

บทที่ 3

งานวิจัยที่ผ่านมา

3.1 ผลของความเข้มข้นของสารกัดผิวที่มีต่อกำลังความตึงเครียด

S.P. Poa, C.C. Wan และ C.J. Wu [6] ในปี 1977 ได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนของพื้นผิวพลาสติกเอปียีเอสกับความตึงเครียด และสูตรสารกัดผิวที่เหมาะสมกับพลาสติกเอปียีเอส ทำการศึกษาโดยใช้สารกัดผิวต่างกัน 8 ชนิดดังตารางที่ 3.1 ที่อุณหภูมิการกัดผิว 60 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการกัดผิว 5 นาที

ตารางที่ 3.1 สูตรสารกัดผิวต่างกัน 8 สูตร [6]

สูตรที่	องค์ประกอบ
1	70% โดยปริมาตรของ H_2SO_4 และ 25 กรัมต่อลิตรของ CrO_3
2	45% โดยปริมาตรของ H_2SO_4 22% โดยปริมาตรของ H_3PO_4 และ 30 กรัมต่อลิตรของ CrO_3
3	20% โดยปริมาตรของ H_2SO_4 และ 400 กรัมต่อลิตรของ CrO_3
4	22% โดยปริมาตรของ H_2SO_4 และ 140 กรัมต่อลิตรของ CrO_3
5	40% โดยปริมาตรของ H_3PO_4 และ 20% โดยปริมาตรของ HNO_3
6	85.3% โดยปริมาตรของ H_3PO_4 และ 5 กรัมต่อลิตร $KMnO_4$
7	20% โดยปริมาตรของ H_2SO_4 และ 585 กรัมต่อลิตร CrO_3
8	20% โดยปริมาตรของ H_2SO_4 และ 50 กรัมต่อลิตร $KMnO_4$

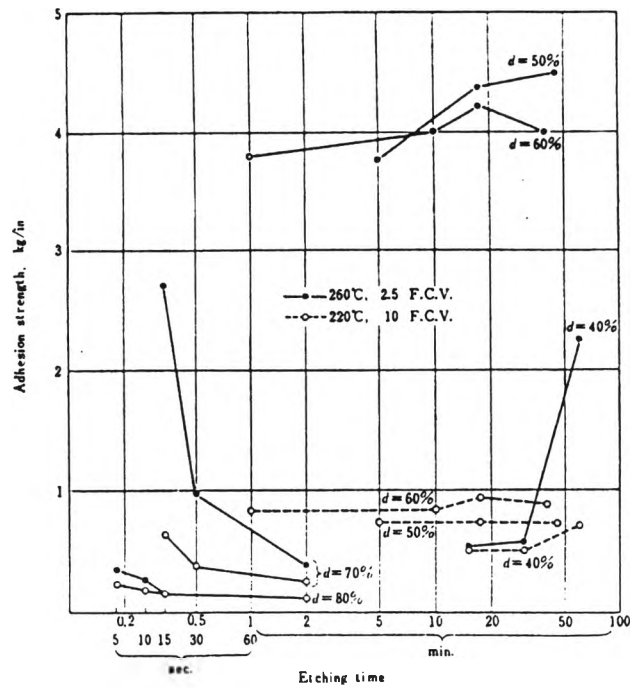
และใช้วิธี thermal cycling test ทดสอบกำลังความตึงเครียด (วิธีการทดสอบใกล้เคียงกับมาตรฐานทั่วไปเช่น ASTM JIS แต่ค่าของอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบแตกต่างกัน ซึ่งผลการทดสอบด้วยวิธีนี้จะให้ค่าในเชิงคุณภาพ (qualitative)) พบว่าลักษณะความพรุนบนผิวพลาสติกเอปียีเอส เช่น จำนวนรูพรุนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ความสม่ำเสมอของการกระจายตัวของขนาดรูพรุน เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมความตึงเครียดระหว่างผิวชิ้นงานพลาสติกและชั้นเคลือบโลหะ ซึ่งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูพรุนที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง $0.3 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-5}$ cm และสารกัดผิวที่เหมาะสมแก่การกัดผิว

ประกอบไปด้วยกรดโครมิกและกรดซัลฟูริกในน้ำเท่านั้น (สูตรที่ 3) โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกรดโครมิกต่อกรดซัลฟูริกอยู่ในช่วง 0.4-0.6

นางสาวเสาวรจณ์ ธรรมไพโรจน์ [7] ในปี 1978 ได้ศึกษาสัดส่วนสารกัดผิวที่เหมาะสมกับพลาสติกเอปียเอส ซึ่งประกอบด้วยกรดโครมิกและกรดซัลฟูริก ที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10-15 นาที โดยทำการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนความเข้มข้นของกรดโครมิกและซัลฟูริกให้มีความเข้มข้นโดยรวม 800 กรัม/ลิตร สำหรับค่ากำลังความตึงเครียดทดสอบด้วยวิธี peel test (วิธีการทดสอบใกล้เคียงกับมาตรฐานของ ASTM แต่มีรายละเอียดบางส่วนแตกต่างกัน) และใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนกลับ (reflecting microscope) ช่วยศึกษาความหยาบของพื้นผิวพลาสติกเอปียเอส ซึ่งพบว่าสารกัดผิวที่ประกอบด้วยกรดโครมิก 420 กรัม/ลิตร และกรดซัลฟูริก 380 กรัม/ลิตร จะให้ค่าแรงยึดเกาะระหว่างชั้นงานพลาสติกเอปียเอสกับชั้นฟิล์มโลหะสูงสุด (มีค่าประมาณ 2.4 ปอนด์/นิ้ว) ไม่ว่าจะผ่านการชุบเคลือบผิวแบบไร้กระแสด้วยทองแดงหรือนิกเกิลก็ตาม

งานวิจัยทั้งสองข้างต้นได้ศึกษาถึงสูตรสารกัดผิวที่เหมาะสมแก่การกัดผิว พบว่าสารกัดผิวที่เหมาะสมแก่การกัดผิวประกอบไปด้วยกรดโครมิกและกรดซัลฟูริก แต่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกรดโครมิกต่อกรดซัลฟูริกที่เหมาะสมต่อการกัดผิวของงานวิจัยทั้งสองยังไม่ชัดเจน (คือ มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกรดโครมิกต่อกรดซัลฟูริกที่แตกต่างกัน)

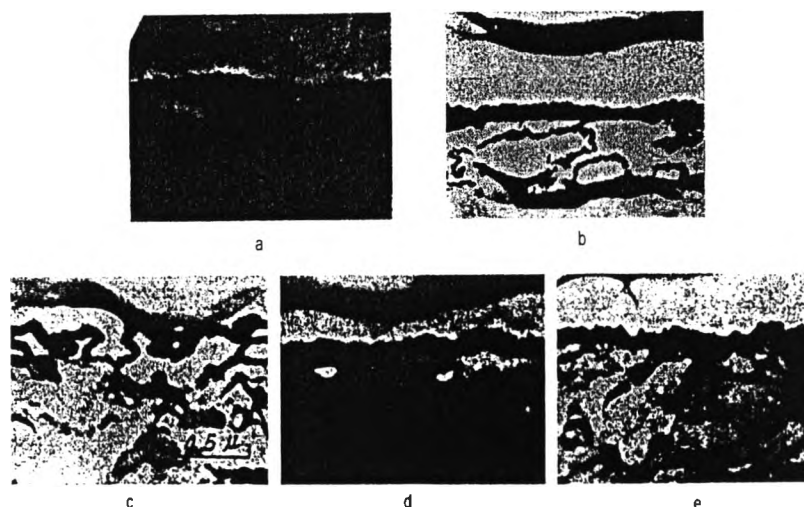
M. Matsunaga, Y. Hagiuda และ K. Ito [34] ในปี 1968 ได้ทำการศึกษาลักษณะของการกัดผิวที่มีต่อกำลังความตึงเครียดระหว่างพลาสติกเอปียเอสและชั้นเคลือบทองแดง โดยนำชิ้นงานพลาสติกเอปียเอสที่ผ่านการฉีดขึ้นรูปที่ 260 องศาเซลเซียส 2.5 F.C.V. และที่ 220 องศาเซลเซียส 10 F.C.V. มาทำการกัดผิวด้วยสารกัดผิวซึ่งประกอบด้วยกรดโครมิกอิ่มตัว น้ำ และกรดซัลฟูริก ซึ่งทำการศึกษาโดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกเป็น 5 ระดับคือ 40% 50% 60% 70% และ 80% และทดสอบกำลังความตึงเครียด ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นวิธี peel test และได้รายงานถึงรายละเอียดการทดสอบ ผลการทดลองสรุปดังกราฟรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ผลของสภาวะการกัดผิวที่มีต่อกำลังความติดแน่น ((d) คือ ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก)

[34]

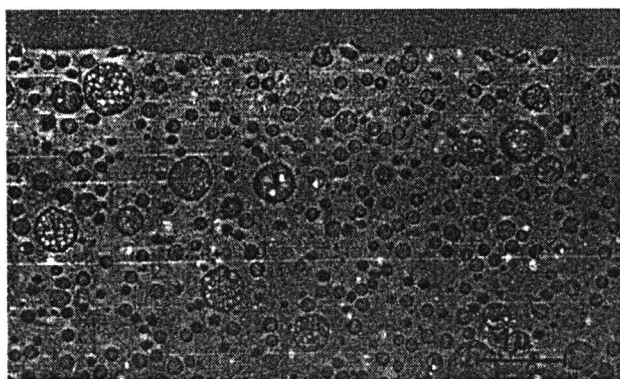
จากกราฟพบว่าความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 50% ถึง 60% และในรายงานได้แสดงภาพถ่ายภาคตัดขวางของพลาสติกเอป็อกซีจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (โดยเลือกจากชิ้นงานพลาสติกเอป็อกซีที่ฉีดขึ้นรูปที่ 260 องศาเซลเซียส 2.5 F.C.V. และผ่านการชุบเคลือบผิวด้วยทองแดงแบบไว้กระแสด) ซึ่งเห็นได้ว่าขนาดและการกระจายตัวของรูพรุนที่มีลักษณะสลัก (dovetail) มีขนาดใหญ่เมื่อความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกเหมาะสมดังรูปที่ 3.2



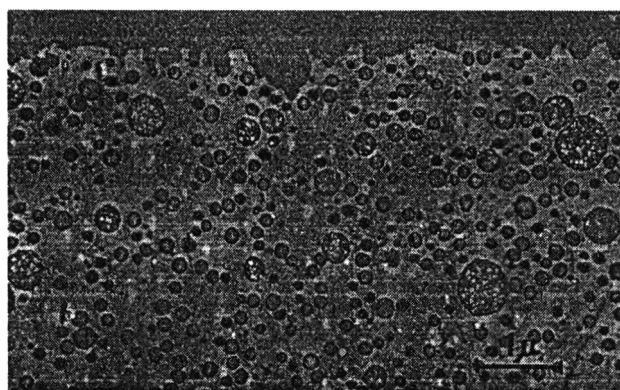
รูปที่ 3.2 ภาพภาคตัดขวางชิ้นงานพลาสติกเอทิลีนที่ผ่านการชุบเคลือบผิวแบบไร้กระแสที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกในสารกักผิวต่าง ๆ กัน (a) 40% (b) 50% (c) 60% (d) 70% (e) 80% ของกรดซัลฟูริก [34]

3.2 ผลของระยะเวลาในการกักผิวที่มีต่อกำลังความตึงเครียด

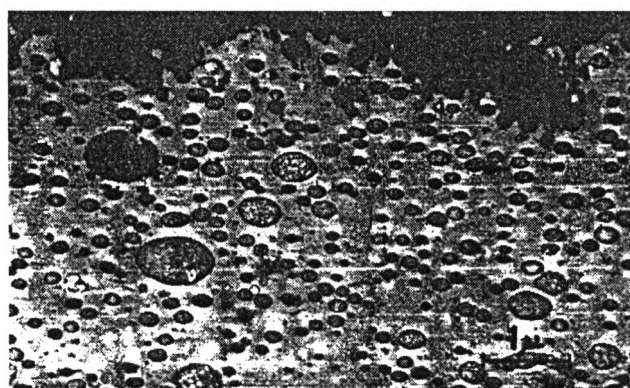
Koichi Kato [30] ในปี 1967 ได้ศึกษาถึงลักษณะพื้นผิวของพลาสติกเอทิลีนที่ผ่านการกักผิว โดยใช้เทคนิค ultrathin section ช่วยในการเตรียมชิ้นงานพลาสติกที่นำมาศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) พบว่าอนุภาคบิวทอะไดอินถูกขจัดโดยสารกักผิวมากกว่าส่วนแมทริกซ์ (หรือเฟส SAN) และในรายงานได้แสดงถึงภาพภาคตัดขวางของพื้นผิวพลาสติกเอทิลีนหลังการกักผิวที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันที่อุณหภูมิการกักผิว 65 องศาเซลเซียส และ ที่ความหนาแน่นจำเพาะของสารกักผิว (Sp.gr.) 1.64 ดังรูปที่ 3.3



(ก).



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.3 ลักษณะพื้นผิวพลาสติกเอปียเอสภายใต้การกัดผิวที่ระยะเวลา (ก) 0 นาที (ข) 10 นาที (ค) 45 นาที [30]

จากรูปที่ 3.3ข เห็นได้ว่าอนุภาคบิวทอะไดอินที่บริเวณผิวถูกจัดออกไปทำให้เหลือช่องว่างที่มีลักษณะเป็นหลุมคล้ายกับสลักยี่ด (dovetail) และในรูปที่ 3.3ค ได้รายงานว่าพบรูพรุนจำนวนมากที่เกิดขึ้นโดยยังคงมีเฟส SAN ล้อมรอบอยู่ ซึ่งแสดงว่ารูที่เกิดขึ้นนี้ต้องมีทางเชื่อมกับผิวเปิด โดยช่องทางใดช่องทางหนึ่ง อาจกล่าวได้ว่าเมื่อระยะเวลาในการกัดผิวนานขึ้นลักษณะรูหรือช่องว่างที่เกิดขึ้นจะมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

C.A. Villamizar, J. Rojas และ P. Frias [15] ในปี 1981 ได้ศึกษาผลของวิธีการกัดผิวที่ต่างกันที่มีต่อความตึงเครียดระหว่างพื้นผิวพลาสติกเอปียเอสกับชั้นเคลือบทองแดง โดยวิธีการกัดผิวที่ใช้คือ การกัดผิวด้วยน้ำยาเคมีจำพวกกรดโครมิก และการกัดผิวด้วย oxygen plasma สำหรับการทดสอบคุณสมบัติความตึงเครียดระหว่างชั้นเคลือบกับผิวชิ้นงานใช้ peel strength test (วิธีการทดสอบใกล้เคียงกับมาตรฐาน JIS) และ thermal cycling test (วิธีการทดสอบใกล้เคียงกับมาตรฐานทั่วไปเช่น ASTM และ JIS แต่ค่าของอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบแตกต่างกัน) และใช้ SEM (scanning electron microscope) ช่วยในการศึกษาลักษณะพื้นผิวของพลาสติกภายหลังการกัดผิว พบว่ากรณีการกัดผิวด้วยน้ำยาเคมีจะมีการยึดขัดเชิงกล (mechanical interlocking) เป็นปัจจัยหลักในการควบคุมความตึงเครียดระหว่างโลหะและพลาสติก สำหรับการกัดผิวด้วย oxygen plasma ความแข็งแรงของชั้นผิวเกิดจากการเกิดพันธะเชื่อมโยง (crosslink) บนผิว หรือจากการกำจัดชั้นเชื่อมต่อนี้ไม่ดี (weaken boundary) ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมความตึงเครียดระหว่างชั้นเคลือบและชิ้นงานพลาสติก และในรายงานได้แสดงผลของระยะเวลาในการกัดผิวของสารละลายกรดโครมิกที่มีต่อกำลังความตึงเครียดของชั้นเคลือบโลหะทองแดงและพลาสติกเอปียเอสมีค่าความตึงเครียดอยู่ในช่วง 0.03 - 5.5 กิโลกรัมต่อเซนติเมตร และจำนวนและขนาดของรูพรุนต่อพื้นที่ 100 ตารางไมครอนบนผิวพลาสติกที่ผ่านการกัดผิวที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันแสดงในตารางที่ 3.2 เห็นได้ว่าจำนวนและขนาดของรูพรุนที่เกิดขึ้นมีความสำคัญต่อกำลังความตึงเครียดระหว่างชั้นเคลือบโลหะและพลาสติก

ตารางที่ 3.2 ผลของระยะเวลาในการกัดผิวด้วยสารละลายกรดโครมิก 60 กรัมต่อลิตรและกรดซัลฟูริก 500 กรัมต่อลิตรในน้ำ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสต่อความตึงแน่นระหว่างชั้นเคลือบทองแดงและพลาสติกเอบีเอส [15]

Etching Period	Porosity (area: 10 μ m \times 10 μ m)		Peel Strength	
	Pores (number)	Pores (radius) (μ m)	Kg/cm	Type of failure
-	19 \pm 2	0.109 \pm 0.042	No metalization	
5 sec	-	-	0.03 \pm 0.01	Adhesive from ABS
15 sec	40 \pm 2	0.112 \pm 0.040	0.06 \pm 0.02	Adhesive from ABS
30 sec	48 \pm 1	0.180 \pm 0.068	0.30 \pm 0.15	Adhesive from ABS
1 min	46 \pm 2	0.309 \pm 0.130	0.38 \pm 0.22	Adhesive from ABS
2 min	46 \pm 2	0.332 \pm 0.130	4.50 \pm 0.20	Cohesive in ABS
3 min	47 \pm 2	0.345 \pm 0.157	>5.5	Cohesive in adhesive tape
5 min	46 \pm 2	0.425 \pm 0.201	>5.5	Cohesive in adhesive tape
15 min	70 \pm 6	0.487 \pm 0.226	5.10 \pm 0.20	Cohesive in ABS
30 min	73 \pm 3	0.501 \pm 0.253	3.5 \pm 1.00	Cohesive in ABS
1 hr	73 \pm 4	0.492 \pm 0.304	Partial metalization	-

จากข้อมูลในตารางที่ 3.2 เห็นได้ว่ากำลังความตึงแน่นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากค่าประมาณ 0.06 ไปเป็นประมาณมากกว่า 5.5 กิโลกรัมต่อเซนติเมตร เมื่อเวลาการกัดผิวเพิ่มจาก 5 วินาทีไปเป็น 5 นาที โดยที่สารกัดผิวจะเข้ากำจัดส่วนอนุภาคบิวทอะไดอิน ทำให้เกิดการกระจายตัวของรูที่มีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ กัน โดยมีรูปร่างที่ซับซ้อนขึ้นเป็นร่องหรือช่องลึกเมื่อระยะเวลาในการกัดผิวเพิ่มมากขึ้น ซึ่งโลหะอาจใช้เป็นที่ยึดเหนี่ยวเพื่อให้ได้รับกำลังความตึงแน่นที่ดี อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาที่ใช้ในการกัดผิวเกิน 15 นาที ค่ากำลังความตึงแน่นจะไม่เพิ่มขึ้นแต่กลับลดลง (คือลดจากค่ามากกว่า 5.5 มาเป็นประมาณ 3.5 กิโลกรัมต่อเซนติเมตร) จากข้อมูลข้างต้นพบว่าขนาดรูที่ให้กำลังความตึงแน่นสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 0.4 ไมครอน (ซึ่งในรายงานนี้ได้กล่าวไว้สอดคล้องกับงานวิจัยของ S.P. Poa และคณะ [6] ที่ได้รายงานว่ารูพุนขนาด 0.03 – 0.2 ไมครอน) สำหรับค่ากำลังความตึงแน่นที่ไม่เพิ่มขึ้นหลังจากระยะเวลาที่ใช้ในการกัดผิวเกิน 15 นาที อาจจะเป็นเพราะการยึดขัดเชิงกล (mechanical interlock) ต้องการขนาดที่เหมาะสมเพื่อที่จะให้กำลังความตึงแน่นที่ดี

เมื่อการกัดผิวมากไปรูที่เกิดขึ้นจะมีขนาดที่เกินขนาดที่เหมาะสม ซึ่งอาจเป็นสาเหตุการลดลงของกำลังความตึงเครียดได้

3.3 ผลของอุณหภูมิในการกัดผิวที่มีต่อกำลังความตึงเครียด

จากงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่พบว่ามีภาวะที่ผลของอุณหภูมิการกัดผิวต่อค่ากำลังความตึงเครียด มีเพียงการศึกษาเฉพาะที่อุณหภูมิในการกัดผิวหนึ่ง ๆ ในแต่ละงานวิจัย โดยพบว่าช่วงอุณหภูมิที่ใช้ศึกษาการกัดผิวในงานวิจัยต่าง ๆ กันค่อนข้างกว้างคือ มีการศึกษาดังแต่ที่อุณหภูมิห้องไปจนถึงอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส (ซึ่งอุณหภูมิการอ่อนตัวของพลาสติก (softening point) อยู่ที่อุณหภูมิ 90 – 95 องศาเซลเซียส) แต่ส่วนใหญ่อุณหภูมิการกัดผิวจะพบอยู่ในช่วง 55 – 75 องศาเซลเซียส

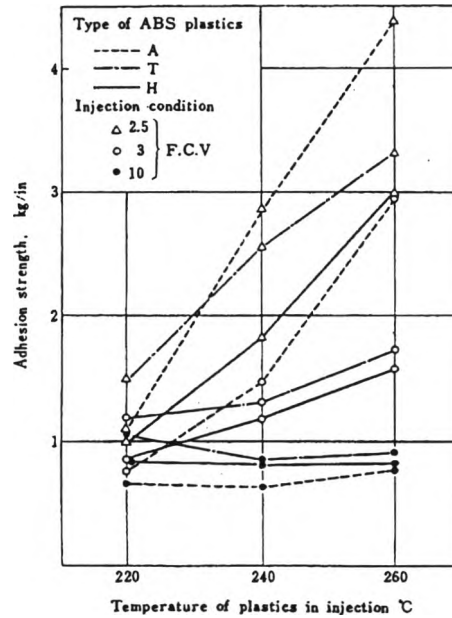
3.4 ผลของระยะเวลาที่ล่องมาภายหลังการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าที่มีต่อความตึงเครียด

H.M. Ghorashi [14] ในปี 1977 ได้ศึกษาผลกระทบของปริมาณกรดโครมิกที่เหลือหลังจากการกัดผิวที่มีต่อความตึงเครียดของชั้นทองแดงที่วางบนพอลิโพรพิลีนโดยใช้ radioactive chromium tracer คือ ^{51}Cr (ในรูป Na_2CrO_4) ผสมในสารกัดผิว ทำให้สามารถหาปริมาณกรดโครมิกที่เกิดพันธะกับพอลิโพรพิลีนระหว่างการกัดผิว และใช้วิธี jaquet peel adhesion test ทดสอบความแข็งแรงในการหลุดลอก พบว่าโครเมียมช่วยในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างชั้นงานพลาสติกและโลหะที่วางซึ่งทำให้ได้ความตึงเครียดที่ดีขึ้นหลังจากชั้นงานถูกเคลือบผิวแล้วเป็นเวลาสั้น ๆ (ภายใน 48 ชั่วโมง) แต่หากปล่อยให้ชั้นงานที่เคลือบผิวแล้วไว้เป็นเวลานาน (เกิน 48 ชั่วโมง) โครเมียมอาจจะไม่จำเป็นในการช่วยให้มีการยึดติดที่ดี

3.5 ผลของการฉีดขึ้นรูป (injection moulding) ที่มีต่อความตึงเครียดระหว่างชั้นเคลือบโลหะและพลาสติกเอบีเอส

M. Matsunaga, Y. Hagiuda และ K. Ito [34] ในปี 1968 ได้ศึกษากลไกของลักษณะรูพรุนที่มีลักษณะคล้ายกับสลักยัด (dovetail) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของการยึดเกาะทางกล และได้ศึกษาถึงผลของสภาวะการขึ้นรูปที่มีต่อกำลังความตึงเครียดชั้นงานพลาสติกเอบีเอส (เป็นพอลิเมอร์จาก Cycolac ชนิด A, T และ H) ถูกฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 220 240 และ 260 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วในการฉีดขึ้นรูปต่าง ๆ กัน และผ่านการกัดผิวด้วยสารกัดผิวสูตรเดียวกันเป็นเวลา 20 นาที ซึ่งสามารถแสดงผลของชนิดพลาสติกเอบีเอสที่ใช้และสภาวะการขึ้นรูปที่มีต่อกำลังความตึงเครียดดังรูปที่ 3.4 โดยปกติความเร็วในการฉีดขึ้นรูปยิ่งช้า และ อุณหภูมิของพลาสติกในการขึ้นรูปยิ่งสูง กำลังความตึงเครียดได้ก็จะสูง กำลังความตึงเครียดจะลดลงตามลำดับชนิดของพลาสติกเอบี

เอสคือ A T และ H ซึ่งแต่ละชนิดมีปริมาณของอนุภาคบิวทอะไดอินกระจายตัวแตกต่างกัน หากมีปริมาณบิวทอะไดอินในพลาสติกมาก กำลังความตึงเครียดที่ได้ก็จะลดต่ำลง (สำหรับในงานวิจัยนี้เท่า นั้น)



รูปที่ 3.4 ผลของชนิดพลาสติกเอบีเอสกับสภาวะการขึ้นรูปที่มีต่อกำลังความตึงเครียด [34]

3.6 แนวทางการศึกษาและวิเคราะห์ผลของการกัดผิวที่มีต่อความตึงเครียด

Dieter A. Mann และ Frank Leyendecker [16] ในปี 1994 ได้ศึกษาถึงกำลังความตึงเครียดระหว่างชั้นเคลือบโลหะที่ถูกวางด้วยวิธี physical vapour deposition (PVD) บนชิ้นงานพลาสติก โดยใช้พลาสติกชนิดต่าง ๆ กัน ได้แก่ polyamide polyethylene และ polyvinyl chloride และพลาสติกจะถูกปรับผิวด้วย low pressure plasma ก่อนทำการเคลือบด้วยวิธี PVD นี้ นอกจากนี้ยังศึกษาถึงผลกระทบของการใช้ก๊าซผสมต่างชนิดกันในการกัดผิวและระยะเวลาการกัดผิวที่ต่างกัน สำหรับการทดสอบกำลังการยึดเกาะของชั้นเคลือบอาศัยวิธี z-axis pull test และ peel test (วิธีการทดสอบใกล้เคียงกับมาตรฐาน JIS แต่ในส่วนรายละเอียดไม่ได้รายงานไว้) พบว่าการกัดผิวด้วย low pressure plasma ที่ใช้ก๊าซผสมที่มีออกซิเจนมากกว่า 75% จะเพิ่มความแข็งแรงในความตึงเครียดของชั้นเคลือบโลหะและชิ้นงานพลาสติก และได้รายงานว่าการยึดเกาะระหว่างชั้นโลหะกับพลาสติกได้รับอิทธิพลอย่างมากจากการปรับสภาพผิว วัสดุที่ใช้เคลือบผิว และโครงสร้างของชั้นเคลือบ

J. Kirmann, X. Roizard และ J. Pagetti และคณะ [36] ในปี 1998 ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของลักษณะพื้นผิววัสดุคอมโพสิต 2 ชนิด (อีพอกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว (glass fibre-reinforced epoxy composite) และอีพอกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยคาร์บอน (carbon fibre-reinforced epoxy composite)) ที่มีต่อกำลังความตึงเครียดของชั้นเคลือบทองแดง โดยใช้เทคนิค profilometric relocation มาช่วยในการวิเคราะห์ผลเชิงปริมาณของพื้นผิวอีพอกซีที่เกิดขึ้นจากการกัดผิว ซึ่งทำให้ทราบถึงแง่มุมต่าง ๆ ได้แก่ ภาพสามมิติของพื้นผิว เส้นแนวของลักษณะพื้นผิว และการวิเคราะห์ทางสถิติ (โดยใช้ Mean peak-valley-height (R_z) Skewness (S_k) และ Kurtosis (E_k) เป็นตัวแปรสำหรับการวัดค่าความหยาบ) จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง R_z กับค่าแรงดึง (peel value) (โดยอ้างอิงจากมาตรฐาน ASEP TP-200) พบว่า Mean peak-valley-height (R_z) ไม่ใช่ปัจจัยเดียวที่มีอิทธิพลต่อความตึงเครียด จึงไม่เพียงพอสำหรับการอธิบายความตึงเครียดที่เกิดขึ้นได้

E. Sheng, I. Sutherland, D.M. Brewis และคณะ [37] ปี 1995 ได้ศึกษาผลการกัดผิวพอลิเมอร์พอลิไพโรฟิลีนสามชนิดด้วยกรดโครมิก และทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี contact angle measurement, X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), attenuated total reflection infrared (ATR-IR), scanning electron microscopy (SEM) และ adhesion test พบว่าการกัดผิวด้วย oxidative acid มีผลต่อ receding contact angle มากกว่า advancing contact angle ของของเหลวที่ทดสอบ จาก contact angle hysteresis ของน้ำและ diiodomethane แสดงถึงความแตกต่างทางเคมีที่เกิดขึ้นบนผิวพอลิเมอร์เป็นผลจากการกัดผิวด้วยกรด ความหยาบของพื้นผิวที่เกิดจากการกัดผิวอาจส่งผลต่อ contact angle hysteresis ด้วย ผลการวิเคราะห์ XPS พบว่าความเข้มข้นของออกซิเจนบนผิวพอลิเมอร์ทั้งสามชนิดเพิ่มขึ้นเนื่องจากการกัดผิวด้วยกรดโครมิก สำหรับการทดสอบด้วย ATR-IR ไม่สามารถตรวจพบหมู่ functional group บนผิวพอลิเมอร์ได้ เพราะการเปลี่ยนแปลงบนผิวพอลิเมอร์จากกรดโครมิกเกิดเพียงบริเวณผิวบาง ๆ เท่านั้น การวิเคราะห์ผลด้วย chemical derivatisation ด้วย trifluoroacetic anhydride (TFAA) และ hydrazine พบว่ากรดโครมิกทำให้เกิด C=O (ketone) และ COOH (carboxylic) แต่ไม่พบหมู่ -OH บนผิวพอลิเมอร์ทั้งสาม สำหรับความตึงเครียดของผิวพอลิเมอร์กับ epoxy adhesive เพิ่มขึ้นจากการกัดผิวด้วยกรดโครมิก

Masao Suzuki, Mineo Kawamoto และ Akio Takahashi [35] ในปี 1999 ได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความตึงเครียด (ของชั้นเคลือบทองแดงที่เกิดจากการชุบผิวแบบไร้กระแสกับ photoimageable polymer ซึ่งเป็นตัวรองรับ) และระยะเวลาในการกัดผิว พบว่ากำลังความตึงเครียด (ทดสอบโดยวิธี peel test ซึ่งวิธีการทดสอบใกล้เคียงกับมาตรฐาน JIS แต่ในรายละเอียดยัง

รายงานไม่ชัดเจน) ระหว่างชั้นเคลือบทองแดงและพอลิเมอร์ลดลงเมื่อระยะเวลาในการกัดผิวเพิ่มขึ้น โดยที่ความหยาบของผิวพอลิเมอร์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป เสมือนว่าความหยาบบนพื้นผิวพอลิเมอร์ไม่มีผลต่อกำลังความตึงเครียดของชั้นเคลือบทองแดง จากผลของ ATR-IR พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีบนพื้นผิวของพอลิเมอร์หลังการกัดผิว แต่ยังไม่สามารถสรุปผลของการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่มีต่อกำลังความตึงเครียดได้อย่างชัดเจน และพบว่าค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature (T_g)) ของ photoimageable polymer ลดลงหลังจากระยะเวลาในการกัดผิวเพิ่มขึ้น เมื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) และค่ากำลังความตึงเครียด (จากการทดสอบหาค่า T_g และค่ากำลังความตึงเครียดที่ระยะเวลาการกัดผิวต่าง ๆ กัน) พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงทำให้ทราบว่าสมบัติโดยรวมของพอลิเมอร์มีผลต่อความตึงเครียดเช่นกัน ซึ่งการปรับสภาพผิวไม่เพียงแต่ทำให้เกิดความหยาบบนพื้นผิว photoimageable polymer แต่ยังส่งผลถึงเนื้อพอลิเมอร์โดยรวมและความตึงเครียดด้วย