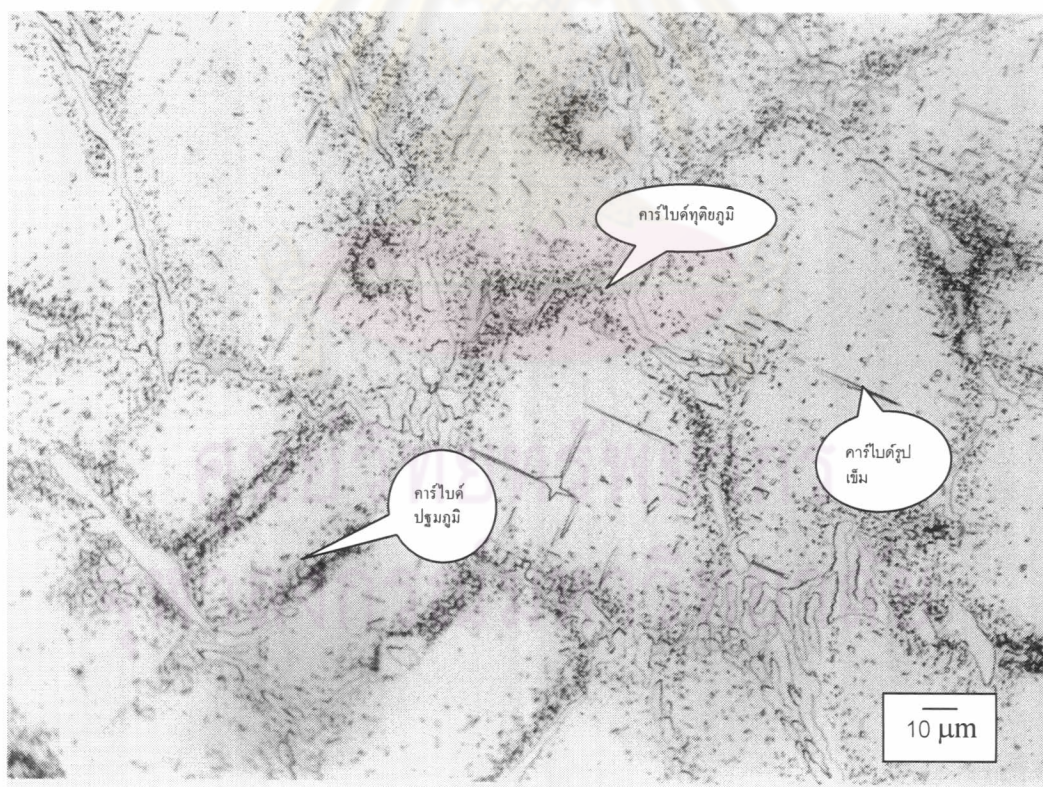
รูปที่ ก13. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 1000 °ซ 24 ชม.



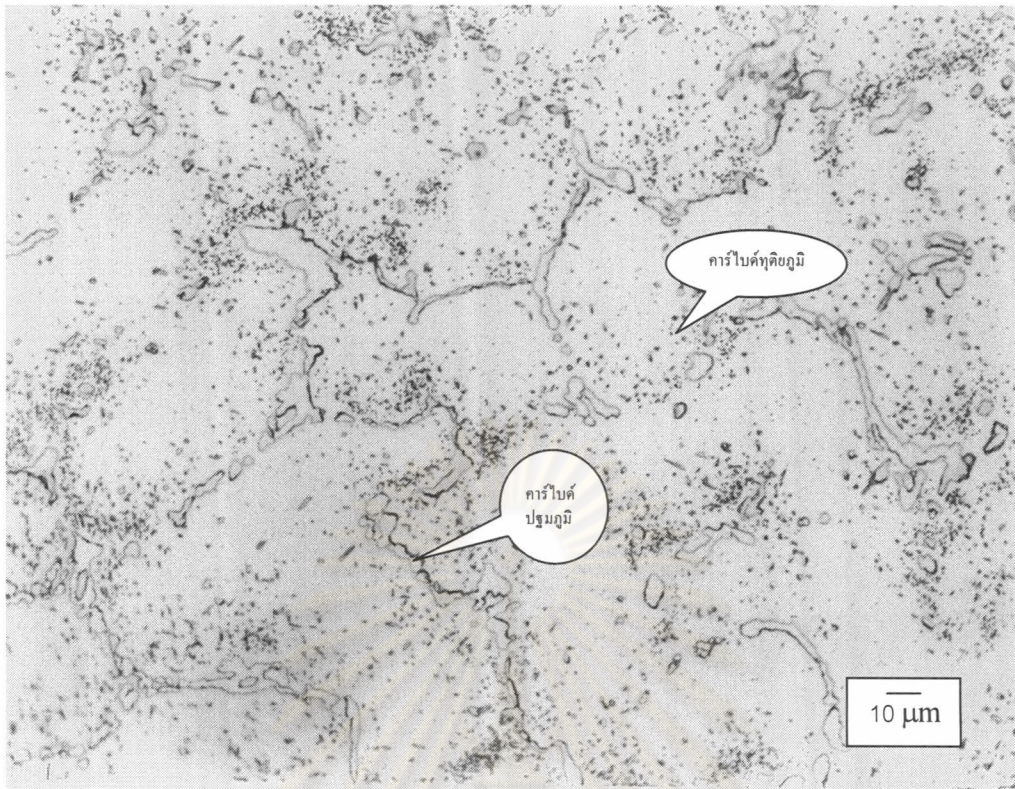
รูปที่ ก14. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 1100 °ซ 1 ชม.



รูปที่ ก15. โครงสร้างจุลภาคของเส้นด้ายที่ผ่านการอบที่ 1100 °ซ 3 ชม.

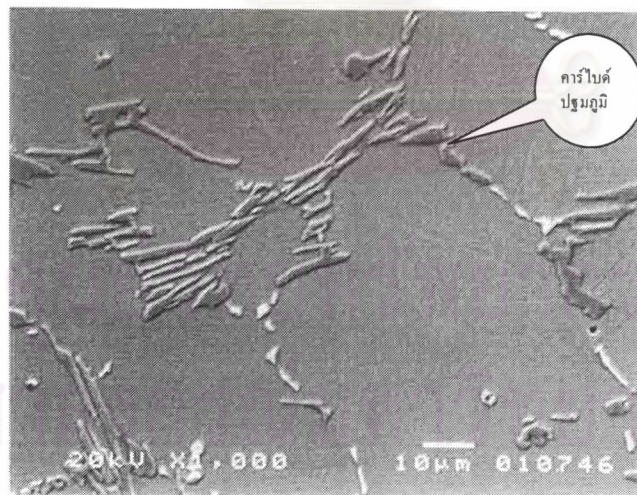


รูปที่ ก16. โครงสร้างจุลภาคของเส้นด้ายที่ผ่านการอบที่ 1100 °ซ 10 ชม.

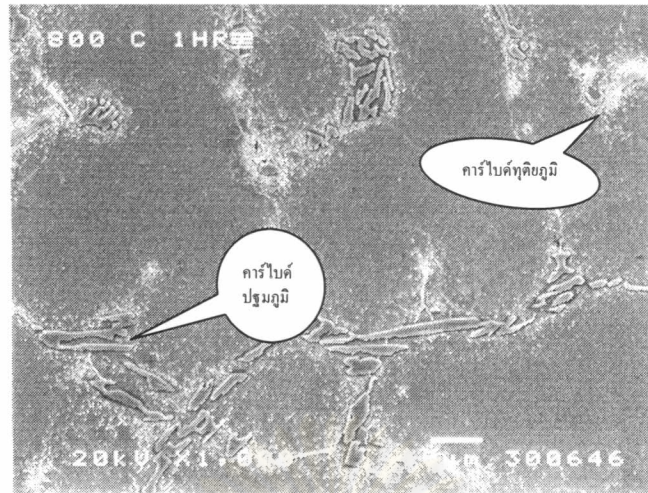


รูปที่ ก17. โครงสร้างจุลภาคของชั้่นตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 1100 °ซ 24 ชม.

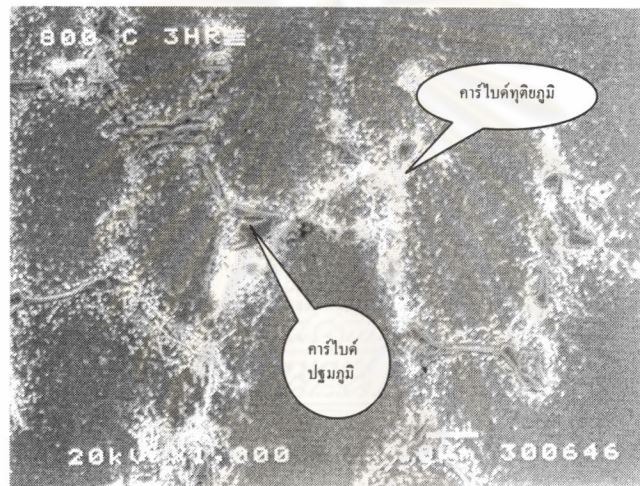
2. ภาพโครงสร้างจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกวาด



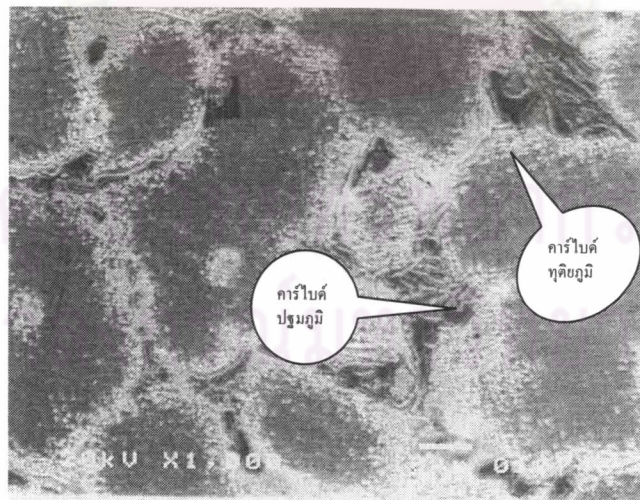
รูปที่ ก18. โครงสร้างจุลภาคของชั้่นตัวอย่างในสภาพที่ได้รับ



รูปที่ ก19. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 800 °ซ 1 ชม.



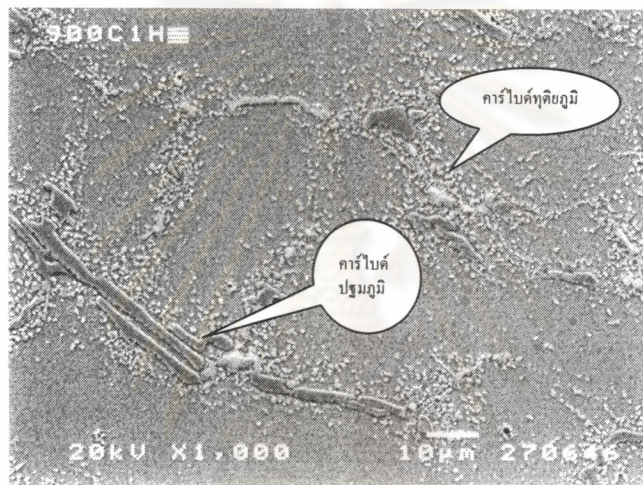
รูปที่ ก20. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 800 °ซ 3 ชม.



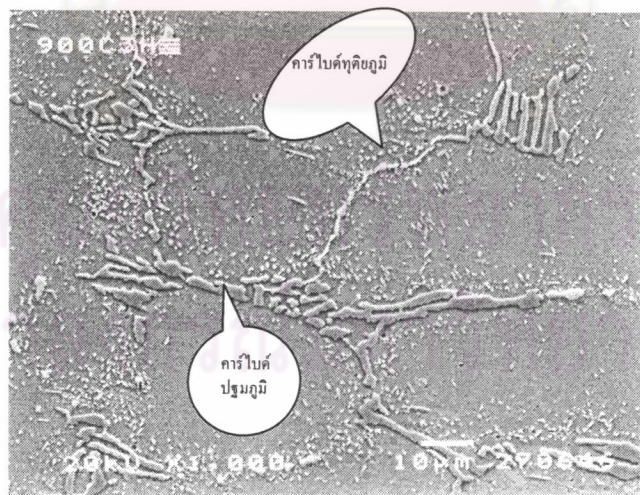
รูปที่ ก21. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 800 °ซ 10 ชม.



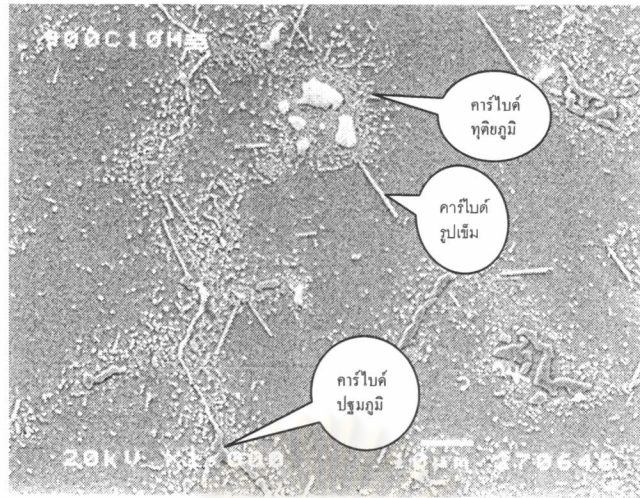
รูปที่ ก22. โครงสร้างจุลภาคของซันต์ตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 800 °ซ 24 ชม.



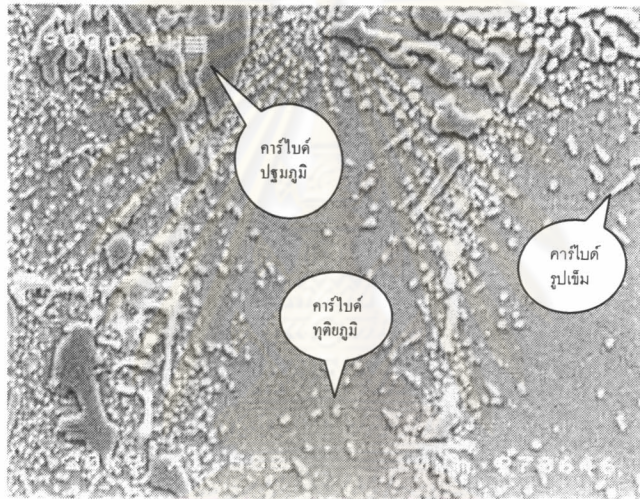
รูปที่ ก23. โครงสร้างจุลภาคของซันต์ตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 900 °ซ 1 ชม.



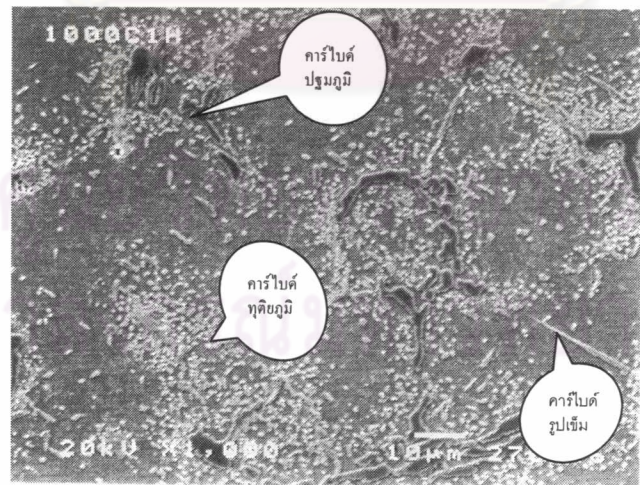
รูปที่ ก24. โครงสร้างจุลภาคของซันต์ตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 900 °ซ 3 ชม.



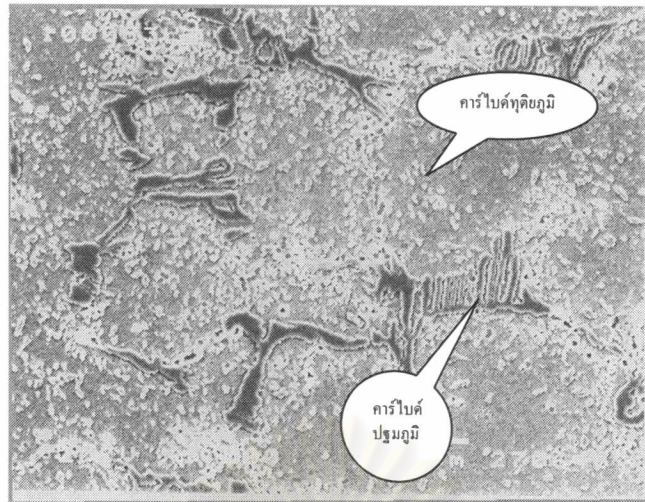
รูปที่ ก25. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 900 °ซ 10 ชม.



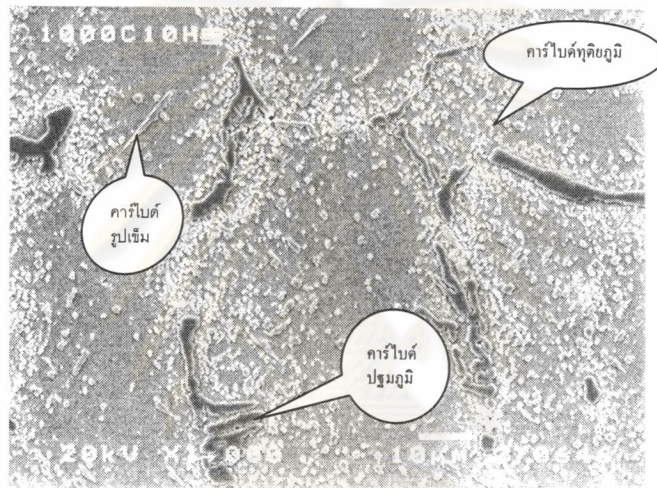
รูปที่ ก26. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 900 °ซ 24 ชม.



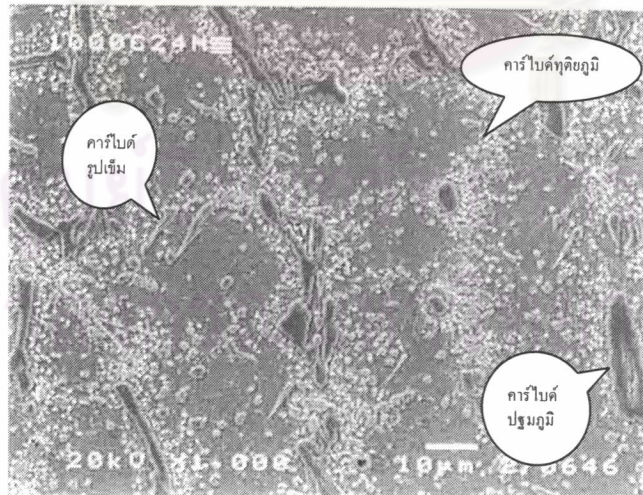
รูปที่ ก27. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 1000 °ซ 1 ชม.



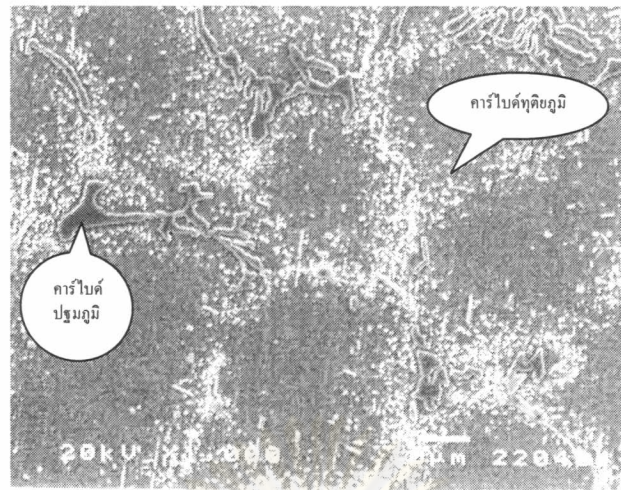
รูปที่ ก28. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 1000 °ซ 3 ชม.



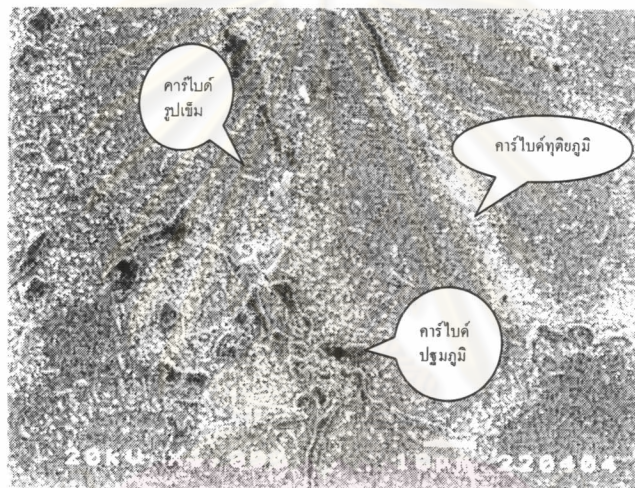
รูปที่ ก29. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 1000 °ซ 10 ชม.



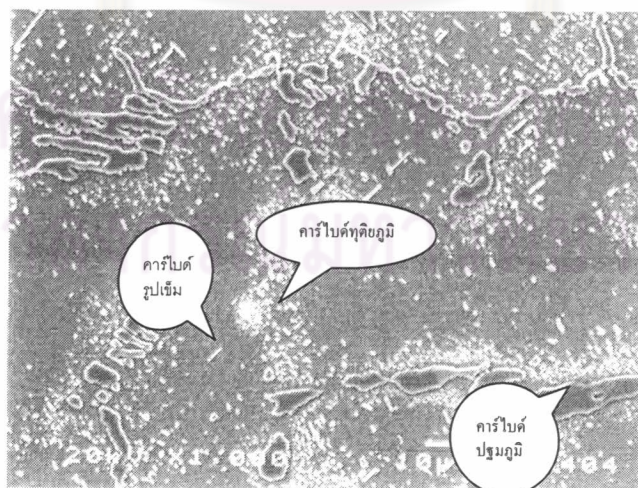
รูปที่ ก30. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 1000 °ซ 24 ชม.



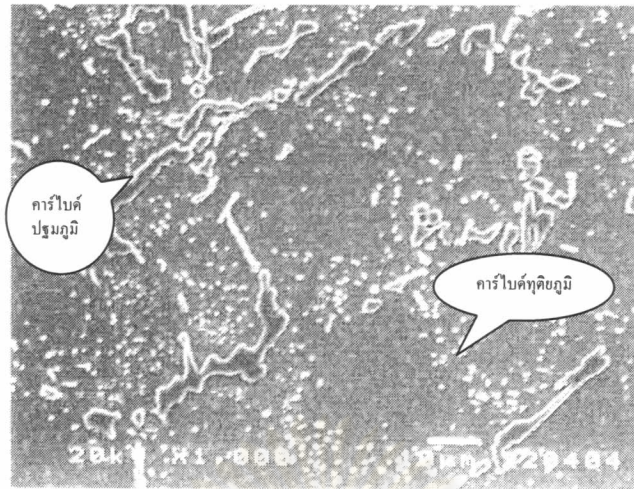
รูปที่ ก31. โครงสร้างจุลภาคของชั้นตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 1100 °ซ 1 ชม.



รูปที่ ก32. โครงสร้างจุลภาคของชั้นตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 1100 °ซ 3 ชม.



รูปที่ ก33. โครงสร้างจุลภาคของชั้นตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 1100 °ซ 10 ชม.



รูปที่ ๓๔. โครงสร้างจุลภาคของหินตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 1100 °ซ 24 ชม.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

1. การสอบเทียบ EDS เชิงปริมาณ

โดยการนำชิ้นตัวอย่าง Ni-base เกรด 2.4632 ที่ทราบค่าส่วนผสมทางเคมีแล้ว มาหาส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS โดยทำการทดสอบ 5 ครั้งเพื่อหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ ข1 และ ข2

ตารางที่ ข1. ส่วนผสมเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ของชิ้นตัวอย่าง Ni-base เกรด 2.4632

%Si	%Cr	%Mn	%Fe	%Ni	%Ti	อื่นๆ
0.55	19.7	0.39	3.57	74.7	0.48	0.48

ตารางที่ ข2. ส่วนผสมทางเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS

ธาตุ	ปริมาณธาตุ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)						ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	$\Delta 1$
	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย		
Si	0.62	0.46	0.62	0.43	0.39	0.50	0.11	0.05
Cr	19.38	19.56	19.10	19.58	19.31	19.39	0.20	0.31
Mn	0.31	0.39	0.48	0.34	0.43	0.39	0.07	-
Fe	4.07	4.0	4.04	4.12	4.24	4.09	0.09	-0.52
Ni	72.57	72.72	72.40	73.04	72.65	72.67	0.24	2.03
Ti	0.34	0.47	0.31	0.39	0.43	0.39	0.06	0.09

$\Delta 1 =$ ปริมาณธาตุในตาราง ข1 - ค่าเฉลี่ย (ตารางที่ ข2)

2. การสอบเทียบ EDS เชิงคุณภาพ

โดยการยิงแท่งมาตรฐานที่ทราบค่าการดูดกลืนพลังงาน ในที่นี้ใช้แท่งมาตรฐานโคบอลต์ ซึ่งมีคุณลักษณะการดูดกลืนพลังงานดังข้อมูลข้างล่างนี้

Last gain calibration performed at : 12/9/46

Zero energy channel = 9.628219

Energy (ev) per channel = 19.99931

Counts in calibration peak = 77664

ข้อมูลจากการทดสอบที่ได้จากการยิงแท่งมาตรฐานโคบอลต์ที่ 20 Kev มีดังนี้

SEMQuant results. Listed at 11:10:55 AM on 9/12/03

Operator: Chaweewan

Client: none

Job: Job 2003

Spectrum label:

System resolution = 74 eV

Quantitative method: ZAF (1 iterations).

Analysed all elements and normalised results.

3 peaks possibly omitted: 0.00, 0.26, 0.76 keV

Standards :

Co K Co 5/22/02

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
Co K	ED	100.00	100.00
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Fit Indices

Co K 1.2

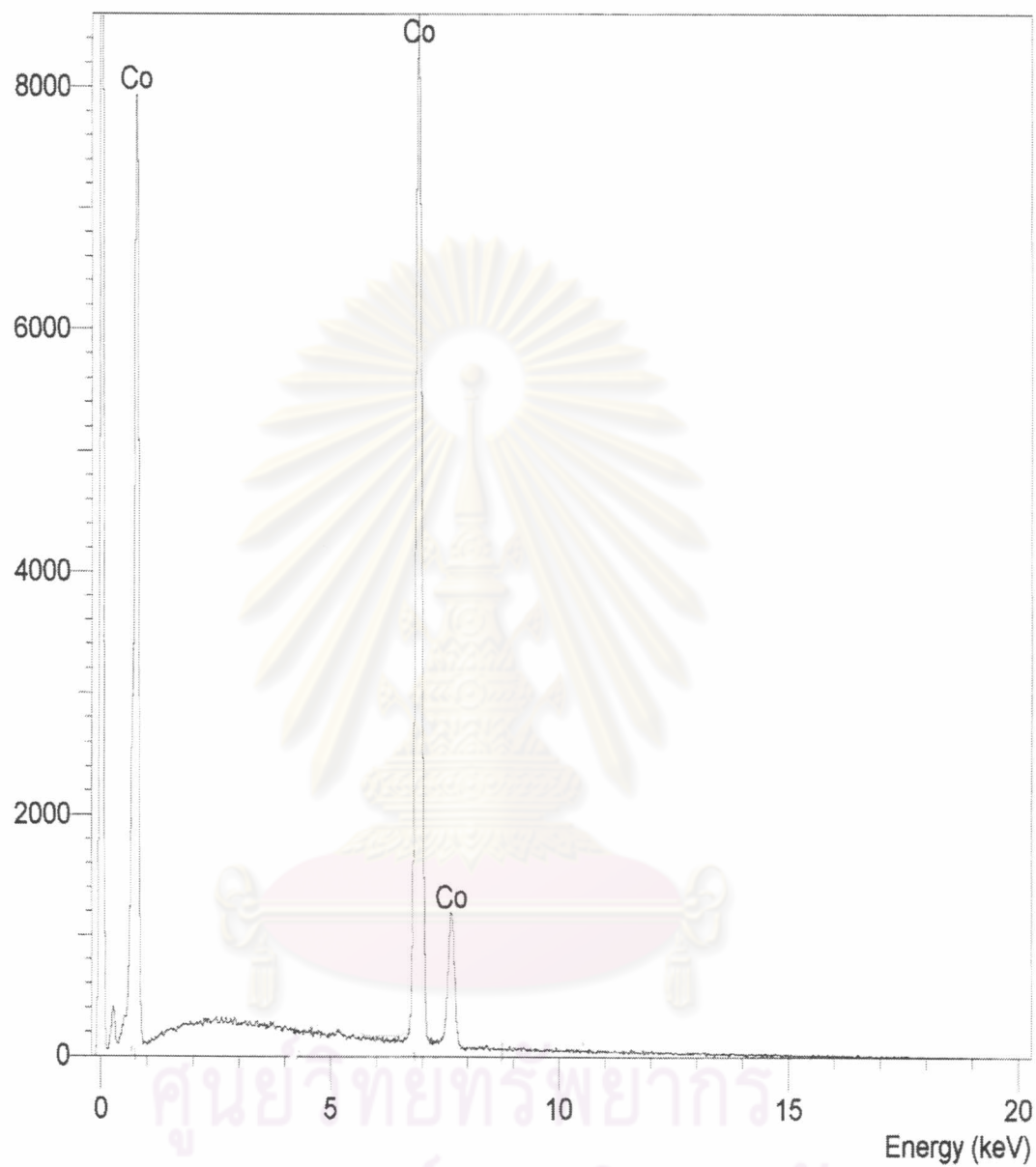
Operator : Chaweewan

Client : none

Job : Job 2003

(9/12/03 11:02)

Counts



รูปที่ ข1. แผนภูมิการดูดกลืนพลังงานของแท่งมาตรฐานโคบอลต์

3. ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ด้วยเทคนิค EDS

ทำการวิเคราะห์ปริมาณและ 3 ครั้งนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ ข3 และข4 สำหรับผลการวิเคราะห์ของแต่ละตัวอย่าง ดังสรุปไว้ในตารางที่ ข5 – ข8

ตารางที่ ข3. ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ด้วยเทคนิค EDS ของชิ้นตัวอย่างในสภาพที่^๓ได้รับ

ธาตุ	โลหะพื้น			โครเมียมคาร์ไบด์ปฐมภูมิ						
	1	2	3	average	SD.	1	2	3	average	SD.
Si	3.83	2.01	2.5	2.78	0.94	0.66	1.24	0.64	0.85	0.34
Cr	24.9	23.94	24.78	24.54	0.52	72.9	65.46	73.4	70.59	4.45
Mn	1.7	1.21	1.45	1.45	0.24	1.03	1.14	1.11	1.09	0.06
Fe	33.42	37.55	36.24	35.74	2.119	14.13	17.19	13.77	15.03	1.88
Ni	31.59	31.42	31.77	31.59	0.18	6.05	10.76	6.3	7.7	2.65
Nb	1.62	2.02	1.96	1.87	0.22	2.41	2.17	2.29	2.29	0.12
อื่นๆ	0.37	0.02	0.33	0.24	0.19	0.25	0.28	0.27	0.27	0.03

ตารางที่ ข4. ผลผลการวิเคราะห์ส่วนผสมเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ด้วยเทคนิค EDS ของชิ้นตัวอย่าง 800 °ซ 1 ชม.

ธาตุ	โลหะพื้น			SD.	โครเมียมคาร์ไบด์ปฐมภูมิ			SD.
	1	2	3		average	1	2	
Si	2.06	2.24	2.07	0.10	0.76	0.58	0.61	0.13
Cr	24.13	24.61	24.38	0.24	70.08	77.02	75.74	5.14
Mn	1	1.32	1.11	0.16	0.9	0.84	0.95	0.14
Fe	37.82	37.33	38.04	0.36	14.8	13.11	12.57	2.53
Ni	31.26	32.46	31.57	0.62	7.62	5.03	5.23	2.30
Nb	1.65	1.54	1.45	0.10	3.08	1.69	2.82	1.02
อื่นๆ	0.03	0.03	0.03	-	0.30	0.07	0.22	0.13

ตารางที่ ข5. สรุปผลการวิเคราะห์ส่วนผสมเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ด้วยเทคนิค EDS ของชิ้นตัวอย่าง 800 °ซ

ธาตุ	800 °ซ 1 ชม.			800 °ซ 3 ชม.			800 °ซ 10 ชม.			800 °ซ 24 ชม.		
	โลหะพื้น	โครเมียมคาร์ไบด์ปฐมภูมิ	SD.	โลหะพื้น	โครเมียมคาร์ไบด์ปฐมภูมิ	SD.	โลหะพื้น	โครเมียมคาร์ไบด์ปฐมภูมิ	SD.	โลหะพื้น	โครเมียมคาร์ไบด์ปฐมภูมิ	SD.
Si	2.12	0.10	0.13	1.77	0.12	0.18	1.99	0.13	0.08	1.93	0.10	0.37
Cr	24.37	0.24	5.14	23.96	0.09	5.16	24.17	0.07	2.28	24.16	0.05	3.94
Mn	1.14	0.16	0.14	1.25	0.07	0.15	1.18	0.06	0.09	1.09	0.09	0.18
Fe	37.73	0.36	2.53	38.14	0.20	2.31	38.76	0.36	1.54	38.33	0.42	2.10
Ni	31.76	0.62	2.30	31.37	0.20	2.20	31.6	0.25	1.14	31.66	0.33	1.91
Nb	1.55	0.10	1.02	1.73	0.20	0.33	1.3	0.05	0.15	1.47	0.19	2.72
อื่นๆ	0.03	-	0.13	0.01	-	0.05	0.02	0.006	0.16	0.03	-	0.18

ตารางที่ ๖6 สรุปผลการวิเคราะห์ส่วนผสมเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ด้วยเทคนิค EDS ของชิ้นตัวอย่าง 900 °ซ

ธาตุ	900 °ซ 1 ชม.			900 °ซ 3 ชม.			900 °ซ 10 ชม.			900 °ซ 24 ชม.						
	โลหะพื้น	โครเมียม		โลหะพื้น	โครเมียม		โลหะพื้น	โครเมียม		โลหะพื้น	โครเมียม					
		คาร์ไบด์	ปฐมภูมิ		คาร์ไบด์	ปฐมภูมิ		คาร์ไบด์	ปฐมภูมิ		คาร์ไบด์	ปฐมภูมิ				
Si	2.12	0.09	0.98	0.20	2.12	0.06	0.85	0.51	2.05	0.08	2.41	0.09	2.1	0.05	1.2	0.29
Cr	24.14	0.30	66.67	7.39	24.09	0.24	72.29	15.65	24.11	0.40	64.97	1.49	23.66	0.44	66.03	3.28
Mn	1.67	0.13	1.14	0.12	1.23	0.12	0.1	0.29	1.28	0.02	1.22	0.40	1.57	0.08	1.07	0.24
Fe	37.54	0.34	16.67	3.64	37.62	0.41	14.82	7.05	37.55	0.62	6.89	4.40	38.29	0.11	16	1.99
Ni	31.06	0.15	9.75	3.89	31.9	0.08	7.69	7.63	31.15	0.43	15.43	2.83	31.59	0.37	10.81	1.70
Nb	1.99	0.006	2.39	0.14	1.74	0.02	1.85	0.14	1.99	0.16	6.86	1.65	1.7	0.11	3.11	1.82
อื่นๆ	0.03	0.006	0.07	0.006	0.03	-	0.07	0.01	0.04	0.006	0.07	0.006	0.03	-	0.05	-

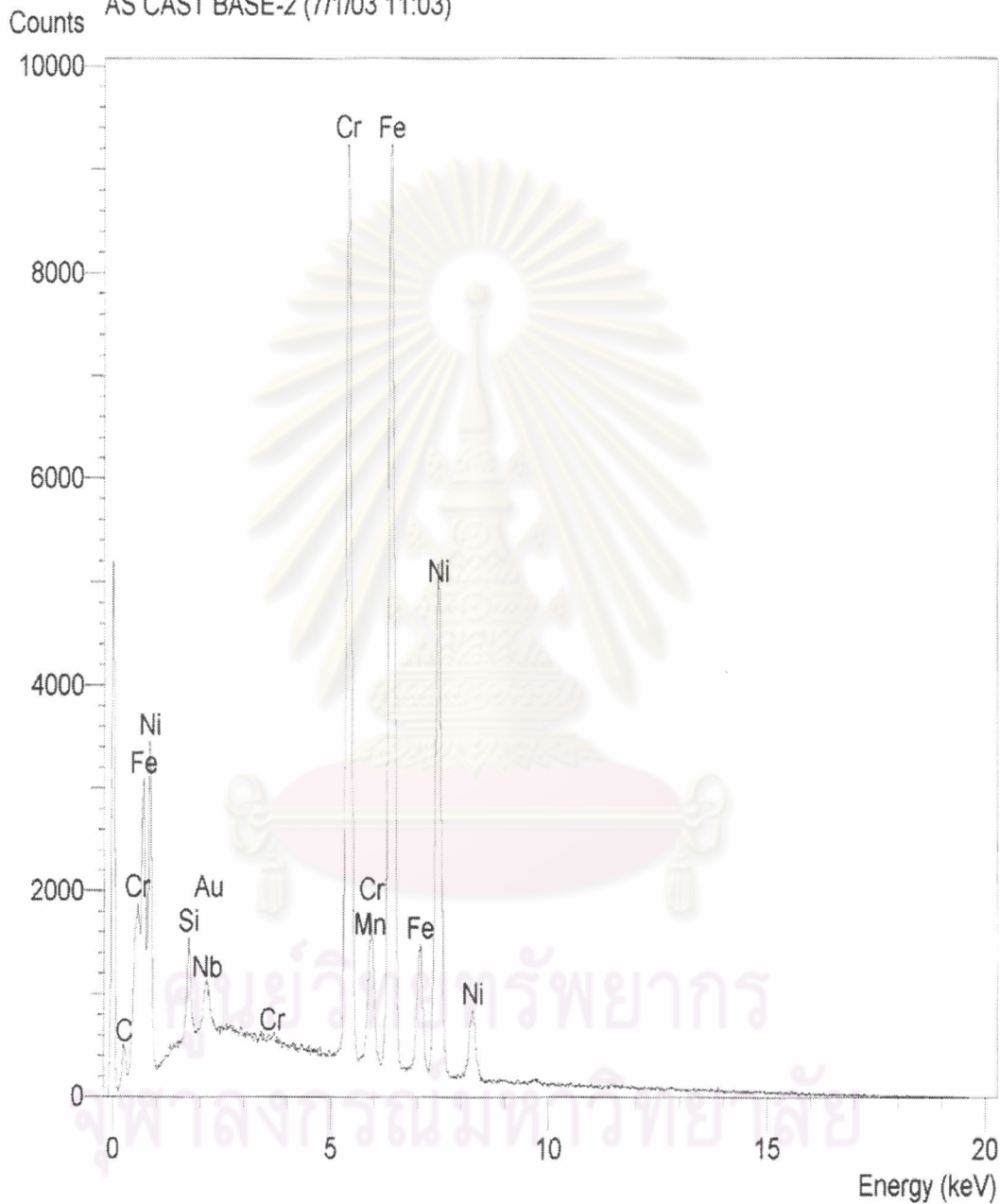
ตารางที่ ๖7 สรุปผลการวิเคราะห์ส่วนผสมเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ด้วยเทคนิค EDS ของชิ้นตัวอย่าง 1000 °ซ

ธาตุ	1000 °ซ 1 ชม.			1000 °ซ 3 ชม.			1000 °ซ 10 ชม.			1000 °ซ 24 ชม.						
	โลหะพื้น	โครเมียม		โลหะพื้น	โครเมียม		โลหะพื้น	โครเมียม		โลหะพื้น	โครเมียม					
		คาร์ไบด์	ปฐมภูมิ		คาร์ไบด์	ปฐมภูมิ		คาร์ไบด์	ปฐมภูมิ		คาร์ไบด์	ปฐมภูมิ				
Si	2.1	0.12	0.61	0.20	2.14	0.12	0.65	0.24	2.42	0.16	0.59	0.16	2.6	0.08	0.55	0.16
Cr	23.5	0.10	70.81	6.71	23.06	0.42	71.22	9.26	23.19	0.13	73.47	4.42	22.61	0.19	74.34	4.08
Mn	1.09	0.08	0.85	0.10	1.12	0.08	0.98	0.13	1.34	0.04	0.84	0.10	1.4	0.05	0.88	0.19
Fe	37.32	0.28	14.27	3.07	37.0	0.08	13.86	4.40	37.64	0.29	13.75	1.98	37.34	0.18	13.09	2.16
Ni	30.96	0.22	7.54	2.92	30.87	0.23	7.95	4.89	31.36	0.10	6.94	2.94	31.95	0.38	6.62	1.91
Nb	2.52	0.07	3.03	0.83	2.82	0.19	2.72	0.32	2.11	0.10	2.13	0.30	2.17	0.18	2.1	0.08
อื่นๆ	0.03	1.13	0.13	0.14	0.03	0.006	0.23	0.07	0.04	0.006	0.12	0.14	0.04	0.006	0.05	-

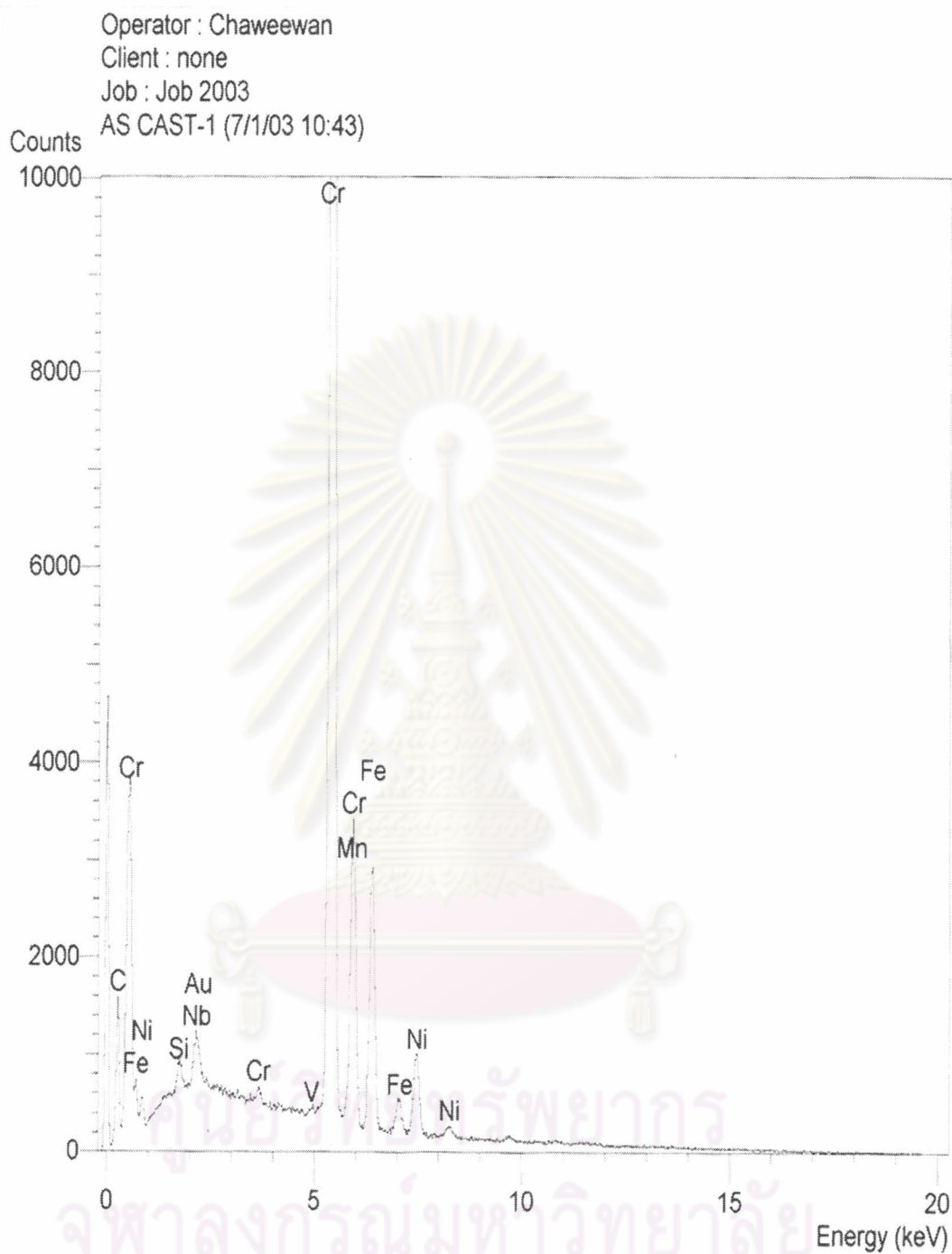
ตารางที่ ๑๘ สรุปผลการวิเคราะห์ส่วนผสมเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ด้วยเทคนิค EDS ของชิ้นตัวอย่าง 1100 °ซ

ธาตุ	1100 °ซ 1 ชม.			1100 °ซ 3 ชม.			1100 °ซ 10 ชม.			1100 °ซ 24 ชม.		
	โลหะพื้น	โคโรเนียม คาร์ไบด์ ปฐมภูมิ	SD.	โลหะพื้น	โคโรเนียม คาร์ไบด์ ปฐมภูมิ	SD.	โลหะพื้น	โคโรเนียม คาร์ไบด์ ปฐมภูมิ	SD.	โลหะพื้น	โคโรเนียม คาร์ไบด์ ปฐมภูมิ	SD.
Si	1.78	0.37	0.21	1.96	0.02	0.12	1.73	0.13	0.16	1.81	0.11	0.22
Cr	22.93	70.44	7.87	22.61	0.55	5.39	22.52	0.54	73.93	22.77	0.36	0.60
Mn	1.22	-	-	1.29	0.46	-	1.83	0.78	-	1.97	0.10	-
Fe	36.32	14.99	3.55	36.99	0.48	1.66	36.31	0.78	12.23	34.76	0.28	0.12
Ni	31.13	8.19	4.20	31.62	0.35	1.52	29.77	1.34	4.60	30.86	0.64	0.38
Nb	6.45	5.96	0.12	5.44	0.16	6.75	7.69	0.58	8.68	7.73	0.46	0.41
อื่นๆ	0.16	0.05	0.02	0.08	0.01	0.02	0.16	0.13	0.08	0.11	0.01	0.01

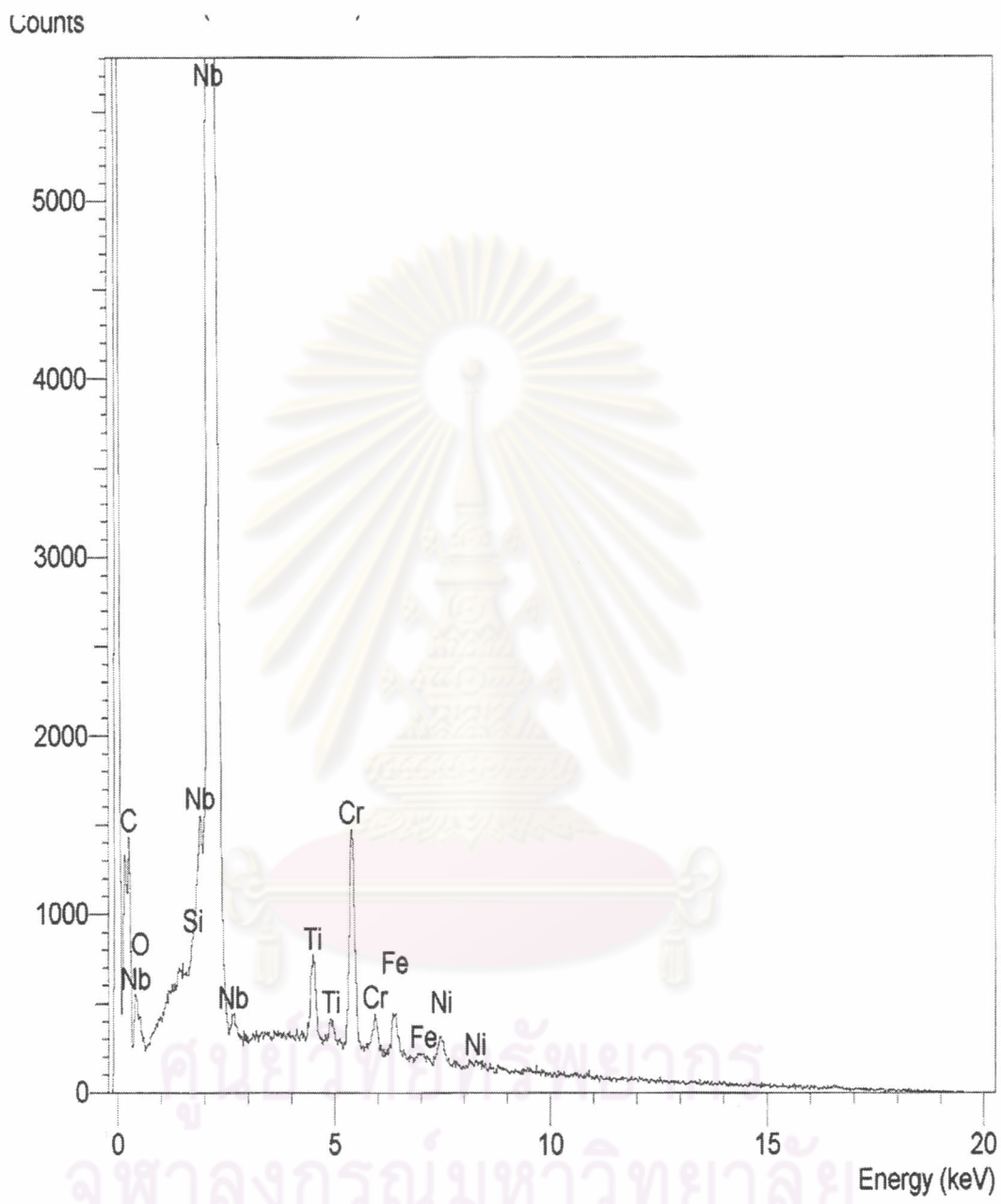
Operator : Chaweewan
Client : none
Job : Job 2003
AS CAST BASE-2 (7/1/03 11:03)



รูปที่ ๑2 กราฟการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณด้วย EDS บริเวณโครงสร้างพื้น



รูปที่ ๓3 กราฟการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณด้วย EDS บริเวณโครเมียมคาร์ไบด์ปฐมภูมิ



รูปที่ ข4 กราฟการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณด้วย EDS บริเวณ MC คาร์ไบด์ปฐมภูมิ

ภาคผนวก ค.

ตารางที่ ค1 การทดสอบเทียบเครื่องทดสอบความแข็งจุลภาค (HV25g)

ด้วยแท่งมาตรฐาน 114.8HV1

แท่งมาตรฐาน	ความแข็งจุลภาค (HV25g)
1	117.8
2	115.4
3	109.9
4	117.6
5	114.4
เฉลี่ย	115.02
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	3.21

ตารางที่ ค2 การทดสอบเทียบเครื่องทดสอบความแข็งบริเนลล์ (HB)

ด้วยแท่งมาตรฐาน

แท่งมาตรฐาน	ความแข็งบริเนลล์ (HB)
1	191
2	193
3	193
4	192
5	191
เฉลี่ย	192.2
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1

ตารางที่ ค3 ความแข็งจุลภาค (HV25g) บริเวณคาร์ไบด์ของชิ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 800°, 900°, 1000° และ 1100° เป็นเวลา 1, 3, 10 และ 24 ชม.

คาร์ไบด์	สภาพที่ ได้รับ	800°ซ.		900°ซ.		1000°ซ.		1100°ซ.		1100°ซ.									
		ซม.	3ซม.	ซม.	3ซม.	ซม.	3ซม.	ซม.	3ซม.	ซม.	3ซม.								
1	353.4	327.4	359	361.8	360	318.4	353.8	361.8	397.5	353.6	333.5	307.4	342.2	373.1	421.7	355	380.6	1100°ซ. 24ชม.	364.9
2	360.6	314.3	379.8	393.4	393.8	436.5	352.3	414.1	397.5	401.8	401.8	357	375.3	385.7	394	348.1	385.9	380.6	
3	321	331.7	350.5	353.2	386.6	340	364.4	391.3	386.6	364.4	364.4	357	344.1	328.3	339	384.3	400.3	367	
4	403.9	330.1	383.7	368.5	358.2	365.4	327.5	328.5	333.3	399.4	399.4	384.8	338.5	303.3	344.9	374.5	393.8	390	
5	314.3	398.5	326.8	383.3	362	281.3	382	325.6	350.5	392	392	381.8	353.8	324.2	331	365.3	331.3	380.8	
เฉลี่ย	350.64	340.4	359.96	372.04	372.12	348.32	356	364.26	364.3	378.22	357.6	350.78	342.92	366.12	365.44	378.38	378.38	376.66	
ค่าส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	33.19	35.86	20.72	16.24	16.75	58.14	19.86	38.71	26.76	29.09	31.01	14.83	34.91	39.64	14.56	27.37	9.40		

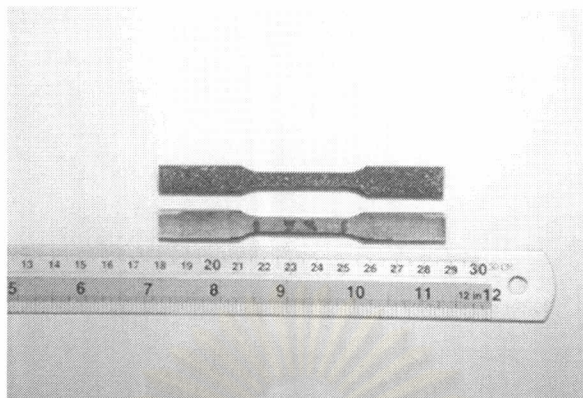
ตารางที่ ค4 ความแข็งจุลภาค (HV25g) บริเวณโลหะพื้นของชิ้นตัวอย่างการอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 800°, 900°, 1000 และ 1100 °ซ เป็นเวลา 1, 3, 10 และ 24 ชม.

วัสดุที่	สภาพที่ ได้รับ	800°ซ, 1ชม.	800°ซ, 3ชม.	800°ซ, 10ชม.	800°ซ, 24ชม.	900°ซ, 1ชม.	900°ซ, 3ชม.	900°ซ, 10ชม.	900°ซ, 24ชม.	1000°ซ, 1ชม.	1000°ซ, 3ชม.	1000°ซ, 10ชม.	1000°ซ, 24ชม.	1100°ซ, 1ชม.	1100°ซ, 3ชม.	1100°ซ, 10ชม.	1100°ซ, 24ชม.
1	190.5	157.3	168.4	191.1	196.8	162.6	176	178.9	171.8	208.2	182.7	190.7	205.8	221.7	219.2	217	195
2	189.5	160.9	156.8	188.9	193	169.6	175.7	184.4	181	188	208.9	196.1	185.7	226.4	215.3	216.4	196
3	188.5	165.7	162.5	189.3	173.4	162.8	164.7	170.8	172.4	199.4	191.7	184.2	183.8	225.8	214.6	213.6	200
4	189.2	162.6	188.9	191.4	173.4	164.6	164.2	189.2	177.2	212.8	209.6	192.1	185	228.6	216.6	217.3	186.6
5	182.2	171	169.5	181.8	170.3	175.4	178.3	182.1	195.5	192.6	196	189.9	188.8	225.2	209.6	212.3	198.6
เฉลี่ย	187.98	163.5	169.22	188.5	181.38	167	171.78	181.08	179.58	200.2	197.78	190.6	189.82	225.54	215.06	215.32	195.24
ค่าส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	3.31	15.17	12.12	3.90	12.48	5.48	6.77	6.86	9.66	10.37	11.52	4.30	9.12	2.50	3.52	2.24	5.23

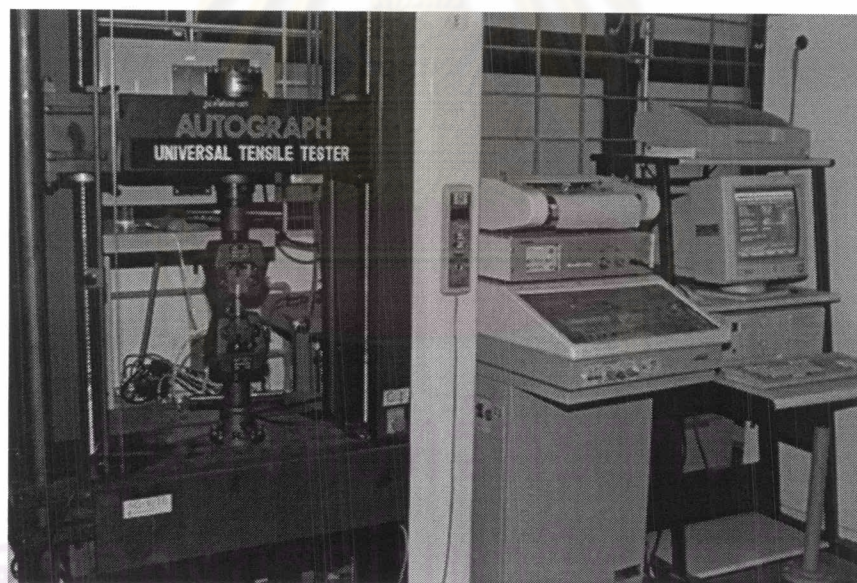
ตารางที่ ค5 ความแข็ง (HB) ของชิ้นตัวอย่างการอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 800°, 900°, 1000° และ 1100°ซ เป็นเวลา 1, 3, 10 และ 24 ชม.

วัสดุที่	สภาพที่ ได้รับ	800°ซ, 1ชม.	800°ซ, 3ชม.	800°ซ, 10ชม.	800°ซ, 24ชม.	900°ซ, 1ชม.	900°ซ, 3ชม.	900°ซ, 10ชม.	900°ซ, 24ชม.	1000°ซ, 1ชม.	1000°ซ, 3ชม.	1000°ซ, 10ชม.	1000°ซ, 24ชม.	1100°ซ, 1ชม.	1100°ซ, 3ชม.	1100°ซ, 10ชม.	1100°ซ, 24ชม.
1	189	195	194	200	200	197	196	201	203	203	201	197	198	207	214	209	206
2	181	193	192	196	198	197	201	197	206	202	202	196	195	209	210	208	208
3	180	201	197	205	200	201	201	207	206	205	207	208	206	208	215	210	210
เฉลี่ย	183	196	194	200	200	199	199	202	205	203	203	200	200	208	213	209	208
ค่าส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	4.93	4.16	2.52	4.51	1.15	2.31	2.89	5.03	1.73	1.53	3.21	6.66	5.69	1.00	2.65	1.00	2.00

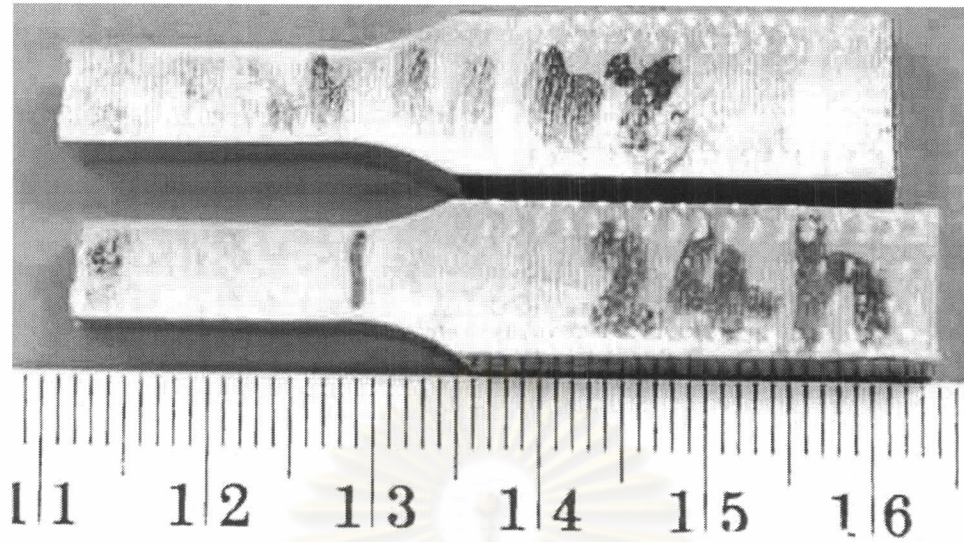
ภาคผนวก ง



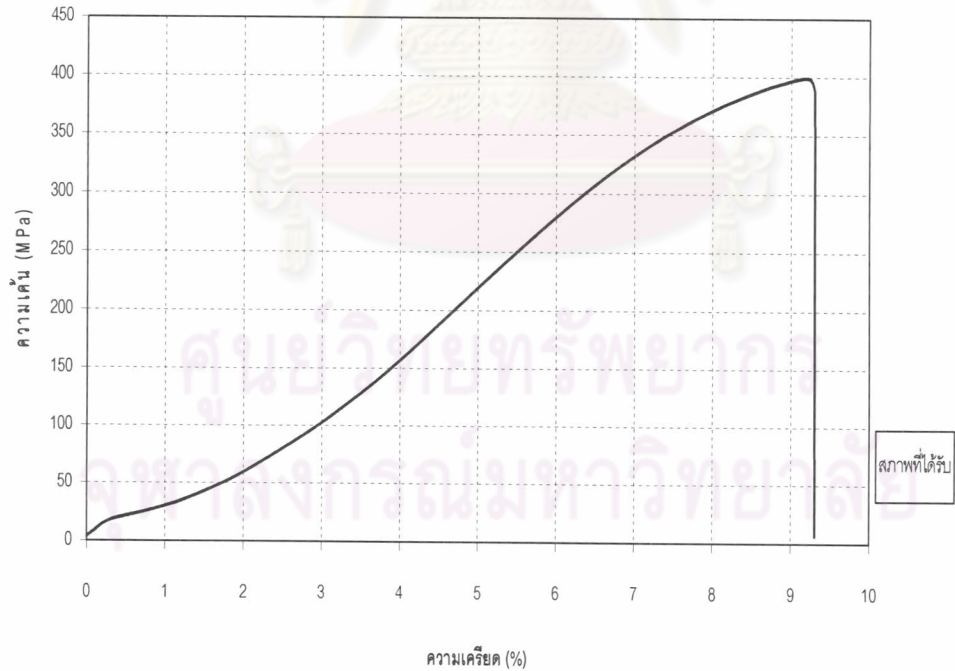
รูปที่ 1. ชิ้นทดสอบแรงดึง เตรียมตามมาตรฐาน ASTM E 8M



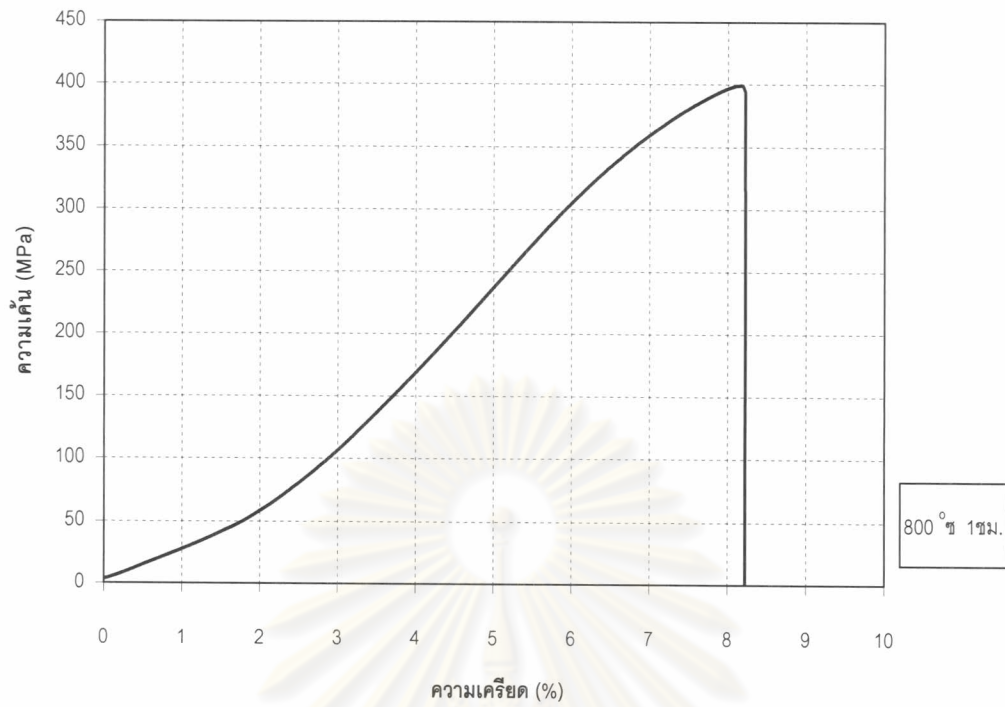
รูปที่ 2. เครื่องทดสอบแรงดึง UNIVERSAL TENSILE TESTER



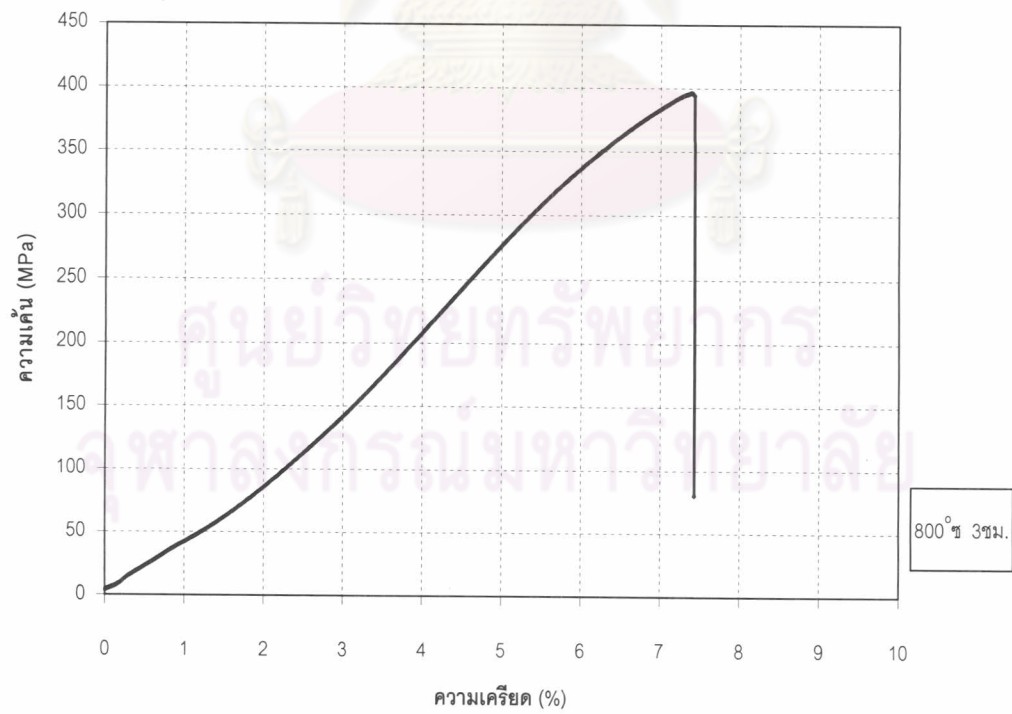
รูปที่ 3. ชิ้นทดสอบแรงดึงขึ้นตัวอย่าง 800 °ซ 24ชม. หลังการทดสอบ



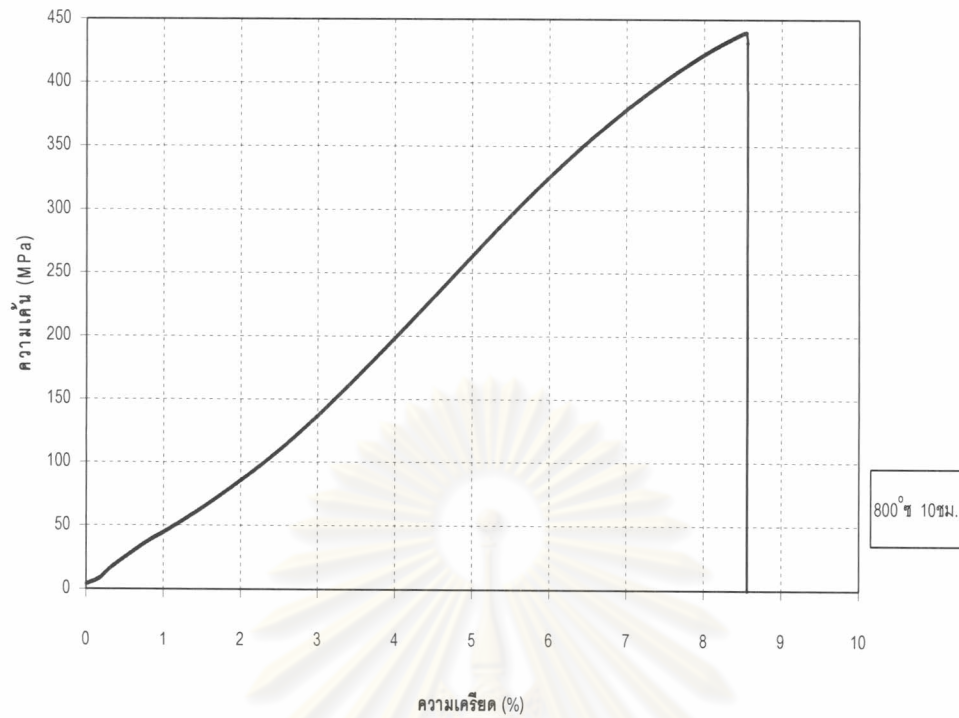
รูปที่ 4. กราฟความเค้น-ความเครียดของชิ้นตัวอย่างในสภาพที่ได้รับ



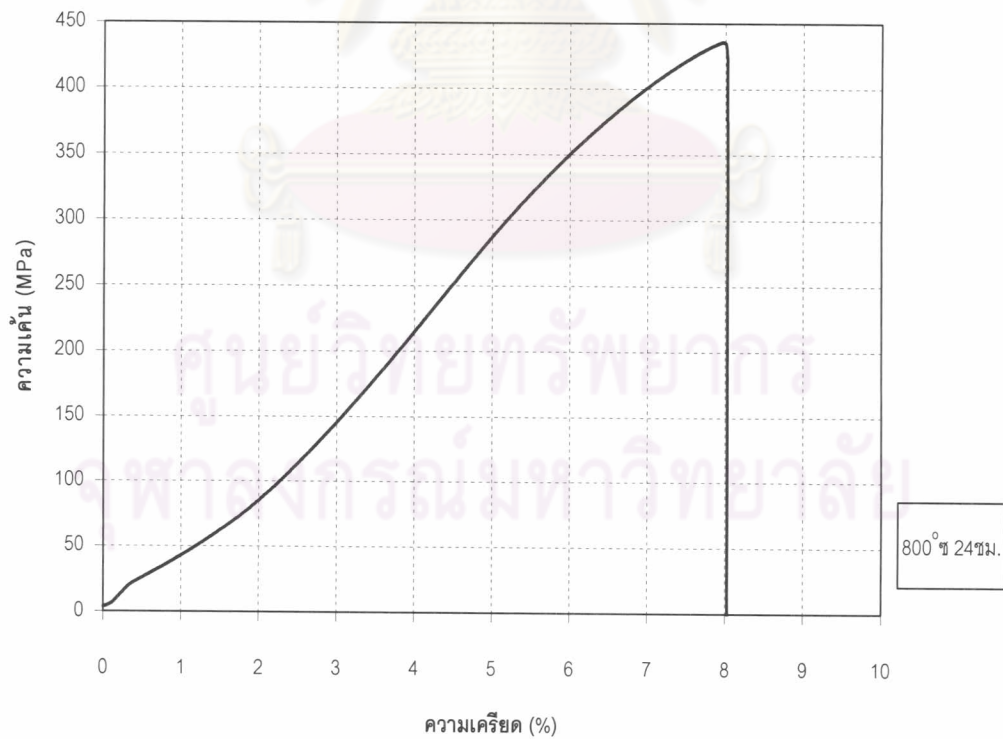
รูปที่ 5. กราฟความเค้น-ความเครียดของชิ้นตัวอย่างภายหลังการอบที่ 800 °ซ 1 ชม.



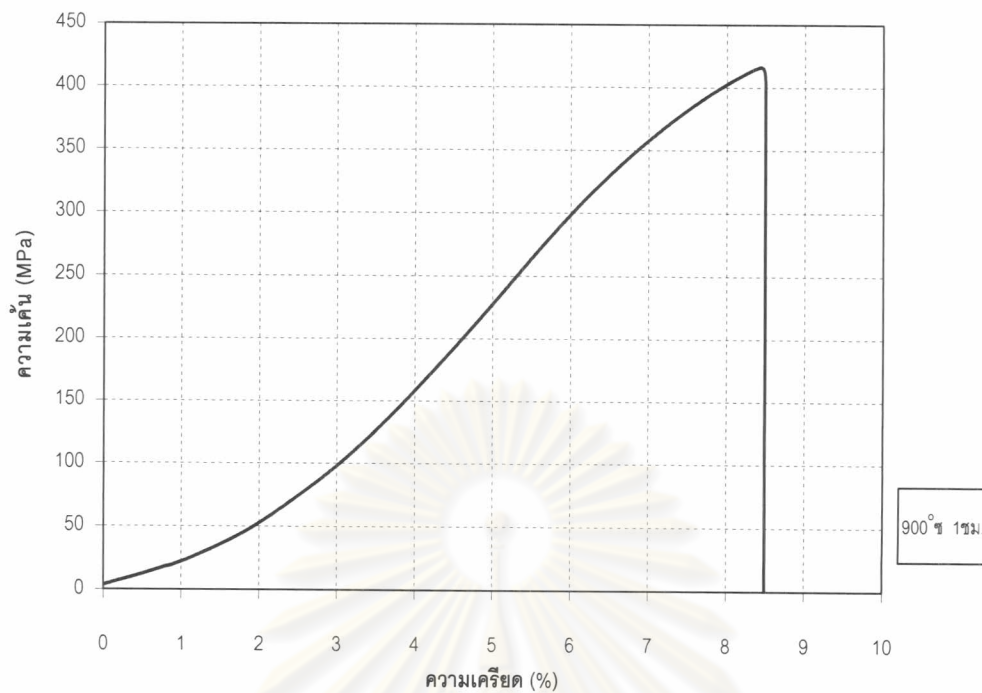
รูปที่ 6. กราฟความเค้น-ความเครียดของชิ้นตัวอย่างภายหลังการอบที่ 800 °ซ 3 ชม.



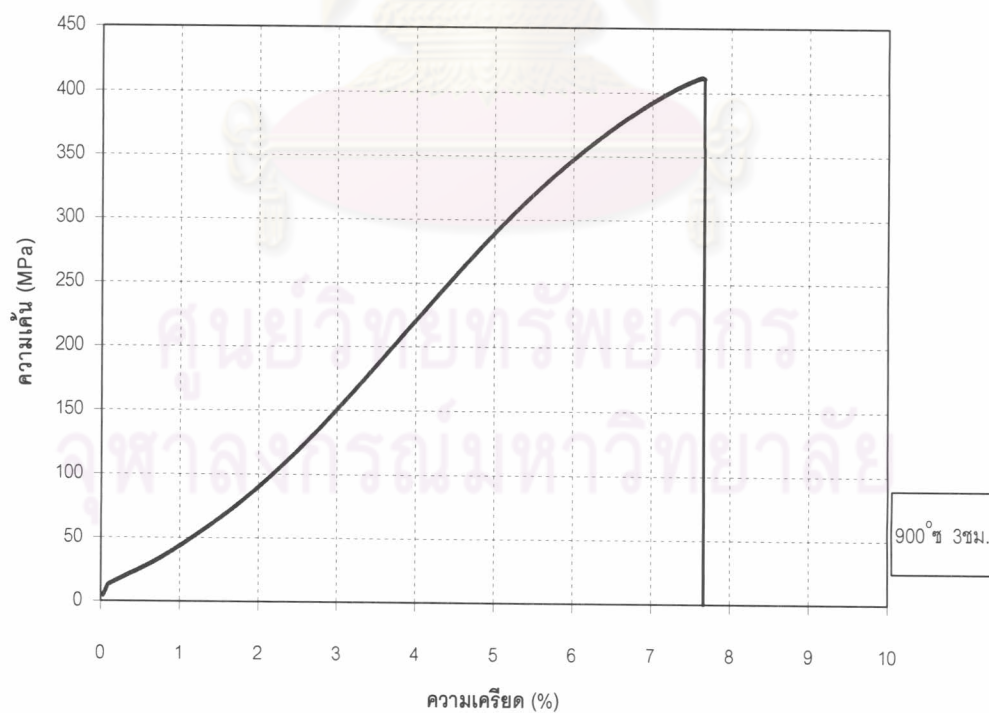
รูปที่ 7. กราฟความเค้น-ความเครียดของชิ้นตัวอย่างภายหลังการอบที่ 800 °ซ 10 ชม.



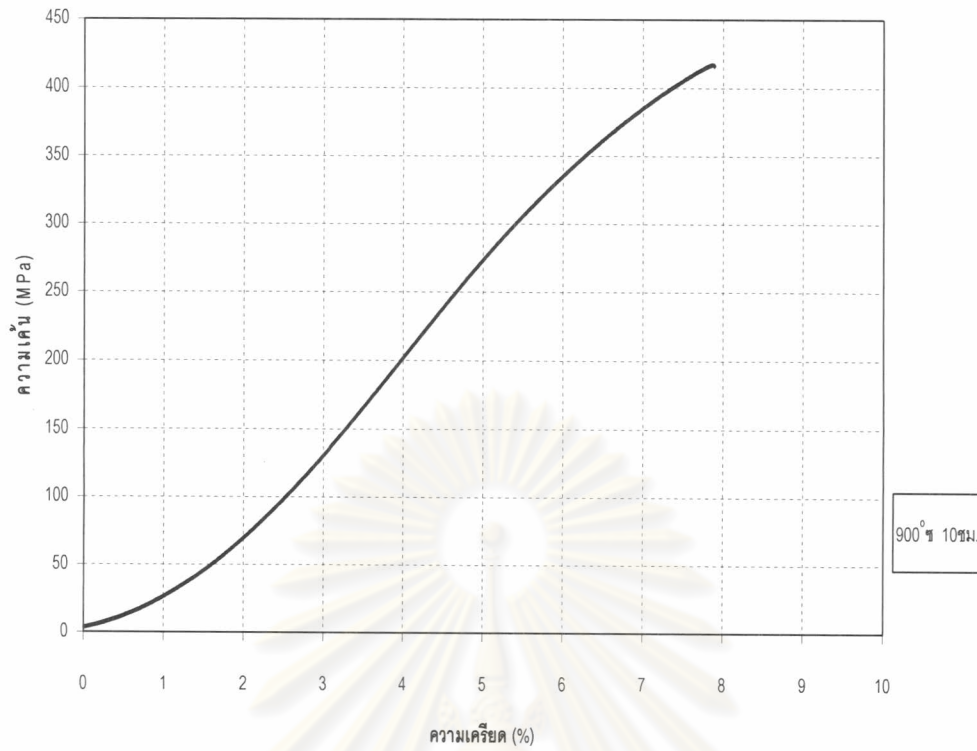
รูปที่ 8. กราฟความเค้น-ความเครียดของชิ้นตัวอย่างภายหลังการอบที่ 800 °ซ 24 ชม.



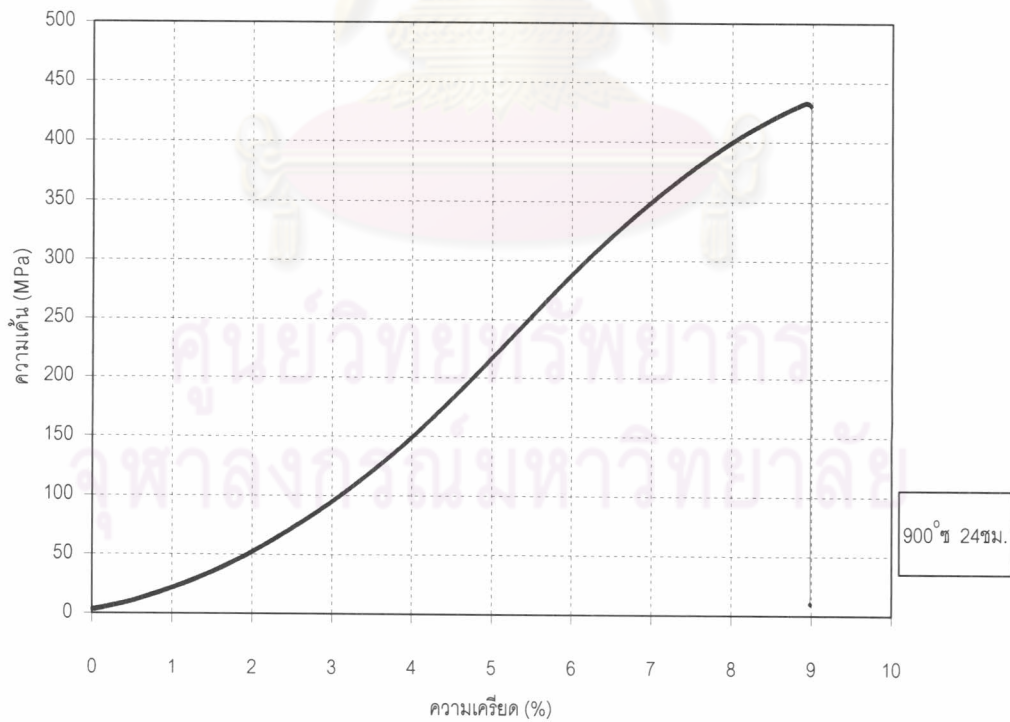
รูปที่ 9. กราฟความเค้น-ความเครียดของชิ้นตัวอย่างภายหลังการอบที่ 900 °ซ 1 ชม.



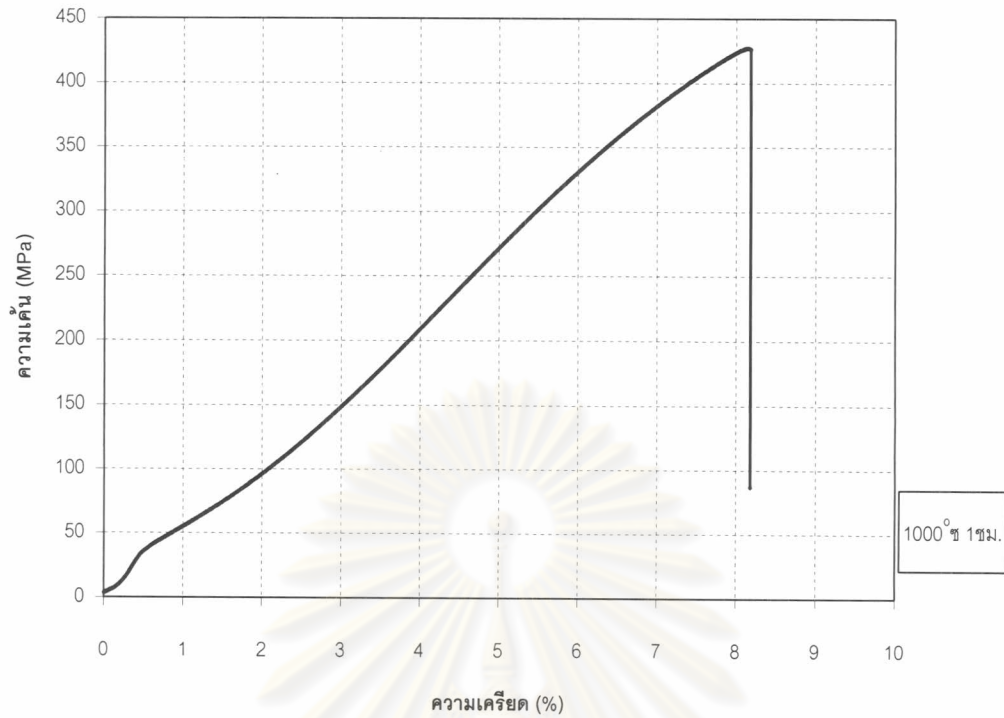
รูปที่ 10. กราฟความเค้น-ความเครียดของชิ้นตัวอย่างภายหลังการอบที่ 900 °ซ 3 ชม.



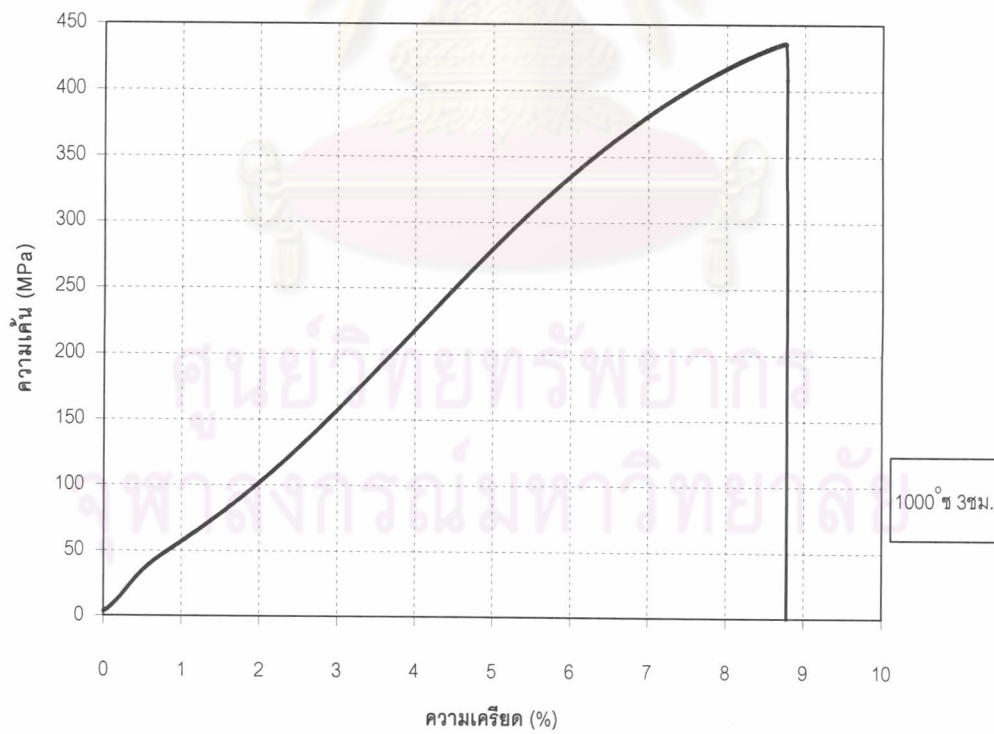
รูปที่ 11. กราฟความเค้น-ความเครียดของชิ้นตัวอย่างภายหลังการอบที่ 900 °ซ 10 ชม.



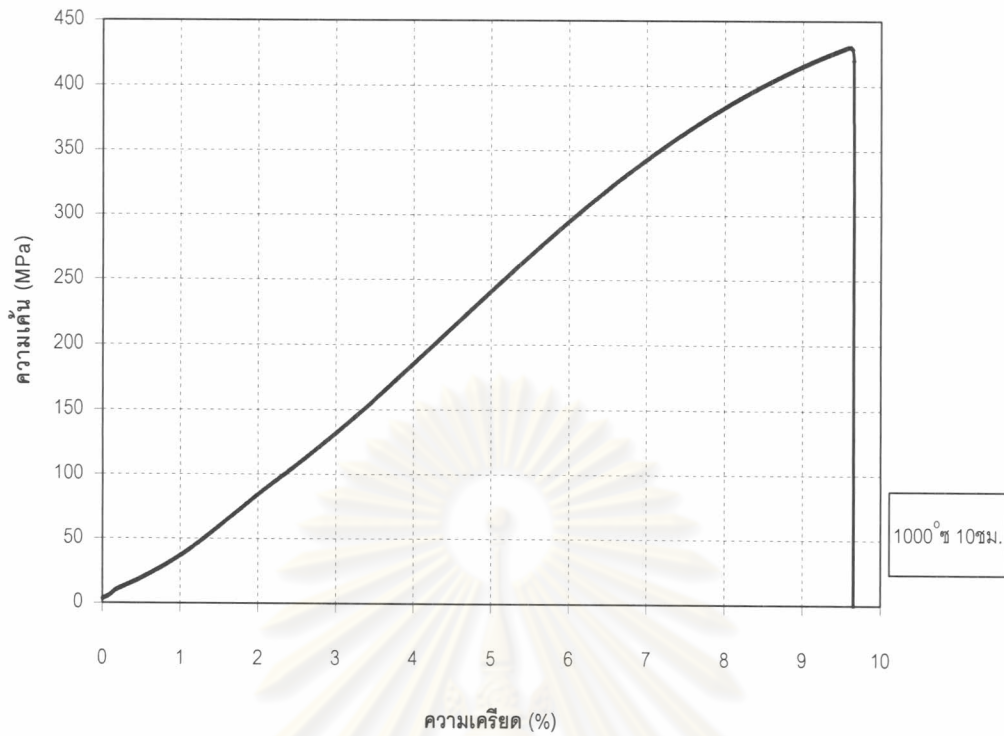
รูปที่ 12. กราฟความเค้น-ความเครียดของชิ้นตัวอย่างภายหลังการอบที่ 900 °ซ 24 ชม.



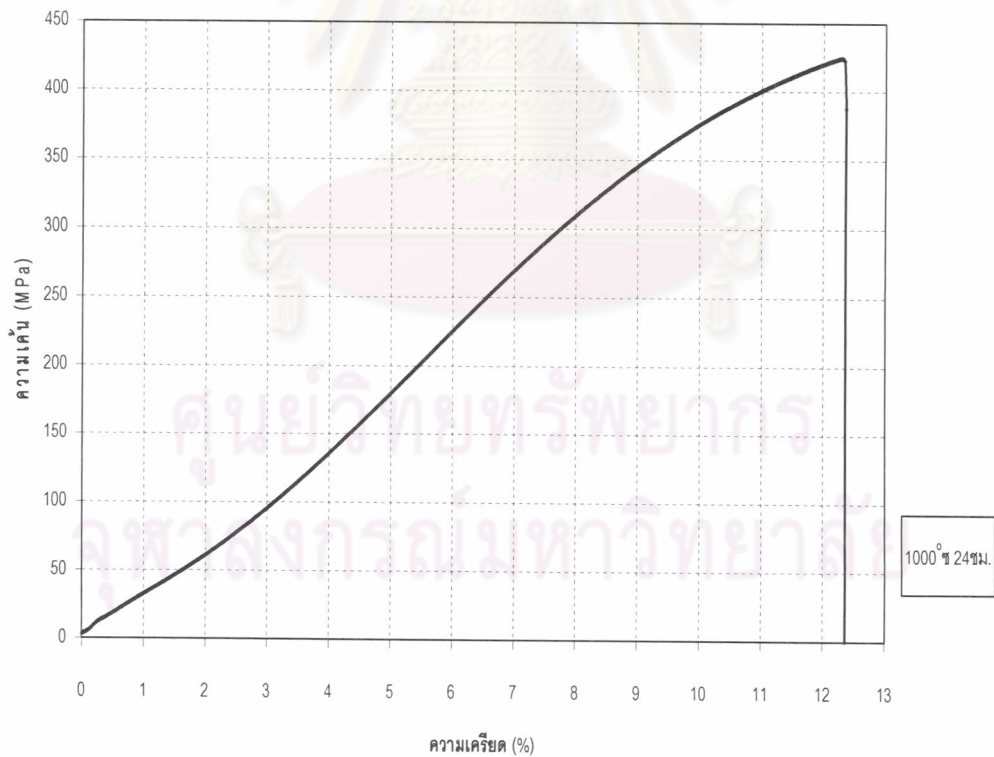
รูปที่ 13. กราฟความเค้น-ความเครียดของชิ้นตัวอย่างภายหลังการอบที่ 1000 °ซ 1 ชม.



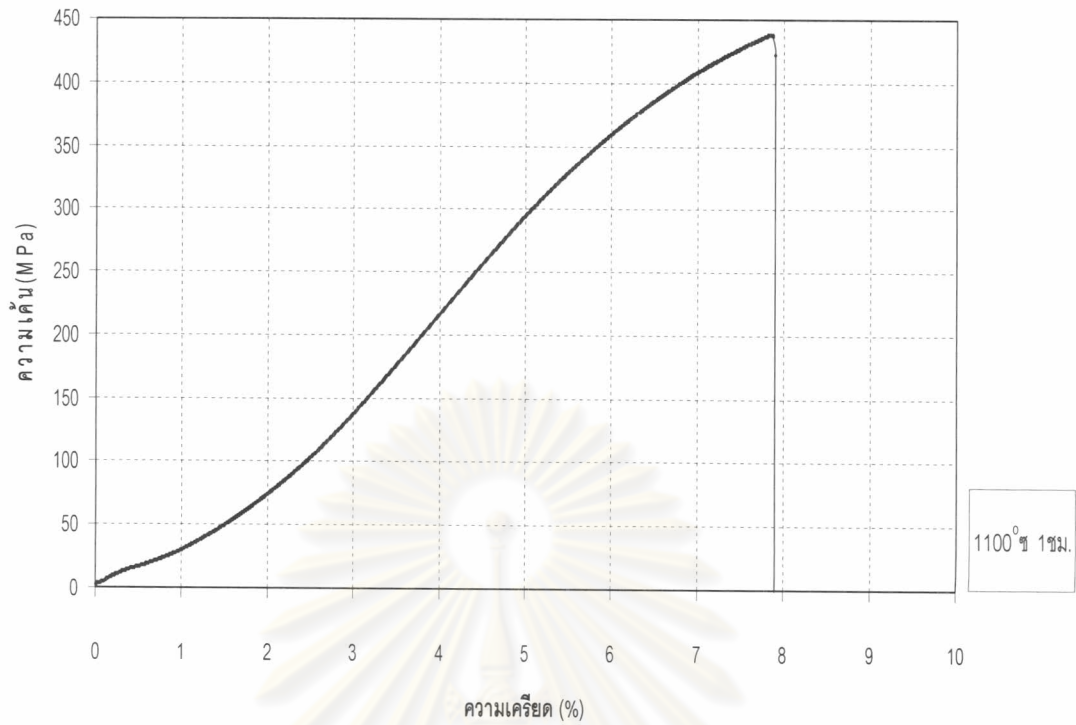
รูปที่ 14. กราฟความเค้น-ความเครียดของชิ้นตัวอย่างภายหลังการอบที่ 1000 °ซ 3 ชม.



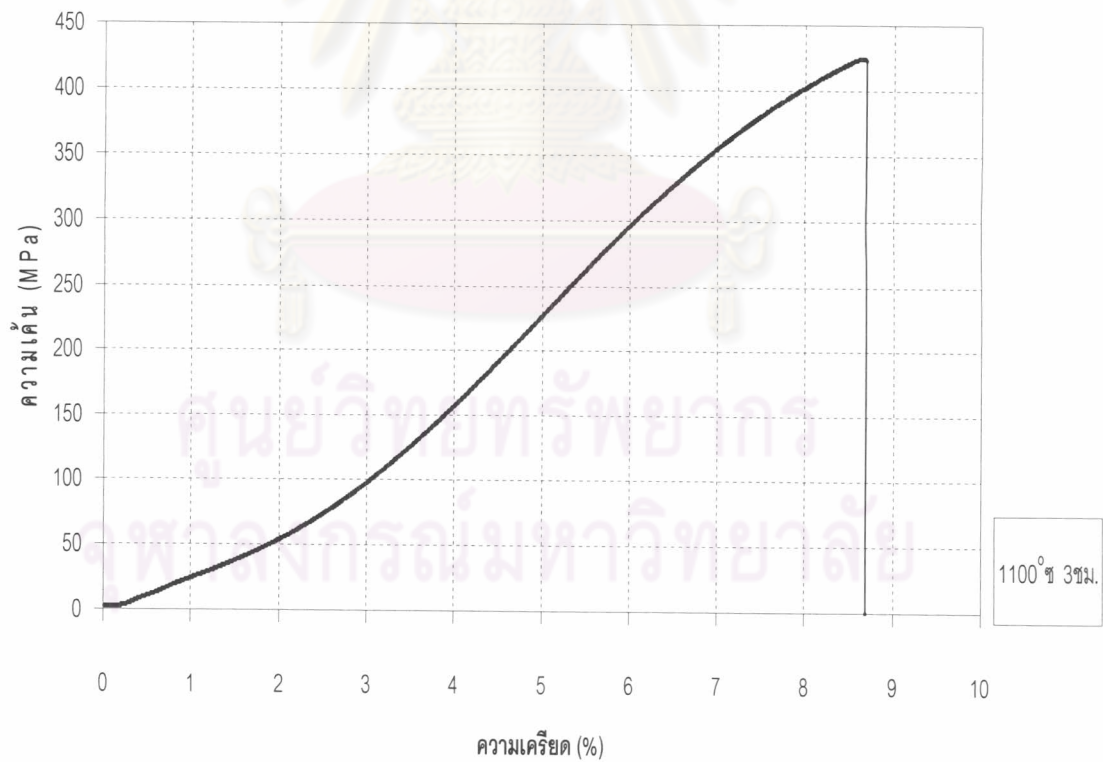
รูปที่ 15. กราฟความเค้น-ความเครียดของชิ้นตัวอย่างภายหลังการอบที่ 1000 °ซ 10 ชม.



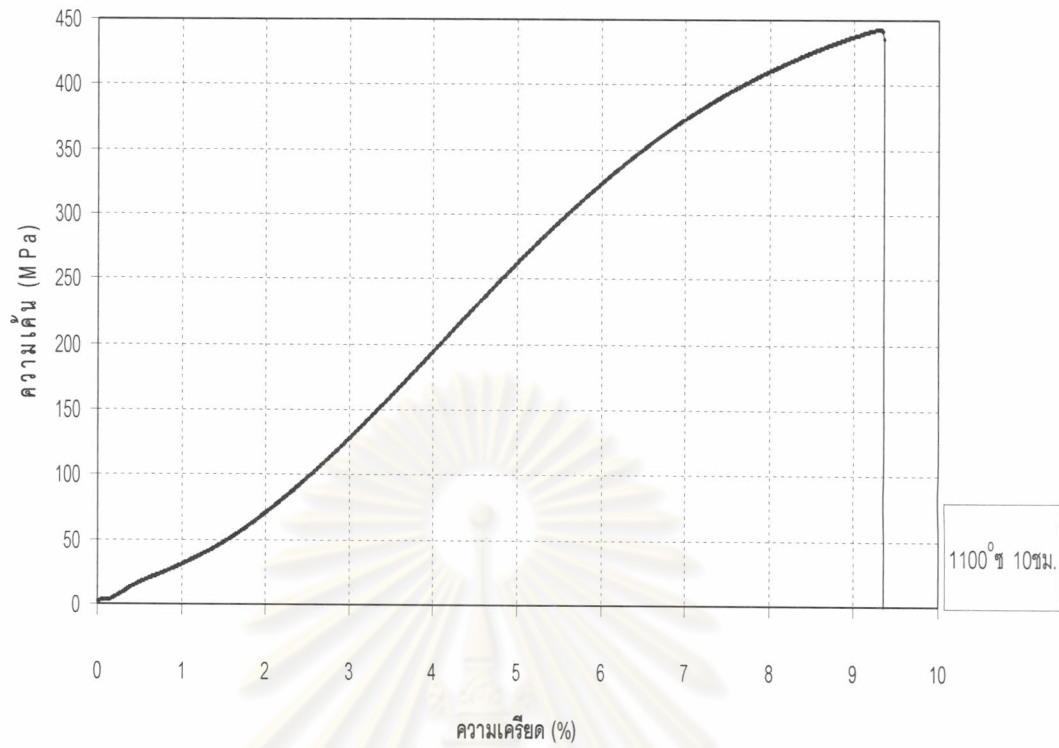
รูปที่ 16. กราฟความเค้น-ความเครียดของชิ้นตัวอย่างภายหลังการอบที่ 1000 °ซ 24 ชม.



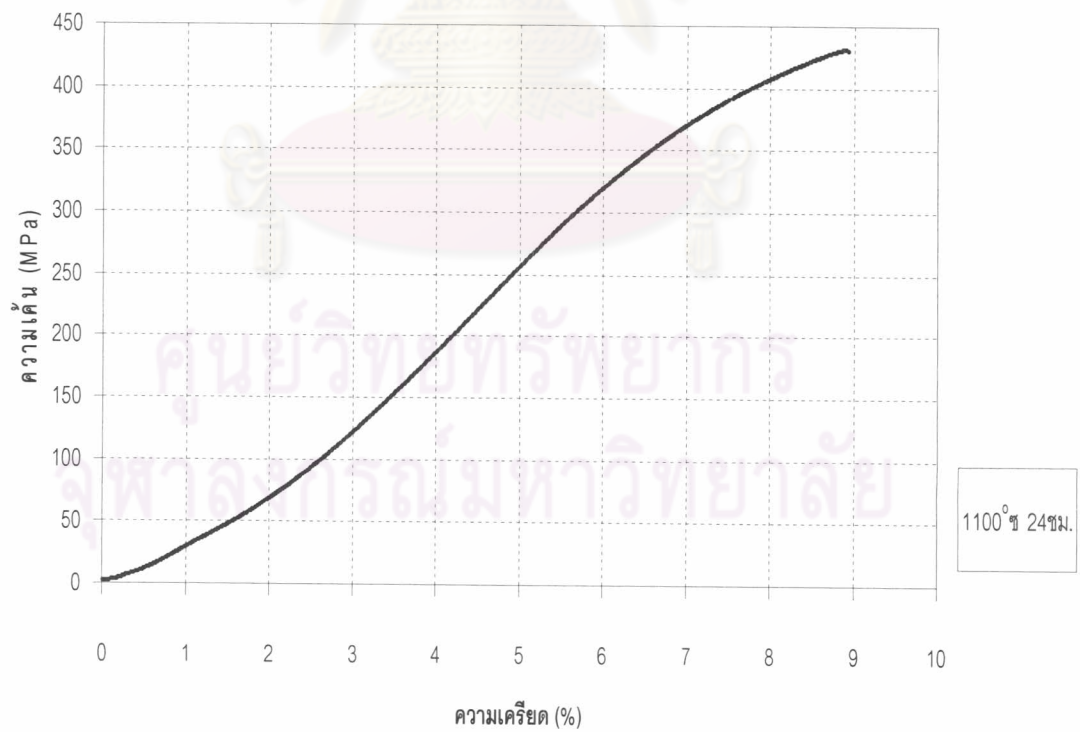
รูปที่ 17. กราฟความเค้น-ความเครียดของชิ้นตัวอย่างภายหลังการอบที่ 1100^oซ 1 ชม.



รูปที่ 17. กราฟความเค้น-ความเครียดของชิ้นตัวอย่างภายหลังการอบที่ 1100^oซ 3 ชม.



รูปที่ 18. กราฟความเค้น-ความเครียดของชิ้นตัวอย่างภายหลังการอบที่ 1100 °ซ 10 ชม.



รูปที่ 19. กราฟความเค้น-ความเครียดของชิ้นตัวอย่างภายหลังการอบที่ 1100 °ซ 24 ชม.

ตารางที่ 1. ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของโลหะผสมเหล็ก นิกเกิล 30.8% โครเมียม 26.6%

สภาวะ	ความเค้นดึง สูงสุด(MPa)	0.2% proof stress (MPa)	เปอร์เซ็นต์การ ยืด (%)	Modulus of Toughness (จูล)
สภาพที่่ได้รับ	399	330	9.30	58.46
800 ^o ซ 1 ซม.	399	370	8.2	37.14
800 ^o ซ 3 ซม.	406	369	8.85	34.81
800 ^o ซ 10 ซม.	440	376	8.56	35.73
800 ^o ซ 24 ซม.	436	362	8.02	36.44
900 ^o ซ 1 ซม.	416	340	8.78	35.86
900 ^o ซ , 3 ซม.	412	340	7.67	33.16
900 ^o ซ 10 ซม.	417	360	8.03	32.42
900 ^o ซ 24 ซม.	433	363	9.19	37.84
1000 ^o ซ 1 ซม.	427	381	8.54	32.62
1000 ^o ซ 3 ซม.	436	365	9.36	42.34
1000 ^o ซ 10 ซม.	430	376	10.02	42.75
1000 ^o ซ 24 ซม.	425	350	10.33	44.94
1100 ^o ซ 1 ซม.	438	350	7.89	48.02
1100 ^o ซ 3 ซม.	425	365	8.69	43.64
1100 ^o ซ 10 ซม.	442	365	9.36	48.6
1100 ^o ซ 24 ซม.	431	375	9.94	48.38

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

ตารางที่ จ1. การสอบเทียบเครื่อง Emission spectroscopy

Recalibration Date 12/01/2003 13:44

Program Name : Ni-NEW

Analytical Task : Ni - base global

Last recalibration : 12/01/2003 10:02:48

Channel	Factor	Low Point		High Point	
		Expect	Actual Sample	Expect	Actual Sample
Si	1.176	0	-/-	3467	2948 RN114/5
Mn	1.473	1989	1874 RN111/6	10789	7850 RN112/5
Cu	1.021	0	-/-	980	960 RN113/5
Cu2	1.239	337	290 RN111/6	16690	13488 RN112/5
Cr	1.099	164	81 RN111/6	16750	15168 RN113/5
Cr2	1.250	131	130 RN111/6	6739	5418 RN114/5
Fe	1.150	2000	525 RN111/6	13796	10779 RN113/5
Fe2	1.170	288	212 RN111/6	11089	9668 RN115/5
Mo	1.074	400	298 RN111/6	37708	35032 RN114/5
Mo2	1.025	866	684 RN111/6	5478	5183 RN113/5
Co	0.953	245	453 RN111/6	46780	49279 RN114/5
Ti	1.081	1356	1333 RN111/6	19389	18008 RN114/5
Al	0.922	283	189 RN111/6	17802	19187 RN112/5
Al2	0.863	208	131 RN111/6	2900	3250 RN112/5
Nb	1.476	235	140 RN111/6	36973	25037 RN115/5
W	0.939	580	626 RN111/6	9190	9797 RN113/5

ตารางที่ ๑2. ผลการทดสอบแบ่งมาตรฐาน HC 5

ครั้งที่ทดสอบ	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Co	Al	Nb	Ti	W	Fe	C
1	1.49	0.35	19.7	49.8	15.7	0.014	0.37	0.20	0.12	0.013	5.28	7.00	-
2	1.48	0.34	19.9	49.7	15.6	0.014	0.37	0.20	0.12	0.011	5.30	6.99	-
3	1.48	0.34	19.8	49.7	15.7	0.015	0.37	0.20	0.12	0.009	5.36	6.90	-
4	1.50	0.35	19.8	49.8	15.5	0.014	0.37	0.20	0.12	0.011	5.33	7.08	-
เฉลี่ย	1.49	0.35	19.8	49.7	15.6	0.014	0.37	0.20	0.12	0.011	5.32	6.99	-
HC 5	1.51	0.27	19.8	50.40	15.6	-	0.11	-	-	-	5.3	6.70	0.20
$\Delta 1$	0.02	-0.08	-	0.7	-	-0.014	-0.26	-0.20	-0.12	-0.011	-0.02	-0.29	0.20
ค่าสแกน เบี่ยงเบน													
มาตรฐาน	0.0096	0.00578	0.0816	0.0577	0.0957	0.0005	-	-	-	0.0016	0.035	0.0736	0.0096

$\Delta 1 = \text{HC 5} - \text{ค่าเฉลี่ย}$

ตารางที่ ๑3. ผลการทดสอบแบ่งมาตรฐาน 18002

ครั้งที่ ทดสอบ	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Co	Al	Nb	Ti	W	Fe	C
1	0.37	1.23	16.9	8.58	0.19	0.11	0.060	0.006	1.34	0.021	0.054	70.9	0.22
2	0.38	1.22	17.0	8.61	0.18	0.11	0.068	0.006	1.30	0.023	0.057	70.8	0.23
3	0.37	1.23	17.0	8.66	0.19	0.11	0.060	0.008	1.34	0.024	0.053	70.6	0.21
เฉลี่ย	0.37	1.23	17.0	8.62	0.19	0.11	0.062	0.007	1.33	0.023	0.055	70.8	0.22
18002	0.59	1.18	17.49	8.32	0.23	0.13	0.07	-	1.49	-	-	70.17	0.24
$\Delta 2$	0.22	-0.05	0.49	-0.3	0.04	0.02	0.008	-0.007	0.16	-0.023	-0.055	-0.63	0.02
ค่าส่วน เบี่ยงเบน													
มาตรฐาน	0.0058	0.0058	0.0577	0.0404	0.0058	-	0.0046	0.0012	0.0231	0.0015	0.0021	0.1528	0.01

$\Delta 2 = 18002 - \text{ค่าเฉลี่ย}$

ตารางที่ ๑4. ผลการทดสอบแท่งมาตรฐาน 11381

ครั้งที่ ทดสอบ	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Co	Al	Nb	Ti	Fe	W
1	0.49	0.41	20.0	65.0	8.95	0.004	0.34	0.38	0.52	2.58	1.20	0.11
2	0.47	0.41	20.1	65.0	8.93	0.004	0.34	0.38	0.52	2.59	1.20	0.11
3	0.48	0.40	20.1	64.9	8.99	0.005	0.34	0.38	0.51	2.57	1.18	0.11
4	0.48	0.40	20.1	64.9	8.96	0.006	0.34	0.39	0.52	2.60	1.22	0.11
เฉลี่ย	0.48	0.40	20.1	64.9	8.96	0.005	0.34	0.38	0.52	2.58	1.20	0.11
11381	0.30	0.43	19.76	66.40	9.47	0.008	(0.047)	0.41	-	2.48	0.70	-
$\Delta 3$	-0.18	0.03	-0.34	1.5	0.51	0.003	-0.29	0.03	-0.52	-0.1	-0.5	-0.11
ค่าส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.0081	0.0057	0.05	0.0577	0.025	0.0009	-	0.005	0.005	0.0129	0.0163	-

$\Delta 3 = 11381 - \text{ค่าเฉลี่ย}$

Certificate of Analysis ของแท่งงานมาตรฐาน HC5 18002 และ 11381

MBH ANALYTICAL LTD.
HOLLAND HOUSE, QUEENS ROAD, BARNET, HERTS EN8 4DJ, ENGLAND
Tel: 01441 2974 Fax: 01441 2975
Telex: 9414 MBH GB
Teletex: 911448 810

CERTIFICATE OF ANALYSIS

REFERENCE MATERIAL TYPE HASTELLOY (C82)
Catalogue Section: 715X **Sample No.:** HCS **Batch No.:** N

Certified Values

ELEMENT	C	Si	S	P	Mn	Kr	Fe
%	0.20	1.51	0.053	0.025	0.29	0.70	

Form and Size: Disc 40mm diameter x 15mm thickness
Supplied by: MBH Analytical Limited
Produced by: Millen Metals Ltd
Date of Certification: 22 August 1974

Intended Use: With Optical Emission and X-Ray Fluorescence Spectrometers.

Recommended Method of Use: Nickel base alloys are generally prepared by finishing (avoiding the use of lubricants) or lapping (avoiding the use of suitable polishing media). However, users should refer to the relevant instrument manufacturer's preparation procedures specified by the relevant instrument manufacturer. Preparation should be the same for reference materials as for the samples to be analysed. A minimum of three consistent replicate analyses should be made for each sample. Accuracy is checked against possible bias between reference materials and production samples. Users are advised to check against history and be aware of possible inter-element effect.

MBH ANALYTICAL LIMITED
VAT REGISTERED: GR 4120682
Registered Office: 11, The Quadrant, Barnet, Herts, EN8 4JF, UK
Registered Office: 11, The Quadrant, Barnet, Herts, EN8 4JF, UK

MBH ANALYTICAL LTD.
HOLLAND HOUSE, QUEENS ROAD, BARNET, HERTS EN8 4DJ, ENGLAND
Tel: 01441 2974 Fax: 01441 2975
Telex: 9414 MBH GB
Teletex: 911448 810

CERTIFICATE OF ANALYSIS

REFERENCE MATERIAL TYPE AUSTENITIC STAINLESS STEEL (CAST)
Catalogue Section: 13 X **Sample No.:** 18002 **Batch No.:** A

Certified Values

ELEMENT	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu	Co	Nb
%	0.24	0.59	0.047	0.040	1.18	8.32	17.49	0.22(5)	0.13	0.07	1.49

Form and Size: Disc 40mm diameter x 15mm thickness
Supplied by: MBH Analytical Limited
Produced by: Millen Metals Limited
Date of Certification: 25 January 1994

Intended Use: With Optical Emission and X-Ray Fluorescence Spectrometers.

Recommended Method of Use: Steels are generally prepared by finishing (avoiding the use of lubricants) or lapping (avoiding the use of suitable polishing media). However, users should refer to the relevant instrument manufacturer's preparation procedures specified by the relevant instrument manufacturer. Preparation should be the same for reference materials as for the samples to be analysed. A minimum of three consistent replicate analyses should be made for each sample. Accuracy is checked against possible bias between reference materials and production samples. Users are advised to check against history and be aware of possible inter-element effect.

MBH ANALYTICAL LIMITED
VAT REGISTERED: GR 4120682
Registered Office: 11, The Quadrant, Barnet, Herts, EN8 4JF, UK
Registered Office: 11, The Quadrant, Barnet, Herts, EN8 4JF, UK

MBH ANALYTICAL LTD.
HOLLAND HOUSE, QUEENS ROAD, BARNET, HERTS EN8 4DJ, ENGLAND
Tel: 01441 2974 Fax: 01441 2975
Telex: 9414 MBH GB
Teletex: 911448 810

CERTIFICATE OF ANALYSIS

REFERENCE MATERIAL TYPE NICKEL/CHROME/MOLYBDENUM (CAST)
Catalogue Section: 24 X **Sample No.:** 11381 **Batch No.:** D

Certified Values

ELEMENT	Si	Mn	Cu	Fe	Cr	Mo	Co	Ti	Al	Ni
%	0.30	0.43	0.008	0.70	19.76	9.47	(0.047)	2.48	0.41	(SD)

Form and Size: Disc 40mm diameter x 15mm thickness
Supplied by: MBH Analytical Limited
Produced by: Millen Metals Ltd
Date of Certification: 17 May 1993 (Replaces Single page Certificate dated 15.6.1988)

Intended Use: With Optical Emission and X-Ray Fluorescence Spectrometers.

Recommended Method of Use: Nickel base alloys are generally prepared by finishing (avoiding the use of lubricants) or lapping (avoiding the use of suitable polishing media). However, users should refer to the relevant instrument manufacturer's preparation procedures specified by the relevant instrument manufacturer. Preparation should be the same for reference materials as for the samples to be analysed. A minimum of three consistent replicate analyses should be made for each sample. Accuracy is checked against possible bias between reference materials and production samples. Users are advised to check against history and be aware of possible inter-element effect.

MBH ANALYTICAL LIMITED
VAT REGISTERED: GR 4120682
Registered Office: 11, The Quadrant, Barnet, Herts, EN8 4JF, UK
Registered Office: 11, The Quadrant, Barnet, Herts, EN8 4JF, UK

ตารางที่ ๑5 ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ด้วยเครื่อง Emission Spectroscopy
 ของโลหะผสมเหล็ก นิกเกิล 30.8% โครเมียม 26.6% ในสภาพที่รับ

ครั้งที่ทดสอบ	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Co	Al	Nb	Ti	V	W	Pb	Fe
1	0.30	1.43	1.40	26.6	30.8	<0.004	0.050	0.17	0.004	0.69	0.054	0.049	0.24	0.005	38.2
2	0.30	1.44	1.40	26.6	30.9	<0.004	0.050	0.17	0.004	0.68	0.054	0.049	0.24	0.006	38.1
3	0.30	1.43	1.40	26.5	30.8	<0.004	0.050	0.17	0.003	0.69	0.054	0.048	0.24	0.005	38.3
เฉลี่ย	0.30	1.43	1.40	26.6	30.8	<0.004	0.050	0.17	0.003	0.68	0.054	0.049	0.24	0.005	38.2
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	0.006	-	0.06	0.06	-	0.0006	-	-	0.006	-	0.006	-	-	0.1

Certificate ของโลหะผสมเหล็ก นิกเกิล 30.8% โครเมียม 26.6%

CERTIFICAT D'ANALYSE ET D'ESSAIS MECANIQUE
 CHEMICAL ANALYSIS AND MECHANICAL PROPERTIES CERTIFICATE
 CYHEMISCHIE ANALYSE UND FESTIGKEITSWERTE ZEUGNIS

CLIENT: **ABB LUMBUS ENGLAND**
 Bessemer
 Gouligé
 MONTAIGNEY

Usine du Monoir
 100 585 Avenue de la République
 101 1 32 48 22 00 Fax 32 49 57 26

Order No: 6 2000 100
 Bessemer No: 5879 J 22

Composition chimique et caractéristiques mécaniques selon
 the Metallurgist's Der Metallurgische
 Chemische Analyse und Festigkeitswerte nach
 PS BA 1 1 5 RRV n PS BA 1 4 2 RSV 8

Designation des tubes: **Mini**
 Description of the tubes: **GT**

Analyse imprimée

	C	Mn	SI	P	S	NI	CR	MO	NE	AL	GH	PB	PPH	PPH
Mini	0.450	1.500	1.500	0.030	0.030	31.000	26.000	0.500	0.500	0.050	0.250	0.250	450.0	250.0
Mini	0.500	1.500	2.000	AS	AS	36.000	27.000	0.200	1.000	0.050	0.250	0.250	70.000	70.000
Mini	PPH	PPH	ZN	PPH	PPH									
Mini	100.000		100.000	100.000	100.000									

PHEN. N°: 7/06/94

CONFORME

Page: 1

LABORATOIRE: **J-F LE BLOIS**

LABORATOIRE: **the Metallurgist's Der Metallurgische**

Inspection par: **REVUE SOUVENIR**

ภาคผนวก ช

1. วิธีการหาสัดส่วนเชิงปริมาตร (% Vol. Fraction) ของคาร์ไบด์ทุติยภูมิโดยวิธี manual point counting ตามมาตรฐาน ASTM E562 มีขั้นตอนดังนี้

สัญลักษณ์:

P_T	=	จำนวนจุดบน Grid
P_i	=	จำนวนจุดที่นับได้ต่อ field
$P_{p(i)}$	=	$P_i/P_T \times 100$ คือจำนวนจุดบน Grid ในแต่ละ field
$P_{p(average)}$	=	$1/n \sum_{i=1}^n P_{p(i)}$ คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของ $P_{p(i)}$
SD.	=	ค่าประมาณของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
95%CI	=	$\pm ts/\sqrt{n}$
t	=	factor ตัวคูณสำหรับหาค่า 95% CI
V_v	=	สัดส่วนเชิงปริมาตรของเฟสเป็นเปอร์เซ็นต์
%RA	=	เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำสัมพัทธ์ = $(95\%CI/P_{p(average)}) \times 100$

1.1 โดยการหาสัดส่วนเชิงปริมาตรของเฟสที่สนใจโดยประมาณเพื่อนำค่าที่ได้มาเลือก No. of Grid, No. of field และ %RA ที่เหมาะสมตามตารางที่ 3

ตารางที่ ๓1 95% Confidence Interval Multipliers

No. of Fields n	t	No. of Fields n	t
5	2.776	19	2.101
6	2.571	20	2.093
7	2.447	21	2.086
8	2.365	22	2.080
9	2.306	23	2.074
10	2.262	24	2.069
11	2.228	25	2.064
12	2.201	26	2.060
13	2.179	27	2.056
14	2.160	28	2.052
15	2.145	29	2.048
16	2.131	30	2.045
17	2.120	40	2.020
18	2.110	60	2.000
		∞	1.960

ตารางที่ ๒ การประมาณค่าตัวแปร n จากค่าความแม่นยำสัมพัทธ์ที่ออกแบบไว้ และจากสัดส่วน ปริมาตรของเฟสที่สนใจ

Prediction of the Number of Fields (n) to be Observed as a Function of the Desired Relative Accuracy and of the Estimated Magnitude of the Volume Fraction of the Constituent

Amount of volume fraction, V_v in percent	33 % Relative Accuracy				20 % Relative Accuracy				10 % Relative Accuracy			
	Number of fields n for a grid of $P_T =$				Number of fields n for a grid of $P_T =$				Number of fields n for a grid of $P_T =$			
	16 points	25 points	49 points	100 points	16 points	25 points	49 points	100 points	16 points	25 points	49 points	100 points
2	110	75	35	20	310	200	105	50	1,250	800	410	200
5	50	30	15	8	125	80	40	20	500	320	165	80
10	25	15	10	4	65	40	20	10	250	160	85	40
20	15	10	5	4	30	20	10	5	125	80	40	20

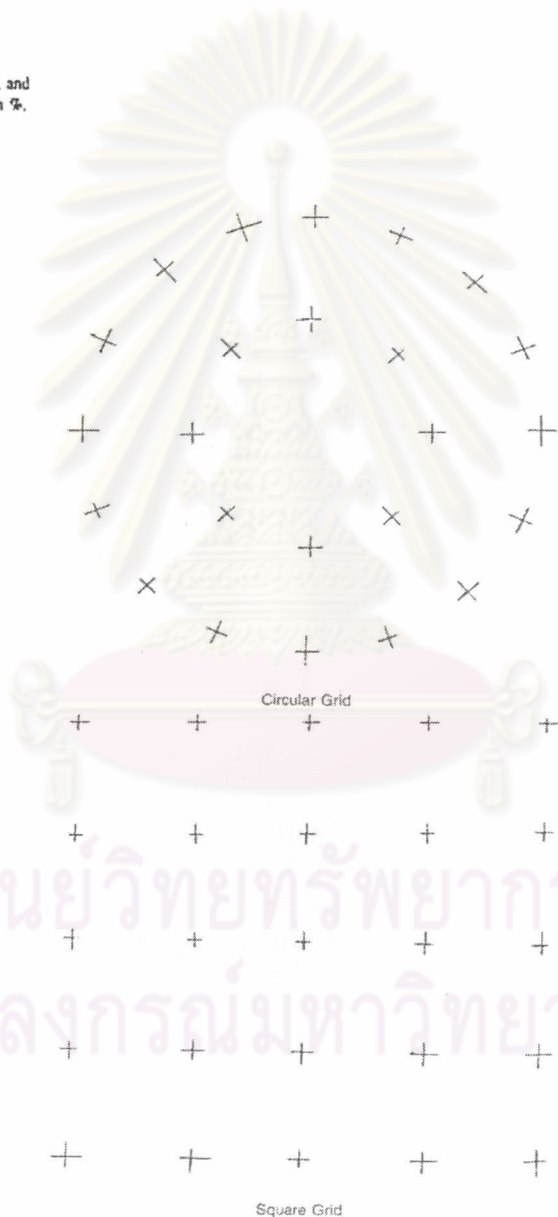
Note 1—The given values in the table above are based on the formula:

$$n = \frac{4}{E^2} \frac{100 - V_v}{V_v}$$

where:

$E = 0.01 \times \% \text{ RA}$, and

$V_v =$ is expressed in %.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๒. ชนิดของ Grid แบบวงกลม และสี่เหลี่ยม

1.2 นำ Grid ใส่ใน Eye piece แล้วเลือกกำลังขยายที่สามารถสังเกตขนาดเฟสที่สนใจได้ชัดเจน แล้วนับจำนวนจุดที่ตกบนเฟสที่สนใจ นับ 1 เมื่อตกภายในเฟส และนับ 0.5 เมื่อตกบนขอบของเฟส

1.3 นำจำนวนจุดที่นับได้มาหาค่าต่างๆ ดังนี้

1.3.1 เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจุด

$$Pp_{(average)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Pp_{(i)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i/P_T \dots\dots\dots(ข1)$$

1.3.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$SD. = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Pp_{(i)} - Pp_{(average)})^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots(ข2)$$

1.3.3 95%CI สำหรับ $Pp_{(average)}$

$$95\%CI = ts/\sqrt{n} \dots\dots\dots(ข3)$$

หมายเหตุ : กรณีที่ No. of field น้อยกว่า 30 ในการหาค่า 95%CI ให้คูณด้วยตัวคูณในตารางที่ ข1.

2. วิธีการคำนวณหาค่า $Pp_{(average)}$, V_v , 95% CI และ Standard Deviation (SD.)

ทำการนับเฟสตามวิธีที่กล่าวไว้ข้างบน โดยใช้ grid ขนาด 100 และนับทั้งหมด 20 field นำจำนวนจุดที่นับได้ในแต่ละ field มาหาค่า Pp_i และ $Pp_{(average)}$ ตามสมการที่ ข1. แล้วนำค่าที่ได้นี้มาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ 95% CI ตามสมการที่ ข2. และ ข3. ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ ข3. และ ข4. และผลการวิเคราะห์ของทุกชิ้นตัวอย่างแสดงในตารางที่ ข5.

ตารางที่ ๓3. สัดส่วนเชิงปริมาตรของชั้นตัวอย่างในสภาพที่ได้รับ

No. of Grid : 100	Standard Deviation (SD.) : 4.55
No. of field : 20	95% CI : 2.18
$Pp_{(average)}$: 10.82	V_v (%) : 10.82 ± 2.18

Field No.	Counts	Ppi	$(Ppi - Pp_{(average)})^2$
1	17.5	17.5	44.56
2	4	4	46.58
3	6	6	23.28
4	7	7	14.63
5	10	10	0.68
6	8	8	7.98
7	8.5	8.5	5.40
8	15	15	17.43
9	11	11	0.03
10	15	15	17.43
11	6.5	6.5	18.70
12	6.5	6.5	18.70
13	19.5	19.5	75.26
14	10	10	0.68
15	6.5	6.5	18.70
16	13.5	13.5	7.16
17	13.5	13.5	7.16
18	9.5	9.5	1.75
19	10	10	0.68
20	19	19	66.83
		SUM = 216.5	SUM = 393.64

ตารางที่ ๓4 สัดส่วนเชิงปริมาตรของชิ้นตัวอย่างภายหลังจากอบที่ 800°ซ 10นาที

No. of Grid : 100	Standard Deviation (SD.) : 3.17
No. of field : 20	95% CI : 1.52
$Pp_{(average)}$: 5.3	V_v (%) : 5.3 ± 1.52

Field No.	Counts	Ppi	$(Ppi - Pp_{(average)})^2$
1	8	8	7.29
2	5.5	5.5	0.04
3	5	5	0.09
4	3	3	5.29
5	3	3	5.29
6	14	14	75.69
7	6	6	0.49
8	6	6	0.49
9	3	3	5.29
10	6	6	0.49
11	10.5	10.5	27.04
12	2	2	10.89
13	2	2	10.89
14	5	5	0.09
15	1	1	18.49
16	6.5	6.5	1.44
17	2	2	10.89
18	8	8	7.29
19	6	6	0.49
20	3.5	3.5	3.24
		SUM =106	SUM =191.2

ตารางที่ ข5. สรุปผลการหาสัดส่วนเชิงปริมาตรของคาร์ไบด์ทุติยภูมิ โดยวิธี manual point count

ชั้นตัวอย่าง	SUM Ppi	SUM (Ppi-Pp _(average)) ²	Pp _(average)	SD.	95%CI	Vol. fraction
สภาพที่ได้รับ	216.50	393.64	10.82	4.55	2.18	-
800 ^o ซ 5 นาที	-	-	-	-	-	-
800 ^o ซ 10 นาที	106.00	191.20	5.30	3.17	1.52	0.32
800 ^o ซ 15 นาที	216.00	536.70	10.80	4.65	2.55	0.50
800 ^o ซ 30 นาที	181.00	268.45	9.05	3.66	1.71	0.46
800 ^o ซ 1 ชม.	339.00	184.95	16.95	2.52	1.21	0.61
800 ^o ซ 3 ชม.	369.00	556.95	18.45	5.41	2.60	0.63
800 ^o ซ 10 ชม.	452.00	780.8	22.60	6.41	3.08	0.68
800 ^o ซ 24 ชม.	465.00	495.95	24.35	5.84	2.80	0.69
900 ^o ซ 10 วินาที	-	-	-	-	-	-
900 ^o ซ 30 วินาที	15.00	13.75	3.35	1.60	0.78	0.24
900 ^o ซ 60 วินาที	94.00	56.20	5.95	2.64	1.27	0.35
900 ^o ซ 120 วินาที	123.00	35.14	6.47	1.36	0.65	0.37
900 ^o ซ 5 นาที	233.00	314.07	12.26	4.06	1.95	0.53
900 ^o ซ 15 นาที	350.00	579.00	17.50	5.52	2.65	0.62
900 ^o ซ 30 นาที	397.00	930.55	0.75	0.85	0.41	0.06
900 ^o ซ 1 ชม.	439.00	762.45	21.95	6.33	3.04	0.67
900 ^o ซ 3 ชม.	391.50	559.64	19.58	5.43	2.60	0.64
900 ^o ซ 10 ชม.	516.00	999.20	25.80	7.25	3.48	0.70
900 ^o ซ 24 ชม.	549.00	1070.95	27.45	7.51	3.60	0.72
1000 ^o ซ 5 วินาที	-	-	-	-	-	-
1000 ^o ซ 10 วินาที	26.00	12.20	1.30	0.48	0.38	0.11
1000 ^o ซ 30 วินาที	92.00	36.80	3.80	1.64	0.79	0.26
1000 ^o ซ 60 วินาที	178.00	152.30	8.90	2.83	1.35	0.45
1000 ^o ซ 120วินาที	176.00	157.20	8.80	2.87	1.38	0.45
1000 ^o ซ 5 นาที	306.50	835.14	15.32	6.63	3.18	0.59
1000 ^o ซ 15 นาที	432.50	483.44	21.62	5.04	2.42	0.67
1000 ^o ซ 30 นาที	479.00	1178.95	23.95	7.88	3.78	0.69
1000 ^o ซ 1 ชม.	569.00	2017.45	28.45	10.30	4.95	0.72
1000 ^o ซ 3 ชม.	521.50	824.14	26.08	6.59	3.16	0.71
1000 ^o ซ 10ชม.	500.00	616.00	25.00	6.59	2.73	0.70
1000 ^o ซ 24ชม.	520.50	1411.24	26.02	8.62	3.95	0.71
1100 ^o ซ 5 วินาที	-	-	-	-	-	-
1100 ^o ซ 10 วินาที	58.00	29.80	1.20	0.50	0.24	0.1
1100 ^o ซ 30 วินาที	112.50	126.69	2.00	1.17	0.56	0.16
1100 ^o ซ 60 วินาที	77.50	49.26	4.08	1.61	0.77	0.27
1100 ^o ซ 120วินาที	111.50	148.64	5.58	2.80	1.34	0.34
1100 ^o ซ 5 นาที	163.00	200.72	8.58	3.25	1.56	0.54
1100 ^o ซ 15 นาที	253.00	110.05	12.65	2.41	1.56	0.52
1100 ^o ซ 30นาที	221.50	366.43	11.66	4.39	2.11	0.58
1100 ^o ซ 1 ชม.	283.50	25.79	14.92	5.42	2.60	0.56
1100 ^o ซ 3 ชม.	278.00	382.30	13.90	4.48	2.15	0.58
1100 ^o ซ 10ชม.	281.00	594.38	14.79	5.59	2.68	0.6
1100 ^o ซ 24ชม.	305.00	602.63	16.05	5.63	2.70	0.54

3. จลนพลศาสตร์ของการตกตะกอนของคาร์ไบด์ทิตานียมในท่อโลหะผสมเหล็ก นิกเกิล 30.8%
โครเมียม 26.6%

3.1 การประเมินค่าตัวแปร n

จากสมการของ Johnson-Mehl และ Avrami

$$X = 1 - \exp(-kt^n) \dots \dots \dots (ข1)$$

$$\log \ln [1/(1-X)] = n \log t + \log k \dots \dots \dots (ข2)$$

สมการที่ ข2 นำมาพลอตระหว่าง $\log \ln [1/(1-X)]$ กับ $\log t$ จะได้สมการเส้นตรง ซึ่งสามารถหาค่า n ได้จากความชันและค่า $\log k$ จากจุดตัดแกน ตารางที่ ข10 และค่าตัวแปรทั้งหมดได้แสดงไว้ในตารางที่ ข43-ข46 และรูปที่ ข1-ข10

3.2 การหาพลังงานกระตุ้น (Q)

จากสมการอาร์เรเนียส

$$k = k_0 \exp (-Q/RT) \dots \dots \dots (ข3)$$

$$\log k = -Q/2.303R (1/T) + \log k_0 \dots \dots \dots (ข4)$$

สมการที่ ข4 นำมาพลอตระหว่าง $\log k$ กับ $(1/T)$ ได้สมการเส้นตรง ซึ่งสามารถหาค่า Q ได้จากความชันและค่า $\log k_0$ จากจุดตัดแกน รูปที่ ข11-ข12

ตารางที่ ๗6. ค่าตัวแปรตามสมการเส้นตรงของ Johnson-Mehl และ Avrami ของขึ้นตัวอย่าง
ภายหลังการอบที่ 800 °ซ ที่เวลาต่างๆ กัน

t(s)	X	1/(1-X)	ln [1/(1-X)]	log t	log ln[1/(1-X)]
300	0.01	1.01	0.01	2.48	-2.00
350	0.02	1.02	0.02	2.48	-1.69
400	0.05	1.05	0.05	2.60	-1.29
450	0.086	1.09	0.09	2.65	-1.05
500	0.12	1.14	0.13	2.70	-0.89
550	0.15	1.18	0.16	2.74	-0.79
600	0.19	1.23	0.21	2.78	-0.68
650	0.22	1.28	0.25	2.81	-0.60
700	0.25	1.33	0.29	2.85	-0.54
800	0.3	1.43	0.36	2.90	-0.45
900	0.33	1.49	0.40	2.95	-0.40
1000	0.38	1.61	0.48	3.00	-0.32
1500	0.51	2.04	0.71	3.18	-0.15
2000	0.62	2.63	0.97	3.30	-0.01
3000	0.65	2.86	1.05	3.48	0.02

ตารางที่ ๗7. ค่าตัวแปรตามสมการเส้นตรงของ Johnson-Mehl และ Avrami ของขึ้นตัวอย่างภายหลัง
การอบที่ 900 °ซ ที่เวลาต่างๆ กัน

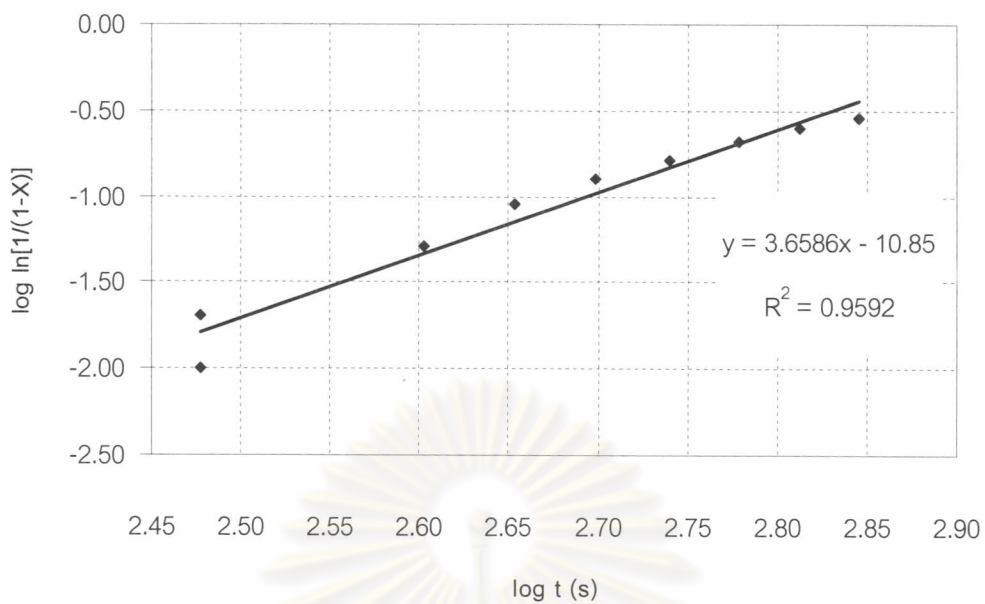
t(s)	X	1/(1-X)	ln [1/(1-X)]	log t	log ln[1/(1-X)]
20	0.04	1.04	0.04	1.30	-1.39
30	0.082	1.09	0.09	1.48	-1.07
40	0.13	1.15	0.14	1.60	-0.86
50	0.17	1.20	0.19	1.70	-0.73
60	0.2	1.25	0.22	1.78	-0.65
70	0.23	1.30	0.26	1.85	-0.58
80	0.29	1.41	0.34	1.90	-0.47
120	0.33	1.49	0.40	2.08	-0.40
150	0.37	1.59	0.46	2.18	-0.34
200	0.43	1.75	0.56	2.30	-0.25
300	0.5	2.00	0.69	2.48	-0.16
400	0.55	2.22	0.80	2.60	-0.10
500	0.59	2.44	0.89	2.70	-0.05
600	0.61	2.56	0.94	2.78	-0.03
700	0.63	2.70	0.99	2.85	0.00
1000	0.66	2.94	1.08	3.00	0.03

ตารางที่ ๗8. ค่าตัวแปรตามสมการเส้นตรงของ Johnson-Mehl และ Avrami ของขึ้นตัวอย่างภายหลัง การอบที่ 1000 °ซ ที่เวลาต่างๆ กัน

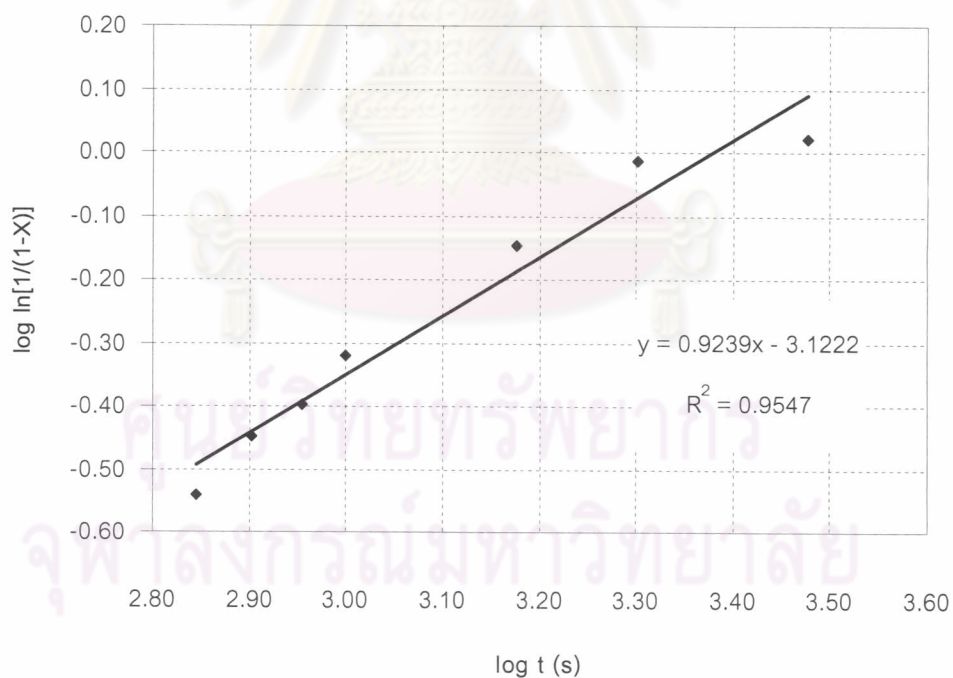
t(s)	X	1/(1-X)	ln [1/(1-X)]	log t	log ln[1/(1-X)]
6	0.03	1.03	0.03	0.78	-1.52
7	0.045	1.05	0.05	0.85	-1.34
8	0.06	1.06	0.06	0.90	-1.21
9	0.08	1.09	0.08	0.95	-1.08
10	0.09	1.10	0.09	1.00	-1.03
15	0.15	1.18	0.16	1.18	-0.79
20	0.19	1.23	0.21	1.30	-0.68
30	0.26	1.35	0.30	1.48	-0.52
40	0.3	1.43	0.36	1.60	-0.45
50	0.33	1.49	0.40	1.70	-0.40
60	0.35	1.54	0.43	1.78	-0.37
70	0.38	1.61	0.48	1.85	-0.32
80	0.4	1.67	0.51	1.90	-0.29
100	0.43	1.75	0.56	2.00	-0.25
150	0.48	1.92	0.65	2.18	-0.18
200	0.54	2.17	0.78	2.30	-0.11
300	0.59	2.44	0.89	2.48	-0.05
500	0.64	2.78	1.02	2.70	0.01

ตารางที่ ๗9. ค่าตัวแปรตามสมการเส้นตรงของ Johnson-Mehl และ Avrami ของขึ้นตัวอย่างภายหลัง การอบที่ 1100 °ซ ที่เวลาต่างๆ กัน

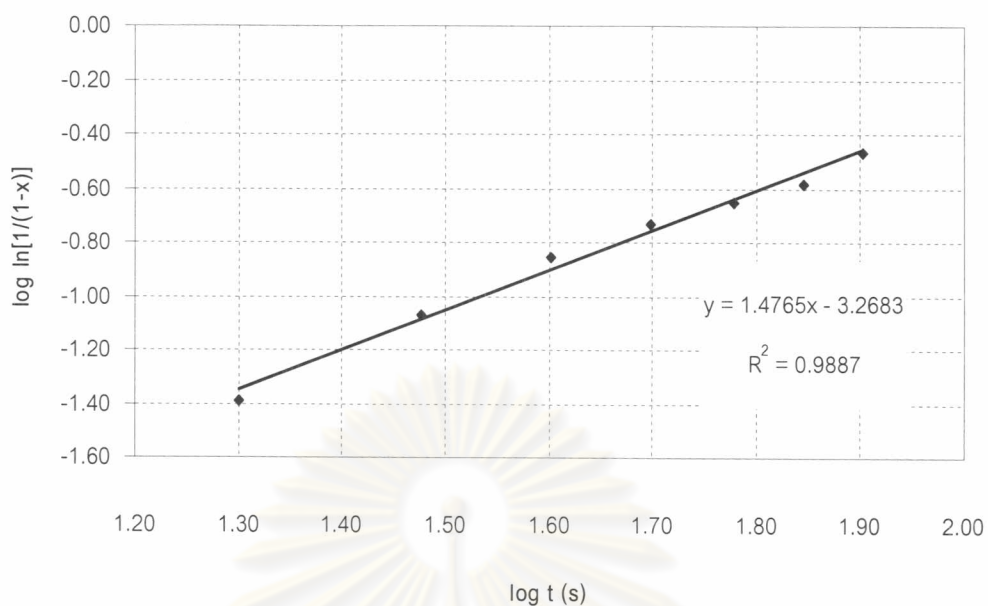
t(s)	X	1/(1-X)	ln [1/(1-X)]	log t	log ln[1/(1-X)]
8	0.015	1.02	0.02	0.90	-1.82
9	0.02	1.02	0.02	0.95	-1.69
10	0.025	1.03	0.03	1.00	-1.60
15	0.06	1.06	0.06	1.18	-1.21
20	0.116	1.13	0.12	1.30	-0.91
25	0.14	1.16	0.15	1.40	-0.82
30	0.16	1.19	0.17	1.48	-0.76
35	0.18	1.22	0.20	1.54	-0.70
40	0.2	1.25	0.22	1.60	-0.65
50	0.23	1.30	0.26	1.70	-0.58
60	0.26	1.35	0.30	1.78	-0.52
90	0.3	1.43	0.36	1.95	-0.45
120	0.34	1.52	0.42	2.08	-0.38
200	0.4	1.67	0.51	2.30	-0.29
300	0.44	1.79	0.58	2.48	-0.24
500	0.5	2.00	0.69	2.70	-0.16
900	0.56	2.27	0.82	2.95	-0.09



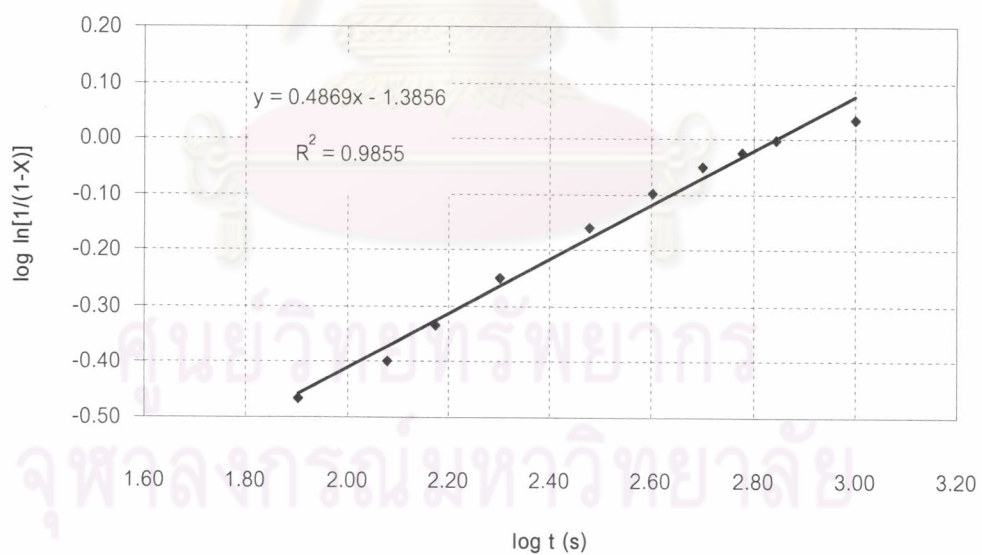
รูปที่ ข2 กราฟของการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนแรกของขึ้นตัวอย่างภายหลังการอบด้วยความร้อนที่ 800°C



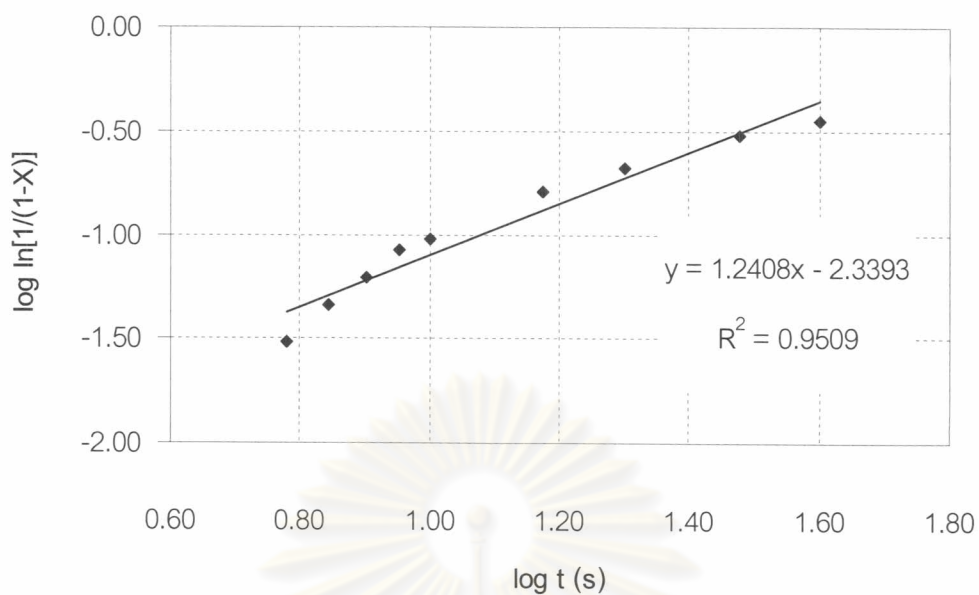
รูปที่ ข3 กราฟของการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนสองของขึ้นตัวอย่างภายหลังการอบด้วยความร้อนที่ 800°C



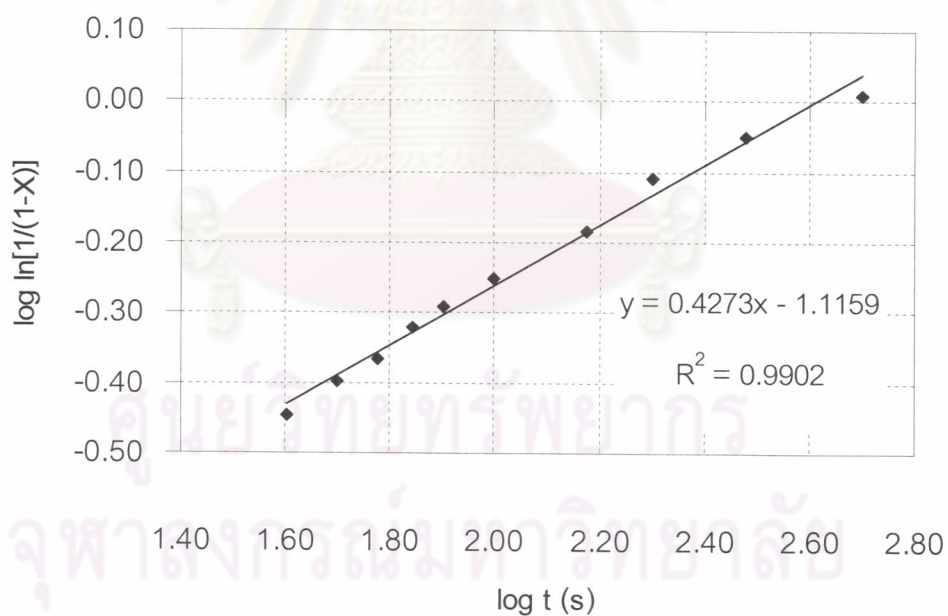
รูปที่ ข4 กราฟของการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนแรกของขึ้นตัวอย่างภายหลังการอบด้วยความร้อนที่ 900 °ซ



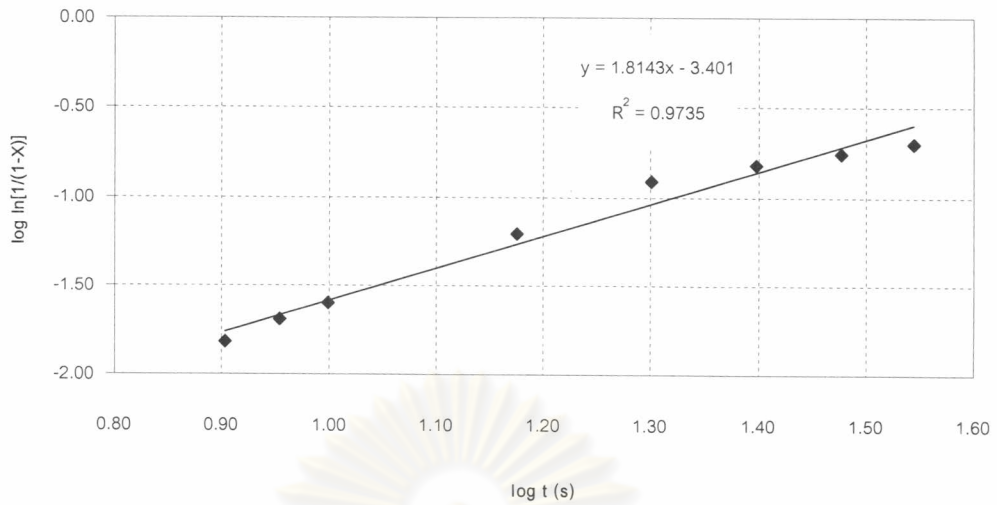
รูปที่ ข5 กราฟของการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนสองของขึ้นตัวอย่างภายหลังการอบด้วยความร้อนที่ 900 °ซ



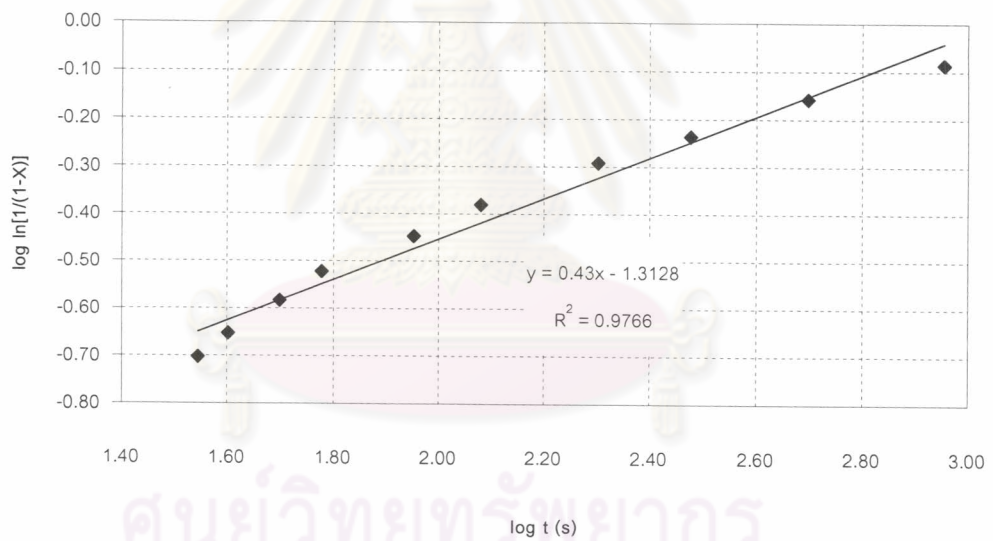
รูปที่ ๖6 กราฟของการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนแรกของขึ้นตัวอย่างภายหลังจากการอบด้วยความร้อนที่ 1000 °ซ



รูปที่ ๖7 กราฟของการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนสองของขึ้นตัวอย่างภายหลังจากการอบด้วยความร้อนที่ 1000 °ซ



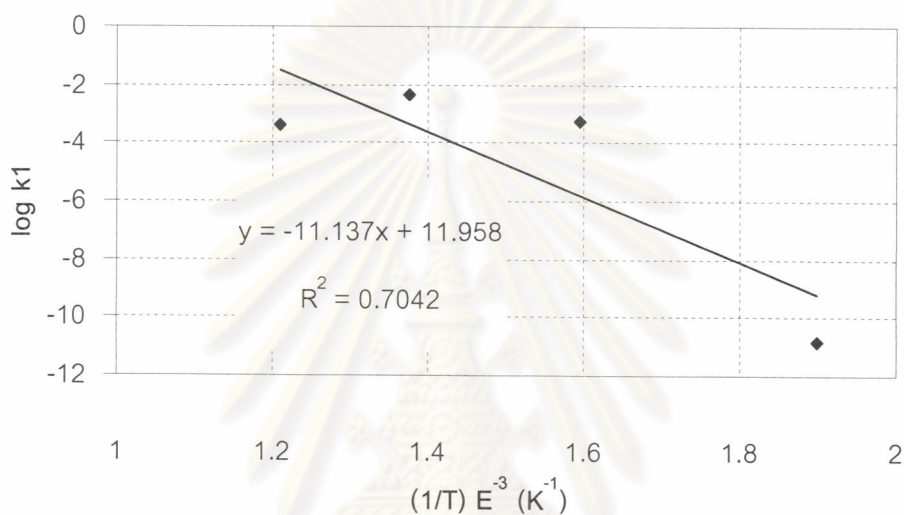
รูปที่ ๗8 กราฟของการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนแรกของชิ้นตัวอย่างภายหลังจากการอบด้วยความร้อนที่ 1100 °ซ



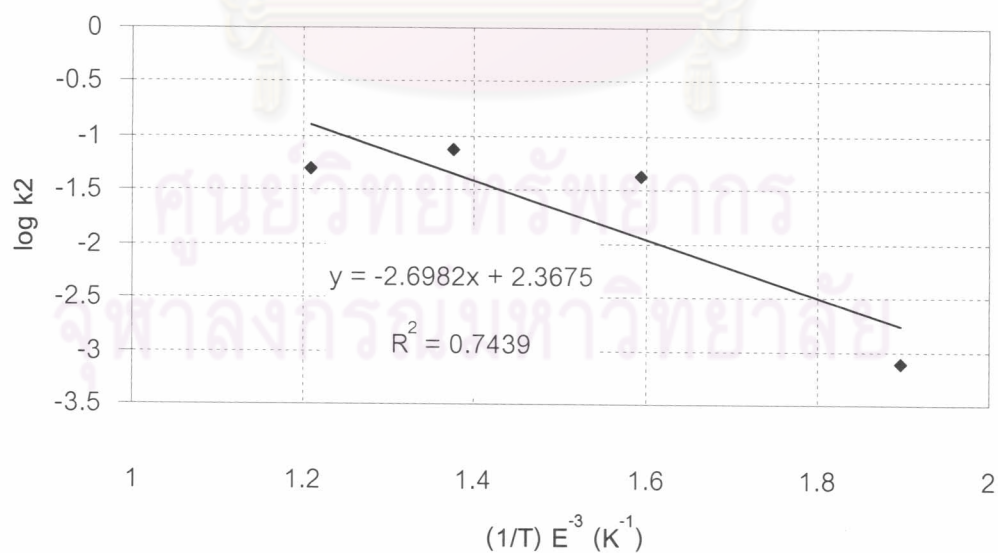
รูปที่ ๗9 กราฟของการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนสองของชิ้นตัวอย่างภายหลังจากการอบด้วยความร้อนที่ 1100 °ซ

ตารางที่ ข10. ค่าตัวแปร n และ จุดตัดแกน (log k)

ชั้นของปฏิกิริยา	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	800	900	1000	1100
ชั้นที่ 1	n	3.66	1.48	1.24	1.81
	log k	-10.85	-3.27	-2.34	-3.40
ชั้นที่ 2	n	0.92	0.49	0.43	0.43
	log k	-3.12	-1.38	-1.12	-1.31



รูปที่ ข10 กราฟพลังงานกระตุ้นของการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนแรก

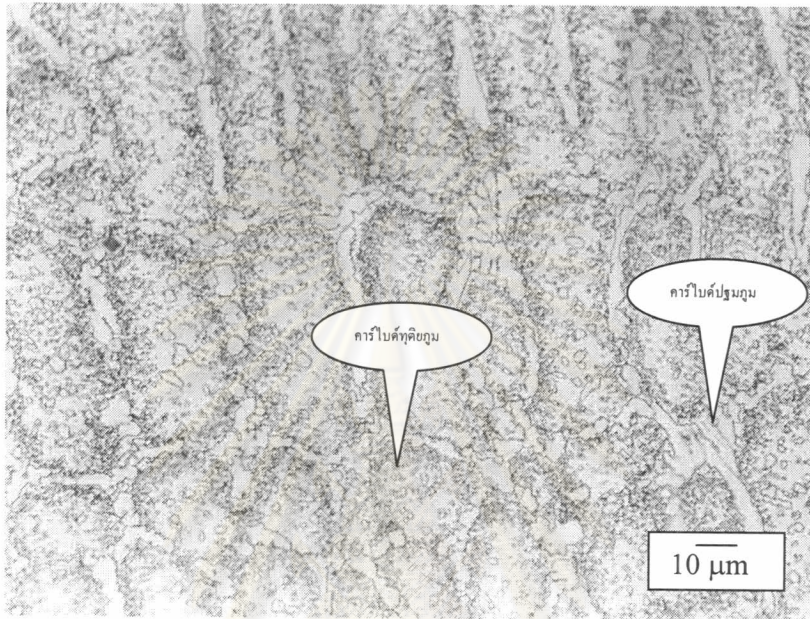


รูปที่ ข11 กราฟพลังงานกระตุ้นของการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนสอง

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการใช้งานของท่อโลหะผสมเหล็ก นิกเกิล โครเมียม

1. โครงสร้างจุลภาค



รูปที่ ข1 โครงสร้างจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์แสงของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการใช้งาน 2 เดือน อุณหภูมิใช้งาน ท่อด้านนอก 1050 °ซ และท่อด้านใน 846 °ซ

2. สมบัติเชิงกล

ความแข็ง (HV0.5)	ความเค้นดึงสูงสุด (MPa)	ความเค้นคราก (MPa)	เปอร์เซ็นต์การยืด	โมดูลัสของความแกร่ง (จุด)
235	396	375	8.5	33.4

ประวัติผู้เขียน

- ชื่อ : นางสาวสวรินทร์ รัตนมหาสกุล
เกิดเมื่อ : วันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ. 2512
สถานที่เกิด : จังหวัดตรัง
การศึกษา :ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ปีการศึกษา 2537
- การฝึกอบรม :
มิถุนายน - สิงหาคม 2539 METALLOGRAPHY ณ TUEV Sued-Deutschland
ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน
- ประวัติการทำงาน :
2539 - 2540 - นักวิชาการ 4
ห้องปฏิบัติการตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุ
ศูนย์พัฒนาและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ
สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
- 2541 - ปัจจุบัน - นักวิชาการ 6
ห้องปฏิบัติการตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุ
ศูนย์พัฒนาและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ
สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
- ประสบการณ์ :
- การวิเคราะห์โครงสร้างมหภาค และจุลภาคของโลหะในกลุ่มเหล็กและนอกกลุ่มเหล็ก
- วิเคราะห์ความเสียหายเนื่องจากการคืบโดยวิธีลอกลาย

เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อ พ.ศ. 2544