

รายการอ้างอิง

- [1.] T. Arai and S. Harper. Thermoreactive Deposition/Diffusion Process. ASM Handbook. 4 (1994) : 448-453.
- [2.] H.C. Child, S.A. Plumb and J.J. McDermott. Carbide layer formation on steel in fused borax baths. Proceeding of Heat Treatment' 84. Part 5.1. London, England , 1984.
- [3.] S.B. Fazluddin and A. Koursaris. Formation of VC Coating on Steel Substrates in Molten Borax. Surface Modification Technologies VI. (1993) : 45-60.
- [4.] T. Arai. Carbide Coating Process by Use of Molten Borax Bath in Japan. Heat Treating.1. 2. (1981) : 15-22.
- [5.] ประสงค์ ศรีเจริญชัย, ศิริรัตน์ สมพันธ์ และปรีทรรศน์ พันธบุรุษงัก. การปรับปรุงพื้นผิวแม่พิมพ์ด้วยกระบวนการที่ดี. วารสาร MTEC ฉบับ เมษายน-มิถุนายน 2540 : หน้า 12-16.
- [6.] สุรพล พรนิมิตรธรรม. การเคลือบผิวเหล็กกล้าด้วยไนโอเบียมคาร์ไบด์โดยกระบวนการที่ดี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- [7.] ธนศักดิ์ นิลสนธิ. ผลของเฟอร์โรวานาเดียมและวานาเดียมเพนทอกไซด์ต่อชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ที่เคลือบโดยกระบวนการที่ดี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรม โลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 ความหนาชั้นเคลือบวานเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากวานเดียมเพนทอกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กับ โบรอนคาร์ไบด์ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (หน่วยเป็นไมครอน)

ครั้งที่	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง 15 นาที	4 ชั่วโมง
1	3.04	3.38	4.5
2	2.7	3.72	4.52
3	3.04	4.05	4.57
4	3.04	3.38	4.51
5	2.7	4.05	4.5
6	3.04	3.72	4.32
7	2.7	3.72	4.35
8	2.77	3.38	4.33
9	2.7	2.7	4.37
10	2.36	3.04	4.39
11	2.7	3.04	4.43
12	2.84	3.04	4.33
13	2.71	3.38	4.43
14	2.72	3.04	3.89
15	2.74	3.04	3.79
16	2.6	3.35	3.96
17	2.56	3.36	4.65
18	2.89	3.35	3.88
19	2.77	3.23	4.55
20	2.56	3.45	4.26
21	2.65	3.39	4.89
22	2.8	2.98	4.21

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากวาเนเดียมเพนทอกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กับ โบรอนคาร์ไบด์ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (หน่วยเป็นไมครอน)

ครั้งที่	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง 15 นาที	4 ชั่วโมง
23	2.98	3.49	4.76
24	2.76	3.44	4.75
25	2.64	3.46	4.43
26	3.01	3.28	4.33
27	2.98	3.54	4.79
28	2.87	3.56	4.34
29	2.76	3.4	3.97
30	2.45	3.39	4.44
31	2.66	3.44	4.56
32	2.76	3.45	4.67
ค่ามากที่สุด	3.04	4.05	4.89
ค่าน้อยสุด	2.36	2.7	3.79
ค่าเฉลี่ยที่ตัด ค่ามากที่สุดน้อยสุด	2.78	3.38	4.4
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.17	0.29	0.26

ตารางที่ ก.2 ความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากวาเนเดียมเพนทอกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กับ โบรอนคาร์ไบด์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (หน่วยเป็นไมครอน)

ครั้งที่	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง 15 นาที	4 ชั่วโมง
1	2.70	3.38	4.73
2	3.04	3.38	4.73
3	2.70	3.72	4.73
4	2.70	4.05	5.07
5	2.36	3.72	4.73
6	2.36	3.38	4.39
7	2.70	4.05	4.73
8	2.36	3.38	5.07
9	2.36	3.72	5.41
10	2.70	4.05	5.07
11	2.36	3.72	5.07
12	2.70	3.38	4.39
13	2.36	3.72	4.73
14	2.36	3.38	5.07
15	2.36	4.05	5.41
16	2.5	3.54	5.02
17	3.46	3.67	4.96
18	2.49	3.59	4.8
19	2.36	3.77	5.02
20	2.39	3.4	5.06
21	2.56	3.39	4.78
22	2.56	3.61	4.69
23	2.54	3.78	4.79
24	2.7	3.72	4.78
25	2.38	3.65	4.67
26	2.4	3.71	4.94

ตารางที่ ก.2 (ต่อ)ความหนาชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากวานาเดียมเพนทอกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์
 โดยน้ำหนัก กับ โบรอนคาร์ไบด์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (หน่วยเป็นไมครอน)

ครั้งที่	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง 15 นาที	4 ชั่วโมง
27	2.44	3.66	5.03
28	2.55	3.89	5.00
29	2.6	3.54	5.07
30	2.54	3.66	4.56
31	2.44	4.03	4.87
32	2.47	3.61	4.97
ค่ามากที่สุด	3.04	4.05	5.41
ค่าน้อยสุด	2.36	3.38	4.39
ค่าเฉลี่ยที่ตัดค่า มากที่สุดและน้อยสุด	2.55	3.67	4.89
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.23	0.22	0.24

ตารางที่ ก.3 ความหนาชั้นเคลือบวานเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากวานเดียมเพนทอกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กับ โบรอนคาร์ไบด์ 6.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (หน่วยเป็นไมครอน)

ครั้งที่	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง 15 นาที	4 ชั่วโมง
1	3.62	5.74	6.42
2	3.95	5.41	5.74
3	3.29	4.73	6.76
4	3.62	5.41	6.08
5	3.29	5.07	6.42
6	2.96	5.41	7.09
7	3.62	5.41	6.76
8	3.95	5.74	6.08
9	3.62	5.07	6.08
10	2.96	4.73	5.74
11	3.29	5.41	6.76
12	3.29	5.07	6.42
13	3.62	5.41	6.08
14	3.62	5.41	6.76
15	3.62	5.65	6.35
16	2.95	5.34	6.43
17	3.54	5.12	6.34
18	3.45	4.97	6.34
19	3.71	4.67	6.3
20	3.34	5.6	6.34
21	3.54	4.87	6.22
22	3.7	5.23	6.27
23	3.19	5.45	6.46
24	3.23	5.67	6.33

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) ความหนาชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากวานาเดียมเพนทอกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กับ โบรอนคาร์ไบด์ 6.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (หน่วยเป็น ไมครอน)

ครั้งที่	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง 15 นาที	4 ชั่วโมง
25	3.42	5.32	6.35
26	3.4	5.37	6.29
27	3.54	5.12	6.25
28	3.78	4.98	6.35
29	3.32	5.3	6.37
30	3.59	5.4	6.35
31	3.35	5.6	6.33
32	3.62	5.74	5.74
ค่ามากที่สุด	3.95	5.74	7.04
ค่าน้อยสุด	2.95	4.73	5.74
ค่าเฉลี่ยที่ตัดค่า มากที่สุดและน้อยสุด	3.48	5.27	6.33
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.27	0.29	0.29

ตารางที่ ก.4 ความหนาแน่นเคลือบวานเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากการแปรผันความหนาผิวชิ้นงาน
(หน่วยเป็นไมครอน)

ครั้งที่	แปรผันความหนาผิวที่เวลาเคลือบ 4 ชั่วโมง		
	ขัดกระดาษทราย เบอร์ 600	ขัดกระดาษทราย เบอร์ 1200	ขัดด้วยผงอะลูมินา ขนาด 1 ไมครอน
1	4.09	4.76	4.93
2	4.97	5.35	4.76
3	4.83	4.96	4.83
4	4.64	5.64	5.01
5	3.97	5.38	4.96
6	4.62	4.4	5.14
7	4.39	5.21	4.89
8	4.98	4.46	5.33
9	4.14	5.01	4.76
10	5.01	5.64	5.14
11	4.73	5.51	5.21
12	4.39	4.76	4.82
13	4.64	5.64	5.26
14	4.45	4.53	4.96
15	4.01	5.26	5.07
16	5.01	5.07	5.31
17	4.39	4.81	5.14
18	4.14	5.39	4.76
19	4.1	5.34	5.36
20	5.11	5.2	5.37
21	4.51	4.85	4.89
22	4.71	4.59	5.06
23	4.64	5.08	4.82

ตารางที่ ก.4 (ต่อ) ความหนาชั้นเคลือบวานเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากวานเดียมเพนทอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กับ อะลูมิเนียม 7.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (หน่วยเป็น ไมครอน)

ครั้งที่	แปรผันความหนาผิวที่เวลาเคลือบ 4 ชั่วโมง		
	ขัดกระดาษทรายเบอร์ 600	ขัดกระดาษทรายเบอร์ 1200	ขัดด้วยผงอะลูมินาขนาด 1 ไมครอน
24	4.05	5.62	5.29
25	4.26	4.60	5.12
26	4.14	4.95	4.95
27	4.51	5.12	5.07
28	4.35	5.56	4.76
29	4.86	4.96	5.14
30	4.10	5.2	4.89
31	4.90	4.64	4.8
32	4.55	5.14	4.76
ค่ามากที่สุด	5.13	5.66	5.42
ค่าน้อยสุด	3.90	4.32	4.67
ค่าเฉลี่ยที่ตัดค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด	4.52	5.09	5.01
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.35	0.37	0.20

ตารางที่ ก.5 ความหนาชั้นเคลือบวานเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากการแปรผันตำแหน่งในอ่างเกลือที่
ความลึกเท่ากัน (หน่วยเป็นไมครอน)

ครั้งที่	แปรผันตำแหน่งในอ่างเกลือที่ความลึกเท่ากัน เคลือบผิวที่เวลา 4 ชั่วโมง		
	ตรงกลาง	4 ซ.ม.จากตรงกลาง	8 ซ.ม.จากตรงกลาง
1	5	5.64	5.43
2	5.3	5.1	5.23
3	5.5	5.39	5.44
4	5.5	5.4	5.57
5	5.4	5.26	5.43
6	5.44	5.35	5.27
7	5.5	5.21	5.45
8	5.26	5.33	5.33
9	5.4	5.2	5.39
10	5.39	5.76	5.35
11	5.45	5.2	5.39
12	5.3	5.21	5.3
13	5.19	5.34	5.57
14	5.2	5.14	5.34
15	5.3	5.14	5.21
16	5.1	5.35	5.37
17	5.2	5.2	5.33
18	5.38	5.66	5.56
19	5.34	5.34	5.34
20	5.56	5.23	5.23
21	5.43	5.33	5.75
22	5.37	5.56	5.31
23	5.32	5.22	5.22
24	5.51	5.31	5.13

ตารางที่ ก.5 (ต่อ) ความหนาชั้นเคลือบวานเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากวานเดียมเพนทอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กับ อะลูมิเนียม 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (หน่วยเป็น ไมครอน)

ครั้งที่	แปรผันตำแหน่งในแง่เกลือที่ความลึกเท่ากัน เคลือบผิวที่เวลา 4 ชั่วโมง		
	ตรงกลาง	4 ซม.จากตรงกลาง	8 ซม.จากตรงกลาง
25	4.89	5.44	5.34
26	4.99	5.21	5.44
27	5.23	5.4	5.29
28	5.45	5.33	4.87
29	5.43	5.23	5.49
30	5.33	4.91	4.98
31	5.41	4.96	5.04
32	5.25	5.31	5.3
ค่ามากที่สุด	5.51	5.76	5.75
ค่าน้อยสุด	4.89	4.91	4.87
ค่าเฉลี่ยที่ตัด ค่ามากที่สุดและ ค่าน้อยสุด	5.32	5.29	5.33
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.15	0.18	0.15

ตารางที่ ก.6 ความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากการแปรผันตำแหน่งในอ่างเกลือที่
ความลึกต่างกัน (หน่วยเป็นไมครอน)

ครั้งที่	แปรผันตำแหน่งในอ่างเกลือที่ความลึกต่างกัน เคลือบผิวที่เวลา 4 ชั่วโมง		
	4-5 ซม.จากผิวหน้า	8.2-9.2 ซม.จากผิวหน้า	14-15 ซม.จากผิวหน้า
1	1.86	2.48	1.96
2	2.05	2.8	2.26
3	2.17	2.72	2.48
4	1.91	2.28	2.75
5	2.22	2.76	2.42
6	2.4	3.21	2.77
7	2.12	2.66	2.17
8	2.21	2.17	2.48
9	2.17	2.27	2.25
10	2.67	2.5	2.75
11	2.6	2.18	2.8
12	3.42	2.59	3.07
13	2.71	3.11	2.67
14	2.8	2.17	2.65
15	2.17	2.2	2.8
16	2.91	2.34	2.49
17	3.09	2.61	2.48
18	2.59	3.11	2.91
19	3.2	2.87	2.82
20	2.8	2.58	2.37
21	2.82	2.4	2.42
22	3.73	2.39	2.53
23	2.75	2.55	2.66

ตารางที่ ก.6 (ต่อ) ความหนาชั้นเคลือบวานเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากการแปรผันตำแหน่งในอ่าง
เกลือที่ความลึกต่างกัน (หน่วยเป็นไมครอน)

ครั้งที่	แปรผันตำแหน่งในอ่างเกลือที่ความลึกต่างกัน เคลือบผิวที่เวลา 4 ชั่วโมง		
	4-5 ซม. จากผิวหน้า	8.2-9.2 ซม. จากผิวหน้า	14-15 ซม. จากผิวหน้า
24	2.48	2.72	2.74
25	3.11	2.55	2.68
26	2.17	2.21	2.31
27	2.52	2.54	2.25
28	2.24	2.74	2.57
29	3.11	3.25	2.32
30	3.15	2.45	2.48
31	2.64	2.75	2.25
32	2.55	3.27	2.35
ค่ามากที่สุด	3.42	3.27	3.07
ค่าน้อยสุด	1.86	2.17	1.96
ค่าเฉลี่ยที่ตัด ค่ามากที่สุดและ ค่าน้อยสุด	2.60	2.59	2.53
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.42	0.30	0.21

ภาคผนวก ข

การทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ (Micro vickers hardness test)

การทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์เหมาะสำหรับทดสอบความแข็งชิ้นงานขนาดเล็ก และบาง ชิ้นงานที่ผ่านการชุบเคลือบผิว ฯลฯ

วิธีการทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์กระทำได้โดยใช้แรงกดอยู่ระหว่าง 1 ถึง 100 kgf กดผ่านหัวกดที่ทำด้วยเพชรรูปปิรามิด มีฐานรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มุมรวมที่ปลายแหลมเท่ากับ 136° ไปที่ผิวหน้าของชิ้นงานทดสอบเป็นเวลา 10 ถึง 15 วินาที จากนั้นปลดแรงกดออกแล้ววัดขนาดของรอยกดด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อนำค่าที่ได้ไปหาค่าความแข็งจากสูตรคือ

$$\begin{aligned} HV &= 2F \sin (\phi/2) d^2 \\ &= 1.854F/ d^2 \end{aligned}$$

- เมื่อ
- HV = vickers hardness
 - ϕ = มุมของหัวกด 136°
 - F = น้ำหนักหรือแรงที่ใช้ทดสอบ (kgf)
 - d = ค่าเฉลี่ยด้านทแยงมุมของรอยกด (ม.ม.)

ตารางที่ ข.1 ค่าความแข็งของชั้นเคลือบที่ได้จากวานเดียมเพนทอกไซด์จำนวน 10 เปอร์เซ็นต์
โดยน้ำหนัก กับ อะลูมิเนียมจำนวน 7.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้แรงกด 25 gf
เป็นเวลา 10 วินาที (วัดความแข็งในแนวภาคตัดขวางชั้นเคลือบ)

ครั้งที่ทดลอง	diagonals d1(μm)	diagonals d2(μm)	ค่าความแข็งของ ชั้นเคลือบ(HV)
1	4.49	4.56	2261
2	4.63	4.45	2252
3	4.77	4.51	2153
4	4.54	4.38	2335
5	4.67	4.77	2079
6	4.23	4.33	2529
7	4.58	4.42	2289
8	4.1	4.3	2628
9	4.42	4.47	2344
10	4.51	4.55	2261
11	4.52	4.57	2239
12	4.67	4.75	2090
13	4.59	4.56	2167
14	4.52	4.59	2233
15	4.57	4.63	2191
ค่ามากที่สุด	4.77	4.77	2628
ค่าน้อยสุด	4.1	4.3	2079
ค่าเฉลี่ยที่ตัดค่ามาก สุดและค่าน้อยสุด	4.53	4.52	2257
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.11	0.11	108.31

ตารางที่ ข.2 ค่าความแข็งของชั้นเคลือบที่ได้จากวาเนเดียมเพนทอกไซด์จำนวน 10 เปอร์เซ็นต์
 โดยน้ำหนัก กับ อะลูมิเนียมจำนวน 7.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้แรงกด 25 gf
 เป็นเวลา 10 วินาที (วัดความแข็งในแนวตั้งฉากกับชั้นเคลือบ)

ครั้งที่ทดลอง	diagonals d1(μm)	diagonals d2(μm)	d เฉลี่ย (μm)	ความลึก รอยกด(μm)	ค่าความแข็งของชั้น เคลือบ(HV)
1	5.02	4.36	4.69	2107	0.95
2	4.52	4.34	4.43	2361	0.89
3	4.26	4.76	4.51	2280	0.91
4	4.76	3.76	4.26	2555	0.86
5	4.69	4.04	4.37	2432	0.88
6	3.99	4.65	4.32	2486	0.87
7	4.35	4.39	4.37	2425	0.88
8	4.37	4.35	4.36	2439	0.88
9	4.04	4.15	4.10	2766	0.83
10	4.52	3.99	4.26	2559	0.86
11	4.2	4.06	4.13	2720	0.83
12	3.46	5.14	4.30	2504	0.87
13	5.07	3.94	4.51	2286	0.91
14	3.66	5.14	4.40	2395	0.89
15	4.34	4.23	4.29	2526	0.87
ค่ามากที่สุด	5.07	5.14	4.69	2720	0.95
ค่าน้อยสุด	3.66	3.76	4.10	2107	0.83
ค่าเฉลี่ยที่ตัดค่า มากที่สุดและค่า น้อยสุด	4.35	4.27	4.35	2463	0.88
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.39	0.26	0.10	129	0.09

ตารางที่ ข.3 ค่าความแข็งของชั้นเคลือบที่ได้จากวานเนเดียมเพนทอกไซด์จำนวน 20 เปอร์เซ็นต์
โดยน้ำหนัก กับ โบรอนคาร์ไบด์จำนวน 6.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้แรงกด
25 gf เป็นเวลา 10 วินาที (วัดความแข็งในแนวภาคตัดขวางชั้นเคลือบ)

ครั้งที่ทดลอง	diagonals d1(μm)	diagonals d2(μm)	ค่าความแข็งของ ชั้นเคลือบ(HV)
1	5.04	4.38	2088
2	4.51	4.5	2286
3	4.36	4.85	2185
4	4.71	4.57	2153
5	4.31	4.67	2295
6	4.67	4.8	2066
7	4.45	4.40	2368
8	4.62	4.68	2144
9	4.8	4.59	2104
10	4.52	4.46	2299
11	4.14	4.21	2660
12	4.57	4.71	2156
13	4.44	4.2	2486
14	4.5	4.77	2156
15	4.47	4.52	2289
ค่ามากที่สุด	5.04	4.85	2660
ค่าน้อยสุด	4.14	4.2	2066
ค่าเฉลี่ยที่ตัดค่ามากที่สุด และค่าน้อยสุด	4.53	4.55	2231
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.13	0.17	116.36

ตารางที่ ข.4 ค่าความแข็งของชั้นเคลือบที่ได้จากวานเนเดียมเพนทอกไซด์จำนวน 20 เปอร์เซ็นต์
โดยน้ำหนัก กับ โบรอนคาร์ไบด์จำนวน 6.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้แรงกด
25 gf เป็นเวลา 10 วินาที (วัดความแข็งในแนวตั้งฉากกับชั้นเคลือบ)

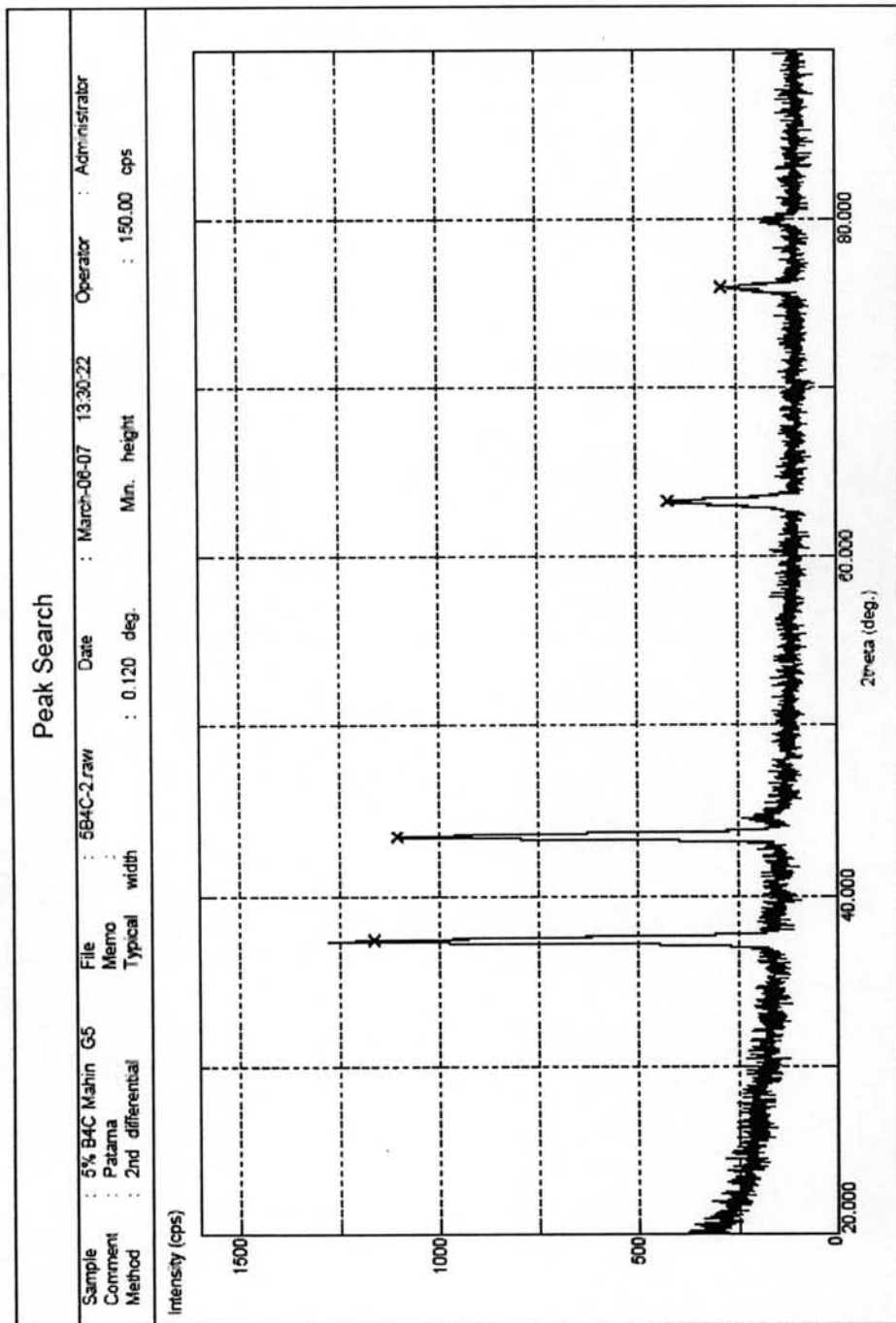
ครั้งที่ทดลอง	diagonals d1(μm)	diagonals d2(μm)	d เฉลี่ย (μm)	ความลึก รอยกด(μm)	ค่าความแข็งของชั้น เคลือบ(HV)
1	4.23	3.57	3.9	3043	0.79
2	4.43	4.84	4.64	2156	0.94
3	4.47	3.98	4.23	2593	0.85
4	4.47	4.04	4.26	2559	0.86
5	4.52	3.86	4.19	2640	0.85
6	4.32	4.21	4.27	2552	0.86
7	4.8	3.86	4.33	2471	0.87
8	4.46	3.99	4.23	2597	0.85
9	3.21	5.13	4.17	2664	0.84
10	4.6	3.53	4.07	2805	0.82
11	5.01	3.68	4.35	2457	0.88
12	3.64	4.69	4.17	2675	0.84
13	3.99	4.37	4.18	2652	0.84
14	4.35	4.2	4.28	2537	0.86
15	4.09	3.86	3.98	2934	0.80
ค่ามากที่สุด	5.01	5.13	4.64	3043	0.94
ค่าน้อยสุด	3.21	3.53	3.9	2156	0.79
ค่าเฉลี่ยที่ตัดค่า มากที่สุดและค่า น้อยสุด	4.34	4.09	4.21	2626	0.85
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.30	0.37	0.10	130	0.02

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค.1 ผลการตรวจวิเคราะห์นิวตริ่งงานที่ได้จากการใช้ วานเดียมเพนทอกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก กับ โบรอนคาร์ไบด์จำนวน 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ด้วย X-ray Diffractometer

Raw data,Smoothing,Background subtraction,Ka2 elimination															
Sample	5% B4C Mahin G5	File	5B4C-2.raw												
Comment	Palzama	Memo													
X-ray	Cu / 40 kV / 40 mA	Counter	Scintillation counter												
Goniometer	RINT2000 wide angle goniometer	Scan mode	Continuous												
Attachment	Standard sample holder	Scan speed	3.000 deg./min.												
Filter	K-beta filter	Sampling width	0.020 deg.												
I.Monocho	Not used	Scan axis	2theta												
C.Monocho	Not used	Scan range	20.000 → 90.000 deg.												
DivSlit	1 deg.	Fixed angle	5.000 deg.												
DivH.L.Slit	5mm														
SctSlit	2 deg.														
RecSlit	open														
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 25%; border: none;">[Smoothing</td> <td style="width: 25%; border: none;">] Smoothing Points</td> <td style="width: 25%; border: none;">:</td> <td style="width: 25%; border: none;">Peak min.height</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">[Background subtraction</td> <td style="border: none;">] Peak max. width</td> <td style="border: none;">:</td> <td style="border: none;"></td> </tr> <tr> <td style="border: none;">[Ka2 elimination</td> <td style="border: none;">] Intensity ratio (Ka2/Ka1)</td> <td style="border: none;">:</td> <td style="border: none;"></td> </tr> </table>				[Smoothing] Smoothing Points	:	Peak min.height	[Background subtraction] Peak max. width	:		[Ka2 elimination] Intensity ratio (Ka2/Ka1)	:	
[Smoothing] Smoothing Points	:	Peak min.height												
[Background subtraction] Peak max. width	:													
[Ka2 elimination] Intensity ratio (Ka2/Ka1)	:													
Raw data Intensity (cps)		Smoothing													
Background subtraction		Ka2 elimination													

ตารางที่ ค.1(ต่อ) ผลการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างที่ได้จากการใช้ วานเดียมเพนทอกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก กับ โบรอนคาร์ไบด์จำนวน 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ด้วย X-ray Diffractometer



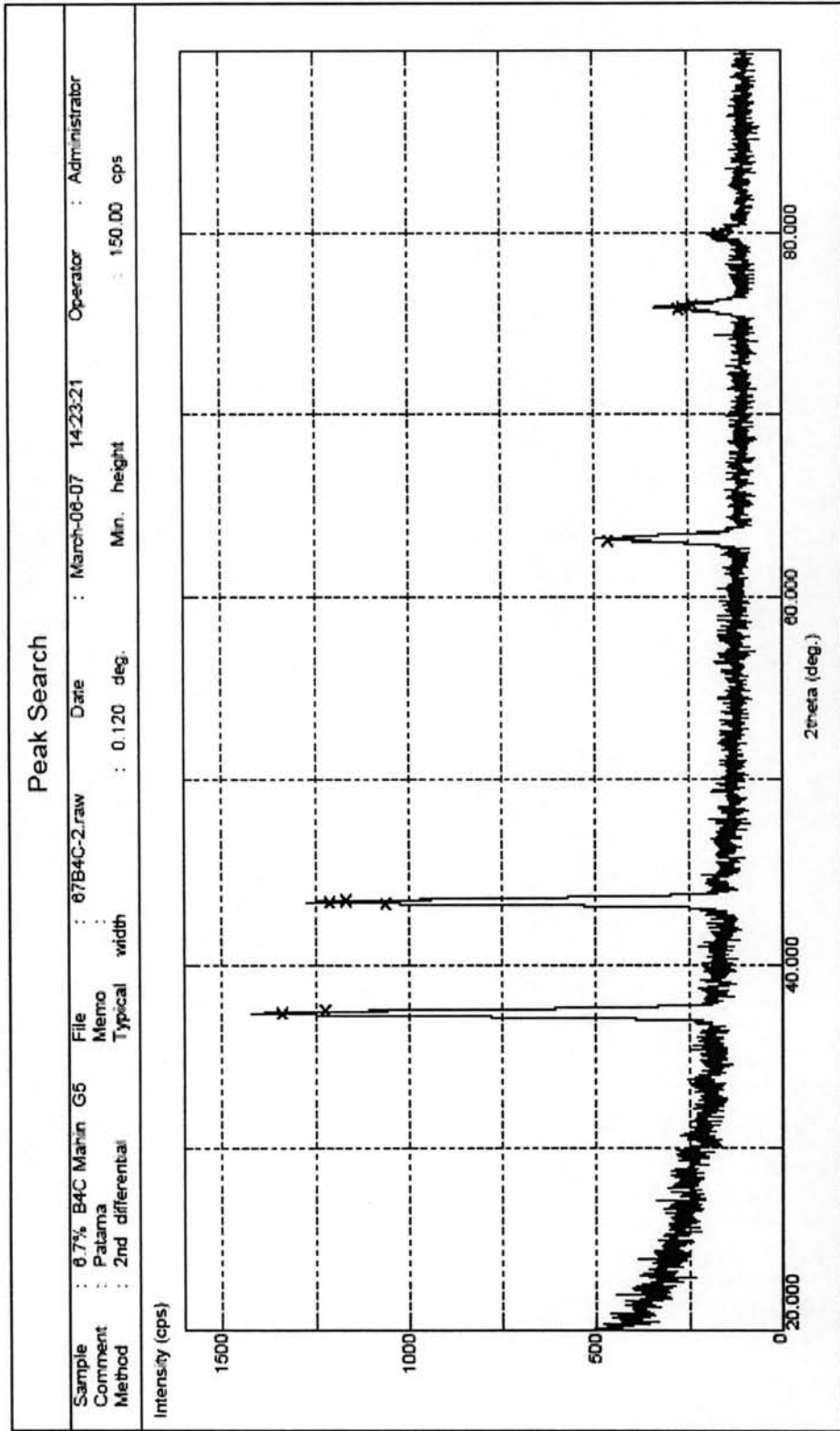
ตารางที่ ก.1 (ต่อ)ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณที่ได้จากการใช้ วานเดียมเพนทอกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก กับ โบรมอนคาร์ไบด์จำนวน 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ด้วย X-ray Diffractometer

Peak Search													
Sample	: 5% B4C Mahin G5	File	: 5B4C-2.raw	Date	: March-06-07 13:30:22	Operator	: Administrator						
Comment	: Palama	Memo	:										
Method	: 2nd differential	Typical width	:	: 0.120 deg.	Mn. height	:	: 150.00 cps						
Peak no.	2 θ meta	Flex	Width	d-value	Intensity	I/Io	Peak no.	2 θ meta	Flex	Width	d-value	Intensity	I/Io
1	37.420	****		2.4013	1163	100							
2	43.460	0.084		2.0605	1105	96							
3	63.280	0.071		1.4684	420	37							
4	75.940	0.118		1.2520	285	25							

ตารางที่ ค.2 ผลการตรวจวิเคราะห์ส่วนผสมงานที่ได้จากการใช้ วานเดียมเพนทอกไซด์จำนวน ๖0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก กับ โบรอนคาร์ไบด์จำนวน 6.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ด้วย X-ray Diffractometer

Raw data,Smoothing,Background subtraction,Ka2 elimination			
Sample Comment	: 6.7% B4C Mahin G5 Patama	File Memo	: 67B4C-2.raw
		Date	: March-06-07 14:23:21
		Operator	: Administrator
X-ray	: Cu / 40 kV / 40 mA	Counter	: Scintillation counter
Goniometer	: RINT2000 wide angle goniometer	Scan mode	: Continuous
Attachment	: Standard sample holder	Scan speed	: 3.000 deg./min.
Filter	: K-beta filter	Sampling width	: 0.020 deg.
I.Monochro	: Not used	Scan axis	: 2theta
C.Monochro	: Not used	Scan range	: 20.000 -> 90.000 deg.
DivSlit	: 1 deg.	Fixed angle	: 5.000 deg.
DivH.L.Slit	: 5mm		
ScitSlit	: 2 deg.		
RecSlit	: open		
[Smoothing	:] Smoothing Points	: 3	Peak min.height
[Background subtraction	:] Peak max. width	:	
[Ka2 elimination	:] Intensity ratio (Ka2/Ka1):	:	
Raw data Intensity (cps)			
Background subtraction			
Ka2 elimination			

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณที่ได้จากการใช้ านเคียมเพนทอกไซดจำนวน 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก กับ โบรอนคาร์ไบด์จำนวน 6.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ด้วย X-ray Diffractometer



ตารางที่ ค.2 (ต่อ) ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณที่ได้จากการใช้ วานเดียมเพนทอกไซด์จำนวน 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก กับ โบรอนคาร์ไบด์จำนวน 6.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ด้วย X-ray Diffractometer

Peak Search														
Sample	: 6.7% B4C Main	G5	File	: 87B4C-2.raw	Date	: March-08-07	14:23:21	Operator	: Administrator					
Comment	: Palama		Memo											
Method	: 2nd differential		Typical width											
Peak no.	2theta	Flex	Width	d-value	Intensity	I/Io	Peak no.	2theta	Min. height	Flex	Width	d-value	Intensity	I/Io
1	37.340		0.094	2.4042	1340	100								
2	37.460		0.071	2.3888	1225	92								
3	43.340		0.071	2.0860	1063	80								
4	43.420		0.071	2.0824	1213	91								
5	43.500		0.071	2.0787	1168	88								
6	63.060		0.071	1.4730	453	35								
7	75.740		0.071	1.2548	273	21								
8	75.860		0.071	1.2531	260	20								
9	75.880		0.071	1.2514	235	18								
10	79.900		*****	1.1896	168	13								

017171 0.3 Reference pattern: Vanadium Carbide (VC)

73-0476

Wavelength= 1.54060

C

VC

Vanadium Carbide

2θ	Int	h	k	l
37.367	991	1	1	1
43.418	989*	2	0	0
63.082	449	2	2	0
75.671	216	3	1	1
79.884	115	2	2	2

Rad.: CuK α λ : 1.54060 Filter: d-sp: Calculated
 Cut off: 17.7 Int.: Calculated I/Icor.: 3.90
 Ref: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)
 Ref: Nowotny, H., Kieffer, R., Metallforschung, 2, 257 (1947)

Sys.: Cubic S.G.: Fm $\bar{3}$ m (225)
 a: 4.165 b: c: A: C:
 α : β : γ : Z: 4 mp:

Ref: Ibid.

Dx: 5.787 Dm: ICSD #: 022263

Peak height intensity. Cl Na type. PSC: cF8. No R value given.
 At least one TF missing. Structural reference: Nowotny, H.,
 Kieffer, R., Metallforschung, 2, 257 (1947). Mwt: 62.95.
 Volume[CD]: 72.25.



2001 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved
 PCPDFWIN v. 2.2

ภาคผนวก ง

ตารางที่ ง.1 ส่วนผสมน้ำยากัดผิว

Hydrochloric Ferric Chloride	
HCl	5 drop
H ₂ O	100 ml.
FeCl ₃	5 ml.

ตารางที่ ง.2 คุณสมบัติของธาตุ

Element	Physical Properties	Molecular Weight (g/mol)	Density, ρ (kg/m ³)	Specific Gravity, S	Melting Point (°C)	Boiling Point (°C)
V		50.9415	6110	6.11	1910	3407
C		12.0107	2267	2.27	3527	4027
Fe		55.845	7874	7.87	1538	2861
Al		26.981538	2700	2.70	660.32	2519
Na		22.989770	968	0.97	97.72	883
B		10.811	2460	2.46	2076	3927
O		15.9994	-	-	-218.3	-182.9

ตารางที่ ง.3 คุณสมบัติของสารประกอบ

Physical Properties Compounds	Molecular Weight (g/mol)	Density, ρ (kg/m ³)	Specific Gravity, S)	Melting Point (°C)	Boiling Point (°C)	Composition (%)
V ₂ O ₅	181.88	3350	3.35	670	1800	V=56.02 O=43.98
V ₂ O ₃	149.88	4870	4.87	1970	-	V=67.98 O=32.02
Na ₂ O	61.98	2270	2.27	1132	Decomposes at 1950	Na=74.19 O=25.81
B ₂ O ₃	69.62	2550	2.55	450	2065	B=31.06 O=68.94
Fe-V	106.8	3695.31	3.70	-	-	V=52
B ₄ C	55.25	2520	2.51	2350	>3500	B=78.28 C=21.72
Al ₂ O ₃	101.96	4000	4.00	2054	3000	Al=52.93 O=47.07

ที่มา <http://www.webelements.com>

<http://www.stratcor.com>

<http://www.cdc.gov>

ตารางที่ 4.4 Thermodynamics Properties

Physical Properties Element, Compounds	ΔH_{298}° (kcal/mole)	S_{298}° (cal/deg·mole)	Melting Point ($^{\circ}\text{C}$)	Boiling Point ($^{\circ}\text{C}$)	Transformation Point ($^{\circ}\text{C}$)	ΔH_{trans} (kcal/mole)	$T_{\text{trans}} (^{\circ}\text{C})$
VC	-24.1 ± 0.8	6.61 ± 0.08	2345	-	-	-	-
$\text{V}_2\text{O}_5(\text{s})$	-370.6 ± 1.5	31.2 ± 0.4	670	1690	-	15.6 ± 0.4	670
$\text{V}_2\text{O}_3(\text{s})$	-291.3 ± 1.5	23.44 ± 0.3	2070	-	-	-	-
$\text{B}_2\text{O}_3(\text{s})$	-304.0 ± 0.5	12.9 ± 0.1	450	2065	-	5.3 ± 0.3	450
$\text{Al}_2\text{O}_3(\text{s})$	-400.9 ± 1.5	12.2 ± 0.1	2050	3000	1000	25.7	2051
Al (s)	0	6.77 ± 0.05	660	2520	-	2.5 ± 0.03	659
V (s)	0	6.92 ± 0.1	1902	3350	-	4.0 ± 0.6	1902
B (s)	0	1.4 ± 0.05	2180	3800	-	5.4	2180
$\text{B}_4\text{C}(\text{s})$	-17.1 ± 2.8	6.48 ± 0.04	2350	3500	-	-	-
$\text{O}_2(\text{g})$	0	49.0 ± 0.01	-219	-183	-250	0.106	-219

ตารางที่ 4.5 The constant-pressure molar heat capacities of various substances $\{CP = a + bT + cT^2 + dT^3 \text{ (cal/deg}\cdot\text{mole)}\}$

Substance	a	$b \times 10^{-3}$	$c \times 10^5$	$d \times 10^6$	Range (K)
VC	8.69	3.18	-1.7	-	298-2000
V ₂ O ₅ (s)	46.54	-3.90	-13.22	-	298-943(T _m)
V ₂ O ₅ (l)	45.6	-	-	-	943(T _m)-1500
V ₂ O ₃ (s)	29.35	4.76	-5.42	-	298-1800
B ₂ O ₃ (s)	13.63	17.45	-3.36	-	298-723(T _m)
B ₂ O ₃ (l)	30.5	-	-	-	723(T _m)-1800
B ₄ C(s)	22.99	5.40	-10.72	-	298-1373
Al ₂ O ₃ (s)	25.48	4.25	-6.82	-	298-1800
Al(s)	4.94	2.96	-	-	298-933(T _m)
Al(l)	7.6	-	-	-	933(T _m)-2400
V(s)	4.90	2.58	+0.2	-	298-2175(T _m)
B(s)	4.735	1.38	-2.20	-	298-1700
O ₂ (g)	7.16	1.0	-0.4	-	298-3000

ที่มา Metallurgical Thermochemistry by O. KUBASCHEWSKI and C.B. ALCOCK, Fifth Edition

ตารางที่ ง.6 ค่าความหยาบผิวที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 ก่อนและหลังเคลือบ VC

จำนวน ที่ทดสอบ	ตัวแปร			ตัวแปร		
	Ra (μm) ก่อนเคลือบ VC	Ramax (μm) ก่อนเคลือบ VC	Ry (μm) ก่อนเคลือบ VC	Ra (μm) หลังเคลือบ VC	Ramax (μm) หลังเคลือบ VC	Ry (μm) หลังเคลือบ VC
1	0.061	0.066	0.722	0.456	0.629	8.219
2	0.06	0.064	0.681	0.407	0.518	8.185
3	0.059	0.061	0.582	0.386	0.464	6.867
4	0.06	0.065	0.609	0.482	0.567	7.778
5	0.066	0.075	0.879	0.461	0.657	8.302
ค่าเฉลี่ย	0.0612	0.0662	0.6946	0.4384	0.567	7.8702
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.002775	0.005263	0.117202	0.040166	0.078984	0.596264

ตารางที่ ง.6(ต่อ) ค่าความหยาบผิวที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1200 ก่อนและหลังเคลือบ VC

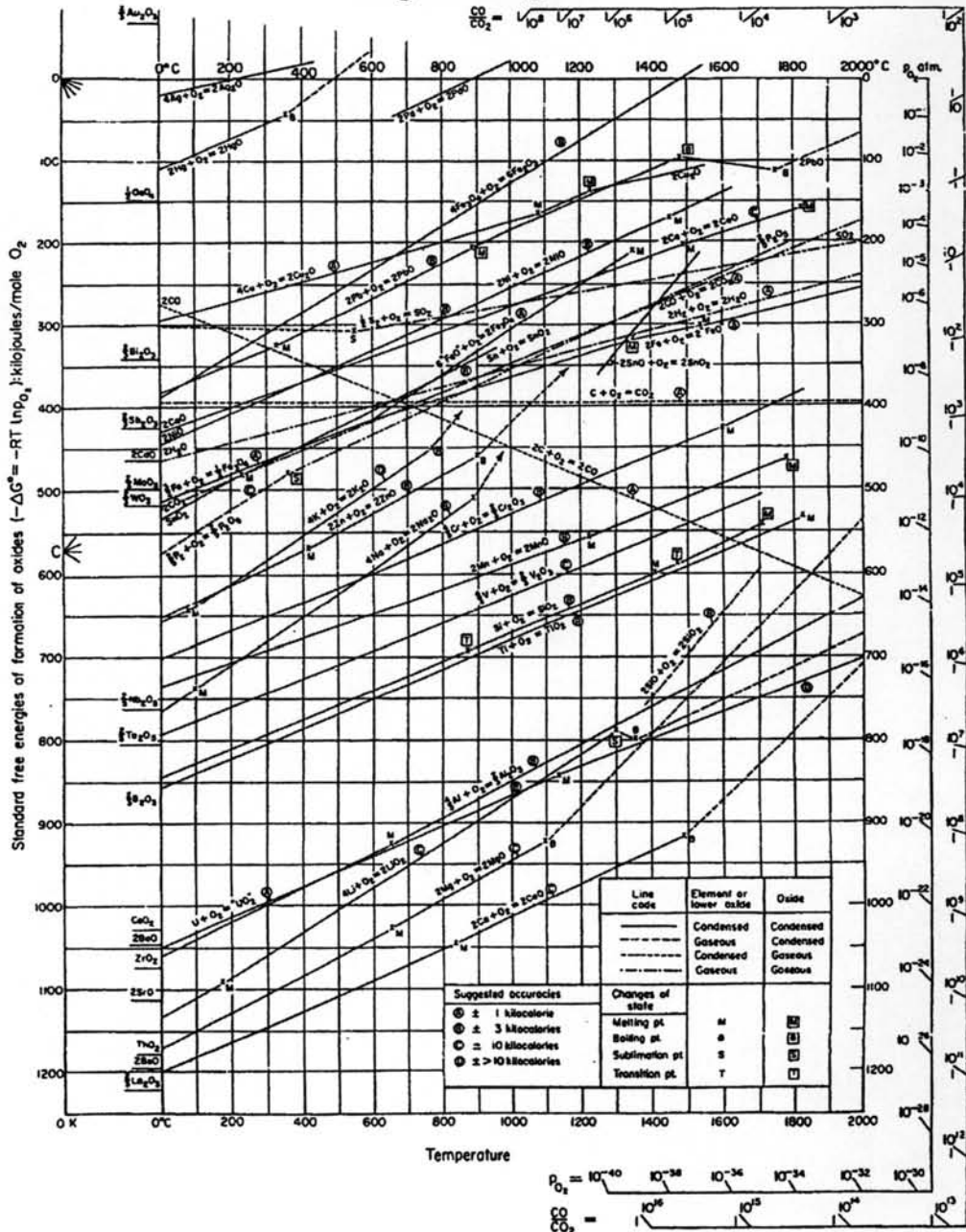
จำนวน ที่ทดสอบ	ตัวแปร			ตัวแปร		
	Ra (μm) ก่อนเคลือบ VC	Ramax (μm) ก่อนเคลือบ VC	Ry (μm) ก่อนเคลือบ VC	Ra (μm) หลังเคลือบ VC	Ramax (μm) หลังเคลือบ VC	Ry (μm) หลังเคลือบ VC
1	0.043	0.048	0.413	0.388	0.565	6.889
2	0.044	0.047	0.456	0.307	0.427	6.293
3	0.043	0.047	0.457	0.263	0.334	6.565
4	0.042	0.044	0.436	0.403	0.603	7.645
5	0.044	0.047	0.453	0.318	0.404	6.355
ค่าเฉลี่ย	0.0432	0.0466	0.443	0.3358	0.4666	6.7494
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.000837	0.001517	0.018802	0.058495	0.113311	0.552142

ตารางที่ ง.6(ต่อ) ค่าความหยาบผิวที่ขัดด้วยผงอะลูมินาขนาด 1 ไมครอน ก่อนและหลังเคลือบ VC

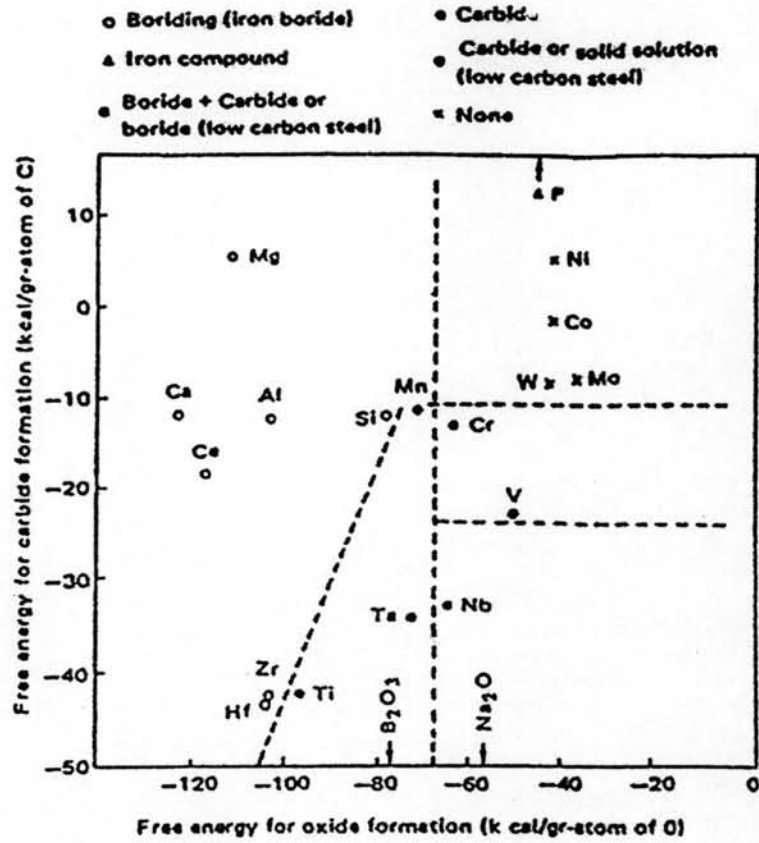
จำนวน ที่ทดสอบ	ตัวแปร	Ra (μm)	Ramax (μm)	Ry (μm)	Ra (μm)	Ramax (μm)	Ry (μm)
	ก่อนเคลือบ VC	ก่อนเคลือบ VC	ก่อนเคลือบ VC	หลังเคลือบ VC	หลังเคลือบ VC	หลังเคลือบ VC	
1		0.027	0.030	0.356	0.333	0.417	7.078
2		0.025	0.030	0.258	0.409	1.145	7.237
3		0.024	0.027	0.299	0.301	0.384	6.732
4		0.024	0.027	0.301	0.410	0.678	6.302
5		0.022	0.025	0.276	0.410	0.678	6.302
	ค่าเฉลี่ย	0.024	0.027	0.443	0.298	0.660	6.730
	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.001817	0.002168	0.018802	0.036939	0.304589	0.431429

ภาคผนวก จ

Ellingham Diagrams



รูปที่ จ.1 Ellingham diagrams



รูปที่ จ.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานอิสระของธาตุที่เกิดเป็นสารประกอบและชนิดของชั้นเคลือบ

Table 1 Shape and content of additives.

Additives	Shape of additives	Chemical composition	Additives content(wt%)
B ₄ C	powder	—	40
Ca-Si	powder	56.8% Si, 35.5% Ca	18.4
Ca-Al-Mn	powder	26.6% Ca, 41.7% Al, 29.4% Mn	30
Ca-Al-Mn-Si	powder	13.3% Ca, 40.2% Al, 30.7% Mn, 14.8% Si	30
La-Ce	granule	56.1% Ce, 35.1% La, 95.0% total RE	30
Mg	flake	>99.9%	17.6
Fe-Zr	powder	75~80% Zr + Hf	30
Al	granule	99.8% Al	27.8
Fe-Ti	powder	40~45% Ti	30
Fe-Si	powder	43.8% Si	30
Fe-V	powder	52% V	30
Fe-Nb	powder	59% Nb, 3.6% Ta	30
Fe-Mn	powder	75~80% Mn	30
Fe-Cr	powder	67% Cr	30
Zn	granule	99.99% Zn	29.9
Co	powder	>99%	30
Ni	powder	>99%	30
Cu	powder	>99%	30
SiC	powder	—	30
TiC	powder	—	30
TiN	powder	—	30
Si ₃ N ₄	powder	—	16.8
ZrO ₂	powder	—	30
Al ₂ O ₃	powder	—	30
SiO ₂	powder	—	30

รูปที่ จ.3 รูปร่างและปริมาณของสารที่เติมลงในบอแรกซ์หลอมเหลว

Table 2 Chemical species of the surface layer formed on S10C specimen and free energy change (ΔG) of borax-reducing reactions at 1000°C.

Additives	Layer thickness (μ)*	Layer structure*	Formula of B ₂ O ₃ reducing reaction	ΔG
B ₄ C	400	FeB + Fe ₂ B	—	—
Ca-Si	300	FeB + Fe ₂ B	} 2/3 B ₂ O ₃ + 2 Ca = 4/3 B + 2 CaO	-88
Ca-Al-Mn	270	FeB + Fe ₂ B		
Ca-Al-Mn-Si	300	FeB + Fe ₂ B	} 2/3 B ₂ O ₃ + 4/3 La = 4/3 B + 2/3 La ₂ O ₃	-80
La-Ce	230	FeB + Fe ₂ B		
Mg	140	Fe ₂ B	2/3 B ₂ O ₃ + 2 Mg = 4/3 B + 2 MgO	-66
Fe-Zr	170	FeB + Fe ₂ B	2/3 B ₂ O ₃ + Zr = 4/3 B + ZrO ₂	-50
Al	300	FeB + Fe ₂ B	2/3 B ₂ O ₃ + 4/3 Al = 4/3 B + 2/3 Al ₂ O ₃	-49
Fe-Ti	100	Fe ₂ B	2/3 B ₂ O ₃ + 2 Ti = 4/3 B + 2 TiO	-36
Fe-Si	270	FeB + Fe ₂ B	2/3 B ₂ O ₃ + Si = 4/3 B + SiO ₂	0
Fe-V	5	VC	2/3 B ₂ O ₃ + 4/3 V = 4/3 B + 2/3 V ₂ O ₃	+8
Fe-Nb	5	NbC	2/3 B ₂ O ₃ + 2 Nb = 4/3 B + 2 NbO	+10
Fe-Mn	160	Fe ₂ B	2/3 B ₂ O ₃ + 2 Mn = 4/3 B + 2 MnO	+14
Fe-Cr	20	Fe-Cr (s.s)	2/3 B ₂ O ₃ + 4/3 Cr = 4/3 B + 2/3 Cr ₂ O ₃	+28
Zn	—	—	2/3 B ₂ O ₃ + 2 Zn = 4/3 B + 2 ZnO	+54
Co	—	—	2/3 B ₂ O ₃ + 2 CO = 4/3 B + 2 CoO	+90
Ni	—	—	2/3 B ₂ O ₃ + 2 Ni = 4/3 B + 3 NiO	+90
Cu	—	—	2/3 B ₂ O ₃ + 4 Cu = 4/3 B + 2 Cu ₂ O	+118
SiC	—	—	2/3 B ₂ O ₃ + 2/3 SiC = 4/3 B + 2/3 SiO ₂ + 2/3 CO	+323
TiC	—	—	2/3 B ₂ O ₃ + TiC = 4/3 B + TiO + CO	+585
TiN	—	—	2/3 B ₂ O ₃ + 2 TiN = 4/3 B + 2 TiO + N ₂	+73
Si ₃ N ₄	—	—	2/3 B ₂ O ₃ + 1/3 Si ₃ N ₄ = 4/3 B + SiO ₂ + 2/3 N ₂	+267
ZrO ₂	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	—	—	—	—
SiO ₂	—	—	—	—

* 1000°C, 4 hr

รูปที่ จ.4 รูปแบบของการเกิดชั้นเคลือบและค่าพลังงานอิสระ

Table 5 Free energy change (ΔG) in reducing reactions of oxides by additive elements, at 1000°C.

Additives	Oxidized form	ΔG (kcal/g-atm of oxygen)				
		V ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	B ₂ O ₃	Na ₂ O
Ca	CaO	-68	-56	-59	-44	-69
La	La ₂ O ₃	-64	-52	-55	-40	-65
Mg	MgO	-57	-45	-48	-33	-58
Zr	ZrO ₂	-49	-37	-40	-25	-50
Al	Al ₂ O ₃	-48	-36	-39	-24	-49
Ti	TiO ₂	-42	-30	-33	-18	-43
Si	SiO ₂	-24	-12	-15	0	-25
Mn	MnO	-17	-5	-8	+7	-18
Ni	NiO	+20	+32	+29	+45	+19
Cu	Cu ₂ O	+35	+47	+44	+59	+34
V	V ₂ O ₃	—	—	—	+3	-23
Nb	NbO	—	—	—	+4	-22
Cr	Cr ₂ O ₃	—	—	—	+14	-12

รูปที่ จ.5 ค่าพลังงานอิสระในการรีดิวซ์ออกไซด์โดยการเติมธาตุลงในบอแรกซ์หลอมเหลวที่

อุณหภูมิ 1000°C

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

เรือเอก มหินทร์ ชัยฤทธิ์ เกิดวันพุธที่ 29 ธันวาคม พ.ศ. 2519 ที่จังหวัดเพชรบุรี เข้าศึกษาที่โรงเรียนเตรียมทหารเมื่อปี พ.ศ. 2537 เริ่มศึกษาในระดับอุดมศึกษาที่กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรือฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ เมื่อปี พ.ศ. 2539 และ สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล เมื่อปี พ.ศ. 2544 จากนั้นจึงเข้ารับราชการทหารเรือในตำแหน่งนายทหารช่างกล ประจำเรือหลวงเทพา,เรือหลวงกันตัง,เรือหลวงมกุฎราชกุมารและ ต้นกลเรือ ต.81 กองเรือตรวจอ่าว กองเรือยุทธการ กองทัพเรือ ก่อนเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2547