กาว กลไกการยึดติด องค์ประกอบของกาว สารเติมแต่งกาว การแบ่งประเภทกาวและอีพอกซีเรซิน

ณฐกมลวรรณ ศรีจั่นเพชร

หลักสูตรเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี
*Corresponding author email: nathakamolwan@vru.ac.th

ได้รับบทความ: 17 กรกฎาคม 2567
ได้รับบทความแก้ไข: 4 ธันวาคม 2567
ยอมรับตีพิมพ์: 11 ธันวาคม 2567

บทคัดย่อ

กาวมีความสำคัญในการใช้ติดชิ้นงานหลาย ๆ ชนิดเข้าด้วยกันได้ เช่น ไม้ ยาง ผ้า พลาสติก โลหะ สามารถใช้งานในเชิงโครงสร้าง ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ ใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์ ใช้ในเครื่องบิน ใช้ในบรรจุภัณฑ์ ใช้ในการทำรองเท้าและใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้ กาวที่ใช้ในงานที่ต่างกันจะมีสมบัติต่างกัน กาวสามารถทำขึ้นจากพอลิเมอร์ต่างชนิด ทำให้มีสมบัติที่ไม่เหมือนกัน เช่น กาวที่ผลิตจากยาง กาวที่ผลิตจากอีพอกซีเรซินและกาวที่ผลิตจากอะคริลิค กาวบางชนิดต้องมีอายุการใช้งานนานเทียบเท่าอายุของชิ้นงาน ในบทความนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีการยึดติดที่เกี่ยวข้องกับกาวกลไกการยึดติดของกาวกับสับสเตรท องค์ประกอบของกาว สารเติมแต่งที่ใช้กับกาว สารส่งเสริมการติดไซเลน กาวหลอมละลายเมื่อร้อน กาวที่ไวต่อแรงกด กาวที่มีตัวทำละลาย กาวที่แขวนลอยในน้ำ กาวไฮบริด การแบ่งประเภทกาว อีพอกซีเรซิน และแนวทางในการพัฒนาวิจัยกาว

คำสำคัญ: กาว/ สารเติมแต่งกาว/ การแบ่งประเภทกาว/ อีพอกซีเรซิน

Adhesive, Adhesion Mechanism, Composition of Adhesive, Adhesive Fillers, Classification of Adhesives and Epoxy Resin

Nathakamolwan Srijunpetch

Chemistry Department, Faculty of Science and Technology,
Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal patronage,
Pathum Thani Province
*Corresponding author email: nathakamolwan@vru.ac.th

Received: 17 July 2024
Revised: 4 December 2024
Accepted: 11 December 2024

Abstract

Adhesive is an important material used to bond different substrates for instance, wood, elastomers, textiles, plastics and metals. It is utilized in structural, electronics, automotive, aircraft, packaging, shoes and other industries. Adhesive for different work requires dissimilar properties. Adhesive can be formulated from various polymers, producing variety properties for example, adhesive made from rubber, epoxy resin and acrylic. Some adhesive must last as long as the products. Adhesive related theories, the bonding mechanism of the adhesive to the substrate, composition of the adhesive, additives for adhesives, silane adhesion promoter, hot-melt adhesives, pressure-sensitive adhesives, solvent-based adhesives, water-based adhesives, hybrid adhesive, classification of adhesives, epoxy resin and the way to develop adhesives will be discussed in this article.

Keywords: Adhesive/ Additives for Adhesive/ Classification of Adhesive/ Epoxy Resin

บทนำ

กาว คือ วัสดุที่ไม่ใช่โลหะใช้เชื่อมติดชิ้นงานทำให้เกิดเป็นชิ้นงานใหม่ โดยกาวจะมีการเปียกผิวและแข็งตัวทางกายภาพหรือทางเคมี กาวสามารถถ่ายโอนแรงระหว่างชิ้นงานที่เชื่อมต่อกันได้ Adhesion คือ แรงดึงดูดระหว่างสารต่างกันสองชนิดที่นำมาติดกัน ที่เกิดขึ้นที่ระหว่างเฟสของแข็ง 2 ชนิดได้แก่กาวกับสับสเตรท [1-2] Cohesion คือ การดึงดูดกันของโมเลกุลภายในสารนั้นๆ หรือภายในสับสเตรท [1-2] เมื่อเกิดการเชื่อมติดระหว่างกาวกับสับสเตรทที่ดีจะมีความสมดุลระหว่าง adhesion และ cohesion กาวเป็นสารพอลิเมอร์ที่มีความสำคัญในหลายๆ งาน มีทั้งกาวที่ได้จากธรรมชาติและกาวที่สังเคราะห์ขึ้น นอกจากนี้ยังผลิตออกมาหลายรูปแบบ เช่น กาวเทป กาวของเหลวและกาวผง เป็นต้น กาวมีหลายประเภท เช่น กาวที่มีตัวทำละลาย กาวที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ กาวหลอมละลายเมื่อร้อน กาวที่ว่องไวต่อแรงกด การเข้าใจทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกาว เช่น กลไกการยึดติดของกาวบนสับสเตรทในทางกายภาพและทางเคมี พลังงานพื้นผิว การเปียกผิวของกาวบนสับสเตรท ลักษณะพื้นผิวของสับสเตรท ความเค้นที่ชิ้นงานที่ติดกาวได้รับและสารเติมแต่งที่ควรใช้ในกาว ทำให้สามารถผลิตกาว หรือเลือกใช้กาวได้ถูกต้อง

1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกาว

1.1 พลังงานพื้นผิว (surface energy)

อะตอมหรือโมเลกุลที่พื้นผิวจะสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมและอากาศข้างบนพื้นผิว พลังงานพื้นผิวคือแนวโน้มของพื้นผิวในการมีความว่องไวต่อปฏิกิริยามากกว่าในมวลรวมภายในเนื้อสับสเตรท พื้นผิวของสับสเตรทจะดูดซับน้ำ ออกซิเจน และไอจากอากาศ และดูดซับโมเลกุลต่างๆ ที่อยู่ในอากาศ เช่น ไอของน้ำมัน วัสดุที่แข็ง เช่น โลหะ เซรามิกส์ แก้ว จะมีพลังงานพื้นผิวสูง มีพื้นผิวที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา พื้นผิวถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย เมื่อสัมผัสกับอากาศ และมีการดูดซับสารปนเปื้อนในอากาศได้ง่าย เมื่อพื้นผิวสะอาด จะดูดซับ สี (paint) หรือกาว และเกิดพันธะที่แข็งแรงได้ วัสดุที่เนื้อไม่แข็งซึ่งยังคงมีลักษณะที่สามารถถูกขูดขีดได้ เช่น พอลิเมอร์ มีพลังงานพื้นผิวต่ำ พื้นผิวไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา และมีแนวโน้มไม่ดูดซับโมเลกุลอื่นๆ และเกิดพันธะกับกาวได้ยาก ต้องมีกระบวนการปรับพื้นผิวเพื่อให้กาวติดได้ เช่น ใช้ corona เปลวไฟ พลาสมา เพื่อเพิ่มพลังงานพื้นผิว

1.2 แรงตึงผิว (surface tension)

แรงตึงผิวระหว่างเฟส (interfacial tension: γ) คือแนวโน้มของระหว่างเฟสที่จะกลายเป็นทรงกลม เพื่อทำให้พลังงานพื้นผิวต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ส่วน แรงตึงผิว (surface tension) คือแรงตึงผิวของพื้นผิวของของเหลว เกิดจากแรงดึงดูดของอนุภาคในชั้นพื้นผิวโดยมวลรวมของของเหลว ซึ่งพยามลดพื้นที่ผิว ยิ่งแรงตึงผิวมาก ยิ่งมี cohesion มาก น้ำมีพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล มี cohesion มาก และมีแรงตึงผิวมาก ของเหลวที่มีขั้วน้อยจะมีแรงตึงผิวน้อย [1-2]

1.3 มุมสัมผัส (contact angle)

ความแข็งแรงของการยึดติดของกาว คือการวัดความต้านทานของกาวในการเกิดพันธะกับการดึงออกเชิงกลจากสับสเตรท สำหรับการดึง ภาระ (load) คือ แรง (Force) /พื้นที่ (area) แต่ความแข็งแรงของการลอกออก (peel strength) คือแรงต่อความยาว

1.4 การเปียกผิว (wetting)

การวัดการเปียกผิวทำโดยการวัดมุมสัมผัส (contact angle) (ภาพที่ 1) ที่เกิดขึ้นระหว่างหยดของเหลวกับพื้นผิวสับสเตรทที่ของเหลวหยดลงไป ยิ่งมีมุมสัมผัสยิ่งเล็กหมายถึงของเหลวเปียกผิวของแข็งได้ดี การเปียกผิวอธิบายโดยใช้สมการของยังส์

$$\gamma_S = \gamma_{SL} + \gamma_L \cos\theta \qquad (1)$$

$\theta = 0^\circ$ $\cos\theta = 1$ คือการที่ของเหลวเปียกผิวได้อย่างสมบูรณ์

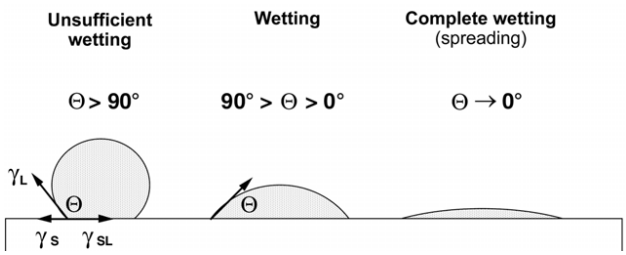
γ_S = แรงตึงผิวของพื้นผิวของแข็ง

γ_L = แรงตึงผิวของของเหลว

γ_{SL}= แรงตึงผิวระหว่างพื้นผิวของแข็งและของเหลว

θ = มุมสัมผัสของของเหลวและพื้นผิวของแข็งที่ของเหลวหยดลงไป

ถ้าของเหลวมีแรงตึงผิวมากกว่าพื้นผิวของแข็งจะไม่เกิดการเปียกผิว ของเหลวที่มีแรงตึงผิวต่ำ จะเปียกผิวได้ง่ายกว่า [1]



ภาพที่ 1 การเปียกผิวบนสับสเตรท โดยพื้นผิวที่กาวเปียกผิวได้สมบูรณ์มีมุมสัมผัส (θ) เข้าใกล้ศูนย์ พื้นผิวที่เปียกผิวได้ดีมีมุมสัมผัสอยู่ระหว่างศูนย์และ 90 องศา พื้นผิวที่เปียกผิวไม่ดีมีมุมสัมผัสมากกว่า 90 องศา [1]

1.5 พื้นผิวของโลหะ

การที่ของเหลวจะเปียกผิวได้คือ $\gamma_S > \gamma_L$ บนผิวโลหะมีออกไซด์ทำให้เปียกผิวด้วยน้ำได้

1.6 พื้นผิวของพลาสติก

สมบัติของพื้นผิวของพลาสติกมักจะแตกต่างจากสมบัติมวลรวมของพลาสติก เนื่องจากกระบวนการผลิต ส่วนใหญ่พื้นผิวจะมีพลังงานต่ำ มีแรงตึงผิวต่ำ ทำให้การเปียกผิวพลาสติกเกิดได้ไม่ดี บนพื้นผิวพลาสติกจะมีสารเติมแต่งต่างๆ ตัวทำละลายที่หลงเหลือ พลาสติไซเซอร์ สารป้องกันการติดแม่แบบขึ้นรูปพลาสติก เช่น พาราฟินส์ สบู่ น้ำมันซิลิโคน ซึ่งอยู่บนผิวพลาสติกและอยู่ที่ชั้นลึกลงไปจากผิวพลาสติก ทำให้กาวติดบนผิวพลาสติกได้ไม่ดี การขึ้นรูปพลาสติก เช่น การฉีดขึ้นรูป ทำให้ผิวพลาสติกมีการจัดเรียงตัวที่ดีกว่าพอลิเมอร์ที่อยู่ในเนื้อพลาสติก

1.7 ทฤษฎีการยึดติดของกาวบนสับสเตรท

การยึดติดของกาวกับสับสเตรทเกิดจากการที่กาวสามารถเปียกผิวแล้วไหลเข้าไปอยู่ในช่องว่างในสับสเตรทแล้วเกิดการแข็งตัวเกิดการยึดกันเชิงกล (mechanical interlocking) กาวกับสับสเตรทสามารถยึดติดกันด้วยการเกิดพันธะเคมีดังนี้

1. พันธะไอออนิก (Ionic bond) เกิดกับสับสเตรทที่เป็นแร่ธาตุ เช่น ชั้นของโลหะออกไซด์ ชั้นโลหะที่มีฟอสเฟต พันธะไอออนิกระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิว

สับสเตรทและหมู่คาร์บอกซิลของกาว ข้อเสียของพันธะไอออนิกคือการแตกหักหรือถูกทำลายเมื่อถูกน้ำ ทำให้ไม่สามารถยึดติดเมื่อเปียกได้

2. พันธะโคเวเลนต์ (Covalent bond) การยึดติดของกาวกับสับสเตรทอาจเกิดพันธะโคเวเลนต์ได้เมื่อกาวมีหมู่ที่ทำหน้าที่ (functional group) ที่เหมาะสม ปฏิกิริยาออกซิเดชันบนผิวพลาสติก เช่น การใช้เปลวไฟทำให้เกิดหมู่ที่ทำหน้าที่ เช่น หมู่คาร์บอกซิลิก หรือ หมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับกาวได้

3. พันธะทุติยภูมิ (Secondary bond) เป็นพันธะชนิดอ่อนที่เกิดใกล้ๆ ระหว่างกาวกับสับสเตรท

4. แรงไดโพล (dipole force) ต้องมีหมู่มีขั้วบนกาวกับบนผิวสับสเตรท

5. พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond)คือพันธะระหว่างไฮโดรเจนกับธาตุที่มีอิเล็กโทรเนกติวิตีมาก เช่น N O F พันธะไฮโดรเจนมีข้อเสียคือการแตกหักของพันธะในกาวเมื่อถูกน้ำ

6. แรงแผ่กระจาย (dispersion force) แรงแผ่กระจายมีค่ามากขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์มีค่ามากขึ้น เช่น พอลิเอทิลีน มีแต่แรงดึงดูดประเภทนี้

การยึดติดโดยการเกิดพันธะโคเวเลนต์เรียกว่า chemisorption แต่การยึดติดโดยแรงทุติยภูมิเรียกว่า physisorption ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี [1]

1.8 ทฤษฎีการแพร่

การยึดติดของกาวกับสับสเตรทเกิดจากการแพร่ของโอลิโกเมอร์ของพอลิเมอร์เข้าไปในพื้นผิวของสับสเตรทพอลิเมอร์ เกิดการยึดกันเชิงกล โดยเกิดการแพร่ที่อุณหภูมิเหนืออุณหภูมิสภาวะคล้ายแก้ว (T_g) ของพอลิเมอร์ ถ้าสับสเตรทเกิดการบวมตัวโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์จะทำให้เกิดการแพร่ได้ดีขึ้น เช่น การติดท่อพีวีซีโดยใช้เตตระไฮโดรฟิวแรนละลายพีวีซีแล้วเชื่อมท่อติดกัน

2. องค์ประกอบของกาว

2.1 องค์ประกอบของกาวโดยทั่วไป

สูตรกาวประกอบด้วยเรซินพื้นฐานที่ใช้ในกาวและสารเติมแต่งต่างๆ ขึ้นอยู่กับการใช้งาน สูตรกาวมีดังนี้

1. เรซินพื้นฐาน คือองค์ประกอบหลักของกาว เช่น กาวอีพอกซี จะมีอีพอกซีเป็นองค์ประกอบหลัก

2. สารทำให้กาวแข็งตัว (hardener หรือ curing agent) ใส่เพื่อให้กาวแข็งตัวโดยการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับพอลิเมอร์เรซินที่เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น พอลิเอไมด์คือสารทำให้แข็งใช้กับกาวอีพอกซีสองส่วน ต้องชั่งให้มีปริมาณพอดีในการเกิดปฏิกิริยา

3. ตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวยับยั้งหรือตัวหน่วงปฏิกิริยา (catalyst and inhibitor) ใส่เพื่อควบคุมอัตราการแข็งตัวของกาว เก็บกาวและควบคุม working life หรือระยะเวลาในการทากาวก่อนที่กาวจะแข็งตัว

4. ตัวทำละลายใช้การละลายพอลิเมอร์เรซิน ลดความหนืด ทำให้ใช้งานง่าย ตัวทำละลายต้องระเหยออกก่อนกาวแข็งตัวมิเช่นนั้นจะเกิดฟองบริเวณที่เกิดพันธะ ตัวทำละลายต้องไม่ทำให้สับสเตรทสลายตัว diluent คือสารที่เติมในกาวเพื่อลดความเข้มข้นของพอลิเมอร์ชนิดหลัก ใช้ลดความหนืด diluent ทำปฏิกิริยากับกาวได้ ไม่ระเหย บางชนิดไม่เกิดปฏิกิริยากับเรซิน

5. Extenders คือสารที่มีสมบัติบางอย่างเหมือนกาวใส่เพื่อลดต้นทุน ใช้ปรับสมบัติของกาวได้ เช่น แป้ง ลิกนินที่ละลายน้ำ

6. สารตัวเติม (fillers) คือสารที่ไม่ใช่กาว ใส่เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ลดต้นทุนและสมบัติอื่นๆ สารที่ใส่ในกาว เช่น อะลูมินา แบเรียมซัลเฟต แคลเซียมคาร์บอเนต แกรไฟต์ ไทเทเนียมไดออกไซด์ เป็นต้น

7. Carrier เป็นกระดาษหรือผ้าบางๆ ใช้พยุงกาวที่กึ่งแข็ง เป็นเทปหรือฟิล์มอยู่บนด้านหนึ่งของวัสดุพยุง

8. สารเพิ่มความอ่อนนุ่ม (plasticizers) ใส่ในกาวเพื่อความยืดหยุ่น ช่วยลดความหนืดในการหลอมเหลวได้ สารเพิ่มความอ่อนนุ่มไม่ระเหย จะทำให้สายโซ่พอลิเมอร์แยกจากกันง่ายขึ้น ทำให้อุณหภูมิสภาวะคล้ายแก้ว (T_g) ลดลง tackifier หรือสารเพิ่มความเหนียว ใช้ แอลิฟาติกและแอโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เทอร์พีน และโรซินเอสเทอร์ สารเพิ่มความเหนียวใช้กับกาวที่ไวต่อแรงกด

9. สารอื่นๆ ได้แก่ สารต้านการเกิดออกซิเดชัน สารฆ่าจุลชีพมักใส่ในกาว water-based กาวที่แขวนลอยจะมีสบู่ สารลดแรงตึงผิวและสารที่ทำให้อิมัลชันเสถียร

2.2 สารที่ใส่ในสูตรกาว

สูตรของกาวขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของกาวและลักษณะการทำให้กาวแข็งตัวเมื่อเกิดพันธะ ตามปกติจะมีเรซินพอลิเมอร์ สารทำให้แข็งตัวและสารเติมแต่งต่าง ๆ

การควบคุมการไหลของกาว ลักษณะการไหลของกาวควบคุมโดยการเติมสารตัวเติม มีการเติมแร่ใยหินในกาวเพื่อให้กาวมีสมบัติ thixotropic ที่ดี มีการใช้ fumed silica แคลเซียมคาร์บอเนตที่ตกตะกอน เคลย์ (Clay) บางชนิด เซลลูโลสและเส้นใยบางชนิด ความเร็วในการเปียกผิวทำให้ไวขึ้นโดยใส่ diluent เข้าไปในกาว ช่วยลดความหนืดทำให้เคลือบได้ดี แต่ทำให้การเกิดสายโซ่เชื่อมโยงลดลง ทนความร้อนลดลง ทนสภาพแวดล้อมลดลง

การขยายช่วงอุณหภูมิในการใช้งาน บางกรณีต้องผลิตกาวที่ทนต่ออุณหภูมิต่ำและสูงในช่วงใช้งาน กาวทนอุณหภูมิสูงต้องทำให้แข็งตัวที่อุณหภูมิสูง ทำให้กาวมี T_g สูง เรซินและสารทำให้แข็งตัวจะมีวงแหวนอะโรมาติกในโครงสร้าง และมีการเติมสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันด้วย กาวมักเปราะ ความทนทานต่อการลอกออกต่ำ มีการใช้สารกลุ่มยาง เช่น ซิลิโคนเพื่อปรับสมบัติความแข็งแรงที่อุณหภูมิต่ำ

การปรับปรุงสมบัติความเหนียว (toughness) ของกาว คือ ทำให้กาวสามารถดูดซับพลังงานและต้านทานการแตกหัก ทนแรงกดอัด ทำได้โดยผสมเรซินพื้นฐานกับพอลิเมอร์อื่น คือเทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์หรือสารกลุ่มยาง กาวอีพอกซี-ไนล่อนมีสมบัติความเหนียวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกาวอีพอกซีที่ไม่ได้ผสม แต่ว่องไวต่อความชื้นเพราะมีไนล่อน กาวไนไตรล์-ฟีนอลิคทนอุณหภูมิสูงเพราะมีฟีนอลิค ทนต่อการลอกออกเพราะมีไนไตรล์ เรซินปรับปรุงสมบัติความเหนียวจะลด T_g (glass transition temperature) ทำให้สมบัติการใช้งานที่อุณหภูมิสูงและทนต่อสภาพแวดล้อมลดลง

การลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อนของกาว สับสเตรทและกาวอาจมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อนต่างกัน การปรับสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อนของกาวจะลดความเค้นภายใน ความเค้นจะทำให้การยึดติดของกาวถูกทำลาย สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อนของกาวควรปรับให้มีค่าอยู่ระหว่างสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อนของสับสเตรทที่มายึดติดกัน ทำได้โดยการเติมสารตัวเติม เช่น สารเพิ่มความอ่อนนุ่ม

การลดการหดตัวของกาว เรซินทุกชนิดมีการหดตัวเมื่อเกิดการแข็งตัวทำให้เกิดความเค้นภายในจุดเชื่อมต่อ การลดการหดตัวของกาวทำได้โดยเติมสารตัวเติม เช่น เรซินที่ไม่หดตัวเมื่อแข็งตัว ทำให้เกิดการยึดล๊อคกันภายในและลดการหดตัว

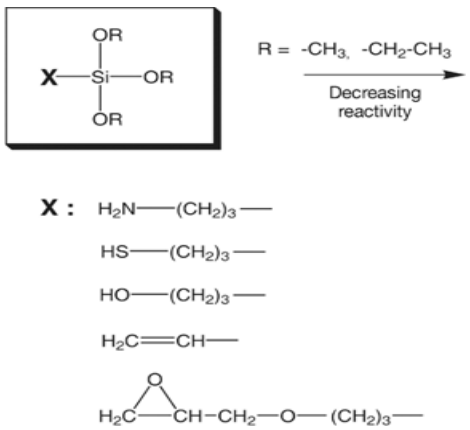
การเพิ่มความเหนียว (tack) ของเนื้อกาว กาวต้องมีความเหนียว ระดับหนึ่ง เพื่อให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการจนกระทั่งแข็งตัว กาวทำให้เหนียวขึ้นโดยใช้เรซินที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น สารทำให้กาวเหนียว (tackifiers) มีทั้งที่เป็นของเหลวและของแข็ง สารที่ทำให้กาวเหนียวมีสมบัติหนืด

การปรับสมบัติการนำไฟฟ้าและการนำความร้อนในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับไฟฟ้า มีการใช้กาวที่นำไฟฟ้าได้ในการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า การทำให้กาวนำไฟฟ้าทำโดยเติมสารตัวเติมที่เป็นโลหะ ได้แก่ เงิน ทองแดง อะลูมิเนียม นิเกิล แพลทินัม แกรไฟต์ เป็นต้น การผสมโลหะจะนำทั้งไฟฟ้าและความร้อน สารตัวเติมที่นำความร้อนอย่างเดียวคือ อะลูมิเนียมออกไซด์ แบริลเลียมออกไซด์ โบรอนไนไตรล์ ซิลิกา [2]

การปรับปรุงพื้นผิวเพื่อให้เกิดการเปียกผิวที่ดี สำหรับ water -based adhesives (กาวที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ) เมื่อ $\gamma_L > \gamma_S$ ทำให้การเปียกผิวเกิดไม่ดี ปรับปรุงได้โดยการลดแรงตึงผิวของกาว γ_L โดยเติมสารช่วยในการเปียกผิว หรือทำการเพิ่มแรงตึงผิวของสับสเตรทของแข็ง γ_S การทำให้การเปียกผิวพลาสติกดีขึ้นทำโดยใช้ flame treatment ทำให้เกิดหมู่ที่มีขั้วบนผิวพลาสติก เช่น หมู่ไฮดรอกซิล หรือหมู่ คาร์บอกซิลิก เพิ่ม γ_S วิธีอื่น เช่น การขัดด้วยกระดาษทราย การใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ การใช้ primer ช่วยปรับปรุงการเปียกผิวได้ เช่น การเคลือบพอลิโอเลฟินส์ด้วย chlorinated polymers ช่วยเพิ่มแรงตึงผิว

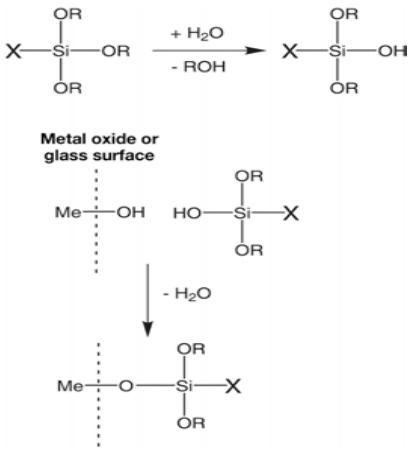
สารช่วยในการติด (primer) คือสารช่วยในการติดที่เข้มข้น อาจป้องกันการสึกกร่อน ป้องกันกาวจากสารที่เป็นองค์ประกอบในสับสเตรท เช่น พลาสติไซเซอร์

ไซเลนคืออะไร คือสารส่งเสริมการติดในกาวเรียกอีกอย่างว่า ไตรแอลคอกซีไซเลน ภาพที่ 2

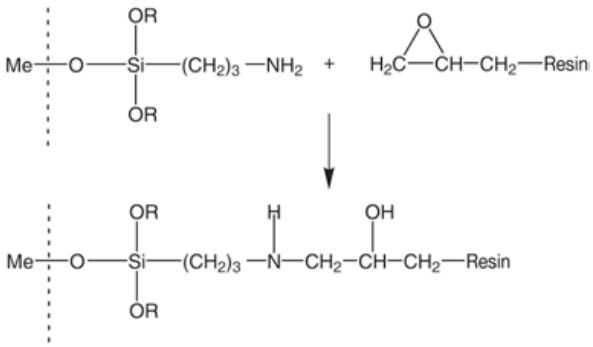


ภาพที่ 2 โครงสร้างของสารส่งเสริมการติดไซเลน [1]

สารส่งเสริมการติดทำงานอย่างไร ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของหมู่แอลคอกซีจากความชื้นในบรรยากาศทำให้เกิดเป็นหมู่ไซลานอล (ภาพที่ 3) หมู่ไซลานอลสามารถเกิดปฏิกิริยาควบแน่นกับหมู่ไฮดรอกซิลบนผิวโลหะ แก้ว สารตัวเติม และวัสดุก่อสร้าง และทำปฏิกิริยากับ Si-OH อื่นๆ Silane coupling agent เป็นสารทำให้เกิดพันธะระหว่างสารอินทรีย์กับสารอนินทรีย์ เช่น การปรับปรุงการยึดติดของเส้นใยธรรมชาติกับเมทริกซ์ในวัสดุเชิงประกอบ (ภาพที่ 4) ช่วยปรับปรุงความแข็งแรงเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ ช่วยให้การติดเกิดดีขึ้น ช่วยปรับปรุงเรซินและปรับสภาพพื้นผิว โมเลกุลไซเลนมีหมู่ที่ทำหน้าที่สองหมู่ หมู่หนึ่งสามารถติดกับเส้นใยได้ และอีกหมู่หนึ่งเกิดพันธะกับพอลิเมอร์ได้ [1]



ภาพที่ 3 ปฏิกิริยาของสารส่งเสริมการติดไซเลนกับออกไซด์ของโลหะ [1]



ภาพที่ 4 ปฏิกิริยาของสารส่งเสริมการติดไซเลนกับอีพอกซีเรซิน [1]

3. การแข็งตัวของกาวและสารอุดรอยรั่ว (sealants)

กาวและสารอุดรอยรั่วต้องสามารถไหลได้และเปียกผิวที่ต้องการติดและเกิดการแข็งตัวทางกายภาพหรือทางเคมี หรือเกิดจากการเย็นตัวลง หรือเกิดจากการระเหยตัวทำละลายออกไป ยกเว้นกาวที่ไวต่อแรงกดต้องเหนียวอย่างถาวร (permanently tacky) จะไม่แข็งตัว กาวที่ไวต่อแรงกดจะอยู่ในรูปแบบสารละลาย สารที่กระจายตัวในน้ำ หรือสารหลอมเหลว กาวที่ไวต่อแรงกด (pressure-sensitive adhesives, PSAs) เป็นกาวที่แข็งตัวโดยไม่มีการเกิดปฏิกิริยาเคมีหรือมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพระหว่างที่เกิดการยึดติด ปัจจุบันมีการใช้ไฮบริดพอลิเมอร์ทำกาว PSAs ทำให้ได้กาวที่มีสูตรหลากหลายและมีสมบัติเชิงกลที่ดี

กาว HMAs (Hot melt adhesive) แบ่งเป็นพอลิโอเลฟินส์ พอลิเอไมด์ [3] พอลิเอสเทอร์ [3] พอลิยูรีเทน [4]

กาว PSAs แบ่งเป็นกาวอะคริลิค [5] ซิลิโคน [6] พอลิยูรีเทน [7] อีพอกซี [8] กาวอะคริลิค PSAs ผลิตเป็นเทป เทปสองหน้า สติกเกอร์ติดชื่อ protective film และในผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ กาวอะคริลิคมีลักษณะโปร่งใส ไม่มีสี ทนแสงแดด ทนน้ำ มีความสมดุลของ cohesion และ adhesion ไม่เกิดเป็นสีเหลือง ทนต่อการเกิดออกซิเดชัน [9-11]

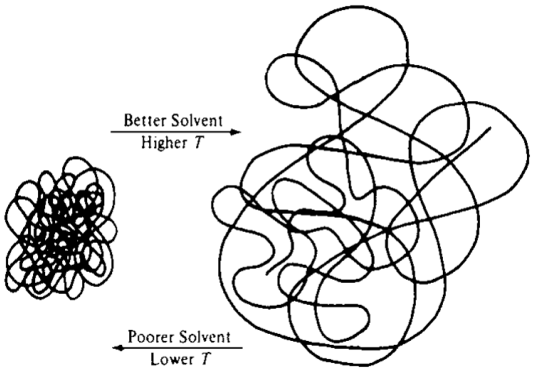
กาวซิลิคอน (silicon) กาวกลุ่มนี้ใช้ทำเทปและสติกเกอร์ติดชื่อที่ไวต่อแรงกด กาวชนิดนี้เป็นซิลิโคนพอลิเมอร์ที่มีหมู่ไซลานอลอยู่ที่ปลายโซ่และไซลอกเซนเรซินที่มีหมู่ไซลานอลอยู่ด้วย ละลายในโทลูอีนหรือไซลีน กาวกลุ่มนี้ทนต่อสภาวะแวดล้อม เช่น รังสียูวี โอโซน ความชื้นและทนต่อสารเคมีอันตราย ใช้งานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และใช้ในงานทางการแพทย์ และยังเป็นกาวที่เข้ากันได้ทางชีวภาพจึงใช้ในระบบขนส่งยา (drug delivery) กาวซิลิคอน PSAs มีความยืดหยุ่นจากยางซิลิคอนและทนอุณหภูมิสูงจากซิลิโคนเรซิน ใช้งานได้ในช่วง 70-250°C กาวนี้ติดได้ทั้งพื้นผิวที่มีพลังงานพื้นผิวสูงและต่ำ เช่น แก้ว กระดาษ พอลิโอเลฟินส์ เป็นต้น กาวซิลิคอน PSAs มีการปรับปรุงให้ทนทานต่อเปลวไฟโดยใช้สารประกอบฟอสฟอรัส โบรมีน ออกไซด์ของโลหะ ไฮเดรตของโลหะและปรับให้เป็นกาวที่แข็งตัวด้วยยูวีโดยใช้สารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสงและสารทำให้เกิดสายโซ่เชื่อมโยง (crosslinking agent) เป็นต้น [12]

กาวพอลิยูรีเทน PSAs สังเคราะห์จากปฏิกิริยาระหว่าง poly-isocyanate กับ polyol มีการทดลองแปรเปลี่ยนส่วนที่แข็ง (hard segment) กับส่วนที่นิ่ม (soft segment) ในเทอร์โมพลาสติก PU แล้วศึกษาสมบัติต่างๆ ของกาว เช่น ความเหนียว (tact)

กาว PSAs จากยางธรรมชาติ (NR) เป็นกาวต้องมีการเติม tackifier resins เช่น อะลิฟาติก อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน พอลิเทอร์-พีนหรืออนุพันธ์ของโรซิน เพื่อให้ NR มีการเปียกผิวที่ดีและติดกับสับสเตรทได้ดี

3.1 กาวที่แข็งตัวทางกายภาพ

solvent-based adhesive มีองค์ประกอบคือพอลิเมอร์ที่ละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม และมีการเติมสารเติมแต่งต่างๆ การเลือกตัวทำละลายอาจดูจากค่าพารามิเตอร์การละลายของพอลิเมอร์เทียบกับค่าพารามิเตอร์การละลายของตัวทำละลาย ต้องมีค่าใกล้เคียงกันจึงละลายกันได้ สมบัติ เช่น ความหนืดของกาวเกี่ยวข้องกับปริมาณพอลิเมอร์ที่ละลายในตัวทำละลาย ความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพารามิเตอร์การละลายเพิ่มขึ้น เมื่อพอลิเมอร์ละลายในตัวทำละลายที่ดี จะมีการแผ่โครงรูปของพอลิเมอร์ออก (ภาพที่ 5) โมเลกุลจะสัมผัสกัน ส่วนตัวทำละลายที่ไม่ดีจะทำให้สารละลายมีความหนืดต่ำลงเพราะโครงรูปของพอลิเมอร์หดตัว และความหนืดยังขึ้นน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ สายโซ่โมเลกุลยาวทำให้พอลิเมอร์มีขนาดใหญ่ขึ้น ปริมาณพอลิเมอร์ในกาวจะอยู่ที่ 20-30% พอลิเมอร์ที่ใช้เป็นสารเชื่อมในกาวจะกระจายตัวในน้ำหรือในตัวทำละลาย การแข็งตัวของกาวเกิดจากการระเหยออกไปของตัวทำละลายหรือการแพร่ของตัวทำละลายเข้าไปในสับสเตรท ในกรณีของพอลิเมอร์ที่หลอมเหลว การแข็งตัวเกิดจากการเย็นตัวและเกิดผลึกบางส่วนของพอลิเมอร์ [2]



ภาพที่ 5 ผลของตัวทำละลายแลอุณหภูมิที่มีต่อโมเลกุลพอลิเมอร์ในสารละลาย ในตัวทำละลายที่ดีหรือที่อุณหภูมิสูงพอลิเมอร์จะแผ่โครงรูปออก ในตัวทำละลายที่เลวหรือที่อุณหภูมิต่ำพอลิเมอร์จะหดตัว [13]

อัตราการระเหยของตัวทำละลายคืออัตราส่วนของเวลาการระเหยของตัวทำละลายที่สนใจเทียบกับเวลาการระเหยของไดเอทิลอีเทอร์ที่ 293 K ตัวทำละลายที่ระเหยได้รวดเร็วเป็นสิ่งที่ต้องการ ตัวทำละลายที่ระเหยได้ดีมีจุดวาบไฟ (flash point) ต่ำ ซึ่งเกี่ยวกับ

ความปลอดภัยในการใช้งาน ตัวทำละลายอะโรมาติค เช่น เบนซีน โทลูอีน เป็นตัวทำละลายที่ดี แต่มีพิษและเป็นสารก่อมะเร็ง จึงไม่นำมาใช้ในหลายๆ งาน halogenated solvent เป็นสารต้องห้ามในการนำมาใช้เช่นกัน เป็นสารก่อมะเร็งและทำให้เกิดช่องว่าง (hole) ในชั้นโอโซน จึงมีการใช้ water-based dispersion หรือใช้ตัวทำละลายผสมที่มาจากแก๊สโซลีน

กาว solvent-based adhesive คือกาวที่พอลิเมอร์ละลายในตัวทำละลาย กาวกลุ่มนี้ใช้ตัวทำละลายในการลดความหนืดกาว กาวที่ใช้ตัวทำละลายใช้งานโดยการสเปรย์ จุ่ม หรือใช้แปรง แต่ตัวทำละลายต้องถูกกำจัดออกก่อนเชื่อมติดชิ้นงาน กาว solvent-based ทนต่อสภาวะอากาศ ทนต่อน้ำ ความร้อนและสารเคมี กาวที่มีตัวทำละลายอาจแข็งตัวโดยการเกิดสายโซ่เชื่อมโยงโดยใช้สารทำให้แข็งตัว (curing agent) โดยทำเป็นกาวส่วนเดียว หรือใช้วิธีเติมส่วนที่สองไปยังเรซินและให้ความร้อน เช่น กาวอีพอกซี ใช้เคลือบโลหะนำไฟฟ้าในมอเตอร์ กาวที่มีตัวทำละลายมีชนิดที่ไม่เกิดสายโซ่เชื่อมโยง ใช้เป็นกาวที่ไวต่อแรงกด เช่น กาวพอลิไอโซบิวทิลีน ตัวทำละลายอาจเป็นพิษจึงมีการใช้กาวที่ใช้น้ำแทน

3.2 การแข็งตัวทางเคมี

การแข็งตัวทางเคมีของกาวเกิดจากปฏิกิริยาของพอลิเมอร์กับสารทำให้แข็ง (curing agent) หรือตัวเร่งปฏิกิริยาอื่นๆ เช่น ความชื้น ความร้อน รังสียูวี หรือการไม่มีออกซิเจน กาวกลุ่มนี้เป็นกาวเทอร์โมเซต (thermoset) มีความแข็งแรงของพันธะมาก มีโครงสร้างเป็นสายโซ่เชื่อมโยง (crosslinking) ทนทานต่ออุณหภูมิสูงและทนทานต่อตัวทำละลาย ใช้ในงานเชิงโครงสร้าง (structural) และงานที่ไม่ใช่โครงสร้าง (non-structural) กาวหลุ่มนี้มีหลายรูปแบบได้แก่ กาว 1 ส่วน (single part) กาวสารละลายหลายส่วน ของเหลว ของเหลวหนืด (paste) เทป ฟิล์มและผงกาว

การติดของกาวเกิดได้ดีประกอบด้วย องค์ประกอบของกาวและคุณภาพของพื้นผิวที่เกิดพันธะ (bond surface) กระบวนการต่างๆ เครื่องมือที่ใช้ สภาวะอากาศ การกระทำกับวัสดุ ส่งผลต่อลักษณะพื้นผิวที่จะนำมาติดกาว สมบัติของโมเลกุลบนพื้นผิวส่งผลต่อการที่จะติดหรือไม่ติดกับกาวได้

4. การผลิตและสูตรในการผลิตกาว

การละลายพอลิเมอร์ใช้เวลานานแม้ว่าจะมีการใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม อาจจะต้องมีการเพิ่มอุณหภูมิและมีการกวนพอลิเมอร์ เช่น พอลิคลอโรปรีน มีโครงสร้างที่มีสายโซ่เชื่อมโยงหรือโครงสร้างแบบตาข่าย (crosslink) การละลายเกิดได้ช้ามาก ต้องทำการนวด

โดยใช้ลูกกลิ้งอัดรีด (two roll mills) ก่อน การนวดทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ขาด และทำให้การละลายเกิดขึ้นในช่วงเวลา 2-3 วัน แล้วพอลิเมอร์ที่มีอนุมูลอิสระจะกลับมารวมตัวกันอีก การวัดความหนืดของสารละลาย หรือการวัดน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ด้วย size-exclusion chromatography ช่วยบอกว่าสายโซ่พอลิเมอร์สั้นลงได้ การกวนทำให้การละลายของพอลิเมอร์เกิดได้ดี แต่อาจทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ขาดเนื่องจากแรงเฉือน

สารละลายพอลิเมอร์ในกาวอาจประกอบด้วยพอลิเมอร์เรซินมากถึง 50% ช่วยทำให้เกิดการเหนียว (tack) ติดกับสับสเตรท ช่วยปรับเวลาเปิดสู่อากาศ (open time) ช่วยทำให้เกิดความทนทานต่อความร้อน สารเติมแต่งจะใส่ในปริมาณไม่เกิน 5% ของปริมาณพอลิเมอร์ เช่น สารเพิ่มความเสถียร สี สารช่วยปรับการไหลและ สารตัวเติม (filler)

5. องค์ประกอบของกาวและการแบ่งประเภทกาว

5.1 องค์ประกอบของกาว

กาว 1 ส่วน คือ กาวองค์ประกอบเดียว แข็งตัวโดยวิธีการได้หลายอย่าง เช่น ความชื้น ความร้อน แสง กาว 2 ส่วน หลักๆ คือ กาวอีพอกซี กาวอะคริลิคหรือกาวพอลิยูรีเทน สามารถแข็งตัวได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้องและเติมลงในช่องว่างขนาดใหญ่ได้ กาวอีพอกซีสองส่วน ต้องมีการผสมเรซินและสารทำให้แข็ง (hardener) เกิดปฏิกิริยาเคมี ทำให้กาวแข็งตัว อัตราส่วนในการผสมเป็นสิ่งสำคัญเพราะส่งผลต่อสมบัติของอี-พอกซีที่ได้ กาวอีพอกซี 1 ส่วนจะผสมเรซินกับสารทำให้แข็งมาก่อน ทำให้ประหยัดเวลาในการเตรียมกาว

กาวสามารถใช้งานโดยการสเปรย์ ใช้ลูกกลิ้ง แปรง มีด กระบวนการทำให้กาวยึดติดบนสับสเตรท คือ ต้องทำการเตรียมสับสเตรทโดยทำความสะอาดหรือปรับสภาพพื้นผิว และทำให้กาวเปียกผิวบนสับสเตรท หลังจากนั้นตัวทำละลายระเหยออกไป การเติมตัวทำละลายที่จุดเดือดสูงเล็กน้อยทำให้ open time มากขึ้น [1]

5.2 การแบ่งประเภทกาว

กาวแบ่งได้เป็น กาวสังเคราะห์ ได้จากพอลิเมอร์ เช่น อีพอกซี พอลิยูรีเทน และกาวธรรมชาติได้จากสัตว์ หรือได้จากวัสดุทางการเกษตร เช่น แป้ง โปรตีนจากพืชและสัตว์ การแบ่งประเภทกาวอาจแบ่งตามหน้าที่ องค์ประกอบทางเคมี วิธีใช้งาน ปฏิกิริยาเคมี ลักษณะทางกายภาพ ราคา

การแบ่งประเภทกาวตามหน้าที่ สามารถแบ่งเป็นกาวที่ใช้ในงานโครงสร้าง (structural) และกาวที่ไม่ใช้ในงานโครงสร้าง (non-structural) กาวที่ใช้ในงานโครงสร้าง คือกาวที่มีความแข็งแรงสูง ทนทานต่อแรงเฉือนเกิน 1000 psi ทนทานต่อสภาพแวดล้อมในลักษณะต่างๆ ส่วนกาวที่ไม่ใช้ในงานโครงสร้างจะใช้ยึดวัสดุน้ำหนักเบาเข้าด้วยกัน ไม่ใช้ในงานที่รับภาระ (load) มากๆ กาวเกิดการคืบ (creep) เมื่อรับภาระปานกลาง และสลายตัวเมื่ออยู่ในสิ่งแวดล้อมบางชนิดนานๆ กาวชนิดนี้ใช้งานในเวลาสั้นๆ เช่น กาวที่ไวต่อแรงกด กาวหลอมละลายเมื่อร้อน (hot melt adhesive) กาวอิมัลชันในน้ำ (water emulsion adhesive) เช่น ใช้ในงานปะรอยรั่ว งานป้องกันการสั่นสะเทือน

องค์ประกอบทางเคมี การแบ่งกาวตามองค์ประกอบทางเคมีแบ่งเป็นกาวเทอร์โมเซต (thermosetting adhesive) กาวเทอร์โม-พลาสติก กาวยาง กาวไฮบริด

1) กาวเทอร์โมเซต เมื่อทำให้แข็งตัวจะเกิดโครงสร้างเป็นสายโซ่เชื่อมโยง (crosslink) กาวชนิดนี้ไม่สามารถนำมาให้ความร้อนได้ซ้ำหลายๆ ครั้ง เมื่อนำมาให้ความร้อนอีกจะสลายตัว กาวสามารถแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง บางชนิดให้ความร้อน บางชนิดต้องมีการให้ความดัน กาวเทอร์โมเซตบางชนิดแข็งตัวโดยใช้สารเคมี บางชนิดใช้แสง ตัวอย่างกาวเทอร์โมเซต เช่น กาวอีพอกซี สามารถเกิดพันธะกับไม้ โลหะและแก้ว อีพอกซีที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งจะแข็งเปราะ จึงต้องมีการเติมสารเติมแต่งเพื่อปรับความเหนียว (toughness) ความยืดหยุ่น และความทนทานต่อความล้า (fatigue) กาวเทอร์โมเซตอื่นๆ เช่น พอลิเอสเทอร์เรซิน ราคาถูกกว่าอีพอกซีเรซิน ความแข็งแรงของพันธะและทนความชื้นได้ต่ำกว่ากาวอีพอกซี และให้สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ออกมา กาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน หรือฟีนอลิคเรซิน ใช้ในงานเคลือบกระดาษ ไม้ กาวพอลิอิไมด์ ทนความร้อนได้สูงถึง 500 °C ใช้ติดโลหะในชิ้นส่วนเครื่องบิน กาวเทอร์โมเซตส่วนใหญ่ใช้ในงานโครงสร้าง [2]

2) กาวเทอร์โมพลาสติก สามารถหลอมและไหลได้เมื่อได้รับความร้อน และหลอมได้หลายครั้ง กาวเทอร์โมพลาสติกมีโครงสร้างเป็นเส้นตรงหรือเป็นกิ่ง ไม่มีการเกิดปฏิกิริยาการทำให้กาวแข็งตัว เมื่อกาวหลอมเหลวจะทาบนสับสเตรทได้ และเมื่อเย็นตัวจะแข็งตัว กาวหลอมละลายเมื่อร้อน (hot melt adhesives, HMAs) กาวเทอร์โมพลาสติกสามารถละลายในตัวทำละลายได้ และเมื่อตัวทำละลายระเหยออกไป กาวจะแข็งตัว เทอร์โม-พลาสติกพอลิเมอร์สามารถกระจายตัวในน้ำเป็นเลเท็กซ์หรืออิมัลชันได้ เมื่อน้ำระเหยออกไป กาวจะแข็งตัว กาวเทอร์โมพลาสติกในตลาดขายเป็นกาวกระตุ้นด้วยความร้อน ตัว

ทำละลายและความชื้น กาวที่กระตุ้นด้วยความชื้น เช่น กาวบนซองจดหมาย กาวเทอร์โมพลาสติกไม่ทนต่ออุณหภูมิสูง ไม่ทนต่อสารเคมี และเกิดการคืบ (creep) เมื่อได้รับภาระ จึงไม่นำมาใช้ในงานเชิงโครงสร้าง กาวเทอร์โมพลาสติก เช่น กาวพอลิเอทิลีน กาวพอลิ-เอสเทอร์

กาว HMAs คือของแข็งเทอร์โมพลาสติก ที่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 82°C และเป็นของเหลวที่อุณหภูมิสูงกว่า 82°C และแข็งตัวอย่างรวดเร็วเมื่อทำให้เย็นตัวลง open-time คือเวลามากที่สุดที่ทากาวก่อนจะทากาวบนสับสเตรทชิ้นที่สองและยังคงสามารถเกิดพันธะติดกันได้ HMAs ใช้ในงาน เช่น บรรจุภัณฑ์ ติดสันหนังสือ เชื่อมติดผลิตภัณฑ์ต่างๆ กล่อง แสตมป์ ซองจดหมาย กาวกลุ่มนี้เป็นกาวเทอร์โมพลาสติก สามารถเปียกผิวสับสเตรทเมื่อหลอมเหลวและติดชิ้นงานได้เลยหรือเก็บไว้ติดทีหลังได้โดยการให้ความร้อนกับกาวอีกครั้ง ข้อดีของกาวกลุ่มนี้คือไม่ใช้ตัวทำละลายซึ่งส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม เช่น กาวพอลิเอทีลีนและพอลิเมอร์ร่วมของไวนิลแอ-ซิเตท กาวอสัญฐานพอลิพอไพลีน กาวพอลิเมอร์ร่วมของยางสะไตรีนบิวตะไดอีน พอลิเอไมด์ กาวหลอมละลายเมื่อร้อนอาจใช้กับปืนที่มีการให้ความร้อนที่หัวฉีด

HMAs ประกอบด้วยพอลิเมอร์ประมาณ 33% สารทำให้เหนียว (tackifier/resin) ประมาณ 33% แวกซ์ประมาณ 32% และสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันประมาณ 1%

- พอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลสูงมากกว่า 10,000 T_g น้อยกว่าอุณหภูมิห้อง ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงและมีความเหนียวขณะร้อน
- เรซิน มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ น้อยกว่า 5,000 T_g มากกว่าอุณหภูมิห้อง ทำให้ความหนืดต่ำลง ช่วยปรับสมบัติการเปียกผิว
- Diluent มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ น้อยกว่า 1,000 ทำหน้าที่ปรับ T_g ของระบบ ลดการพันกันของสายโซ่ พอลิเมอร์
- แวกซ์ มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ น้อยกว่า 2,000 T_g น้อยกว่าอุณหภูมิห้อง เป็นผลึก ใช้เพิ่มอัตราเร็วการแข็งตัว ทำให้ทนความร้อนและทำให้ความหนืดลดลง

เมื่อเทียบกับกาวชนิดอื่นๆ HMAs มีสมบัติเชิงกลที่ดี เกิดพันธะที่แข็งแรงได้อย่างรวดเร็วเมื่อเย็นตัวลง เข้ากันได้ดีกับวัสดุส่วนใหญ่ ใช้งานง่ายและสะอาด HMAs ไม่ว่องไวกับ

น้ำ แต่ความแข็งแรงของพันธะถูกกระทบโดยน้ำและความชื้นได้ เมื่อใช้ HMAs กับพื้นที่เปียกหรือชื้นการเกิดพันธะจะแย่ลงเมื่อเวลาผ่านไป [14]

HMAs สามารถทำให้ว่องไวกับน้ำได้เมื่อใช้เป็นแสตมป์ ซองจดหมายและผลิตภัณฑ์จากกระดาษ ประโยชน์ของกาว HMAs คือราคาถูกลง ไม่ต้องกำจัดสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้จากกาวในกระบวนการผลิตและกาว HMAs ใช้งานง่าย มีการศึกษาความแข็งแรงของกาว HMAs ภายใต้สภาวะต่างๆ เช่น ความเค้นเฉือน ความเค้นดึง แรงกดอัดทำให้โค้งงอของตัวเชื่อมต่อชนิดต่างๆ เช่น ติดโลหะกับพลาสติก ต้องทำความเข้าใจสมบัติของวัสดุ, ของสับสเตรท, ชนิดของความเค้นที่ชิ้นงานได้รับ, สภาวะการให้ภาระ (load), ช่วงอุณหภูมิที่ใช้งาน, เวลาในการแข็งตัวของกาว, ความยาวนานคงทนที่คาดว่ากาวจะใช้งานได้, การนำกลับมาใช้ใหม่ วิธีการทดสอบการยึดติดเกิดพันธะของกาวได้แก่ failure tests ทดสอบโดยใช้ความเค้นให้กับพันธะของกาวและให้อุณหภูมิที่พันธะทนได้ในช่วงเวลาหนึ่งตามปกติ 24 ชั่วโมง การทดสอบการคืบเมื่อให้ความเค้นดึง การแตกหักล้มเหลวของพันธะในกาวเกิดขึ้นที่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของแวกซ์และที่อุณหภูมิเหนือจุดหลอมเหลวของพอลิเมอร์ [15-16] อัตราส่วนของพอลิเมอร์ต่อแวกซ์ส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาคและอันตรกิริยาในกาว การแตกหักเกิดที่กาวกับสับสเตรทหรืออาจเกิดการแตกหักในเนื้อกาว (cohesive strength) ความเปราะของกาวทำให้เกิดการแตกหักในกาวและที่ระหว่างเฟสได้ การแตกหักขึ้นกับระบบการยึดติดและสภาพแวดล้อมที่กาวได้รับ กาว HMAs เช่น poly(ethylene-co-vinyl acetate)(EVA) based HMAs ผสมกับพอลิเมอร์ร่วมของ EVA ที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตทคล้ายกัน มีการศึกษาการเข้ากันได้โดยใช้ differential scanning calorimetry (DSC) และ differential mechanical thermal analysis (DMTA) [17] เป็นเรื่องยากที่จะวัดสมบัติเชิงกลที่อุณหภูมิสูงในเชิงปริมาณ จึงมีการวัดสมบัติการไหล (rheological properties) แทน พอลิเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบของกาวมีบทบาทต่อสมบัติเชิงกลของกาว เช่น ความแข็งแรง ความเหนียว (toughness) และส่งผลต่อ ความหนืดและลักษณะการไหลของกาว cohesive strength ของกาว EVA เป็นพอลิเมอร์ร่วมที่ใช้ในกาว HMAs หลายๆ สูตร EVA มีหลายเกรด จึงผลิตเป็นกาวโดยมีปริมาณไวนิลอะซิเตทต่างๆ กัน และมีความหนืดหรือดัชนีการหลอมเหลว (melt index) ต่างกัน การมีไวนิลอะซิเตทมากทำให้เกิดการยึดติดกับพลาสติกได้ดี มีความยืดหยุ่นแต่ราคาแพงขึ้น มีการใช้เม็ดพอลิเมอร์กลมกลวงใส่ใน HMAs ทำให้ green strength (ความแข็งแรงในการยึดติดวัสดุเข้าด้วยกันใน

ช่วงแรกที่กาวเปลี่ยนสถานะกลายเป็นของแข็ง) เพิ่มขึ้น open-time ลดลง ความหนาแน่นของกาวลดลงเมื่อเทียบกับกาวที่ไม่ใส่พอลิเมอร์กลมกลวง [14][18] มีการศึกษาพฤติกรรมการผสมของกาว HMAs ที่นำพอลิเมอร์ต่างกันมาผสมกัน เช่น poly(ε-caprolactone-b-lactic acid) และกรดพอลิแลคติก พบว่ามีการเข้ากันได้บางส่วน สเตอริโอเคมีของ poly(lactic acid) ที่ต่างกันทำให้มีโครงสร้างจุลภาคที่ต่างกัน มีการใช้กาว HMAs จากกรดแลคติค PLLA poly(L-lactide) และ poly(ε-caprolactone) อัตราส่วนโดยโมล 81:19 ที่สลายตัวได้ทางชีวภาพในบรรจุภัณฑ์ [19] ทำให้เสถียรโดยปิดท้ายหมู่ปลายโซ่ด้วยหมู่ไฮดรอกซิลด้วยกรดแอนไฮไดรด์ [14]

3) กาวยาง (elastomeric adhesives) มีทั้งแบบยางสังเคราะห์หรือจากยางธรรมชาติ ยางมีสมบัติ มีความเหนียว (tough) ยืดหยุ่น ยืดออกได้ดี ดูดซับพลังงาน กาวยางมีความทนทานต่อการลอกออกสูง (high peel strength) กาวยางสามารถอยู่ในรูปของสารละลายในตัวทำละลาย กระจายตัวในน้ำ หรือเป็นกาวที่ไวต่อแรงกด เป็นเทป เป็นของเหลวองค์ประกอบเดียวหรือหลายองค์ประกอบ หรือเป็นกาวข้นเหนียว (paste) สามารถใช้กาวยางในงานป้องกันการสั่นสะเทือน งานเก็บเสียง หรืออุดประสานช่องว่าง

4) กาวไฮบริด (hybrid adhesives) คือ กาวที่ผสมเทอร์โมเซตเรซิน เทอร์โมพลาสติกหรือยางเข้าด้วยกัน ประกอบด้วยพอลิเมอร์สองชนิดผสมกันในระดับโมเลกุล เป็นการปรับปรุงสมบัติของกาวโดยการนำสมบัติที่ดีมารวมกัน เช่น กาวที่เปราะนำมาผสมกับกาวที่เป็นยางเพื่อให้ยืดหยุ่นมากขึ้น เช่น ไนไตรล์/ฟีนอลิค กาวไฮบริดใช้ในงาน เช่น เครื่องบิน ยานพาหนะ งานไมโครอิเล็กทรอนิกส์ งานขนส่ง งานทางสุขภาพ งานเกี่ยวกับพลังงาน วัสดุเก็บพลังงาน วัสดุในบ้านและงานที่ใช้ในสิ่งแวดล้อม เป็นต้น กาวไฮบริดสังเคราะห์จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์อนินทรีย์ หรือโดยปฏิกิริยารวมของหมู่ที่ทำหน้าที่กับอนุภาคนาโนอนินทรีย์ กาวไฮบริด เช่น PU-อะคริลิค อีพอกซี-อะคริลิค ,ฟลูออไรด์-อะคริลิค ซิลิคอน-PU การมีฟลูออไรด์ในสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้เพิ่มการติดกับพื้นผิวพลังงานต่ำ เพิ่มการเปียกผิวและความทนทานต่อการลอกออก และฟลูออรีนทำให้เกิดพันธะที่มีขั้วกับระบบอะคริลิค กาวผลิตออกมาในรูปแบบสารละลายในตัวทำละลาย ฟิล์ม ของเหลวหนึ่งหรือสององค์ประกอบ

กาวที่ทำให้แข็งตัวด้วยความชื้น กาวกลุ่มนี้ใช้ความชื้นในอากาศทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ทำให้กาวแข็งตัวโดยต้องมีอากาศเพียงพอและชิ้นงานต้องไม่มีรูพรุน อัตราการแข็งตัว

ขึ้นกับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดและความชื้นในสิ่งแวดล้อม กาวบางชนิดเร่งด้วยความร้อน กาวกลุ่มนี้ เช่น กาวซิลิโคน พอลิยูรีเทน รูปแบบของกาว เช่น กาวข้นเหนียว (paste) หรือของเหลว

กาวที่ทำให้แข็งตัวด้วยรังสียูวีใช้ติดแก้วกับโลหะหรือแก้วกับแก้ว เป็นกาวที่มีความโปร่งแสงและมีความเสถียรมาก กาวกลุ่มนี้เป็นกาวส่วนเดียว ไม่มีตัวทำละลายและเป็นของแข็ง กาวกลุ่มนี้ใช้แสดงยูวีในการเริ่มต้นปฏิกิริยาเคมีโดย ตัวเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง (photoinitiators) ดูดซับแสงยูวีและแตกตัวเกิดเป็นอนุมูลอิสระและเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ เกิดโครงสร้างที่เป็นสายโซ่เชื่อมโยง เกิดปฏิกิริยาได้ภายใน 2-3 นาทีและขึ้นกับความเข้มของแสงที่ใช้ กาวกลุ่มนี้ใช้ติดพอลิเมอร์ โลหะ แก้ว วัสดุเชิงประกอบ เช่น ใช้ในการผลิตยานพาหนะ อุปกรณ์การแพทย์ ทำให้เกิดพันธะที่เข้ากันได้ทางชีวภาพ ไม่เป็นพิษเมื่อสัมผัสกับเนื้อเยื่อของมนุษย์ กาวที่แข็งตัวด้วยยูวี มีประโยชน์เนื่องจากทนต่อสภาวะในการฆ่าเชื้อของอุปกรณ์ทางการแพทย์ได้ และใช้งานได้ซ้ำหลายๆ ครั้ง เช่น อุปกรณ์ผ่าตัด

กาวที่ทำให้แข็งตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาบนสับสเตรท สับสเตรทโลหะบางชนิด เช่น เหล็ก ทองแดง สามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้กาวแข็งตัวได้ กาวกลุ่มนี้แข็งตัวโดยไม่ใช้ออกซิเจน กาวมีความแข็งแรงสูง ทนความชื้น ตัวทำละลาย และทนต่ออุณหภูมิสูง ความเร็วในการแข็งตัวอยู่ในช่วงหลายนาทีจนถึง 24 ชั่วโมง อัตราการแข็งตัวสามารถเร่งโดยใช้ primer หรือความร้อนหรือแสง เช่น กาวที่ใส่ในช่องที่มีน๊อต หรือข้อต่อต่างๆ

กาวในรูปแบบของแข็ง กาวองค์ประกอบเดียวผลิตออกมาได้หลายแบบ เช่น ในรูปแบบของแข็งเป็นเทป ฟิล์ม ผง กาวส่วนเดียวประกอบด้วย เรซิน สารตัวเติม สารทำให้แข็ง เป็นต้น โดยเตรียมออกมาเป็นของเหลว แล้วทำให้เป็นของแข็งที่ยังแข็งตัวไม่สมบูรณ์หรือการกำจัดตัวทำละลายออกให้กลายเป็นสารกึ่งของแข็ง (β -staging) ซึ่งยังไหลได้และสามารถเกิดพันธะเมื่อมีการให้ความร้อนและความดัน เมื่อนำฟิล์มกาววางระหว่างสับสเตรท ให้ความร้อนและความดัน กาวจะสามารถไหลเข้าไปในโพรงที่ขรุขระในสับสเตรทได้ กาว β-stage อาจอยู่ในรูปผง เวลาใช้งานจะร่อนลงบนผิวสับสเตรท เช่น กาว β-stage อีพอกซี [2]

กาวสัมผัส กาวกลุ่มนี้อยู่บนสับสเตรทโดยการสเปรย์หรือใช้ลูกกลิ้ง ตัวทำละลายระเหยออกไปส่วนหนึ่งหรือใช้ความร้อนช่วยให้ระเหยไวขึ้น แล้วนำสับสเตรทมาติดกัน ใช้

ความดันช่วย กาวกลุ่มนี้ทนทานต่อแรงเฉือน ทนต่อการลอกออก แข็งแรงใกล้กับกาวเชิงโครงสร้าง ใช้ในงาน เช่น วัสดุตกแต่ง ติดชิ้นงานบนเคาร์เตอร์ในครัว

กาวยางที่ทำเป็นกาวที่ไวต่อแรงกด มีทั้งเป็นแบบละลายในตัวทำละลาย กระจายตัวในน้ำและกาวหลอมละลายเมื่อร้อน ทุกชนิดมีการเปียกผิวได้ดี กาวที่ละลายในตัวทำละลายและในน้ำมีความแข็งแรงดี กาวหลอมละลายเมื่อร้อนมีความแข็งแรงต่ำถึงปานกลาง กาวที่ว่องไวต่อแรงกดจะใช้กับพลาสติก กระดาษ ฟอยล์หรือเส้นใยโดยจะทาด้านเดียวหรือทาทั้งสองด้านแบบกาวสองหน้าได้ [2]

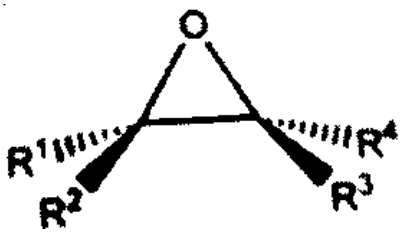
กาวที่กระตุ้นใหม่ได้อีกครั้ง สามารถทากาวกลุ่มนี้บนสับสเตรทและทำให้กาวแห้งในสภาพที่ไม่เหนียวแล้วเก็บชิ้นงานไว้ก่อนได้ เมื่อจะนำมาติดกันชิ้นที่มีกาวจะถูกกระตุ้นด้วยตัวทำละลายโดยการเช็ดด้วยตัวทำละลายหรือสเปรย์บนสับสเตท พื้นผิวจะเหนียวแล้วประกบติดชิ้นงานได้ เช่น กาวที่ทาบนแสตมป์ กาวสติกเกอร์ติดซื่อ ข้อเสียของการใช้ตัวทำละลายคืออาจทำให้สับสเตรทพลาสติกสลายตัว กาวที่มีน้ำอาจทำให้ผ้าหรือกระดาษสับสเตรทหดตัวและอาจกัดกร่อนโลหะ

กาวที่มีน้ำ (water-based adhesives) คือ กาวที่ประกอบด้วยน้ำ พอลิเมอร์และสารเติมแต่ง เป็นกาวอิมัลชันของเรซินเทอร์โมพลาสติก สารเติมแต่งที่ใส่ในกาว เช่น ใส่ป้องกันอิมัลชัน สารปรับความเหนียว (tack) สารปรับเวลาในการแข็งตัว สารปรับความหนืด เป็นต้น กาวกลุ่มนี้เตรียมเป็นกาวสัมผัส กาวที่ไวต่อแรงกด กาวที่กระตุ้นได้ซ้ำ หรือกาวที่เป็นเรซิน ใช้งานได้เหมือนกาว solvent-based เช่น กาวพอลิเมอร์ร่วมของพอลิไวนิลอะซิเตท-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กาว water-based มีราคาถูกกว่ากาว solvent-based ไม่ต้องใช้ตัวทำละลายซึ่งเป็นพิษ แต่จะระเหยช้ากว่าและไม่ทนต่อความชื้น [2]

6. ตัวอย่างกาว

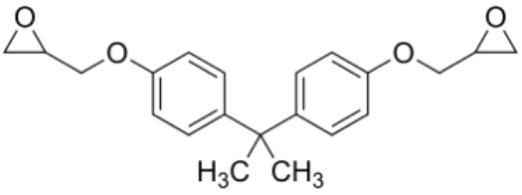
6.1 กาวอีพอกซี คือ เทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์ที่มีหมู่อีเทอร์ที่เป็นวงอยู่ในโครงสร้าง (ภาพที่ 6) กาวอี-พอกซีสังเคราะห์จาก bisphenol A และ epichlorohydrin โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อี-พอกซีที่ใช้มากคือ diglycidyl ether of bisphenol A (DGEBA) อีพอกซีเรซิน ภาพที่ *7* แสดงโครงสร้างของ DEGBA ซึ่งทนทานต่อสารเคมี ทนกรดเบส ทนการกัดกร่อน มีความเหนียว (toughness) และแข็ง ใช้ในงานเคลือบผิว สี กาว สารอุดรอยแตก หมึกพิมพ์ อีพอกซีเรซิน คือ pre-polymer ที่มีหมู่

epoxide หรือหมู่ oxirane มีอะตอมออกซิเจนเกิดพันธะกับอะตอมคาร์บอน 2 ตัว เป็นโครงสร้างสามเหลี่ยมด้านเท่า มีความเครียดในวงและว่องไวต่อปฏิกิริยามากกับสารเคมีที่เป็นตัวให้โปรตอน



ภาพที่ 6 โครงสร้างของอีพอกซีเรซิน

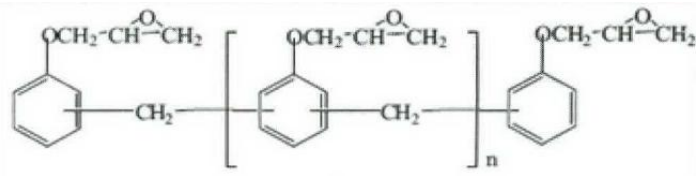
อีพอกซีเรซินใช้เป็นสารเชื่อม (binder) ในอุตสาหกรรมสี (paint) อีพอกซีเรซินติดกับสับสเตรทได้หลายชนิด เช่น โลหะ ไม้ พลาสติกและอื่นๆ ระบบอีพอกซีประกอบด้วยอีพอกซีเรซินและสารทำให้แข็ง (curing agent) อีพอกซีเรซินเป็นโอลิโกเมอร์ที่ประกอบด้วยหมู่อีพอกซีหนึ่งหมู่หรือมากกว่าในโมเลกุล อีพอกซีสามารถมีหมู่ที่ทำหน้าที่ (functional group) 1, 2, 3 หรือหลายหมู่ [20]



ภาพที่ 7 แสดงโครงสร้างของ DEGBA

อีพอกซีเรซินที่มีหมู่ที่ทำหน้าที่ 3 หมู่ เช่น trimethylol propane-N-triglycidyl ether เตรียมจาก epichlorohydrin กับ trimethylol propane มีความหนืดต่ำ ไม่เป็นผลึก สามารถแข็งตัวได้ที่อุณหภูมิห้อง

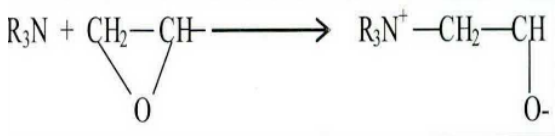
อีพอกซีเรซินที่มีหมู่ที่ทำหน้าที่ 4 หมู่ ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างที่มีสายโซ่เชื่อมโยงที่มีความหนาแน่นมาก (crosslink-density) นำมาใช้ในงานที่ทนความร้อนสูง ทนสารเคมี ความความแข็ง (modulus) สูง



ภาพที่ 8 โครงสร้างของ Novolac epoxy resin

อีพอกซีที่มีหมู่ที่ทำหน้าที่หลายหมู่ คือ Novalac มีโครงสร้างทั่วไป (ภาพที่ *8*) Novalac มีหมู่อีพอกไซด์จำนวนมากในโครงสร้าง มีความหนาแน่นของสายโซ่เชื่อมโยงจำนวนมาก ทำให้ทนความร้อนได้ดีเยี่ยม ทนสารเคมีและตัวทำละลายต่างๆ [20]

การทำให้อีพอกซีเรซินแข็งตัว ทำโดยปฏิกิริยาของหมู่อีพอกซีหรือหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้าง วงแหวนอีพอกซีทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนที่ว่องไว สารทำให้อีพอกซีแข็งตัว (curing agent) ส่วนใหญ่มีไฮโดรเจนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา สารทำให้อีพอกซีเรซินแข็งตัวมีสองชนิดคือ ตัวเร่งปฏิกิริยากับสารทำให้แข็งตัวที่มีหมู่ที่ทำหน้าที่หลายหมู่ทำให้เกิดสายโซ่เชื่อมโยงในโมเลกุล สารทำให้อีพอกซีเรซินแข็งตัว เช่น สารกลุ่มเอมีน ได้แก่ เอมีนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เป็นเอมีนโมเลกุลง่ายๆ พอลิเอไมด์เรซินที่มีหมู่เอมีนเกินพอที่ทำปฏิกิริยากับหมู่อีพอกไซด์ได้ เช่น พอลิเอไมด์เรซินและพอลิอะมิโนเอมีนความหนืดต่ำและ cycloaliphatic amine แสดงดังภาพที่ 9 ปฏิกิริยาของเอมีนกับอีพอกซี



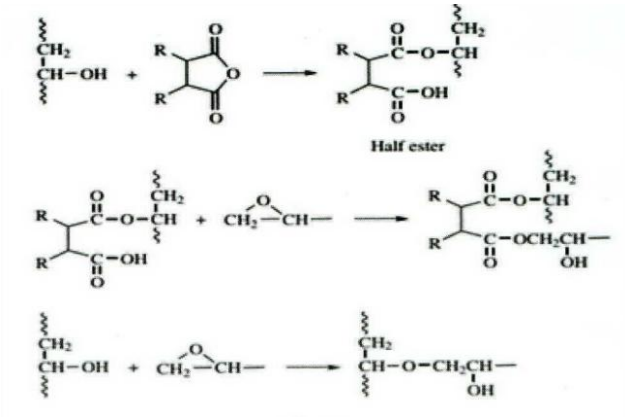
ภาพที่ 9 ปฏิกิริยาของเอมีนกับอีพอกซี

ปฏิกิริยาของพอลิเอไมด์กับอีพอกซีเรซิน พอลิเอไมด์สามารถทำให้อีพอกซีแข็งตัวได้ มีเอมีนปฐมภูมิและทุติยภูมิที่ว่องไวในโมเลกุล แสดงดังภาพที 9 พอลิเอไมด์ทำปฏิกิริยากับ bisphenol A อีพอกซีเรซิน แข็งตัวที่อุณหภูมิห้องและที่ต่ำกว่าอุณหภูมิห้องและเนื่องจากพอลิเอไมด์มีไฮโดรคาร์บอนในโมเลกุลมากเมื่อทำปฏิกิริยากับอีพอกซีแล้วเกิดพอลิเมอร์ที่แข็งและยืดหยุ่น ทนแรงดึง ทนแรงกดอัดและทนต่อการโค้งงอ

ปฏิกิริยาของอีพอกซีเรซินกับ Ketimine เป็นสารทำให้อีพอกซีแข็งตัวที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างอะลิฟาติกพอลิเอมีนกับคีโตน ปฏิกิริยาการทำให้อีพอกซีแข็งตัวต้องทำให้ Ketimine แตกตัวในน้ำหรือใช้ความชื้นในอากาศและปล่อยพอลิเอมีนซึ่งทำปฏิกิริยากับอีพอกซีเรซินได้

พอลิอีเทอร์เอมีน ผลิตจากปฏิกิริยาของพอลิออลที่ได้จากเอทิลีนออกไซด์หรือพอลิพอพิลีนออกไซด์กับเอมีน ซึ่งตัวที่ได้จากพอลิพอพิลีนออกไซด์มีหลายน้ำหนักโมเลกุล ตัวที่มีสายโซ่หลักยาวกว่าทำให้มีความยืดหยุ่นมากกว่า แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาการทำให้แข็งตัวช้ากว่า พอลิอีเทอร์เอมีนใช้รวมกับเอมีนอื่น ๆ ในการทำพื้นและทำกาว

ปฏิกิริยาของอีพอกซีเรซินกับกรดแอนไฮไดรด์ คือ แอนไฮไดรด์ถูกเปิดวงแหวนเป็นครึ่งเอสเทอร์ และหมู่คาร์บอกซิลที่เกิดขึ้นทำปฏิกิริยากับหมู่อีพอกไซด์เกิดเป็นไฮดรอกซิลเอสเทอร์ และหมู่ไฮดรอกซิลที่เกิดขึ้นเปิดวงแหวนของหมู่แอนไฮไดรด์อื่นได้หรือทำปฏิกิริยากับหมู่อีพอกไซด์เกิดตัวเชื่อมอีเทอร์แอนไฮไดรด์ที่ทำให้อีพอกซีแข็งตัวได้คือ พธาลิคแอนไฮไดรด์ hexahydropthalic anhydride, pyromellitic anhydride, trimellitic anhydride เมื่อใช้แอนไฮไดรด์ทำให้อีพอกซีแข็งตัวจะใช้ตัวเร่ง เช่น เอมีนตติยภูมิ เอสเทอร์ของกรดบอริค กรดลิวอิส เกลือของกรดอินทรีย์ ภาพที่ 10 แสดงปฏิกิริยาของอีพอกซีเรซินกับกรดแอนไฮไดรด์



ภาพที่ 10 ปฏิกิริยาของอีพอกซีเรซินกับกรดแอนไฮไดรด์ [20]

สารทำให้อีพอกซีแข็งตัวพอลิซัลไฟด์และพอลิเมอร์แคปแทน พอลิซัลไฟด์มีหมู่ที่ทำหน้าที่สองหมู่ ส่วนพอลิเมอร์แคปแทนมีหมู่ที่ทำหน้าที่เฉลี่ยสามหมู่ เกิดปฏิกิริยาทำให้อี

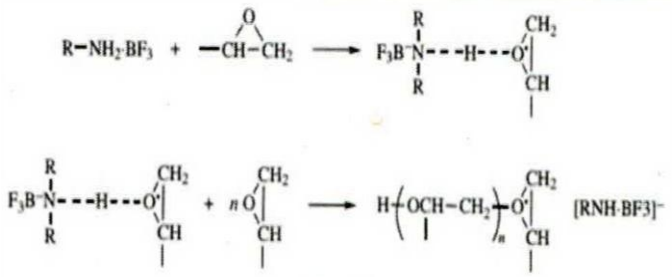
พอกซีแข็งตัวที่ 0-20°C เกิดปฏิกิริยากับอีพอกซีเป็นซัลไฟด์ในปฏิกิริยาต้องใช้เอมีนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมอร์แคปแทนมีกลิ่นฉุนจึงจำกัดการใช้งาน

สารทำให้อีพอกซีแข็งตัวพอลิซัลไฟด์เรซิน มีหมู่เมอร์แคปแทนที่ปลายโซ่ ใช้เป็นสารทำให้แข็งและเป็นสารทำให้อ่อนนุ่ม แต่ไม่ได้แข็งอย่างรวดเร็ว ปฏิกิริยาการแข็งตัวเกิดที่อุณหภูมิห้องเมื่อใช้ร่วมกับเอมีนตติยภูมิหรือพอลิเอมีน

ปฏิกิริยาของอีพอกซีกับไอโซไซยาเนต ทำปฏิกิริยากับอีพอกซีเรซินที่หมู่อีพอกซีเกิดเป็นโครงสร้าง oxazolidone หรือทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลเกิด urethane linkage ซึ่งมีความยืดหยุ่น ทนแรงกระแทกและทนการขัดถู

ปฏิกิริยาของอีพอกซี่กับ methylol และหมู่ methylol ether ทำปฏิกิริยากับอีพอกซีเรซินที่หมู่อีพอกไซด์หรือที่หมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลอีพอกซี methylol และหมู่ methylol ether สามารถเกิดปฏิกิริยาด้วยตัวเองเมื่อใช้อะมิโนเร-ซินหรือฟีนอลิคเรซินใช้เป็นสารทำให้แข็งร่วมกับอีพอกซีเรซินจะเกิดฟิล์มที่มีสายโซ่เชื่อมโยงมาก แต่ปฏิกิริยาเกิดช้าที่อุณหภูมิห้อง [20]

อีพอกซีเรซินที่แข็งตัวด้วยยูวีวงแหวนอีพอกซีสามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบลูกโซ่โดยใช้กรดลิวอิส เช่น BF_3 แต่ปฏิกิริยาเกิดรวดเร็วและรุนแรง ไม่สามารถใช้เป็นตัวเร่งในการทำสี (paint) ได้ มีการใช้เกลือเชิงซ้อนที่มีสารอินทรีย์ประจุบวกที่ไม่เสถียรและสารอนินทรีย์ประจุลบขนาดใหญ่ ภาพที่ 11 แสดงปฏิกิริยาการเกิดพอลิ-เมอร์แบบประจุบวก หลังจากที่สารเริ่มต้นปฏิกิริยาสลายตัวด้วยยูวี จะเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์อย่างรวดเร็วและเกิดเป็นสายโซ่เชื่อมโยงในเวลาน้อยกว่า 1 วินาที อีพอกซีโนโวแลค อะลิฟาติคอีพอกซีที่เป็นวง และอะคริลิคเรซินที่มีหมู่อีพอกไซด์ ทำให้เกิดพันธะและติดบนโลหะได้ดี



ภาพที่ 11 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์โดยใช้กรดลิวอิสกับอีพอกซีเรซิน [20]

การใช้งานอีพอกซีเรซิน ใช้ในงานเคลือบ กาวและใช้เป็นเมทริกซ์ในวัสดุเชิงประกอบดังนี้

- อุตสาหกรรมสีและสารเคลือบอีพอกซีเรซินใช้ในงานที่ทนทานต่อการกัดกร่อนสูงๆ ทนตัวทำละลายและสารเคมี มีความเหนียว (toughness) หดตัวต่ำเมื่อแข็งตัว เกิดพันธะติดกับสับสเตรทง่าย ใช้งานง่าย ปลอดภัย กระป๋องโลหะและบรรจุภัณฑ์ (container) มักจะเคลือบด้วยอีพอกซีเรซินป้องกันการเกิดสนิม โดยเฉพาะเมื่อบรรจุอาหารที่เป็นกรด

- กาวอีพอกซีใช้เป็นกาวเชิงโครงสร้าง ใช้ในงานเครื่องบิน รถยนต์ จักรยาน เรือ กอล์ฟ สกี บอร์ดเล่นหิมะและอื่นๆ

- อุตสาหกรรมเครื่องมือ อีพอกซีเรซินใช้ในอุตสาหกรรม เช่น ผลิตแม่แบบขึ้นรูปโมเดล ใช้ในงานเคลือบ งานหล่อขึ้นรูป และอื่น ๆ ใช้แทนโลหะ ไม้และวัสดุดั้งเดิมอื่นๆ ทำให้กระบวนการอุตสาหกรรมมีประสิทธิภาพมากขึ้นและราคาถูกลง

- อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อีพอกซีเรซินเป็นฉนวนและใช้ป้องกันชิ้นส่วนทางไฟฟ้าจากการลัดวงจร ฝุ่นและความชื้น ใช้ในมอเตอร์ หม้อแปลงไฟ และฉนวน

- ระบบชีวภาพทางการแพทย์ อีพอกซีเรซินใช้ในงานชีวภาพทางการแพทย์ เช่น วัสดุทำแผล วาล์วในหัวใจ [20]

2) กาวอีพอกซีผสม

มีการนำพอลิเมอร์ชนิดอื่น ๆ มาผสมกับอีพอกซีเรซินเพื่อปรับปรุงสมบัติบางประการของอีพอกซีให้ดียิ่งขึ้น เช่น การปรับปรุงสมบัติความเปราะ พอลิเมอร์ที่นำมาผสม เช่น ไนไตรล์ ฟีนอลิค ไนล่อน ยางและพอลิซัลไฟด์เรซิน กาวอีพอกซีที่เติมยางไนไตรล์ ทำให้ความเหนียว (toughness) เพิ่มมากขึ้น และมีความทนทานต่อการลอกออกสูงขึ้น โดยกาวผลิตออกมาในรูปแบบของเหลว ฟิล์ม และสารที่มีลักษณะข้นหนืด โดยจะทำปฏิกิริยากับอีพอกซีเบื้องต้นที่ 5-15% ที่อุณหภูมิสูง การทำให้กาวแข็งตัวขั้นสุดท้าย ยางจะตกตะกอนเป็นอนุภาคที่แยกออกมาอยู่ในอีพอกซีเรซินเมทริกซ์ เฟสที่ไม่ต่อเนื่องของยางทำให้อีพอกซีเรซินเหนียว (tough) ขึ้นโดยไม่ลดสมบัติความทนทานที่อุณหภูมิสูงของอีพอกซี และช่วยยับยั้งการแตก (crack) และลดความเค้นภายในอีพอกซี ทำให้ความเหนียวและความทนทานต่อแรงอัดเพิ่มขึ้น กาวอีพอกซีที่ปรับความเหนียวสามารถใช้ยูรี-เทนโอลิโกเมอร์ที่มีหมู่ที่ห้อยอยู่ (pendent group) คืออีพอกซีผสมกับอีพอกซี การปรับสภาพโมเลกุลอีพอกซีทำให้มีสมบัติอ่อนนุ่มและยืดหยุ่น ใช้งานเป็นกาวยืดหยุ่นและสารอุดรอยรั่ว

(sealant) และสามารถใช้เป็นสารประกอบสำหรับขึ้นรูปชิ้นงานที่เป็นยาง วิธีการอื่นที่ใช้ปรับปรุงสมบัติความเหนียวและความยืดหยุ่นของอีพอกซี คือ การใช้แอลคิลเรซิน การเติมพลาสติกเชิงวิศวกรรมลงไป เช่น พอลิซัลโฟน [1-2]

บทสรุป

กาวเป็นสารพอลิเมอร์ที่มีประโยชน์และยังคงต้องมีการนำมาใช้อย่างต่อเนื่องในหลายๆ อุตสาหกรรม การเข้าใจทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกาวสามารถช่วยในการปรับปรุงคุณภาพกาว เช่น การใช้สารเติมแต่งที่แตกต่างชนิดอื่นๆ การใช้อนุภาคนาโนที่สามารถนำไฟฟ้าได้ในสูตรกาวที่ต้องมีสมบัติการนำไฟฟ้า การปรับสูตรกาว การปรับปรุงสมบัติของกาวโดยเปรียบเทียบโครงสร้างทางเคมีของสารต่างๆ ที่ใส่ในกาว แล้วศึกษาความสามารถและความทนทานในการติดกับสับสเตรท ในปัจจุบันมีการผลิตกาวที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมหรือ green adhesive กาวที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มีการเลือกใช้แว็กซ์ สารทำให้เหนียว diluent ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

1. Müller, B, Rath, W. Formulating Adhesive and Sealants: Chemistry, Physics and Applications. Vincentz Network GmbH & Co KG; 2010
2. Edward MP. Handbook of Adhesives and Sealants. The McGraw-Hill Companies, Inc; 2000
3. Chen X, Zhong H, Jia L. Polyamides derived from piperazine and used for hot-melt adhesives: synthesis and properties. Int J Adhes Adhes 2002;22:75–9
4. Orgilés-Calpena E, Arán-Aís F, Torró-Palau AM, Orgilés-Barceló C. Novel polyurethane reactive hot melt adhesives based on polycarbonate polyols derived from CO_2 for the footwear industry. Int J Adhes Adhes 2016;70:218–24

5. Yu Q, Yang W, Wang Q. Functionalization of cellulose nanocrystals with γ-MPS and its effect on the adhesive behavior of acrylic pressure sensitive adhesives. Carbohydr Polym 2019;217:168–77
6. Ho KY, Dodou K. Rheological studies on pressure-sensitive silicone adhesives and drug-in adhesive layers as a means to characterise adhesive performance. Int J Pharm 2007;333:24–33
7. Czech Z, Petech R. Thermal decomposition of polyurethane pressure-sensitive adhesives dispersions. Prog Org Coat 2010;67:72–5
8. Pan L, Ding W, Ma W. Galvanic corrosion protection and durability of polyaniline reinforced epoxy adhesive for bond-riveted joints in AA5083/Cf/Epoxy laminates. Mater Des 2018;160:1106–16
9. Baek SS, Jang SH, Hwang SH. Construction and adhesion performance of biomass tetrahydro-geraniol-based sustainable/transparent pressure sensitive adhesives. J Ind Eng Chem 2017;53:429–34
10. Canetta E, Adya AK. Atomic force microscopic investigation of commercial pressure sensitive adhesives for forensic analysis. Forensic Sci Int 2011; 210:16–25
11. Baek SS, Hwang SH. Preparation and adhesion performance of transparent acrylic pressure sensitive adhesives containing menthyl acrylate. Polym Bull 2016;73:687–701
12. Mapari S, Mestry S, Mhaske ST. Developments in pressure-sensitive adhesive: A review. Polym Bull 2021;78: 4075-108
13. Brazel CS, Rosen SL. Fundamental Principles of Polymeric Materials. (3rd ed). John Wiley & Sons; 2012.
14. Li W, Bouzidi L, Narine SS. Current Research and Development Status and Prospect of Hot-Melt Adhesives: A Review. Ind Eng Chem Res 2008; 47:7524–32

15. Dahmane H. Development of Environmentally Friendly Warm-Melt Adhesives for the Packaging Industry. Int J Adhes Adhes 1996;16:43–5
16. Stolt M, Viljanmaa M, Södergård A, Törmälä P. Blends of Poly(ε-caprolactone-*b*-lactic acid) and Poly-(lactic acid) for Hot-Melt Applications. J Appl Polym Sci 2004;91:196-204
17. Park YJ, Joo HS, Kim HJ, Lee YK. Adhesion and Rheological Properties of EVA-Based Hot-Melt Adhesives. Int J Adhes Adhes 2006;26: 571–76
18. O′Brien EP, Ward TC. Interfacial Diffusion of Fluids in Pressure Sensitive Adhesives. J ASTM Int 2005;2:489-96
19. Viljanmaa M, Sodergard A, Tormala P. Adhesion Properties of Lactic Acid Based Hot Melt Adhesives and Their Storage Stability in Different Packaging Applications. Int J Adhes Adhes;22:447–57
20. Dwivedi R, Rastogi R. Epoxy resins and their curing agents: A review. Paint india 2018;53-60.