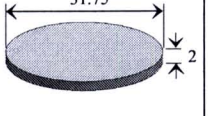
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

การทดสอบในครั้งนี้ทำการทดสอบโดยใช้ Soap aluminum fluoride (AlF-soap) เป็นสารหล่อลื่นโดยทำการเปรียบเทียบกับสารหล่อลื่นที่นิยมใช้ในกระบวนการทุบขึ้นรูปเย็น (Cold forging) คือ Soap phosphate coating (PO_4-soap) [9] ซึ่งทำการแบ่งตัวแปรของสารหล่อลื่นออกเป็น Condition ต่างๆ ดังตารางที่ 4.1 และ 4.3 โดยได้ทำการวัดน้ำหนักของสารหล่อลื่นในแต่ละชั้น (Coating weight) ก่อนทำการทดสอบเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งการหา Coating weight นั้นสามารถทำได้โดยการลอกชั้นของสารหล่อลื่นออกทีละชั้นจนครบ 3 ชั้น โดยการใช้สารเคมีกัดสารหล่อลื่นออกไป เมื่อเราชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการกัดด้วยสารเคมีก็จะได้น้ำหนักของสารหล่อลื่นในแต่ละชั้นออกมา [23, บริษัทไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัด] จากนั้นก็นำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์ผลต่อไป โดยทำการแสดงผลและวิเคราะห์ผลแยกเป็นหัวข้อต่างๆดังต่อไปนี้

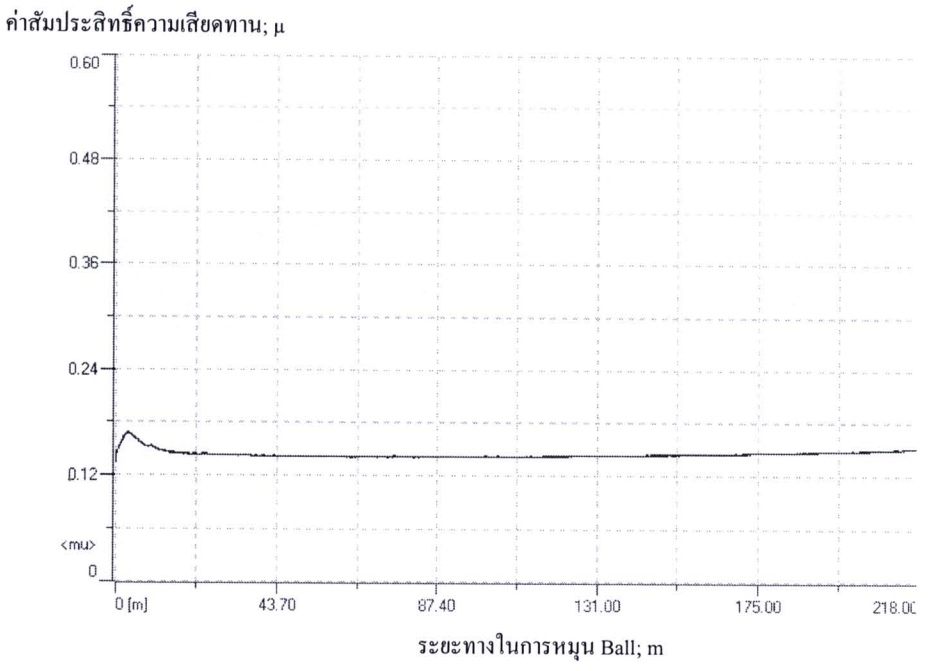
ตารางที่ 4.1 Condition ของสารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดสอบ Ball on disc

Testing specimen	Conditions		Coating weight; g/m^2			
			Soap layer	Metal soap layer	Cryolite layer	Total layer
 Ball on disc test	Soap aluminum fluoride	A_1	11.19	1.40	1.79	14.38
		A_2	7.48	1.53	0.93	9.94
		A_3	10.94	1.94	1.67	14.55
		A_4	12.40	5.23	9.19	26.81
		A_5	12.08	6.72	9.84	28.63
	Soap phosphate		5.45	0.80	1.49	7.74

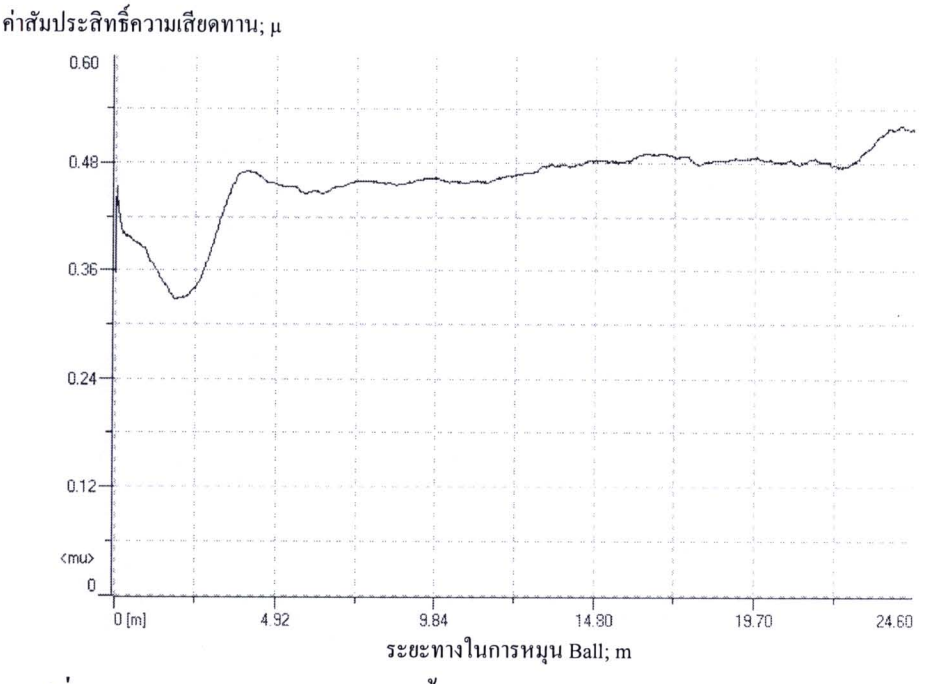
4.1 การตรวจสอบจำนวนชั้นของสารหล่อลื่น

4.1.1 Soap aluminum fluoride coating

ในการเคลือบสารหล่อลื่นด้วย AlF-soap จะเกิดชั้นของสารหล่อลื่นทั้งหมด 3 ชั้นคือ ชั้นของ Soap, Metal soap และ Cryolite (ALBOND-A) ซึ่งในแต่ละชั้นจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่แตกต่างกันไป จากรูปที่ 4.1 เป็นผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของชั้น Metal soap ของ AlF-soap ที่ได้มาจากการลอกชั้นของ Soap ออกไปของการทดสอบ Ball on disc

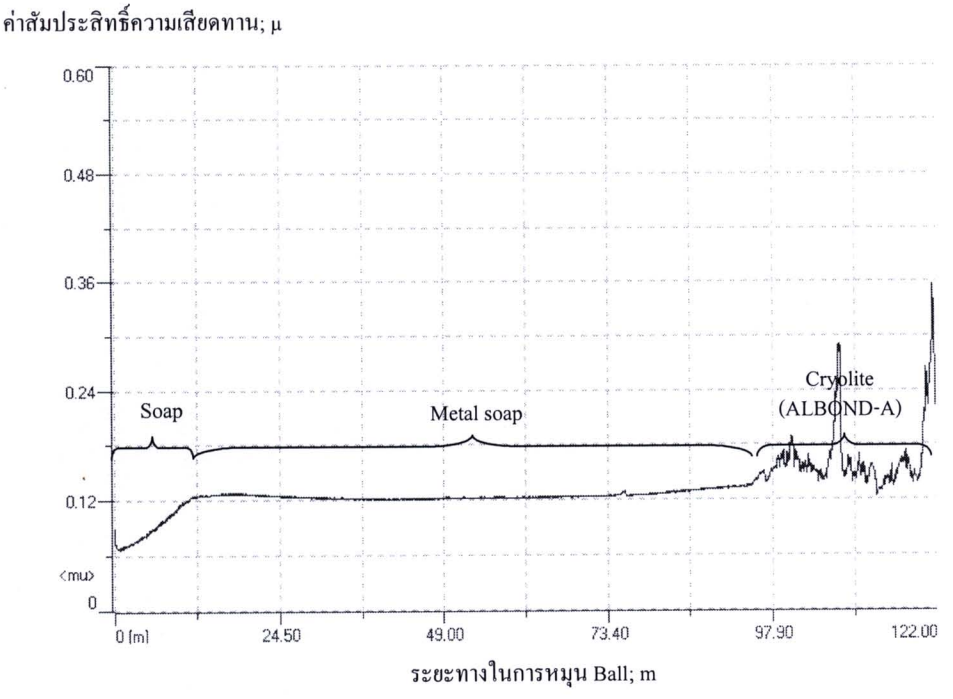


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลการทดสอบชั้น Metal soap ของ AlF-soap จากเครื่องไตรโบมิเตอร์ ที่ Normal Load 10 N และ Linear speed 10 cm/s

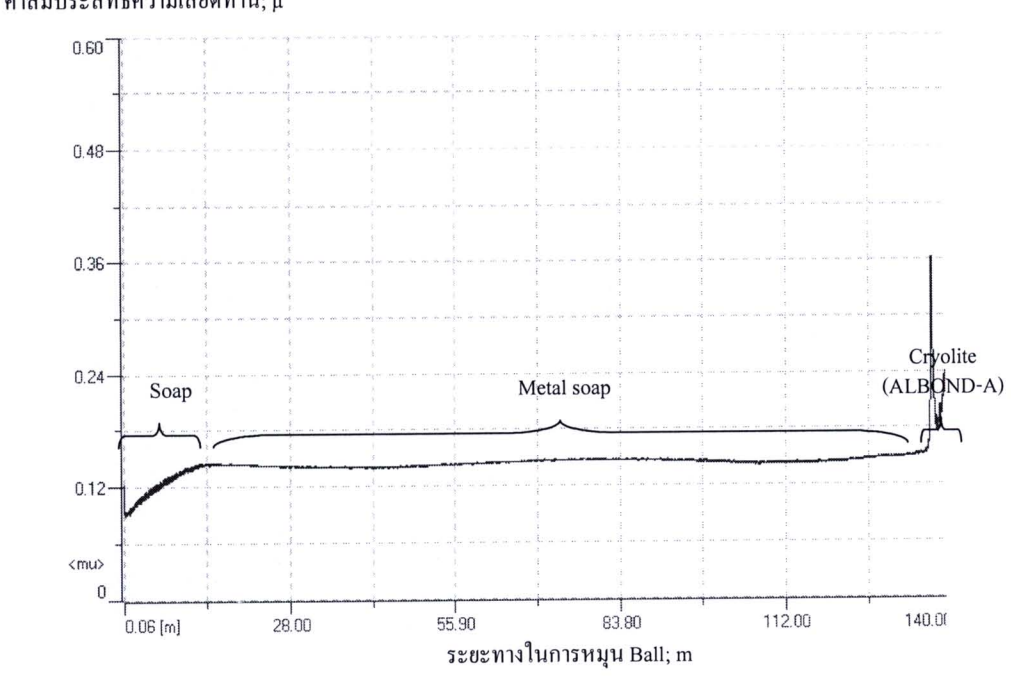


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการทดสอบชั้น Cryolite (ALBOND-A) ของ AlF-soap จากเครื่องไตรโบมิเตอร์ที่ Normal Load 10 N และ Linear speed 10 cm/s

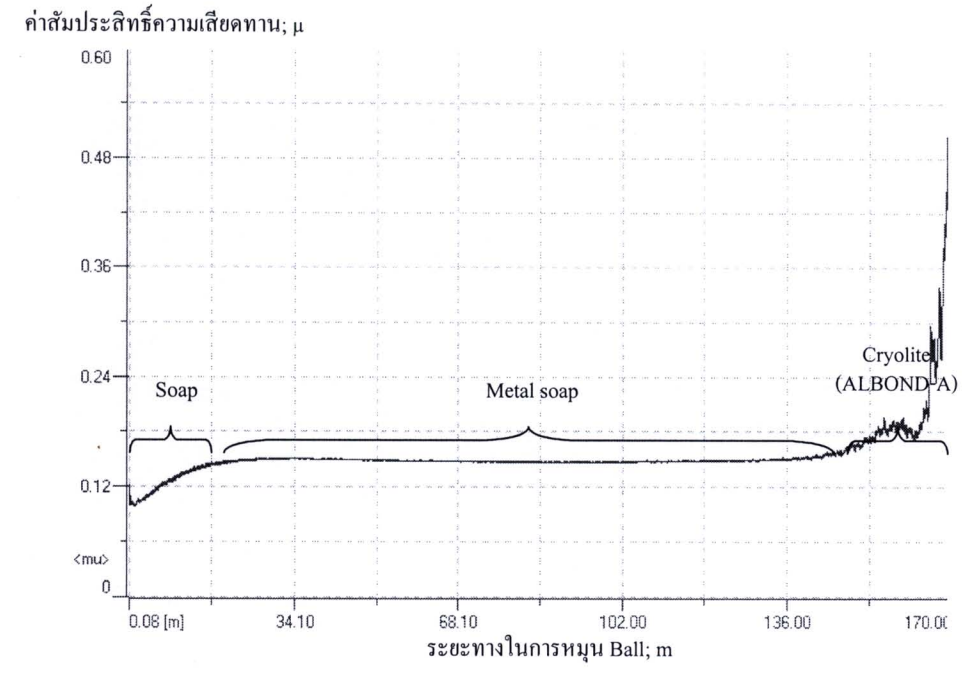
และจากรูปที่ 4.2 เป็นผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของชั้น Cryolite (ALBOND-A) ของ AlF-soap ที่ได้มาจากการลอกชั้นของ Soap และ Metal soap ออกไป ของการทดสอบ Ball on disc



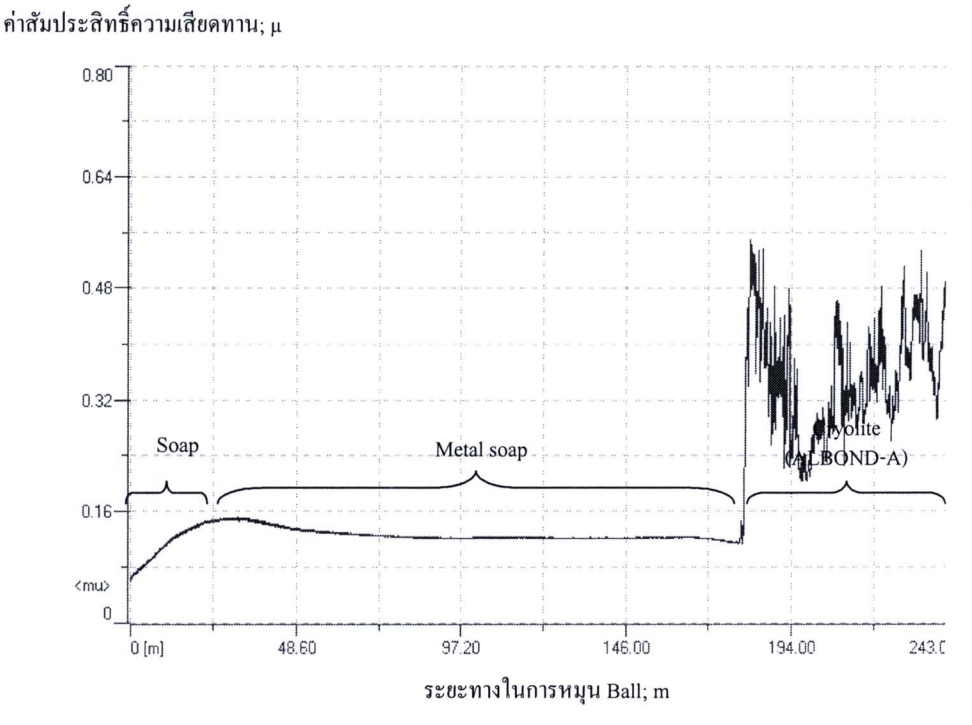
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการทดสอบสารหล่อลื่น AlF-soap; A_1 จากเครื่องไตรโบมิเตอร์ ที่ Normal Load 10 N และ Linear speed 10 cm/s



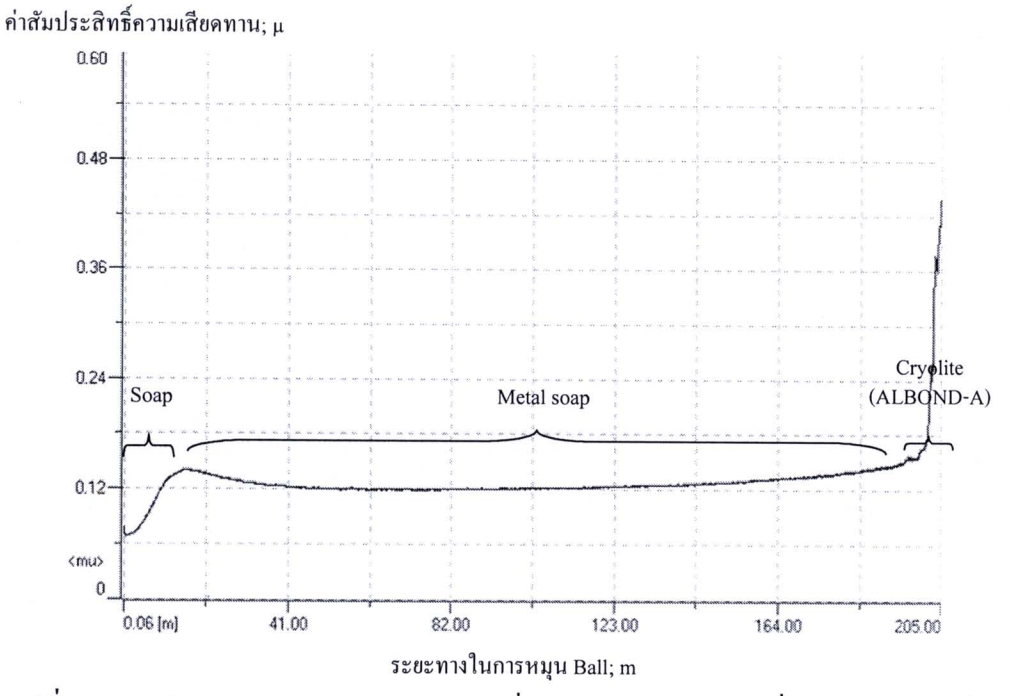
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลการทดสอบสารหล่อลื่น AlF-soap; A_2 จากเครื่องไตรโบมิเตอร์ ที่ Normal Load 10 N และ Linear speed 10 cm/s



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการทดสอบสารหล่อลื่น AlF-soap; A_3 จากเครื่องไตรโบมิเตอร์ ที่ Normal Load 10 N และ Linear speed 10 cm/s



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลการทดสอบสารหล่อลื่น AlF-soap; A_4 จากเครื่องไตรโบมิเตอร์ ที่ Normal Load 10 N และ Linear speed 10 cm/s



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการทดสอบสารหล่อลื่น AlF-soap; A_5 จากเครื่องไตรโบมิเตอร์ ที่ Normal Load 10 N และ Linear speed 10 cm/s

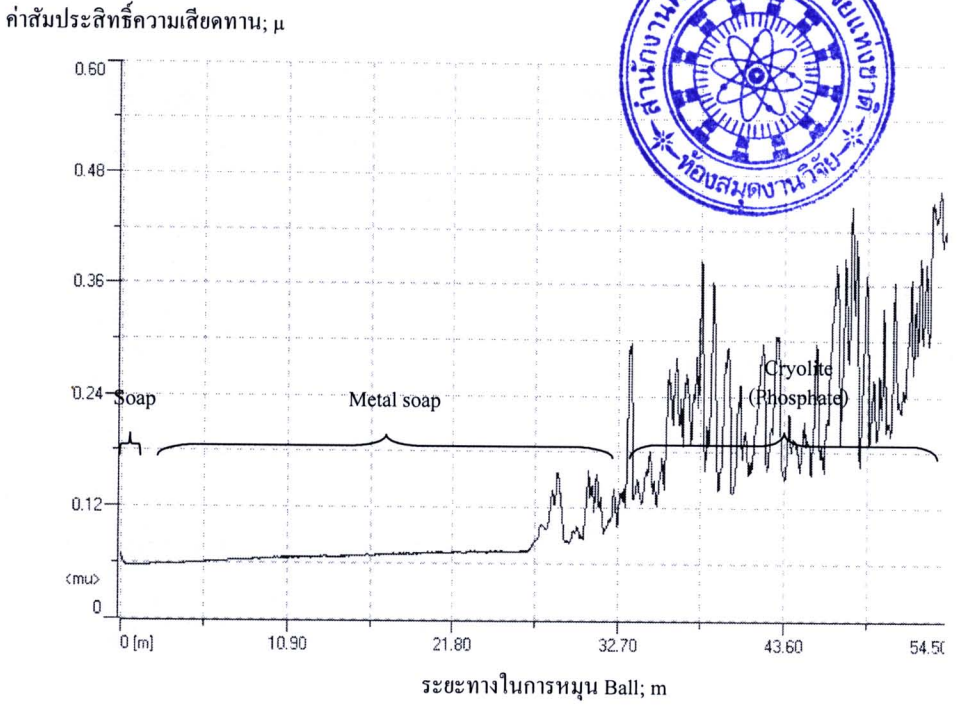
จากรูปที่ 4.3-4.7 เป็นผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสารหล่อลื่นแบบปกติที่ได้จากการทดสอบ Ball on disc ในแต่ละชั้นของ AlF-soap นั้นจะสามารถแยกออกได้เป็น 3 ชั้นอย่างชัดเจน คือ ชั้นของ Soap, Metal soap และ Cryolite (ALBOND-A) ซึ่งตรงกับจำนวนชั้นของการเคลือบสารหล่อลื่นด้วย AlF-soap ในบทที่ 2 โดยชั้นต่างๆนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานแตกต่างกันดังนี้คือ

-Soap : ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานอยู่ในช่วง 0.08-0.12 ซึ่งเป็นช่วงแรกของกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 4.3-4.7

-Metal soap : ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานอยู่ในช่วง 0.13-0.16 ซึ่งเป็นช่วงของกราฟที่คงที่ดังแสดงในรูปที่ 4.3-4.7 โดยสามารถยืนยันผลการทดสอบได้ดังรูปที่ 4.1

-Cryolite (ALBOND-A) : ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานคือ 0.16 ขึ้นไป ซึ่งเป็นช่วงสุดท้ายของกราฟที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงดังแสดงในรูปที่ 4.3-4.7 ซึ่งสามารถยืนยันผลการทดสอบได้ดังรูปที่ 4.2

4.1.2 Soap phosphate coating



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการทดสอบสารหล่อลื่น PO_4-soap จากเครื่องไตรโบมิเตอร์ ที่ Normal Load 10 N และ Linear speed 10 cm/s

ในการเคลือบสารหล่อลื่นด้วย PO_4-soap จะเกิดชั้นของสารหล่อลื่นทั้งหมด 3 ชั้นเช่นเดียวกับ AlF-soap คือ ชั้นของ Soap, Metal soap และ Cryolite (Phosphate) ซึ่งในแต่ละชั้นนั้นจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่แตกต่างกันไปคือ

-Soap และ Metal soap: ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานใกล้เคียงกันมากอยู่ในช่วง 0.06-0.08

-Cryolite (Phosphate): ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานอยู่ในช่วง 0.09 ขึ้นไป

จากตารางที่ 4.2 เป็นตารางแสดงค่าต่างๆที่นำมาทำเป็นกราฟดังรูปที่ 4.9 ซึ่งเป็นระยะทางในการหมุนทดสอบ Ball on disc จะเห็นได้ว่าระยะทางในการหมุน Ball on disc ของชั้น Metal soap ของ AlF-soap นั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ Coating weight ของชั้น Metal soap เพิ่มมากขึ้น ส่วนปริมาณ Coating weight ของชั้น Soap นั้นยังไม่สามารถสรุปได้ โดยเมื่อปริมาณ Coating weight ของชั้น soap เพิ่มมากขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานก็ยังมีค่าที่ใกล้เคียงกันเสมอไม่เปลี่ยนแปลง สำหรับระยะทางในการหมุนทดสอบ Ball on disc ของ PO_4-soap นั้นน้อยมากทั้งในชั้นของ Soap และ ชั้นของ Metal soap

ตารางที่ 4.2 แสดงระยะทางในการหมุนทดสอบ Ball on disc ที่ได้จากสารหล่อลื่น

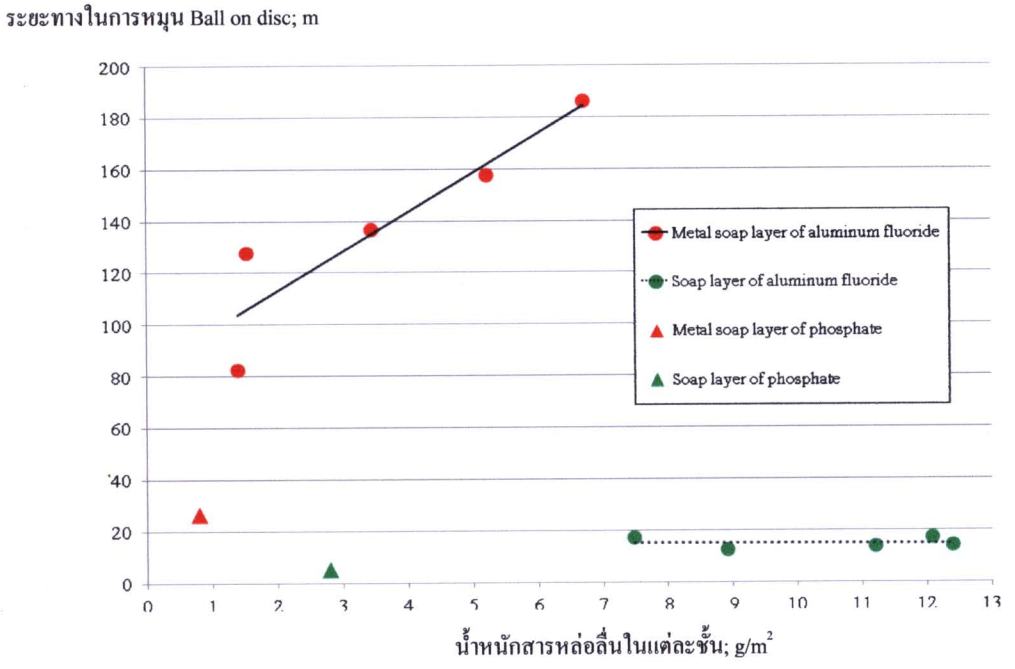
Condition of testing		Coating weight; g/m^2		ระยะทางในการหมุน Ball; m	
		Soap layer	Metal soap layer	Soap layer	Metal Soap layer
Soap aluminum fluoride	A_1	11.19	1.40	13.67	82.59
	A_2	7.48	1.53	17.20	127.50
	A_3	10.94	1.94	12.25	136.67
	A_4	12.40	5.23	14.00	157.70
	A_5	12.08	6.72	17.05	186.21
Soap phosphate		5.30	0.80	2.80	26.34

4.2 วิเคราะห์ชั้นของสารหล่อลื่นที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

จากการทดสอบด้วยวิธี Ball on disc (ดูรายละเอียดจากรูปที่ 4.3-4.7) จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ AlF-soap นั้นแบ่งออกเป็น 3 ช่วงคือ ช่วงของ Soap, Metal soap และ Cryolite (ALBOND-A) โดยชั้นของ Soap และ Metal soap นั้นจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ (ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Soap อยู่ในช่วง 0.08-0.12 และชั้นของ Metal soap อยู่ช่วง 0.13-0.16) ส่วนชั้นของ Cryolite (ALBOND-A) นั้นจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงมาก ดังนั้นชั้นของสารหล่อลื่นที่ช่วยในการหล่อลื่นคือ ชั้นของ Soap และ Metal soap

ในกรณีของ PO_4-soap นั้น ชั้นของ Cryolite (Phosphate) มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงมาก ส่วนชั้นของ Soap และ Metal soap นั้นมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำและใกล้เคียงกันคือ 0.06-0.08 ดังรูปที่ 4.8 ดังนั้นชั้นของสารหล่อลื่นที่ช่วยในการหล่อลื่นของ PO_4-soap คือ Soap และ Metal soap เช่นเดียวกับ AlF-soap

จากรูปที่ 4.9 เป็นกราฟแสดงระยะทางในการหมุนทดสอบ Ball on disc ที่ได้จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าชั้นของ Soap นั้นแม้ว่าปริมาณของ Coating weight สูงแต่ระยะทางในการหมุนของ Ball on disc นั้นทำได้เพียงเล็กน้อยและคงที่ไม่ว่าปริมาณ Coating weight ของ Soap จะเพิ่มขึ้นเท่าใดก็ตาม เมื่อเทียบกับปริมาณ Coating weight ของชั้น Metal soap แล้วมีเพียงเล็กน้อยแต่ระยะทางในการหมุน Ball on disc มาก และเมื่อปริมาณ Coating weight ของชั้น Metal soap เพิ่มขึ้น ระยะทางในการหมุน Ball on disc ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจึงนำปริมาณ Coating weight ของชั้น Metal soap เพียงชั้นเดียวในการวิเคราะห์ร่วมกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้จากการทดสอบ Double cup extrusion test และ Ring compression test

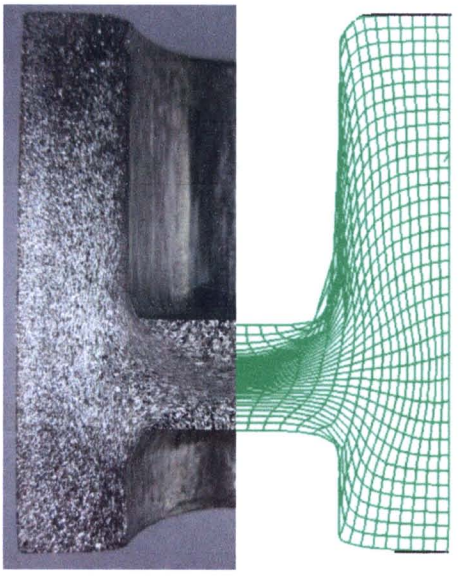


รูปที่ 4.9 แสดงระยะทางในการหมุน Ball on disc ของชั้น Soap และ Metal soap

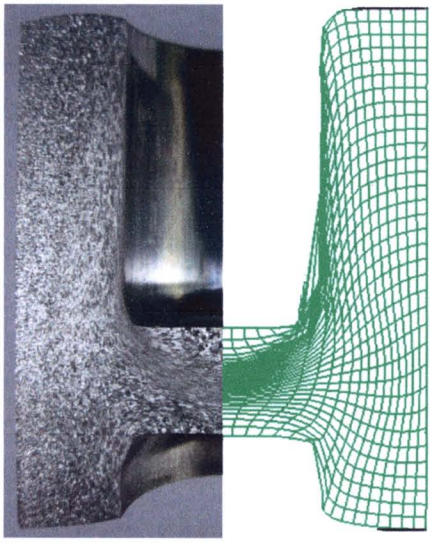
4.3 วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการทดสอบ

ในการทดสอบ Double cup extrusion test และ Ring compression test นั้นต้องมีการจำลองการขึ้นรูปด้วย Finite Element Simulation เพื่อจัดทำ Calibration curve และช่วยในการวิเคราะห์ค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบ ดังนั้นจึงต้องมีการยืนยันความน่าเชื่อถือของการจำลองการขึ้นรูปด้วย Finite Element Simulation ซึ่งการยืนยันความน่าเชื่อถือของการจำลองการขึ้นรูปด้วย Finite Element Simulation นี้ได้ทำโดยการเปรียบเทียบการไหลตัวของเนื้อวัสดุที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูปด้วย Finite Element Simulation กับการไหลตัวของเนื้อวัสดุหลังการทดสอบ Double cup extrusion test ดังรูปที่ 4.10

จากรูปที่ 4.10 เป็นการเปรียบเทียบการไหลตัวของเนื้อวัสดุที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูปด้วย Finite Element Simulation ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.0555 และ 0.132 กับการไหลตัวของเนื้อวัสดุหลังการทดสอบ Double cup extrusion test แบบใช้สารหล่อลื่นและไม่ใช้สารหล่อลื่นตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการจำลองการขึ้นรูปด้วย Finite Element Simulation กับการทดสอบจริงมีอัตราส่วนระหว่างความสูงของถ้วยด้านบนกับความสูงของถ้วยด้านล่าง (H_1/H_2) ที่ใกล้เคียงกันและตรงตามทฤษฎีในบทที่ 2 คือเมื่อการขึ้นรูปมีความเสียดทานสูง (ไม่ใช้สารหล่อลื่น) จะทำให้อัตราส่วนระหว่าง H_1/H_2 มีค่ามาก อีกทั้งเมื่อดูจากความหนาแน่นของรอยที่เกิดจากการไหลตัวของเนื้อวัสดุ (บริเวณส่วนกลางของตัว H) จะเห็นได้ว่าการขึ้นรูปที่มีความเสียดทานน้อย (ใช้สารหล่อลื่น) จะมีความหนาแน่นของการไหลตัวของเนื้อวัสดุที่น้อยกว่าการขึ้นรูปที่มีความเสียดทานมาก ซึ่งก็สอดคล้องกันทั้งจากการจำลองการขึ้นรูปด้วย Finite Element Simulation และการทดสอบจริง



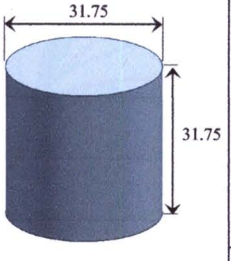
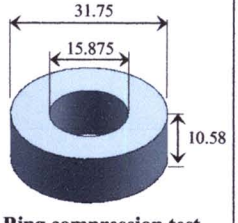
ก.) การทดสอบกรณีที่ใช้สารหล่อลื่นและการจำลอง FEM ที่มี μ เท่ากับ 0.0555



ข.) การทดสอบกรณีที่ไม่ใช้สารหล่อลื่นและการจำลอง FEM ที่มี μ เท่ากับ 0.1320

รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบการไหลตัวของเนื้อวัสดุที่ได้จากการจำลอง FEM กับการไหลตัวของวัสดุหลังการขึ้นรูปของการทดสอบ Double cup extrusion test

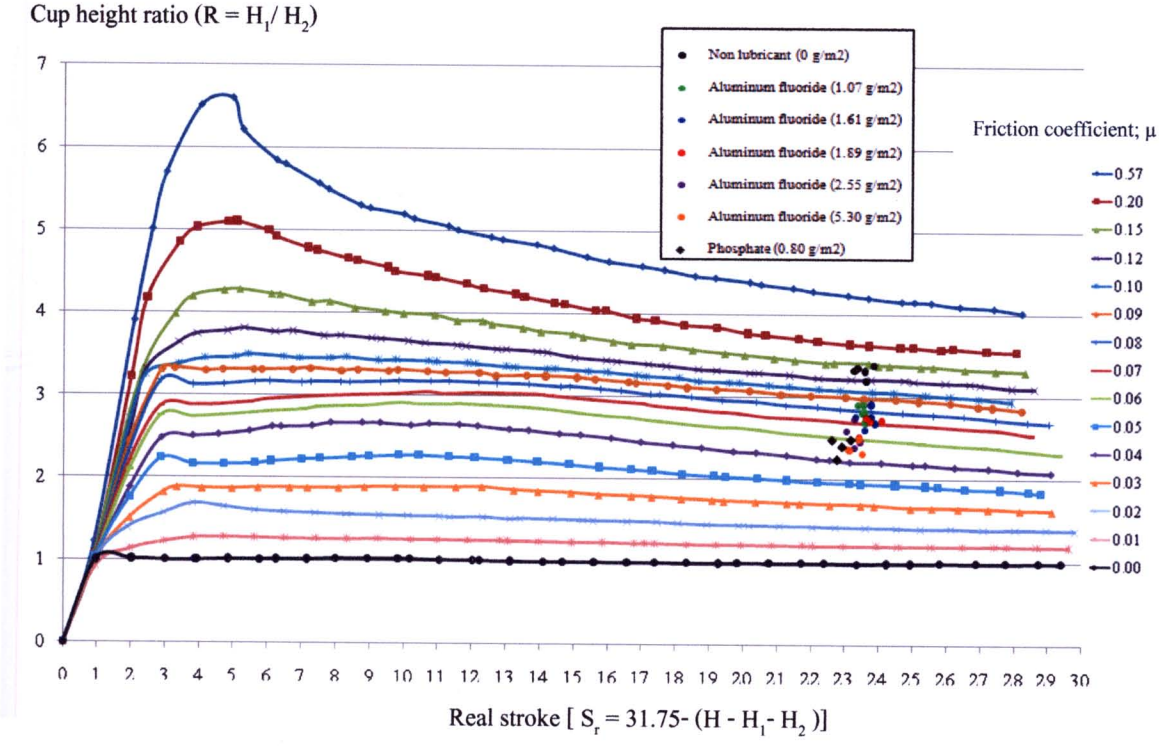
ตารางที่ 4.3 Condition ของสารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดสอบ Double cup extrusion test และ Ring compression test

Testing specimen	Conditions		Coating weight; g/m^2			
			Soap layer	Metal soap layer	Cryolite layer	Total layer
 **Double cup extrusion test**	Soap aluminum fluoride	A_1	12.26	1.07	3.15	16.48
		A_2	9.63	1.61	1.23	12.47
		A_3	7.52	1.89	1.24	10.65
		A_4	12.60	2.55	4.08	19.22
		A_5	13.00	5.30	4.69	23.00
	Soap phosphate		5.45	0.80	1.49	7.74
 **Ring compression test**	Soap aluminum fluoride	A_1	13.08	0.88	1.56	15.52
		A_2	12.30	1.71	6.39	20.40
		A_3	13.08	1.80	5.29	20.17
		A_4	6.86	2.07	1.19	10.12
		A_5	10.23	5.92	3.94	20.09
	Soap phosphate		5.11	0.73	1.40	7.24

การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานนั้นได้ทำการทดสอบทั้งหมด 2 วิธีคือ Double cup extrusion test และ Ring compression test โดยทำการทดสอบโดยใช้ AlF-soap เป็นสารหล่อลื่น เปรียบเทียบกับการใช้ PO_4-soap เป็นสารหล่อลื่น และการทดสอบโดยไม่ใช้สารหล่อลื่น ดังตารางที่ 4.3 โดยทำการทดสอบซ้ำ Condition ละ 5 ครั้งดังต่อไปนี้

4.3.1 ผลการทดสอบ Double cup extrusion test

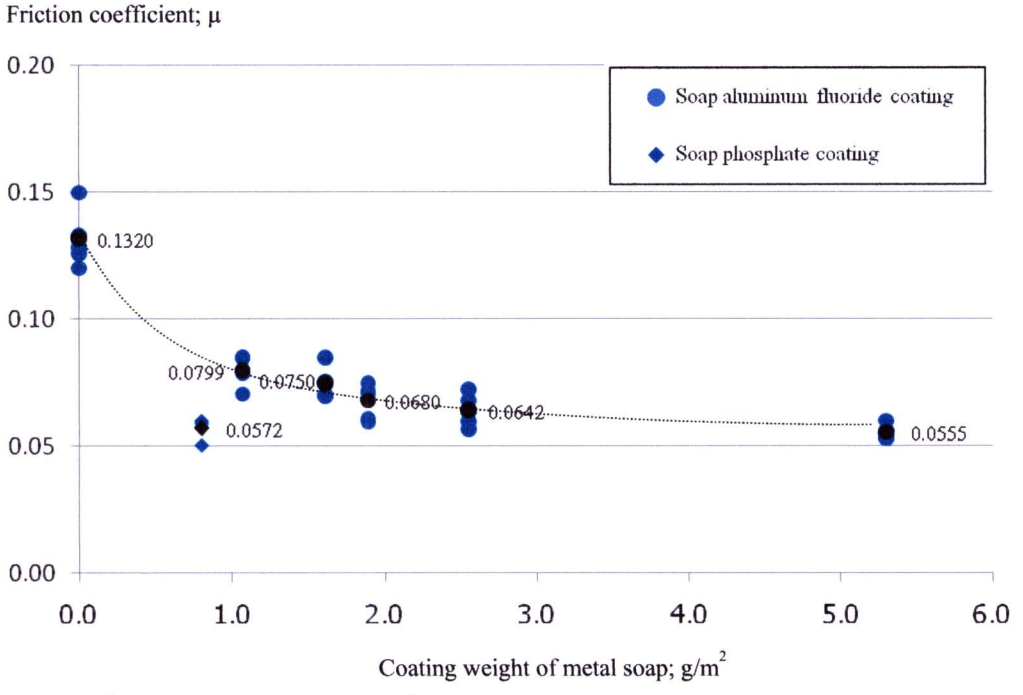
การทดสอบ Double cup extrusion test นั้นต้องมีการทำ Calibration curve ของวัสดุอลูมิเนียมเกรด AA6063 เพื่อใช้สำหรับการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในการทดสอบ ด้วยการจำลองการขึ้นรูปด้วย Finite Element Simulation สำหรับการทดสอบ Double cup extrusion test ขึ้นมาแล้วจัดทำเป็น Calibration curve จากนั้นจึงนำค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบจริงมาพล็อตลง Calibration curve ที่จัดทำขึ้น ดังแสดงในรูป 4.11 เพื่อหาเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้จากการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.11 แสดงค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบมาพล็อตลงบนกราฟ Calibration curve ของ Double cup extrusion test สำหรับวัสดุอลูมิเนียมเกรด AA6063

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการทดสอบด้วยวิธี Double cup extrusion test ที่ได้จาก Calibration curve

Lubricant	Coating weight of metal soap (g/m^2)	The friction coefficient of Double cup extrusion test; μ					
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	Average
Non- lubricant	0.00	0.1500	0.1200	0.1260	0.1285	0.1330	0.1320
Soap aluminum fluoride coating	1.07	0.0850	0.0850	0.0798	0.0789	0.0707	0.0799
	1.61	0.0700	0.0701	0.0746	0.0757	0.0850	0.0750
	1.89	0.0596	0.0609	0.0750	0.0710	0.0720	0.0680
	2.55	0.0725	0.0682	0.0639	0.0597	0.0568	0.0642
	5.30	0.0600	0.0560	0.0550	0.0538	0.0529	0.0555
Soap phosphate coating	0.80	0.0505	0.0570	0.0590	0.0597	0.0600	0.0572



รูปที่ 4.12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้จาก Calibration curve ของการทดสอบ Double cup extrusion test

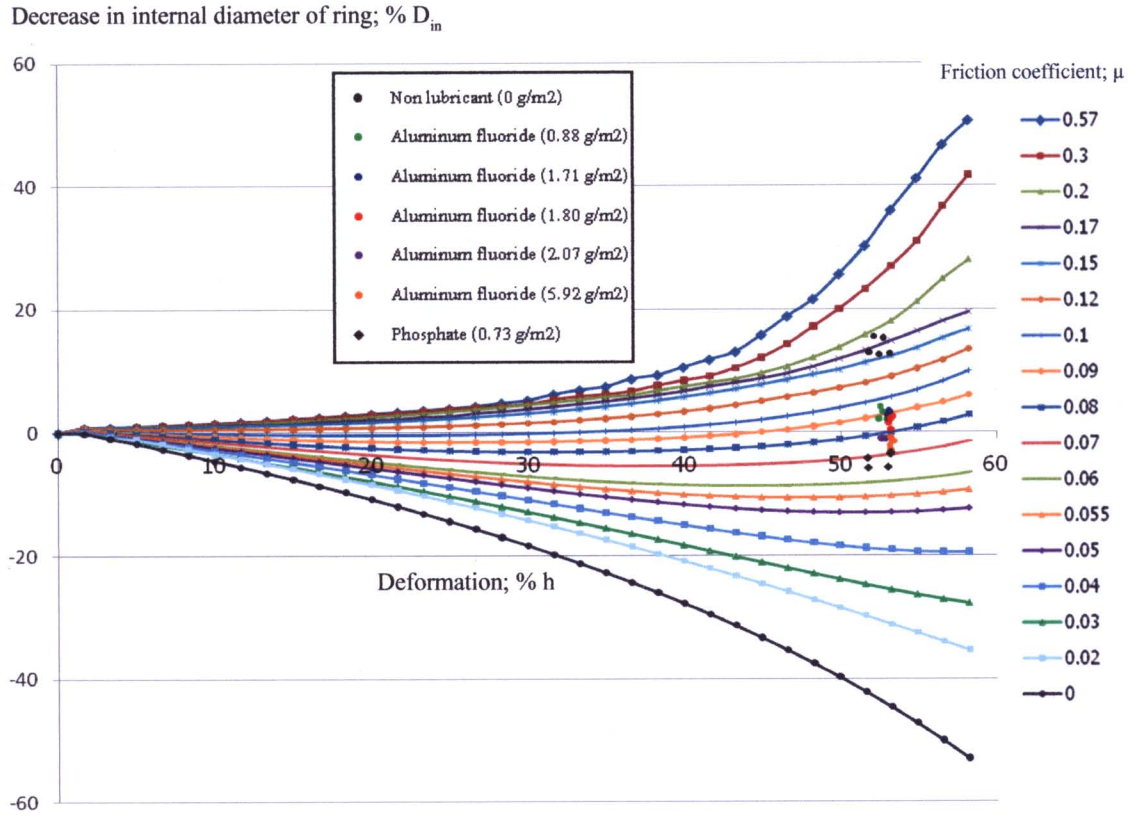
จากรูปที่ 4.12 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้จากการทดสอบ Double cup extrusion test จะเห็นได้ว่าการทดสอบแบบไม่ใช้สารหล่อลื่นนั้นจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงที่สุดคือ 0.1320 และเมื่อใช้ AlF-soap เป็นสารหล่อลื่นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานก็จะลดลงมาตามปริมาณ Coating

weight ของชั้น Metal soap คือในกรณีที่มีปริมาณ Coating weight ของชั้น Metal soap น้อยที่สุด (1.07 g/m^2) ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะสูง (μ=0.0799) ถ้า Coating weight ของชั้น Metal soap มาก (5.30 g/m^2) ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะต่ำ (μ=0.0555) แต่เมื่อพิจารณาแนวโน้มของกราฟแล้วจะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณ Coating weight ของชั้น Metal soap มากเกินความจำเป็นก็ไม่ได้ช่วยให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานลดลงตาม (มีแนวโน้มที่จะคงที่) ดังนั้นปริมาณ Coating weight ของชั้น Metal soap อยู่ที่ประมาณ 2 g/m^2 ก็เพียงพอสำหรับการทดสอบในครั้งนี้

ส่วนในกรณีของการใช้ PO_4-soap เป็นสารหล่อลื่นนั้น แม้ว่าปริมาณ Coating weight ของชั้น Metal soap จะน้อยกว่าในการใช้ AlF-soap เป็นสารหล่อลื่น แต่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานนั้นก็ต่ำกว่ามาก (μ=0.0572) ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับการทดสอบ Ball on disc คือชั้น Metal soap ของ PO_4-soap ที่ได้จากการทดสอบ Ball on disc นั้นมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ต่ำกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของชั้น Metal soap ใน AlF-soap ถึง 1.96 เท่า (ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของชั้น Metal soap ใน PO_4-soap อยู่ในช่วง 0.06-0.08 ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของชั้น Metal soap ใน AlF-soap อยู่ในช่วง 0.13-0.16)

4.3.2 ผลการทดสอบ Ring compression test

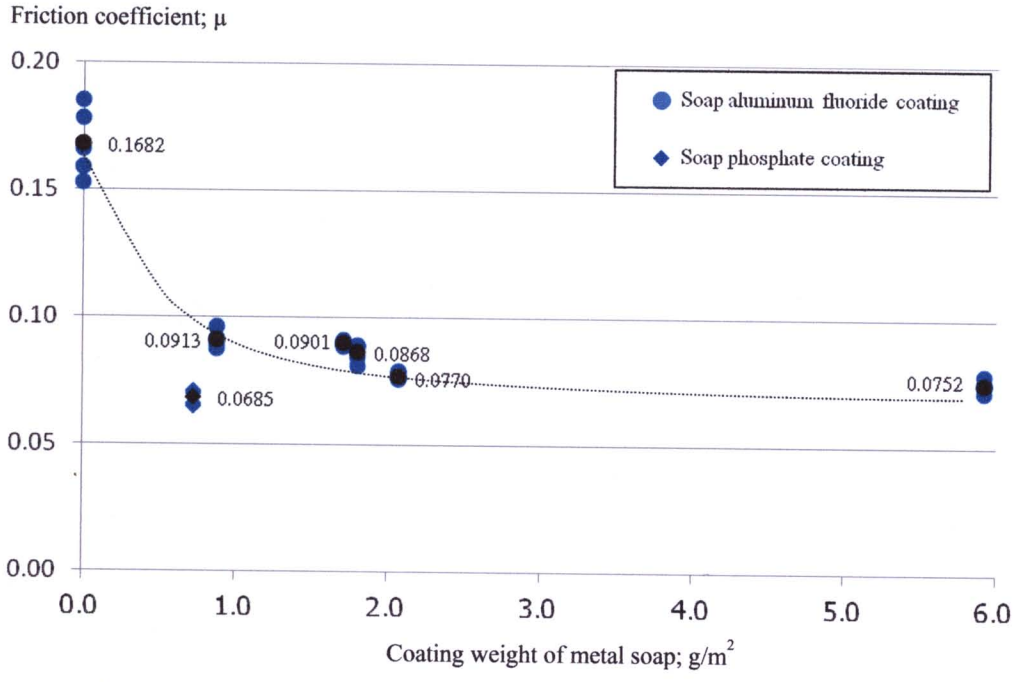
สำหรับการทดสอบ Ring compression test ก็ต้องมีการทำ Calibration curve ของวัสดุอลูมิเนียมเกรด AA6063 เพื่อใช้สำหรับการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในการทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบ Double cup extrusion test ด้วยการจำลองการขึ้นรูปด้วย Finite Element Simulation สำหรับการทดสอบ Ring compression test ขึ้นมาแล้วจัดทำเป็น Calibration curve จากนั้นจึงนำค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบจริงมาพล็อตลง Calibration curve ที่จัดทำขึ้น ดังแสดงในรูป 4.13 เพื่อหาเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียทานที่ได้จากการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.13 แสดงค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบมาพล็อตลงบนกราฟ Calibration curve ของ Ring compression test สำหรับวัสดุอลูมิเนียมเกรด AA6063

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการทดสอบด้วยวิธี Ring compression test ที่ได้จาก Calibration curve

Lubricant	**Coating weight of metal soap (g/m^2)**	**The friction coefficient of Ring compression test; μ**					
		No. 1	**No. 2**	**No. 3**	**No. 4**	**No. 5**	**Average**
Non- lubricant	0.00	0.1780	0.1850	0.1660	0.1590	0.1530	0.1682
Soap aluminum fluoride coating	0.88	0.0880	0.0891	0.0909	0.0920	0.0965	0.0913
	1.71	0.0912	0.0910	0.0900	0.0890	0.0894	0.0901
	1.80	0.0895	0.0890	0.0893	0.0850	0.0810	0.0868
	2.07	0.0790	0.0790	0.0760	0.0760	0.0770	0.0770
	5.92	0.0785	0.0760	0.0750	0.0746	0.0720	0.0752
Soap phosphate coating	0.73	0.0650	0.0660	0.0700	0.0705	0.0710	0.0685

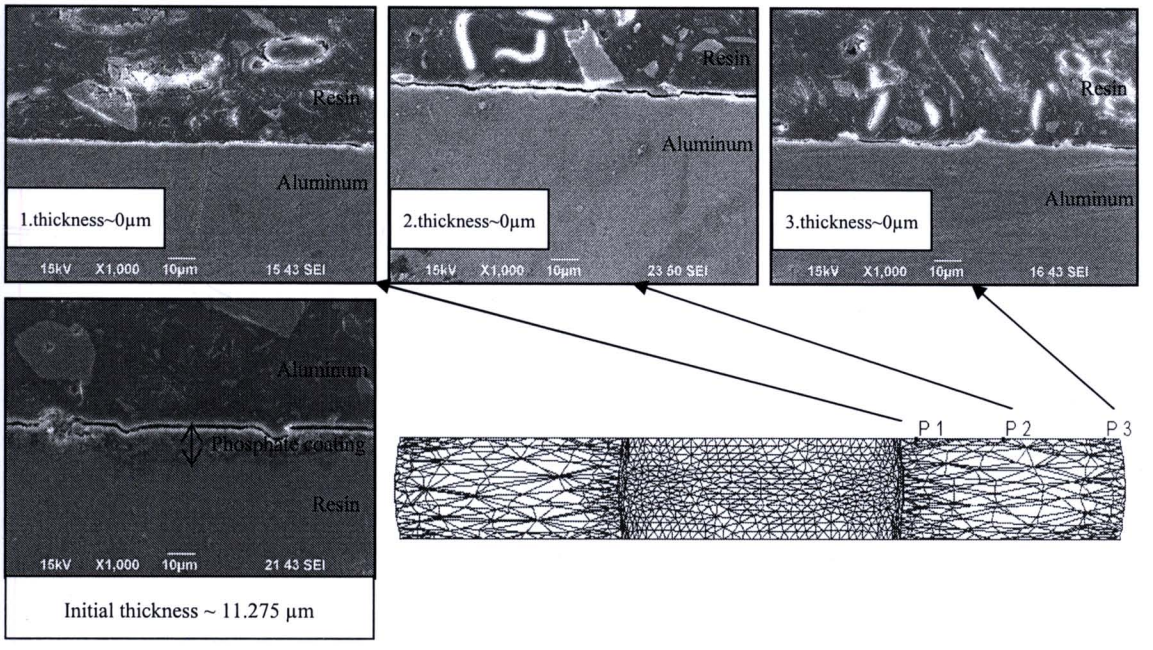


รูปที่ 4.14 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้จาก Calibration curve ของการทดสอบ Ring compression test

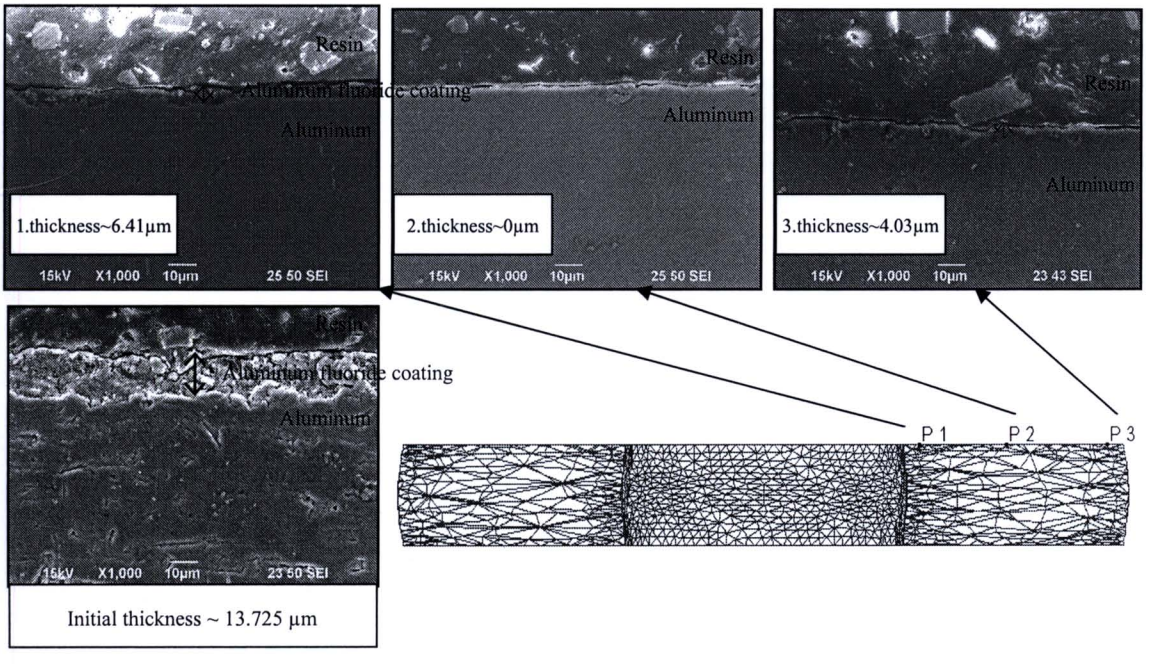
จากรูปที่ 4.14 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้จากการทดสอบ Ring compression test จะเห็นได้ว่าผลการทดสอบนั้นมีแนวโน้มเดียวกันกับผลการทดสอบของ Double cup extrusion test คือ การทดสอบแบบไม่ใช้สารหล่อลื่นนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงที่สุด (μ=0.1682) ส่วนเมื่อใช้ AlF-soap เป็นสารหล่อลื่นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานก็จะลดลงตามปริมาณ Coating weight ของชั้น Metal soap ที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณ Coating weight ของชั้น Metal soap เพิ่มมากขึ้นจนเกินความต้องการก็จะไม่ช่วยให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานลดลงมากตามสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของปริมาณ Coating weight ของชั้น Metal soap และมีแนวโน้มที่จะคงที่ ส่วนการทดสอบแบบใช้ PO_4-soap เป็นสารหล่อลื่นก็จะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำที่สุดกว่าในทุกๆกรณี (μ=0.0685)

4.4 วิเคราะห์การบางลงของสารหล่อลื่นหลังการขึ้นรูป

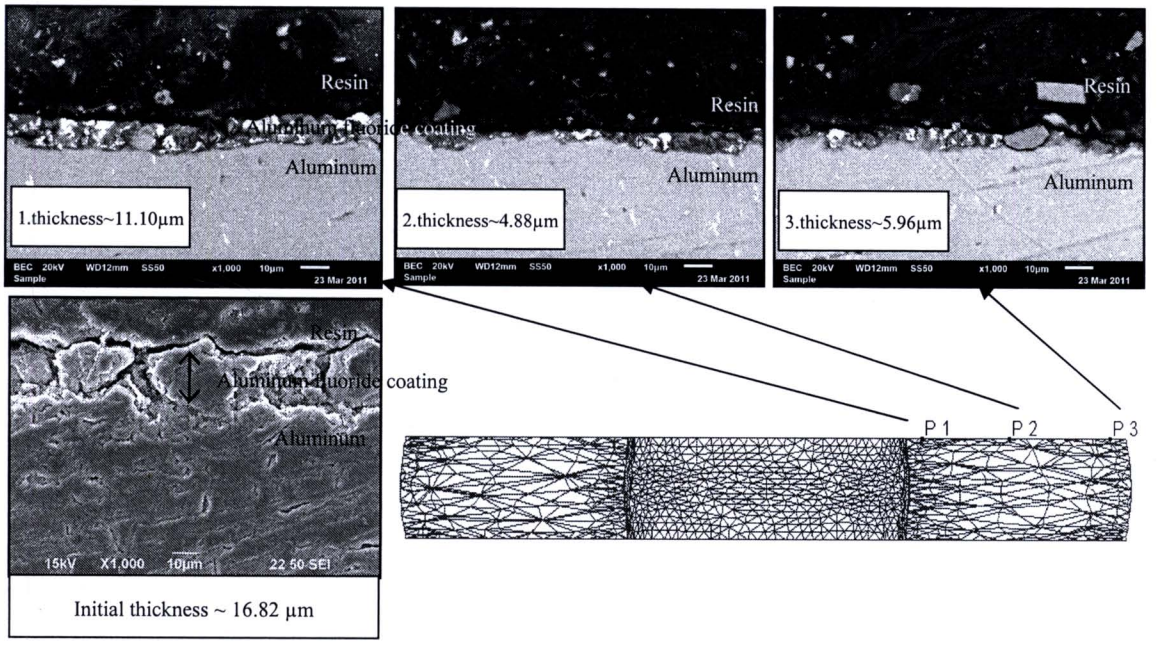
การวิเคราะห์การบางลงของสารหล่อลื่นหลังการทดสอบนั้น กระทำโดยนำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแล้วมาส่องดูด้วยเครื่อง Scaning Electron Microscope (SEM) จากนั้นทำการวัดขนาดด้วย Program Motic Images Plus 2.0 สำหรับการทดสอบ Ring compression test นั้นได้ทำการวัดการบางลงของสารหล่อลื่นทั้งหมด 3 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 3 ครั้ง ดังรูปที่ 4.15-4.18 ส่วนการทดสอบ Double cup extrusion test นั้นได้ทำการวัดทั้งหมด 11 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 3 ครั้งเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 4.19-4.22



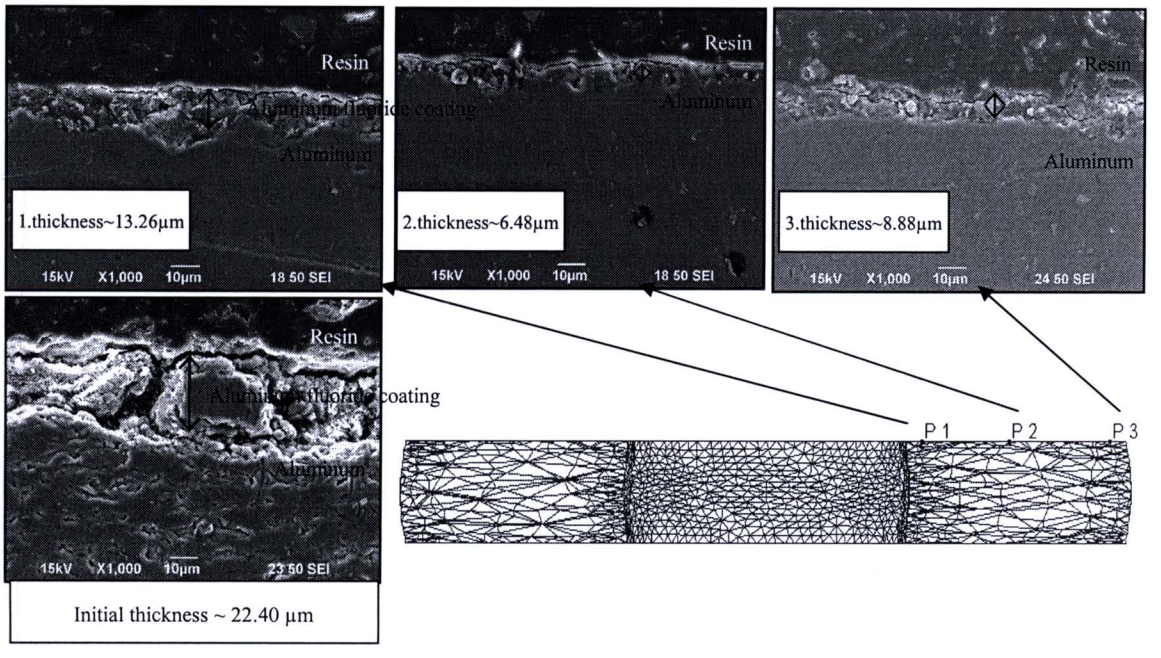
รูปที่ 4.15 แสดงความหนาของสารหล่อลื่นเฉลี่ยที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Ring compression test ของ PO_4-soap (Coating weight of metal soap =0.73 g/m^2) ที่ได้จากเครื่อง Scaning Electron Microscope (SEM)



รูปที่ 4.16 แสดงความหนาของสารหล่อลื่นเฉลี่ยที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Ring compression test ของ AlF-soap (Coating weight of metal soap =0.88 g/m^2) ที่ได้จากเครื่อง Scaning Electron Microscope (SEM)



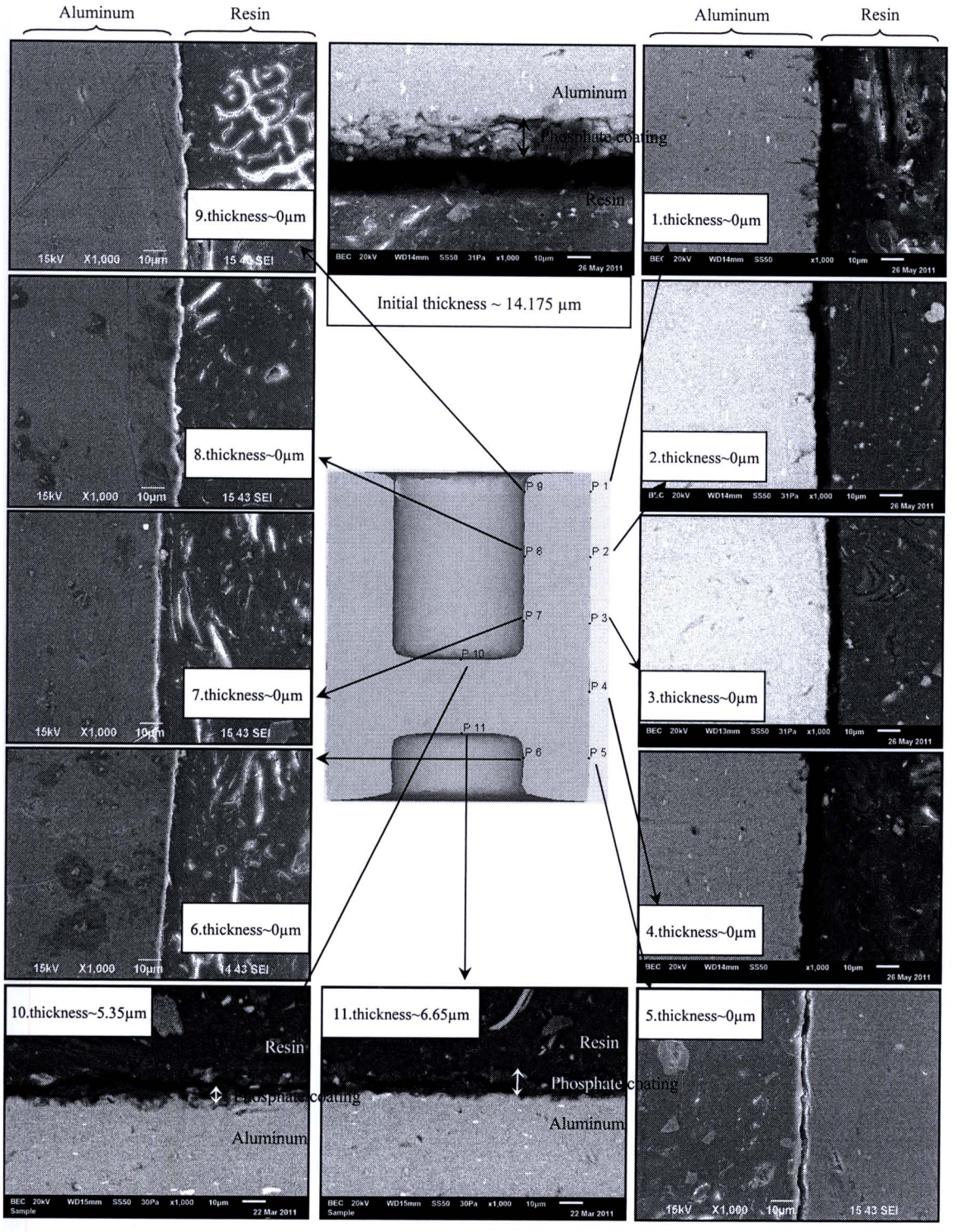
รูปที่ 4.17 แสดงความหนาของสารหล่อลื่นเฉลี่ยที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Ring compression test ของ AlF-soap (Coating weight of metal soap =2.07 g/m^2) ที่ได้จากเครื่อง Scaning Electron Microscope (SEM)



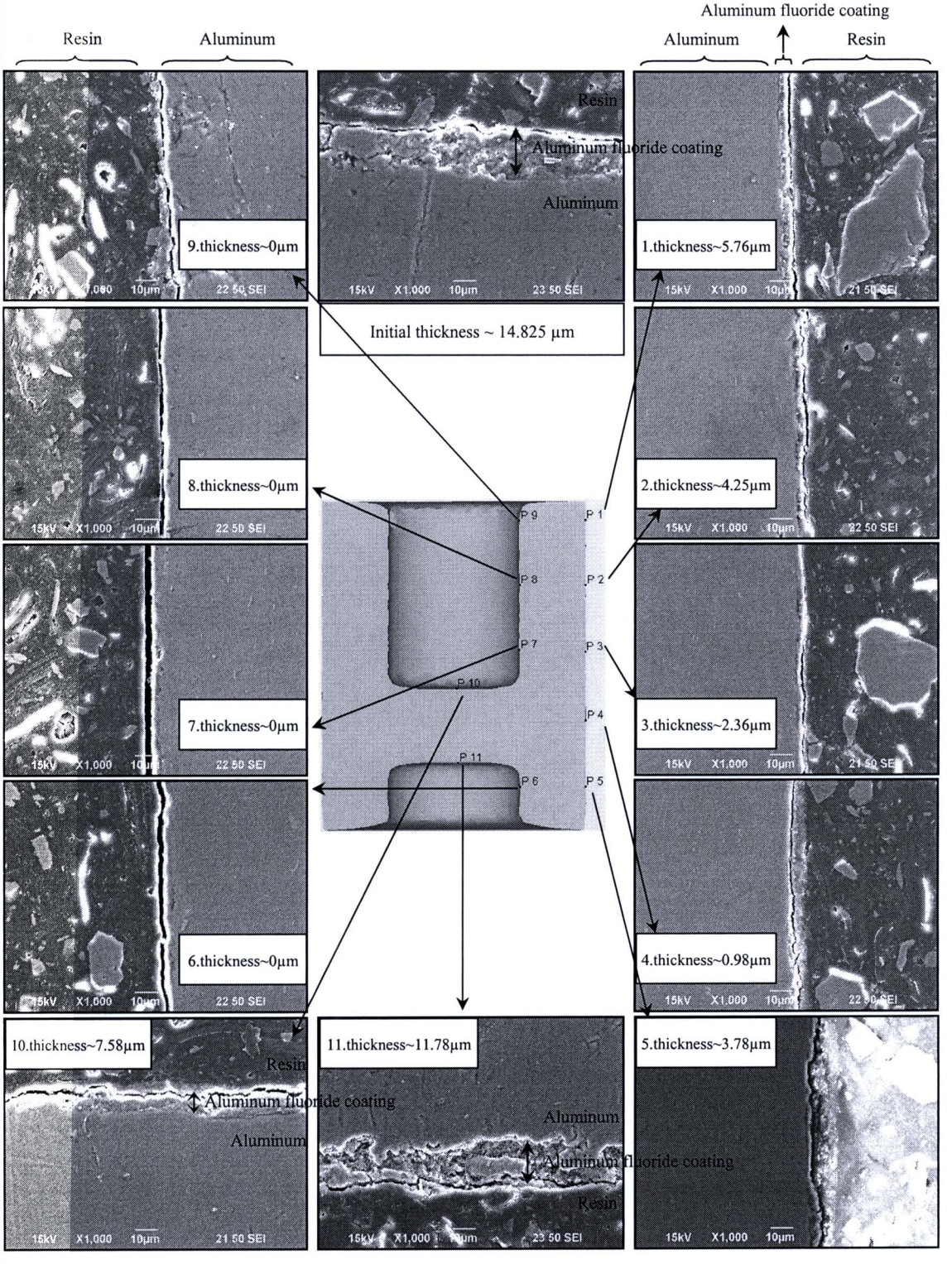
รูปที่ 4.18 แสดงความหนาของสารหล่อลื่นเฉลี่ยที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Ring compression test ของ AlF-soap (Coating weight of metal soap =5.92 g/m^2) ที่ได้จากเครื่อง Scaning Electron Microscope (SEM)

จากรูปที่ 4.15 เป็นความหนาหลังการขึ้นรูปของ PO_4-soap ที่ใช้เป็นสารหล่อลื่นสำหรับการทดสอบ Ring compression test จะเห็นได้ว่าไม่มีปริมาณของสารหล่อลื่นเหลืออยู่เลยในทุกๆตำแหน่ง ส่วนในรูปที่ 4.16-4.18 เป็นความหนาของ AlF-soap หลังการทดสอบ Ring compression test จะเห็นได้ว่าที่ปริมาณความหนาของสารหล่อลื่นเริ่มต้นน้อย ความหนาของสารหล่อลื่นหลังการขึ้นรูปในแต่ละตำแหน่งก็จะน้อย แต่เมื่อปริมาณความหนาเริ่มต้นของสารหล่อลื่นเพิ่มมากขึ้นปริมาณความหนาของสารหล่อลื่นหลังการขึ้นรูปในแต่ละตำแหน่งก็จะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

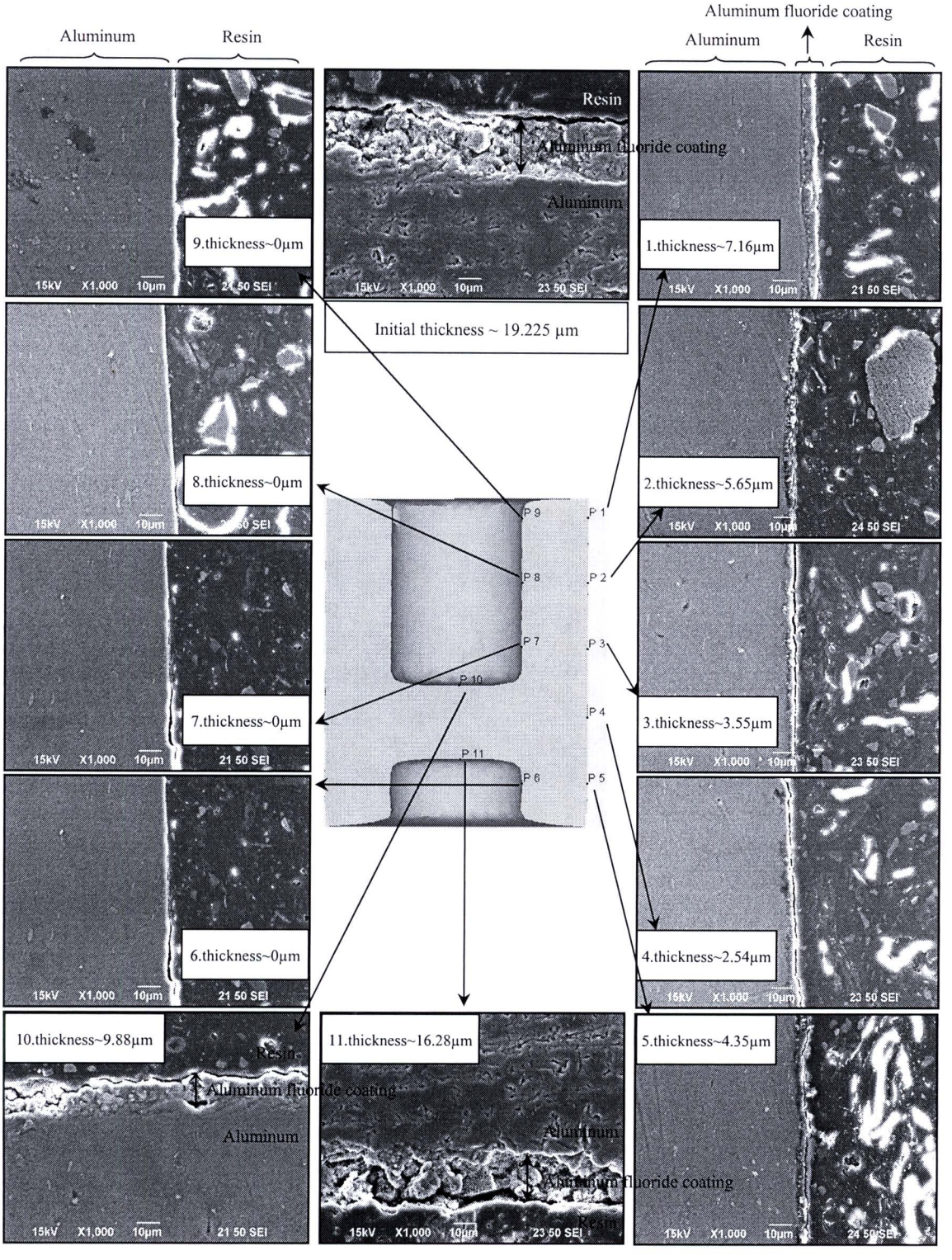
จากรูปที่ 4.19 เป็นความหนาหลังการขึ้นรูปของ PO_4-soap ของการทดสอบ Double cup extrusion test จะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่ 1-9 นั้นไม่มีสารหล่อลื่นเหลืออยู่เลย แต่ในตำแหน่งที่ 10-11 นั้นมีสารหล่อลื่นอยู่ประมาณ 5-6 μm ส่วนในรูปที่ 4.20-4.22 เป็นความหนาของ AlF-soap หลังการทดสอบ Double cup extrusion test จะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่ 6-9 นั้นไม่มีสารหล่อลื่นหลังการขึ้นรูปอยู่เลยในทุกๆกรณี ส่วนในตำแหน่งที่ 1-5 และ 10-11 นั้นเมื่อความหนาของสารหล่อลื่นก่อนการทดสอบน้อย ความหนาของสารหล่อลื่นหลังการขึ้นรูปก็จะน้อยและเมื่อเพิ่มปริมาณความหนาเริ่มต้นของสารหล่อลื่น ความหนาของสารหล่อลื่นหลังการขึ้นรูปก็จะเพิ่ม



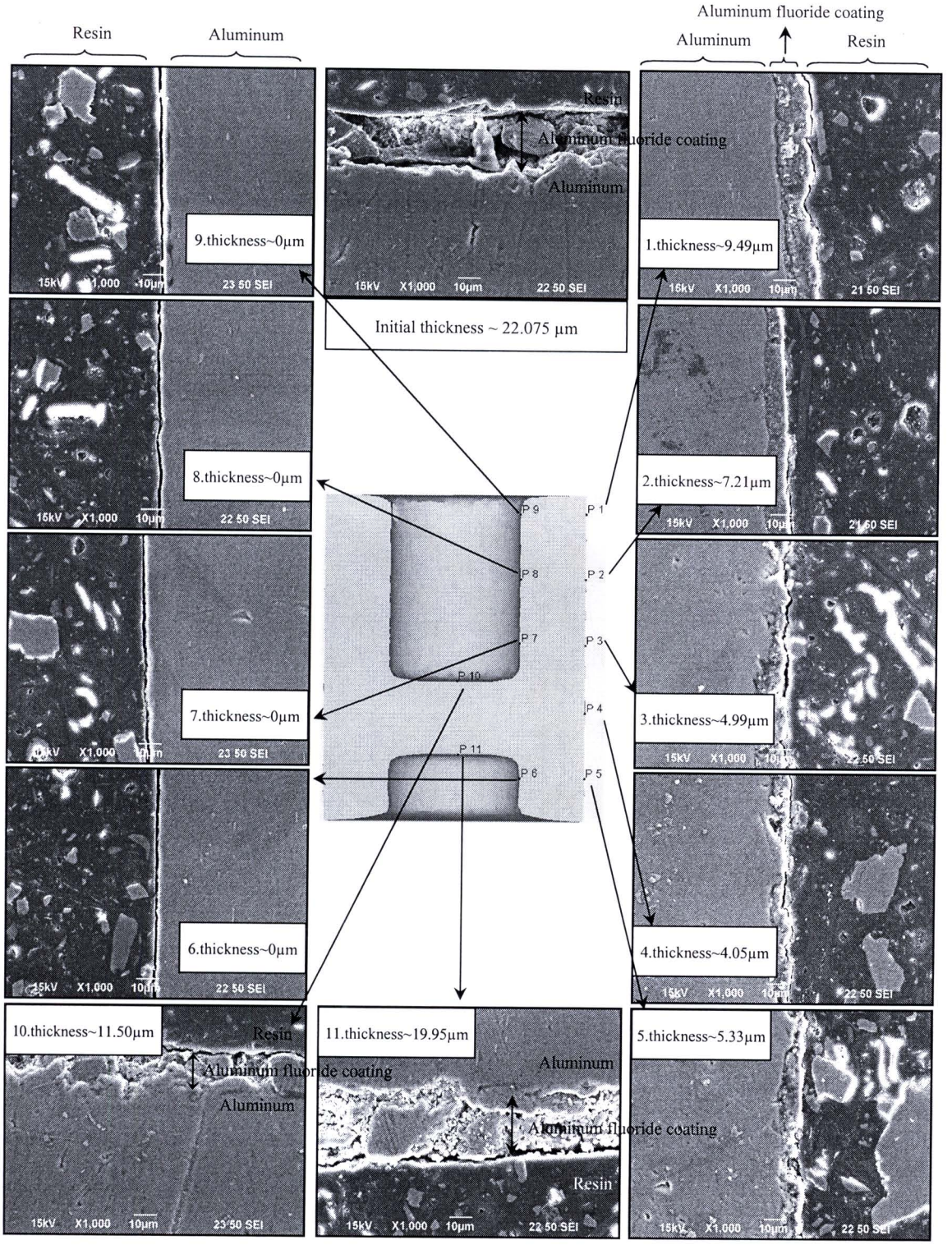
รูปที่ 4.19 แสดงความหนาของสารหล่อลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Double cup extrusion test ของ PO_4-soap (Coating weight of metal soap = 0.80 g/m^2) ที่ได้จากเครื่อง Scaning Electron Microscope (SEM)



รูปที่ 4.20 แสดงความหนาของสารหล่อลื่นเฉลี่ยที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Double cup extrusion test ของ AlF-soap (Coating weight of metal soap = 1.07 g/m^2) ที่ได้จากเครื่อง Scaning Electron Microscope (SEM)

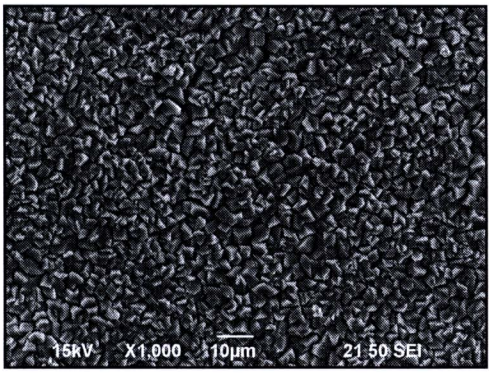


รูปที่ 4.21 แสดงความหนาของสารหล่อลื่นเฉลี่ยที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Double cup extrusion test ของ AlF-soap (Coating weight of metal soap = 2.55 g/m^2) ที่ได้จากเครื่อง Scaning Electron Microscope (SEM)

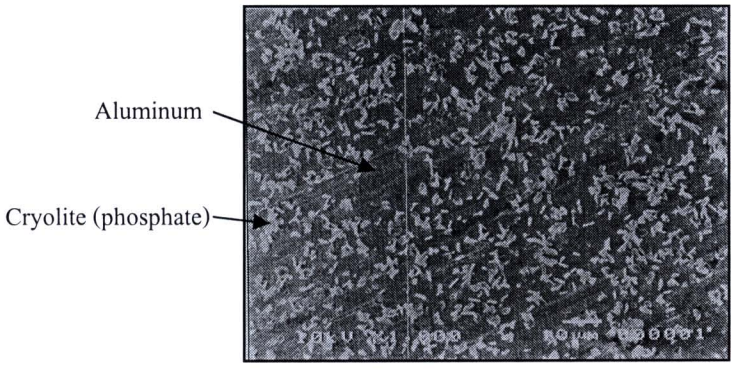


รูปที่ 4.22 แสดงความหนาของสารหล่อลื่นเฉลี่ยที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Double cup extrusion test ของ AlF-soap (Coating weight of metal soap = 5.30 g/m^2) ที่ได้จากเครื่อง Scaning Electron Microscope (SEM)

4.4.1 วิเคราะห์การบางลงของ Soap phosphate หลังการขึ้นรูป



รูปที่ 4.23 แสดงชั้น Cryolite (ALBOND-A) ของ AlF-soap (Coating weight of metal soap = 1.07 g/m^2, Coating weight of cryolite = 3.15 g/m^2) ที่ได้จากเครื่อง Scaning Electron Microscope (SEM)

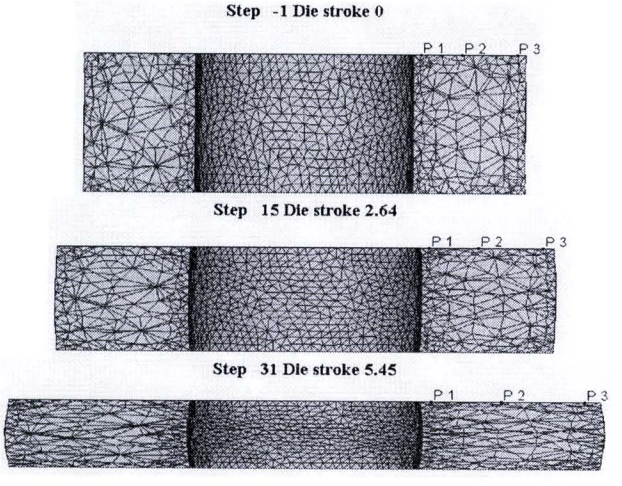


รูปที่ 4.24 แสดงชั้น Cryolite (phosphate) ของ PO_4-soap (Coating weight of metal soap = 0.80 g/m^2, Coating weight of cryolite = 1.49 g/m^2) ที่ได้จากเครื่อง Scaning Electron Microscope (SEM)

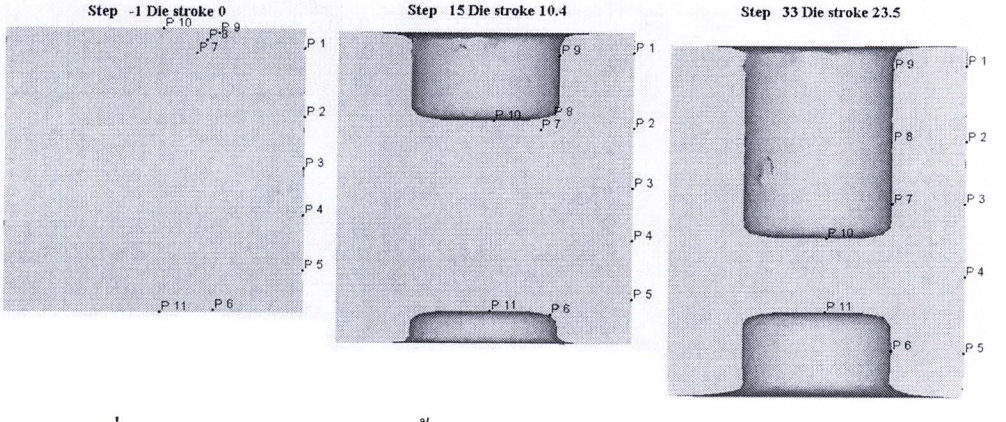
จากรูปที่ 4.23 เป็นชั้นของ Cryolite (ALBOND-A) ของ AlF-soap (Coating weight of metal soap = 1.07 g/m^2, Coating weight of cryolite = 3.15 g/m^2) ซึ่งเป็น Condition ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงที่สุดในกรณีของการใช้ AlF-soap เป็นสารหล่อลื่นสำหรับการทดสอบ Ring compression test และ Double cup extrusion test ที่ผ่านมา ทั้งนี้เพราะใน Condition นี้มีปริมาณ Coating weight of metal soap (ซึ่งเป็นชั้นหลักที่นำมาพิจารณาในการวิเคราะห์ค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบ) ที่ใกล้เคียงกับปริมาณ Coating weight of metal soap ของ PO_4-soap ที่ทำการเปรียบเทียบด้วยมากที่สุดในกรณีของชิ้นงานรูปทรงกระบอกสำหรับการทดสอบ Double cup extrusion test ส่วนในรูปที่ 4.24 เป็นชั้นของ Cryolite (Phosphate) ของ PO_4-soap (Coating weight of metal soap = 0.80 g/m^2, Coating weight of cryolite = 1.49 g/m^2) ซึ่งเป็นปริมาณที่สามารถทำได้มากที่สุดในขณะทำการทดสอบบนอลูมิเนียม

เกรด AA6063 จะเห็นได้ว่าการเข้าไปเกาะยึดของชั้น Cryolite (Phosphate) บนเนื้ออลูมิเนียมเกรด AA6063 นั้นทำได้น้อยกว่าชั้นของ Cryolite (ALBOND-A) ซึ่งดูได้จากปริมาณ Coating weight of AlF-soap นั้นสูงกว่าของ PO_4-soap ถึง 1.75 เท่าและการทดสอบ Ball on disc (รูปที่ 4.3 และ 4.8) จะเห็นได้ว่าระยะทางในการหมุน Ball on disc ของ PO_4-soap นั้นก็น้อยกว่าของ AlF-soap ถึง 3.14 เท่า ซึ่งแสดงให้ให้ว่าความสามารถในการเกาะยึดของ PO_4-soap บนเนื้ออลูมิเนียมเกรด AA6063 นั้นไม่ดี เป็นผลทำให้หลังการทดสอบ Double cup extrusion test และ Ring compression test ไม่มีปริมาณของ PO_4-soap เหลืออยู่เลยในทุกๆตำแหน่งที่ทำการวัดด้วยเครื่อง Scaning Electron Microscope (SEM)

4.4.2 วิเคราะห์การบางลงของ Soap aluminum fluoride หลังการขึ้นรูป



รูปที่ 4.25 แสดงการจำลองการขึ้นรูปโดยใช้ Finite Element Simulation ของการทดสอบ Ring compression test



รูปที่ 4.26 แสดงการจำลองการขึ้นรูปโดยใช้ Finite Element Simulation ของการทดสอบ Double cup extrusion test

จากรูปที่ 4.25 และ 4.26 แสดงตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้ในการวัดการบางลงของสารหล่อลื่นหลังการทดสอบ Ring compression test และ Double cup extrusion test จะเห็นได้ว่าเป็นตำแหน่งที่มาจากผิวของชิ้นงานเริ่มต้นทั้งสิ้น ยกเว้นในตำแหน่งที่ 6-9 ของการทดสอบ Double cup extrusion test เท่านั้นที่มาจากเนื้อภายในของวัสดุชิ้นงานเริ่มต้น ดังนั้นตำแหน่งดังกล่าวที่ชิ้นงานเริ่มต้นจึงไม่มีสารหล่อลื่นเคลือบอยู่ทำให้หลังการขึ้นรูปตำแหน่งที่ 6-9 จึงไม่มีสารหล่อลื่นเคลือบอยู่ด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า Surface displacement, Normal pressure ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation และเปอร์เซ็นต์ความหนาที่เปลี่ยนแปลงหลังการขึ้นรูปของการทดสอบ Ring compression test ที่ Condition ต่างๆ

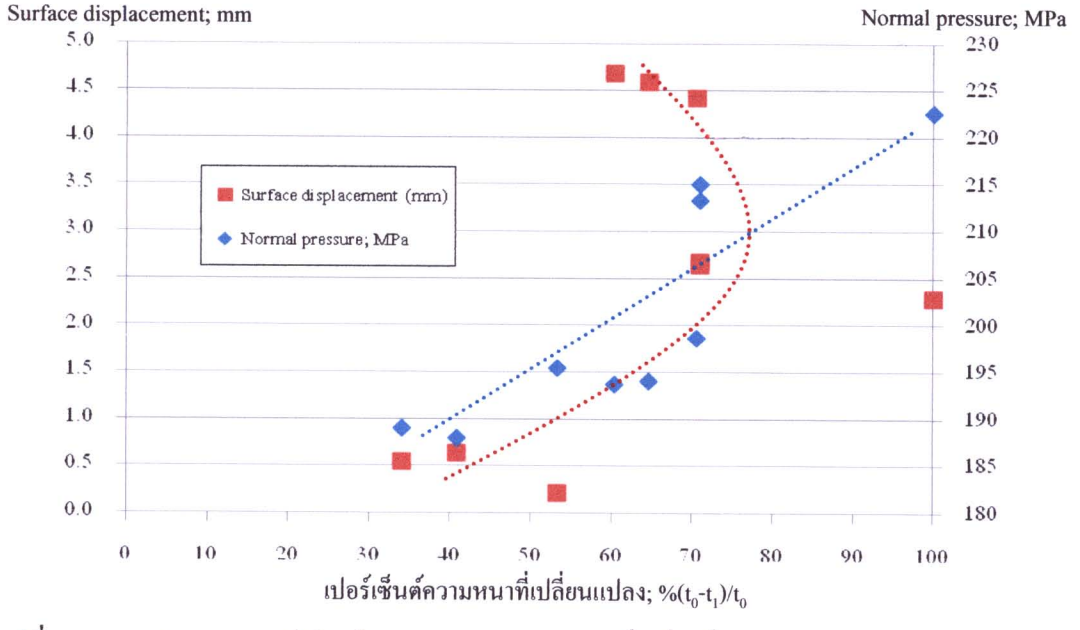
Coating weight of Metal soap; g/m^2	**Position**	**Surface displacement; mm**	**Normal pressure; MPa**	**%$(t_0-t_1)/t_0$**
0.88 (μ= 0.0913)	Point 1	0.21043	195.40	53.3115
	Point 2	2.27984	222.58	**100**
	Point 3	4.41504	198.61	70.6156
2.07 (μ= 0.0770)	Point 1	0.54015	189.00	34.0267
	Point 2	2.64439	215.00	70.9777
	Point 3	4.58680	194.00	64.5884
5.92 (μ= 0.0752)	Point 1	0.63053	187.96	40.8125
	Point 2	2.67569	213.31	71.058
	Point 3	4.68002	193.65	60.3437

ตารางที่ 4.7 แสดงค่า Surface displacement, Normal pressure ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation และเปอร์เซ็นต์ความหนาที่เปลี่ยนแปลงหลังการขึ้นรูปของการทดสอบ Double cup extrusion test ที่ Condition ต่างๆ

Coating weight of Metal soap; g/m^2	Position	Surface displacement; mm	Normal pressure; MPa	$\%(t_0-t_1)/t_0$
1.07 (μ= 0.0799)	Point 1	0.76649	95	61.16
	Point 2	1.38976	125	71.33
	Point 3	2.74045	145	84.09
	Point 4	5.73935	153	93.42
	Point 5	8.02676	132	74.54
	Point 10	0	522	48.90
	Point 11	0	436	20.57
2.55 (μ= 0.0642)	Point 1	1.66201	88	62.77
	Point 2	1.76428	118	70.61
	Point 3	3.28548	140	81.52
	Point 4	5.74529	152	86.78
	Point 5	8.18535	130	77.33
	Point 10	0	464	48.60
	Point 11	0	429	15.30
5.30 (μ= 0.0555)	Point 1	1.93951	87	57.00
	Point 2	2.64992	107	67.35
	Point 3	4.06110	139	77.39
	Point 4	6.94569	151	81.62
	Point 5	9.01611	125	75.84
	Point 10	0	445	47.90
	Point 11	0	420	9.63

4.4.2.1 วิเคราะห์การบางลงของ Soap aluminum fluoride หลังการทดสอบ Ring compression test จากรูปที่ 4.27 เป็นกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความหนาของสารหล่อลื่นที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับ Surface displacement และ Normal pressure ของการทดสอบ Ring compression test ที่ได้

จากการจำลองการขึ้นรูปด้วย Finite Element Simulation เมื่อพิจารณาที่ Normal pressure จะเห็นได้ว่าเมื่อ Normal pressure เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้การบางลงของ AlF-soap เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และเมื่อพิจารณาที่ Surface displacement จะยังไม่เห็นแนวโน้มที่ชัดเจนในอิทธิพลของ Surface displacement ต่อการบางลงของ AlF-soap ซึ่งในกรณีของการทดสอบ Ring compression test นี้ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของความหนาจะอยู่ในช่วง 34.03-71.06% ยกเว้นในกรณีที่มีปริมาณของสารหล่อลื่นน้อยมากคือ ปริมาณ Coating weight of metal soap เท่ากับ 0.88 g/m^2 ในตำแหน่งที่ 2 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มี Normal pressure สูงที่สุดทำให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของความหนาจะอยู่ที่ 100% คือหลังขึ้นรูปแล้วไม่เหลือสารหล่อลื่นอยู่เลย



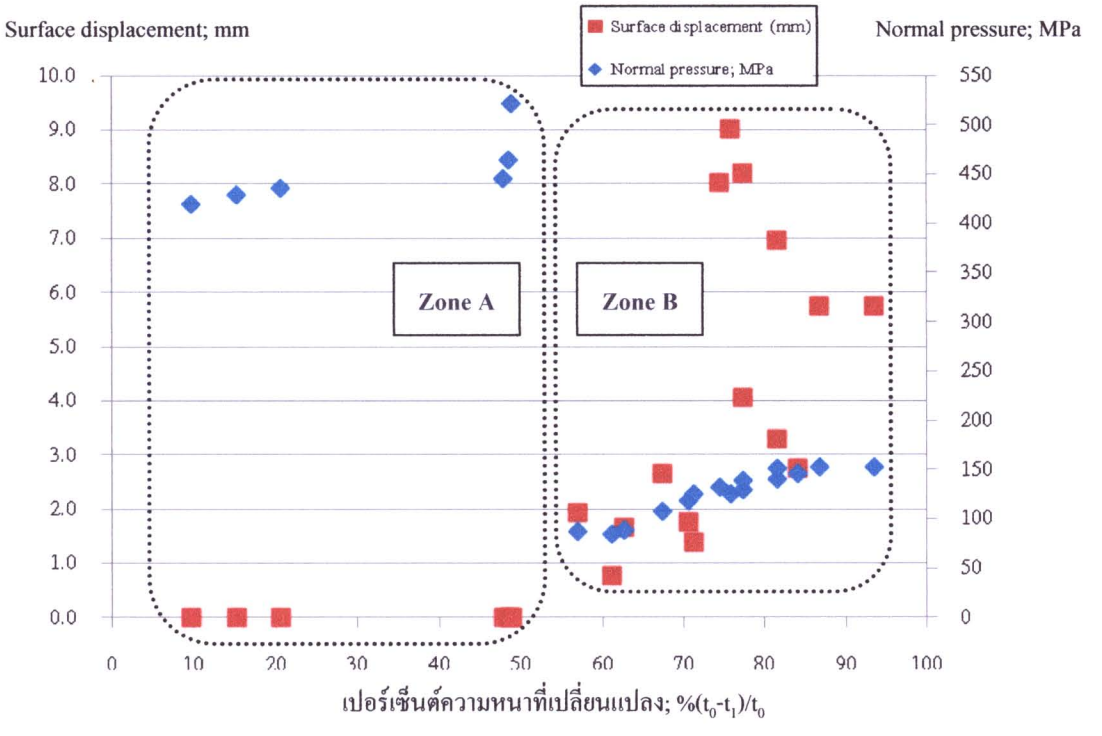
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความหนาของสารหล่อลื่นที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับ Surface displacement และ Normal pressure ของการทดสอบ Ring compression test

4.4.2.2 วิเคราะห์การบางลงของ Soap aluminum fluoride หลังการทดสอบ Double cup extrusion test จากรูปที่ 4.28 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความหนาที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับ Surface displacement และ Normal pressure ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ

-Zone A (ตำแหน่งที่ 10 และ 11) เป็นบริเวณที่มี Normal pressure ในขณะขึ้นรูปสูงสุดอยู่ในช่วง 420-522 MPa แต่ไม่มี Surface displacement ซึ่งในส่วนนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อ Normal pressure เพิ่มขึ้นก็จะทำให้การบางลงของ AlF-soap มากขึ้นด้วยเช่นกันโดยมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของความหนาของ AlF-soap ที่ค่อนข้างต่ำอยู่ที่ในช่วง 9.63-48.90%

-Zone B (ตำแหน่งที่ 1-5) เป็นบริเวณที่มี Surface displacement และมี Normal pressure ในขณะขึ้นรูปสูงสุดอยู่ในช่วง 87-153 MPa โดยเมื่อ Normal pressure เพิ่มมากขึ้น การบางลงของ

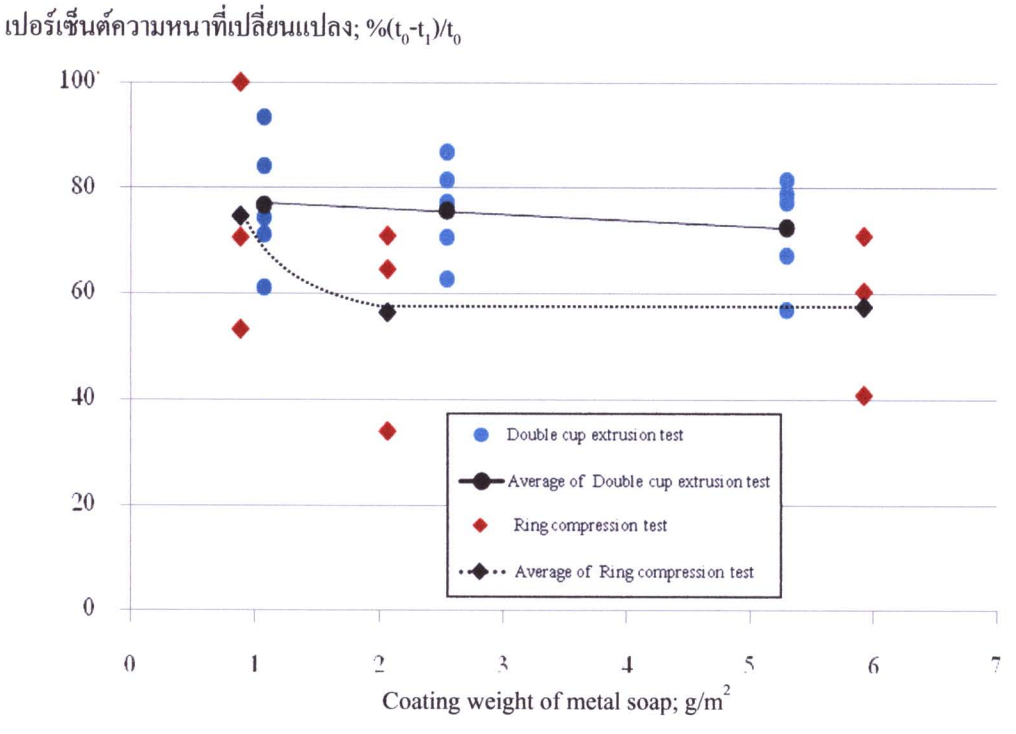
AlF-soap ก็จะมากขึ้นด้วยเช่นกัน ในส่วนของ Surface displacement นั้นในช่วงแรกเมื่อ Surface displacement เพิ่มขึ้นแนวโน้มการบางลงของ AlF-soap ก็เพิ่มขึ้น แต่ในช่วงสุดท้ายมีแนวโน้มที่ไม่แน่นอน โดยภาพรวมแล้ว Zone B นั้นมี Normal pressure ที่ต่ำกว่า Zone A แต่มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความหนาของ AlF-soap ที่สูงกว่า Zone A โดยอยู่ในช่วง 57-93.42% ทั้งนี้เพราะ Zone B มี Surface displacement เป็นปัจจัยร่วมด้วยทำให้มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความหนาของ AlF-soap สูงกว่า Zone A



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความหนาของสารหล่อลื่นที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับ Surface displacement และ Normal pressure ของการทดสอบ Double cup extrusion test

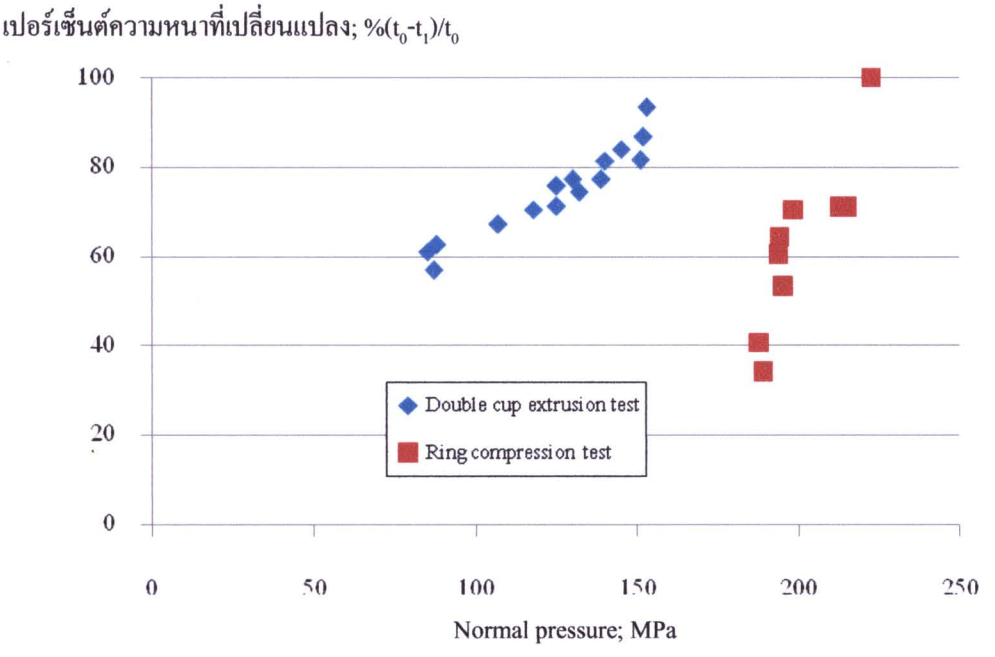
4.4.2.3 เปรียบเทียบการบางลงของ Soap aluminum fluoride ระหว่างการทดสอบ Double cup extrusion test และ Ring compression test สำหรับเปรียบเทียบการบางลงของ AlF-soap ระหว่างการทดสอบ Double cup extrusion test และ Ring compression test นั้นได้ทำการเปรียบเทียบเฉพาะในบริเวณที่การขึ้นรูปมีทั้ง Normal pressure และ Surface displacement เท่านั้น ซึ่งจากรูปที่ 4.29 เป็นกราฟแสดงปริมาณ Coating weight of metal soap ของ AlF-soap ที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความหนาที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งจะเห็นได้ว่าการทดสอบ Double cup extrusion test นั้นเมื่อปริมาณ Coating weight of metal soap ของ AlF-soap เพิ่มขึ้นแนวโน้มการบางลงของ AlF-soap เปลี่ยนแปลงน้อยมาก อยู่ในช่วง 72.4-76.9% ส่วนในกรณีของการทดสอบ Ring compression test นั้นที่ปริมาณ Coating

weight of metal soap ของ AlF-soap เท่ากับ 0.88 g/m^2 มีเปอร์เซ็นต์การบางลงของ AlF-soap อยู่ที่ 74.64% แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ Coating weight of metal soap ของ AlF-soap ตั้งแต่ 2.07 g/m^2 ขึ้นไป เปอร์เซ็นต์การบางลง AlF-soap จะเปลี่ยนแปลงน้อยมาก อยู่ในช่วง 56.53-57.40% ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าปริมาณ Coating weight of metal soap ของ AlF-soap มากเกินไปก็ไม่ได้ช่วยให้เปอร์เซ็นต์การบางลงของ AlF-soap ลดลง ดังนั้นปริมาณ Coating weight of metal soap ของ AlF-soap เพียง 2 g/m^2 ก็เพียงพอสำหรับการทดสอบในครั้งนี้ เพราะถ้าเพิ่มปริมาณ Coating weight of metal soap ของ AlF-soap ไปมากกว่านี้เปอร์เซ็นต์การบางลงก็ไม่มีแนวโน้มว่าจะลงลง

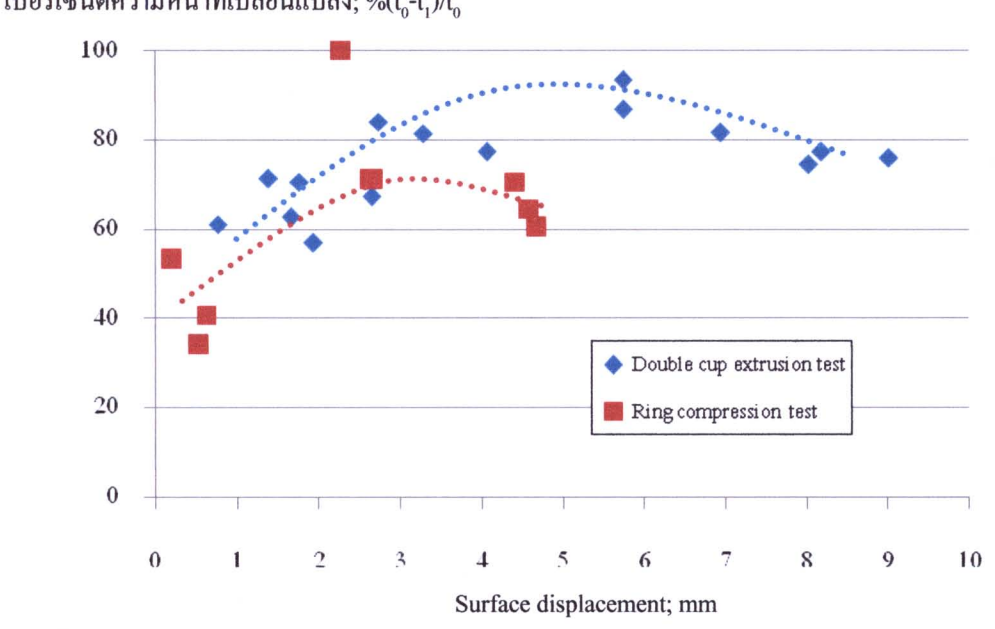


รูปที่ 4.29 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความหนาที่เปลี่ยนแปลงต่อปริมาณ Coating weight of metal soap ของ AlF-soap ของการทดสอบ Double cup extrusion test และ Ring compression test

และเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การบางลงระหว่างการทดสอบ Double cup extrusion test และ Ring compression test แล้ว จะเห็นได้ว่าการทดสอบ Double cup extrusion test นั้นมีเปอร์เซ็นต์การบางลงของ AlF-soap ที่สูงกว่าการทดสอบ Ring compression test ทั้งนี้เนื่องมาจากการทดสอบ Double cup extrusion test นั้นมี Surface displacement ที่มากกว่าการทดสอบ Ring compression test ดังรูปที่ 4.31 ถึงแม้ว่าในการทดสอบ Ring compression test นั้นจะมี Normal pressure ที่สูงกว่าการทดสอบ Double cup extrusion test ก็ตาม (ดังรูปที่ 4.30) ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวก็แสดงให้เห็นได้ว่า Surface displacement นั้นก็มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การบางลงของ AlF-soap ด้วยเช่นกัน

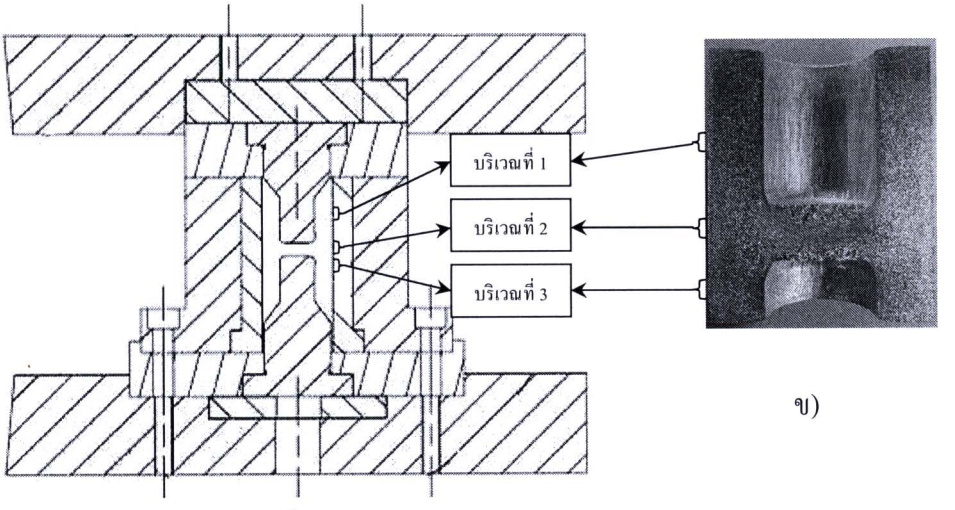


รูปที่ 4.30 แสดงเปอร์เซ็นต์ความหนาที่เปลี่ยนแปลงกับ Normal pressure ของ AlF-soap หลังการทดสอบ Double cup extrusion test และ Ring compression test



รูปที่ 4.31 แสดงเปอร์เซ็นต์ความหนาที่เปลี่ยนแปลงกับ Surface displacement ของ AlF-soap หลังการทดสอบ Double cup extrusion test และ Ring compression test

4.5 วิเคราะห์การเกาะยึดของเนื้ออลูมิเนียมบนผิวแม่พิมพ์



ก)

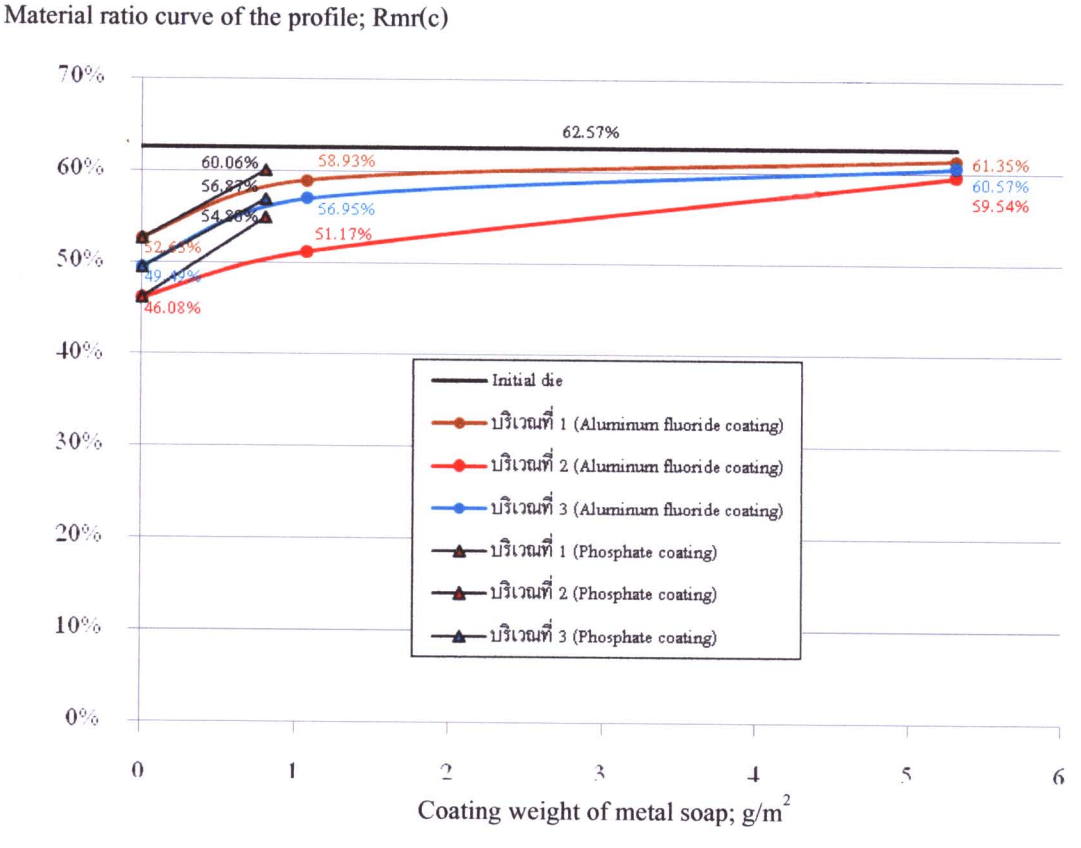
ข)

รูปที่ 4.32 ก)แสดงบริเวณที่ทำการวัดค่า Material ratio curve of the profile; Rmr(c) ของแม่พิมพ์ (ดาย) ซึ่งเป็นบริเวณที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน Double cup extrusion test ดังรูป ข)

จากรูปที่ 4.32 เป็นบริเวณที่ทำการวัดค่า Material ratio curve of the profile; Rmr(c) สำหรับการวิเคราะห์การเกาะยึดของเนื้ออลูมิเนียมบนผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ซึ่งทำการวัดทั้งหมด 3 บริเวณ บริเวณละ 3 ครั้งคือ บริเวณที่ 1 (ตรงกับตำแหน่งที่ 2 ในการวัดการบางลงของสารหล่อลื่นในหัวข้อที่ 4.4), บริเวณที่ 2 (ตรงกับตำแหน่งที่ 4 ในการวัดการบางลงของสารหล่อลื่นในหัวข้อที่ 4.4), และบริเวณที่ 3 (ตรงกับตำแหน่งที่ 5 ในการวัดการบางลงของสารหล่อลื่นในหัวข้อที่ 4.4) โดยทำการวัดเปรียบเทียบระหว่างผิวของแม่พิมพ์ที่ผ่านการขึ้นรูปโดยใช้ AlF-soap และ PO_4-soap เป็นสารหล่อลื่น และแบบไม่ใช้สารหล่อลื่น

จากรูปที่ 4.33 เป็นกราฟแสดงค่า Material ratio curve of the profile; Rmr(c) ที่วัดบนผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ซึ่งค่า Material ratio curve of the profile; Rmr(c) จะช่วยในการวิเคราะห์การเกาะยึดของเนื้ออลูมิเนียมบนผิวของแม่พิมพ์ทดสอบได้ โดยในบริเวณที่ 2 จะมีค่า Material ratio curve of the profile; Rmr(c) ต่ำที่สุดในทุกๆสารหล่อลื่น ซึ่งหมายความว่ามีการเกาะยึดของเนื้ออลูมิเนียมบนผิวของแม่พิมพ์มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากบริเวณที่ 2 ซึ่งเป็นบริเวณผิวของแม่พิมพ์ที่ทำการขึ้นรูปส่วนกลางของชิ้นงาน Double cup extrusion test ซึ่งจากในหัวข้อที่ 4.4 บริเวณนี้คือตำแหน่งที่ 4 ในการวัดการบางลงของสารหล่อลื่น โดยเป็นบริเวณที่หลังขึ้นรูปแล้วมีสารหล่อลื่นเหลือน้อยที่สุด จึงทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างเนื้ออลูมิเนียมกับผิวแม่พิมพ์ (Metal to metal contact) ได้สูงทำให้เนื้ออลูมิเนียมมีโอกาสที่จะเกาะติดบนผิวแม่พิมพ์ได้ง่าย ส่วนในบริเวณที่ 1 มีค่า

Material ratio curve of the profile; Rmr(c) สูงที่สุดในทุกๆสารหล่อลื่น ซึ่งหมายความว่าบริเวณนี้เกิดการเกาะยึดของเนื้ออลูมิเนียมบนผิวของแม่พิมพ์น้อย โดยบริเวณนี้เป็นบริเวณที่หลังขึ้นรูปแล้วมีสารหล่อลื่นเหลืออยู่มากที่สุด ทำให้โอกาสที่จะเกิดการสัมผัสกันกันระหว่างเนื้ออลูมิเนียมกับผิวแม่พิมพ์ (Metal to metal contact) มีน้อยส่งผลให้เนื้ออลูมิเนียมมีโอกาสที่จะเกาะติดบนผิวแม่พิมพ์ได้น้อยด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงค่า Material ratio curve of the profile; Rmr(c) บนผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test

และจากรูปที่ 4.33 จะเห็นได้ว่าที่ผิวของแม่พิมพ์เริ่มต้นนั้นมีค่า Material ratio curve of the profile; Rmr(c)=62.57% เมื่อทำการทดสอบโดยไม่ใช้สารหล่อลื่น (Coating weight of metal soap= 0 g/m^2) ค่า Material ratio curve of the profile; Rmr(c) มีค่าต่ำที่สุดในของแต่ละตำแหน่ง และเมื่อใช้ AlF-soap เป็นสารหล่อลื่นในการทดสอบค่า Material ratio curve of the profile; Rmr(c) จะมีค่าสูงขึ้นซึ่งหมายความว่ามีปริมาณเนื้อของอลูมิเนียมติดบนผิวแม่พิมพ์น้อยลง และค่า Material ratio curve of the profile; Rmr(c) จะเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ เมื่อ AlF-soap มีปริมาณ Coating weight of metal soap เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์การบางลงของสารหล่อลื่นหลังการขึ้นรูปคือ เมื่อปริมาณการบางลงของสารหล่อลื่นนั้นมีมากก็จะทำให้เนื้อของอลูมิเนียมติดบนผิวแม่พิมพ์มาก แต่ถ้าปริมาณการบางลง

ของสารหล่อลื่นนั้นมีน้อยก็จะทำให้เนื้อของอลูมิเนียมติดบนผิวแม่พิมพ์น้อย แต่เมื่อปริมาณ Coating weight of metal soap ของ AlF-soap เพิ่มมากขึ้นค่า Material ratio curve of the profile; Rmr(c) มีแนวโน้มที่จะคงที่ ดังนั้นปริมาณ Coating weight of metal soap ของ AlF-soap เพียง 2 g/m^2 ก็เพียงพอสำหรับการป้องกันการเกาะยึดของเนื้ออลูมิเนียมบนผิวแม่พิมพ์สำหรับการทดสอบในครั้งนี้

ส่วนในกรณีของการใช้ PO_4-soap เป็นสารหล่อลื่นนั้นถึงแม้ว่าปริมาณ Coating weight ของชั้น Metal soap นั้นจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย แต่พบว่ามีค่า Material ratio curve of the profile; Rmr(c) ที่สูง ซึ่งหมายความว่าเกิดการเกาะติดของเนื้ออลูมิเนียมบนผิวแม่พิมพ์นั้นน้อยมาก ในกรณีนี้ก็อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ในต่างประเทศและวารสารทางวิชาการระดับนานาชาตินั้นนิยมใช้ PO_4-soap เป็นสารหล่อลื่น

แต่สำหรับทางบริษัทไทยปาร์คเกอร์ไรซิ่ง จำกัดนั้นเลือกที่จะใช้ AlF-soap เป็นสารหล่อลื่นสำหรับชิ้นงานอลูมิเนียม ทั้งนี้เพราะกระบวนการเคลือบ PO_4-soap บนชิ้นงานอลูมิเนียมที่ทางบริษัททำนั้นค่อนข้างยุ่งยากเพราะต้องทำการตรวจเช็คปริมาณความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการเคลือบ PO_4-soap อยู่ตลอดเวลาทำให้ต้องใช้เวลาในการเคลือบสารหล่อลื่นที่ค่อนข้างนานและยุ่งยาก ถึงแม้ว่าราคาของสารเคมีที่ใช้สำหรับเคลือบ AlF-soap มีราคาที่สูงกว่าสารเคมีที่ใช้สำหรับเคลือบ PO_4-soap ถึง 50% อีกทั้งการเคลือบ AlF-soap ยังต้องทำการเคลือบที่อุณหภูมิสูงกว่าการเคลือบด้วย PO_4-soap ถึง 50% ด้วยเช่นกัน ทำให้การเคลือบด้วย AlF-soap นั้นสูญเสียพลังงานมากกว่าการเคลือบด้วย PO_4-soap ก็ตาม