บทที่ 4
กระบวนการขึ้นรูปแบบกดอัด (Compression Molding)

4.1 ทฤษฎีเบื้องต้น

กระบวนการขึ้นรูปแบบกดอัด (Compression moulding) เป็นวิธีการขึ้นรูปพลาสติกที่เก่าแก่ที่สุดวิธีหนึ่ง วิธีนี้เป็นการให้ความดันอัดปิดเปิดแม่พิมพ์ ซึ่งมีพลาสติกที่ใช้ขึ้นรูปบรรจุอยู่ พร้อมทั้งให้ความร้อนขณะอัด ให้พลาสติกหลอมและไหลเข้าไปแทนที่ช่องว่างในแม่พิมพ์เพื่อให้เกิดเป็นชิ้นงาน เราอาจเรียกวิธีนี้ว่ากระบวนการขึ้นรูปแบบกดอัดร้อน (hot compression moulding) หรือเรียกอย่างง่ายว่ากระบวนการขึ้นรูปแบบกดอัดก็ได้

กรรมวิธีนี้ใช้ได้กับทั้งเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต แต่ในการผลิตเทอร์โมพลาสติกนั้นจะต้องทำให้แม่พิมพ์เย็นลงภายหลังจากเอาชิ้นงานออกแล้ว และจะต้องทำให้แม่พิมพ์ร้อนใหม่ก่อนที่จะขึ้นรูปชิ้นงานต่อไป ซึ่งในทางอุตสาหกรรมจะถือว่าเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและเวลา สำหรับเทอร์โมพลาสติกที่ขึ้นรูปโดยวิธีนี้ ที่สำคัญก็คือ แผ่นเสียง (Gramophone record) ที่ทำจากพอลีไวนิลคลอไรด์โคพอลิเมอร์ หรือ พีวีซีโคพอลิเมอร์ (PVC copolymer) สีดำ เหตุผลที่สำคัญก็มาจากสมบัติเด่นของการขึ้นรูปวิธีนี้นั่นคือชิ้นงานที่ได้จะมีการจัดเรียงตัวโมเลกุล (orientation) ต่ำ และเป็นการยากที่จะผลิตดิสค์ที่มีลักษณะบางและแบนเช่นนี้ด้วยเครื่องฉีดในสมัยก่อนโดยไม่เกิดการโก่งงอเนื่องจาก การจัดเรียงตัวโมเลกุลจะนำไปสู่การบิดเบี้ยวของชิ้นงาน (distortion) ไปสู่ลักษณะรูปร่างจานหรือใบพาย (dished shape หรือ saddle shape)

กระบวนการขึ้นรูปแบบกดอัดใช้ผลิตแผ่นเสียงที่บางนี้มากว่า 50 ปี ซึ่งในปัจจุบันแผ่นเสียงถูกแทนที่ไปด้วย คอมแพคดิสค์ (Compact disc, CD) ที่ได้จากการขึ้นรูปโดยวิธีฉีด คอมแพคดิสค์จะทำจากพอลิคาร์บอเนต (PC) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เพื่อให้ได้สมบัติการไหลที่ดี ดังนั้น มันจึงเข้าไปแทนที่แผ่นเสียงซึ่งต่อมาภายหลังได้พัฒนาสมบัติการขึ้นรูปโดยการใช้วัสดุที่เป็น PVC/PVAcetate copolymer และเนื่องจากได้มีการคิดวิธีใหม่ในการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกที่ได้ผลดีกว่ามาก คือ วิธีการฉีดจึงทำให้วิธีนี้นิยมใช้กับเทอร์โมพลาสติกคอมปาวด์มากกว่า

อย่างไรก็ตามการผลิตแผ่นเสียงที่ทำจากพีวีซีโคโพลิเมอร์สีดำ ซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติกยังนิยมใช้กรรมวิธีนี้อยู่เนื่องจากสามารถผลิตชิ้นงานที่บางและแบน ได้โดยไม่มีการโก่งงอ เหมือนวิธีการฉีด ใน

ปัจจุบันได้พัฒนากรรมวิธีการฉีดให้ดีขึ้น เพื่อที่จะผลิตคอมแพคดิสค์ขึ้นแทน แต่ก็มีปัญหาที่ว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของคอมแพคดิสค์ที่ได้มีขนาดเล็ก

4.2. วัสดุ

4.2.1 เรซิน

วัสดุที่ใช้กันหลัก ๆ ทั่วไปได้แก่ เทอร์โมเซตและยางวัลคาไนซ์

4.2.1.1 เทอร์โมเซต

เทอร์โมเซตที่ใช้กันมากได้แก่

1. ฟีนอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เรซิน (phenol-formaldehyde resins) หรือ ฟีนอลิค (phenolics)
2. ยูเรีย-ฟอร์มอลดีไฮด์เรซิน (urea-formaldehyde resins, UF)
3. เมลลามีน-ฟอร์มอลดีไฮด์เรซิน (melamine-formaldehyde resins, MF)
4. อีพอกซีเรซิน (epoxy resins)
5. ซิลิโคน (silicones)
6. ไดอัลลิลพทาเลท (di-allyl phthalate) และ อัลคิด (alkyds) ตัวอื่น ๆ
7. พอลิเอสเทอร์ที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated polyester; uPE)

1. ฟีนอลิค

ฟีนอลิคจะเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีมาแต่ยุคแรก และใช้กันแพร่หลายพอลิเมอร์ตัวนี้จะเกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างฟีนอลและฟอร์มอลดีไฮด์ ฟีนอลิคที่นับเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่เก่าแก่ที่สุด ได้แก่ เบคคาไลท์ (Bakelite) ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้า โดยใช้ในอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า โดยธรรมชาติสีของพอลิเมอร์ตัวนี้จะเป็นสีเข้ม และโดยมากจะเป็นสีดำ ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าจากฟีนอลิคจะให้ราคาถูกที่สุด นอกจากนี้ ยังมีการใช้เป็นที่จับของกระทะและเครื่องครัว

รูปที่ 4.1 อุปกรณ์เครื่องครัวที่ทำจากเบคคาไลท์

2. ยูเรีย-ฟอร์มอลดีไฮด์เรซิน

เรซินประเภทนี้ เป็นเรซินที่ได้จากปฏิกิริยาควบแน่น (condensation) ระหว่างยูเรียและฟอร์มอลดีไฮด์ โดยที่ฟอร์มอลดีไฮด์จะเข้าไปแทนที่ไฮโดรเจนที่หมู่ฟีนอล เกิดเป็นยูเรีย- ฟอร์มอลดีไฮด์เรซิน ซึ่งในโครงสร้างมีทั้ง methylene bridge (~NH-CH_2-NH~) และ ether bridge (~NH-CH_2-O-CH_2-NH~) ทำให้โครงสร้างแข็งแรง พอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นจะเกิดการ curing ระหว่างโซ่เนื่องจากมี –OH group เหลืออยู่โดยที่น้ำหลุดไป การ curing จะเกิดที่อุณหภูมิสูง พลาสติกที่ทำจากยูเรีย-ฟอร์มอลดีไฮด์เรซิน มีสมบัติทนไฟฟ้าได้ดีกว่าฟีนอลิคซึ่งมักจะแตก นิยมมาใช้ทำปลั๊กไฟและฉนวนไฟฟ้าที่มีสีขาว นอกเหนือจากการให้สีขาวและเฉดสีอื่น มันยังมีสมบัติทางไฟฟ้าที่ดีกว่าฟีนอลิค

รูปที่ 4.2 ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยูเรีย-ฟอร์มอลดีไฮด์เรซิน

3. เมลามีน-ฟอร์มอลดีไฮด์เรซิน

เมลามีน-ฟอร์มอลดีไฮด์เรซินเตรียมได้จากปฏิกิริยาควบแน่นของฟอร์มอลดีไฮด์ สมบัติในด้านการทนต่อสารเคมีสูงของวัสดุเหล่านี้ ทำให้มีการใช้งานอย่างสูงเช่น ฟอร์ไมกา(Formica) และอุปกรณ์จานชามที่ใช้สำหรับเด็ก หรือ แคมป์ นอกจากนี้ยังมีสมบัติไฟฟ้าที่ดีเยี่ยม แต่ก็มีราคาแพงที่สุดในพวกเรซินที่ได้จากการควบแน่นของฟอร์มอลดีไฮด์ (formaldehyde condensation resins)

รูปที่ 4. 3 ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเมลามีน-ฟอร์มอลดีไฮด์เรซิน

4. อีพอกซีเรซิน และ พอลิเอสเทอร์ที่ไม่อิ่มตัว

ส่วนใหญ่ที่ใช้งานจะอยู่ในรูปของการเสริมแรงด้วยใยแก้ว โดยอีพอกซีจะให้สมบัติทางกายภาพที่ดีกว่าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่อิ่มตัวแต่ก็จะมีราคาแพงกว่ามาก

4.2.1.2 ยางวัลคาไนซ์

โดยปกติ ยางที่ใช้ในการขึ้นรูปจะใช้อยู่ในรูปที่เป็นคอมปาวด์ซึ่งประกอบด้วยสารเติมแต่งหลายอย่างเพื่อยางเกิดการวัลคาไนซ์ในแม่พิมพ์ ซึ่งต้องใช้กรรมวิธีการขึ้นรูปแบบกดอัดที่ซับซ้อนขึ้น อย่างไรก็ตามปัญหาของการใช้เทอร์โมเซตรวมทั้งยาง คือ สารระเหยที่ได้จาก by-product ของปฏิกิริยาควบแน่นขณะอยู่ในแม่พิมพ์ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นน้ำ โดยสารที่ผสมบางตัวในพลาสติกที่ใช้ขึ้นรูปจะดูดความชื้นไว้ทำให้ชิ้นงานมีคุณภาพด้อยลง และอีกประการหนึ่งสารระเหยเหล่านี้จะไปกัดกร่อนแม่พิมพ์ทำให้เป็นรู สำหรับยางจะถูกผสมเป็นสถานะ uncured และจะขึ้นรูปโดยการกดอัด

4.2.2 คอมปาวด์ (Compounds)

เรซินจะถูกผสมด้วยสารเติมแต่ง เพื่อให้ได้คอมปาวด์หรือของผสมในขั้นสุดท้าย โดยส่วนใหญ่ จะมีการเจือจางหรือการเติมสารเสริมแรง ซึ่งรวมถึง สารตัวเติมที่เป็นเส้นใย (fibrous filler) เช่น ไมกา(mica) หรือ ทัลค์ (talc)

จากนั้นเรซินจะต้องผ่านกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชั่นและ/หรือครอสลิงค์ (cross-link) ต่อไปเพื่อให้ได้รูปร่างสุดท้าย ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดัน ดังนั้น คอมปาวด์จึงเป็นเสมือนส่วนผสม (blend) ซึ่งผสมโดย distributive mixing ของส่วนประกอบต่าง ๆ ต่อไปนี้

1. เรซินที่ยังทำปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์
2. สารตัวเติมเพื่อเสริมความแข็งแรงหรือเพื่อให้ราคาถูกลง
3. ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเสริมการเกิดปฏิกิริยาการเกิดครอสลิงค์
4. accelerator เพื่อปรับปรุงอัตราการเกิดปฏิกิริยา
5. สารหล่อลื่นเพื่อเป็น processing aids และ mould releasing agent
6. สีหรือองค์ประกอบอื่น ๆ

สำหรับเวลาที่ส่วนประกอบเหล่านี้เมื่อผสมแล้วสามารถเก็บไว้ใช้ได้ (pot-life) ก็จะแตกต่างกันไป เช่น SMC และ DMC จะเก็บไว้ได้หลายวัน ถึง 1-2 สัปดาห์

อัลคิดและพอลีเอสเทอร์ที่ไม่ใส่อินนิชิเอเตอร์ (Initiator) หรือ ยูเรีย-ฟอร์มอลดีไฮด์จะเก็บไว้ได้เป็นสัปดาห์หรือเป็นเดือน

ฟีนอลิคจะได้ถึง 2 ปีรวมถึงสารตัวเติมที่เป็นพวกเส้นใย เช่น ใยฝ้าย ใยแอสเบสตอส ใยแก้ว

4.3 กระบวนการขึ้นรูป

4.3.1 หลักการ

หลักการของกระบวนการขึ้นรูปแบบกดอัดมีดังต่อไปนี้

1. แม่พิมพ์จะถูกยึดระหว่างแผ่นให้ความร้อนของแท่นประกบไฮโดรลิค
2. คอมปาวด์ ในปริมาณที่เตรียมไว้จะถูกใส่เข้าไปในแม่พิมพ์ ซึ่งวางอยู่ในแท่นประกบ
3. แท่นจะปิดด้วยความดันที่เพียงพอที่จะต้องป้องกันการเกิดครีบที่เส้นแบ่งแยกแม่พิมพ์
4. คอมปาวด์จะอ่อนตัวและไหลไปตามรูปร่างของแม่พิมพ์ และหลังจากที่อุณหภูมิแม่พิมพ์สูงพอก็จะเกิดการ cure ของวัสดุในแม่พิมพ์
5. ถ้าจำเป็นก็จะมีการหล่อเย็นแต่ส่วนใหญ่ไม่ต้องมีการหล่อเย็น
6. แท่นเปิดและชิ้นงานจะถูกนำออกจากแม่พิมพ์

โดยปกติ ในวงจรการผลิตจะต้องมีขั้นตอนที่เรียกว่า breathing หรือ bumping เพื่อคลายความดันออกชั่วคราวเพื่อปล่อยให้สารระเหยที่เป็นแก๊ซหรืออากาศที่จับอยู่ในชิ้นงานออกมาก่อนที่จะคงความดันไว้ในขั้นตอนที่ 3

จากกรรมวิธีที่กล่าวมา ดูเหมือนว่ากรรมวิธีนี้จะไม่ซับซ้อนเท่าไหร่นัก แต่ในทางปฏิบัติเทคนิคบางประการถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของกรรมวิธีนี้ได้แก่

1. **การเตรียม mould charge คือการเตรียมของผสมของพลาสติกที่ใช้ในการขึ้นรูป**

   ของผสมที่ใช้อาจอยู่ในรูปเม็ดเล็ก ๆ เม็ดเท่าลูกปัด (bead) ชิ้นเล็กชิ้นน้อย (chips) หรือ เศษเรซิน หรืออาจจะเป็นเม็ด(tablet) ก็ได้ โดยที่เม็ดนี้อาจอยู่ในรูปทรงกระบอก (Cylindrical) สี่เหลี่ยม (Rectangular) วงแหวน (Annular) หรือรูปทรงอื่นๆ ที่ง่ายๆ เพราะในกรณีที่ใช้พลาสติกที่มีการไหลให้เต็มแม่พิมพ์ยาก เช่น พอลีเตตระฟลูออโรเอทธีลีน หรือ พีทีเอฟอี (polytetrafluoroethylene, PTFE) รูปทรงของเม็ดพลาสติกที่ใช้จะมีผลต่อการขึ้นรูป เนื่องจากได้รับความดันไม่ทั่วถึง ข้อดีของส่วนผสมที่อยู่ในรูปเม็ดคือง่ายต่อการทำให้ร้อนก่อนขึ้นรูปและการให้ความดันเมื่อทำการอัดโดยปราศจากความร้อนและที่สำคัญคือสะดวกต่อการชั่งปริมาณของพลาสติกที่ใช้

2. **การทำให้ร้อนก่อนขึ้นรูป (preheating)**

   ประโยชน์ของการทำให้ร้อนก่อนขึ้นรูป คือสามารถลดระยะเวลาในการผลิต และลดความดันที่ให้กับแม่พิมพ์ อีกประการหนึ่งเป็นการลดเวลาการเกิด curing ลงด้วย โดยเฉพาะในชิ้นงานที่มีความหนาเป็นพิเศษ เนื่องด้วยเหตุผลที่ว่าการทำให้ร้อนก่อนขึ้นรูปสามารถลดความดันที่ให้แก่แม่พิมพ์และทำให้พลาสติกมีการไหลดีขึ้น ทำให้สามารถใช้แม่พิมพ์ที่มีความซับซ้อนและเปราะบางได้ การทำให้ร้อนก่อนขึ้นรูปเป็นการไล่ความชื้นที่พลาสติกดูดเอาไว้ ซึ่งเป็นจุดประสงค์อีกอย่างหนึ่งของการทำให้ร้อนก่อนขึ้นรูป เพราะจะให้สมบัติทางไฟฟ้าของชิ้นงานที่ดี นอกจากนี้ยังทำให้การหดตัวของชิ้นงานภายหลังน้อยลง อุณหภูมิที่ใช้ในการให้ร้อนก่อนขึ้นรูปประมาณ 60-100°C อาจทำได้หลายวิธีดังนี้

   (1) อุปกรณ์ให้ความร้อนอินฟราเรด (infrared (IR) heaters)

   (2) เตาให้ความร้อนแบบใช้สนามไฟฟ้าความถี่สูง (High frequency electric field heating ovens) เช่น เตาไมโครเวฟ

(3) สกรูที่ร้อน

(4) การให้ความร้อนในเตาอบธรรมดา (Convention heating in a hot air oven)

การทำให้ร้อนก่อนขึ้นรูปโดยการใช้สนามไฟฟ้าความถี่สูง (2-70 megacycle/second) วิธีนี้แตกต่างจากวิธีทั่วไปตรงที่ความร้อนจะแพร่ออกจากในวัสดุที่ถูกให้ความร้อน โดยไม่ต้องการตัวนำความร้อน ความร้อนภายในพลาสติกจะร้อนกว่าที่ผิวนอก เนื่องจากที่ผิวนอกมีการถ่ายเทความร้อนสู่อากาศ วิธีนี้เป็นที่นิยมเนื่องจากทำได้รวดเร็ว และสามารถให้ความร้อนได้สม่ำเสมอ ถึงแม้ว่าพลาสติกจะสามารถ curing ได้รวดเร็ว และมีการเกิดเป็นชิ้นงานได้ดีกว่าการให้ร้อนก่อนขึ้นรูปแบบอื่น แต่ราคาของอุปกรณ์ที่ใช้ยังเป็นปัญหาอยู่

การให้ความร้อนในเตาอบธรรมดา หรือ Dry-oil preheating จะใช้มากเมื่อต้องการชิ้นงานที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าดี เพราะไม่มีความชื้น หรือมีแต่น้อยมาก

3. อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปพลาสติก

อุณหภูมิ ความดัน และเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปพลาสติก แตกต่างกันไปตามชนิดของพลาสติกพวกเทอร์โมเซตรวมถึงยางจะใช้อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 140-170^{o}C เทอร์โมพลาสติกที่ขึ้นรูปด้วยวิธีนี้จะใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าพวกเทอร์โมเซต เช่น พอลีโพรไพลีนใช้ 230^{o}C

ที่อุณหภูมิสูง ๆ อัตราการเกิด curing จะสูง อุณหภูมิขณะนี้โดยทั่วๆ ไป อยู่ระหว่าง 160^{o}C กับ 180^{o}C ยกเว้นพวก fluorinated plastics อุณหภูมิอาจสูงถึง 380^{o}C และอุณหภูมิสูงสุดที่ตัวแม่พิมพ์จะทนได้จะต้องแตกต่างจากอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปพลาสติกมาก ๆ

4. ความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปพลาสติก

ความดันที่ใช้จะแตกต่างไปตามชนิดของพลาสติก และคุณสมบัติการไหลของพลาสติกตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4. 1 ความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปสำหรับเทอร์โมเซต

วัสดุ	ความดัน	
	(MPa)	(p.s.i)
DMC	6-10	900-1500
พอลิเอสเทอร์ที่ไม่อิ่มตัวหรือฟีนอลิคที่ไหลง่าย	14-18	2000-4000
ยูเรีย-ฟอร์มอลดีไฮด์เรซิน เมลลามีน-ฟอร์มอลดีไฮด์เรซิน ฟีนอลิคแข็ง	20-40	3000-6000
วัสดุที่แข็งมาก	40-55	6000-8000

การควบคุมความดันในการขึ้นรูปชิ้นงานมีความสำคัญมาก จะต้องมีการคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กดลงต่อพื้นที่หน้าตัดของแม่พิมพ์ให้ได้ความดันที่เหมาะสมกับพลาสติกชนิดนั้น และต้องทราบว่าบริเวณไหนของแม่พิมพ์จะเกิดการฟุ้งกระจายของผงพลาสติกทำให้ได้รับความดันไม่สม่ำเสมอ

ดังนั้น จึงต้องมีการให้ความดันที่ต่ำประมาณ 300-500 p.s.i ขณะทำการขึ้นรูปซึ่งความดันนี้อาจมีการเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมกับชนิดของพลาสติก และในขณะเดียวกันก็เป็นการป้องกันการแตกหักเนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ไม่แข็งแรงพอ หรือทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรูปทรงตามแม่พิมพ์

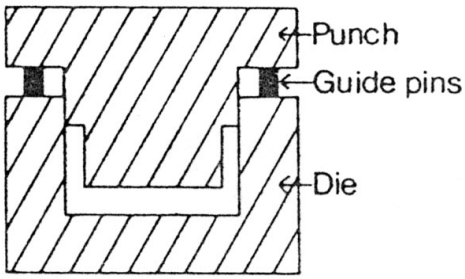
5. เวลาในการขึ้นรูป

ขึ้นอยู่กับขนาดของความหนา รูปทรงของชิ้นงาน แบบและชนิดของแม่พิมพ์หรือเทคนิคที่ใช้ หลักการสำคัญของการให้ความดัน คือ ความดันจะสามารถขึ้น (Up-stroking) หรือลง (Down-stroking) โดยการเคลื่อนที่ของ platen

4.4 รูปแบบของแม่พิมพ์

รูปแบบของแม่พิมพ์สามารแบ่งออกได้เป็น 4 แบบด้วยกัน คือ

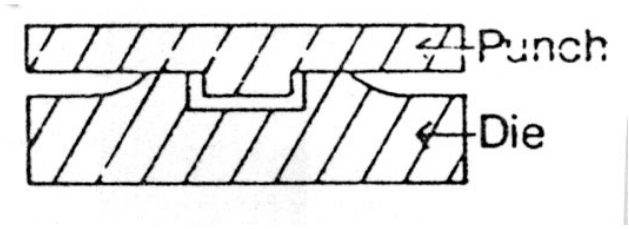
1. fully positive



รูปที่ 4. 4 แม่พิมพ์แบบ fully positive

เป็นแม่พิมพ์ที่ต้องมีปริมาณของวัสดุที่ใช้แน่นอน การเคลื่อนที่ของแรงที่กดลงถูกจำกัดด้วยปริมาณวัสดุในแม่พิมพ์อย่างเดียว จะมีปริมาณของวัสดุที่สูญเสียไปเป็นครีบ (flash) น้อย แม่พิมพ์แบบนี้จะให้ชิ้นงานที่มีความหนาแน่นมากที่สุด เช่น พลาสติกที่ทนต่อแรงกระแทกสูง เนื่องจากความดันทั้งหมดจะถูกให้เฉพาะพื้นที่ของแม่แบบเท่านั้น แม่พิมพ์นี้ไม่นิยมใช้กับพวกเทอร์โมพลาสติก

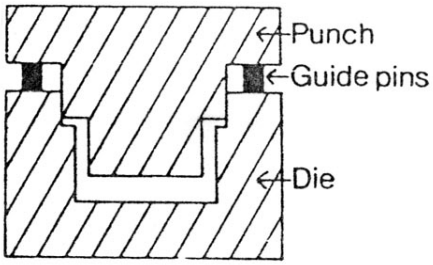
2. flash-type



รูปที่ 4. 5 แม่พิมพ์แบบ flash

เป็นแม่พิมพ์ที่วัสดุที่ใช้ไม่ได้ถูกจำกัดในช่องว่างของแม่พิมพ์จนกระทั่งตอนที่จะปิดแม่พิมพ์ครั้งสุดท้าย ผงที่เหลืออยู่ของพลาสติกจะกระจายทั้งข้างบนและข้างล่างของแม่พิมพ์ โดยเฉพาะตรงบริเวณเล็ก ๆ ที่เรียกว่า Cutoff ซึ่งจะเกิดเมื่อแม่พิมพ์ปิดสนิท อย่างไรก็ตาม cutoff นี้จะควบคุมความดันให้ถูกต้อง โดยป้องกันความดันที่เกิดจากการสัมผัสของแม่พิมพ์ ชิ้นงานที่ทำจากแม่พิมพ์แบบนี้จะมีความหนาแน่นน้อย ปริมาณของวัสดุที่สูญเสียไปประมาณ 3% มักใช้ผลิตชิ้นงานที่บางและแบน

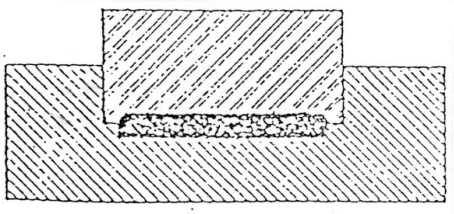
3. semipositive



รูปที่ 4. 6 แม่พิมพ์แบบ semipositive

เป็นการผสมกันระหว่าง Flash - type กับ fully positive ซึ่งเป็นแม่พิมพ์ที่นิยมใช้มาก โดยที่วัสดุที่ใช้จะถูกจำกัดให้อยู่ในบริเวณแม่พิมพ์ และมีส่วนที่ป้องกันการฟุ้งของวัสดุออกมานอกแม่พิมพ์ ชิ้นงานที่ได้จะมีความหนาแน่นมากที่สุด

4. landed positive



รูปที่ 4. 7 แม่พิมพ์แบบ landed positive

เป็นแม่พิมพ์ที่มีทั้งเนื้อที่เหลือ (Land) ภายนอก และภายในตามรูป แม่พิมพ์แบบนี้จะใช้เมื่อชิ้นงานมีรอยโค้ง รอยบาก หรือรูปโค้งที่มุมต่าง ๆ แม่พิมพ์แบบนี้คล้ายแม่พิมพ์แบบ semipositive ต่างกันตรงที่ครีบตามขวางจะคงอยู่ โดยที่ความดันจะกดลงทั้งบนครีบและที่ส่วนผสม (charge) แม่พิมพ์แบบนี้จะให้ความดันที่สม่ำเสมอแก่ชิ้นงานมากกว่าแบบ flash-type ถึงแม้ว่าแม่พิมพ์แบบนี้จะมี subcavity หลายอันในแม่พิมพ์ก็ตาม แต่แรงที่กดลงมีเพียงแรง ๆ เดียวเท่านั้น

4.5 วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์

วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ส่วนใหญ่ใช้ เหล็ก (Steel) ซึ่งจะใช้ตั้งแต่เหล็กอ่อน (soft mild) เหล็กกล้า (carbon steel) จนไปถึงชนิดที่แข็ง คือ สเตนเลส (stainless) และ อัลลอยด์ (alloy)

1. อัลลอยด์ เช่น พวก beryllium-copper นิยมใช้ขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกที่ต้องการชิ้นงานที่ซับซ้อน
2. Tool steel ชิ้นงานที่ได้จะมีความมัน เรียบ
3. สเตนเลส ใช้เมื่อต้องการหลีกเลี่ยงการเกิดรอยเปื้อนหรือสนิมในแม่พิมพ์และมักใช้กับยูเรียเรซิน

แม่พิมพ์ส่วนใหญ่จะชุบโครเมี่ยม เพราะโครเมี่ยมสามารถทนต่อการกัดกร่อน และการขึ้นสนิมได้ดี และเป็นการยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ด้วย พื้นผิวของแม่พิมพ์ที่ชุบโครเมี่ยมยังเป็นการปรับปรุงการแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้ง่ายขึ้น และทำให้ผิวของชิ้นงานเรียบ

ในทางปฏิบัตินิยมใช้แม่พิมพ์เดียวที่มี cavity มากกว่าหนึ่ง เนื่องจากราคาถูก และได้มีการพัฒนาเครื่องมือมาใช้ได้ดี อย่างไรก็ตามการออกแบบแม่พิมพ์จะต้องคำนึงถึงการหดตัวของพลาสติกขณะเกิด curing แม่พิมพ์ควรจะง่ายต่อการ load ง่ายต่อการทำความสะอาด และง่ายต่อการเคลื่อนย้าย

4.6 ประโยชน์ของการขึ้นรูปแบบกดอัด

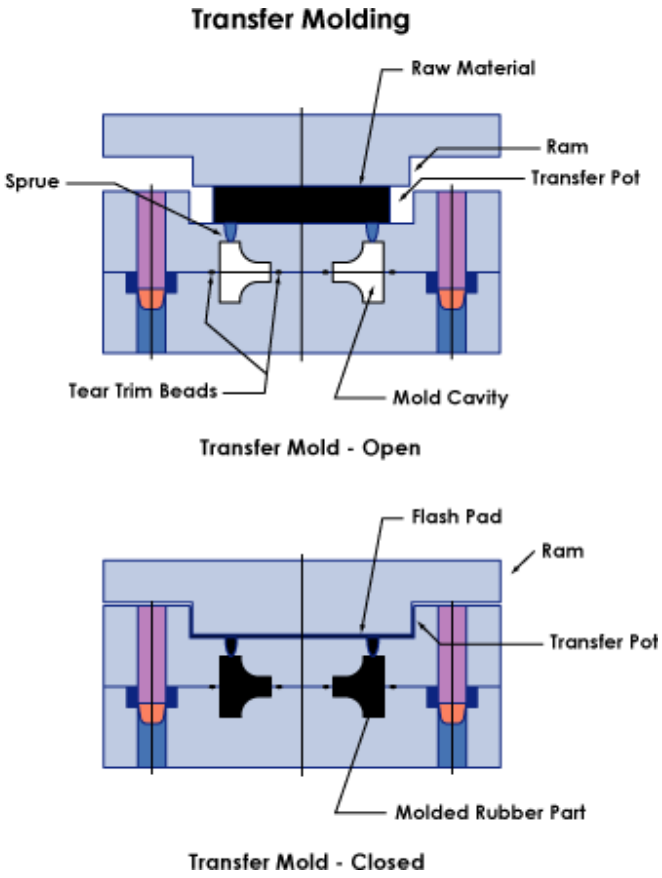
ลักษณะที่สำคัญ 2 ประการที่ทำให้การขึ้นรูปแบบกดอัดมีประโยชน์ต่างจากการขึ้นรูปแบบฉีดได้แก่

1. การมีของเสียต่ำ ประมาณ 2-5% แต่อย่างไรก็ตามของเสียที่ได้จากเทอร์โมเซตไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้
2. การมีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลในแม่พิมพ์ต่ำ ซึ่งประโยชน์ที่ได้จากข้อนี้คือ
    1. เส้นใยที่เป็นตัวเติมจะกระจายอยู่ดีและไม่ถูกรบกวนหรือจัดวางไปในทิศทางเดียวระหว่างการขึ้นรูป
    2. ชิ้นงานจะมีความเค้นคงค้าง (residual stress) ต่ำ
    3. สมบัติทางกลและทางไฟฟ้ายังคงถูกรักษาไว้ได้เพราะมีการไหลเฉือนน้อยมาก
    4. ค่ารักษาแม่พิมพ์ต่ำเพราะมีการเกิดการกัดเซาะ (erosion) น้อยเนื่องจากแรงเฉือนต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องฉีด
    5. ราคาการลงทุนต่ำ

4.7 ทรานสเฟอร์โมลดิ่ง (Transfer molding)

ทรานสเฟอร์โมลดิ่ง เป็นการพัฒนาต่อจากการกดอัดที่ซึ่งส่วนของคอมปาวด์ถูกเก็บอยู่ในแม่พิมพ์และเมื่อแม่พิมพ์ปิดมันจะถูกย้ายผ่าน sprue หรือ runner เข้า cavity

ลักษณะของกระบวนการนี้แสดงในรูป



รูปที่ 4.8 กระบวนการทรานสเฟอร์โมลดิ่ง (รูปภาพจาก www.polysealind.com)

ขั้นตอนที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปแบบนี้เริ่มโดยการใส่คอมปาวด์ที่จะขึ้นรูป แล้วปิดแม่พิมพ์ หลังจากนั้นคอมปาวด์จะถูกถ่ายลงไปยัง cavity ผ่านทาง runner สุดท้ายเมื่อเปิดแม่พิมพ์ทั้ง 3 ส่วน ชิ้นงานจะถูกแยกออกมาจากส่วนล่าง

ประโยชน์ของกระบวนการนี้ คือ

1. สามารถผลิตชิ้นงานเล็ก ๆ ได้ง่าย
2. ลดความเสี่ยงของการเกิดความเสียหายจากการเคลื่อนย้ายชิ้นงานที่บอบบางหรืออินเสิร์ต
3. วงจรการทำงานเร็วกว่าเพราะมีการถ่ายทอดความร้อนดีกว่าผ่านทาง runner

ข้อเสียของทรานสเฟอร์โมลดิ่ง เมื่อเทียบกับการกดอัด คือ

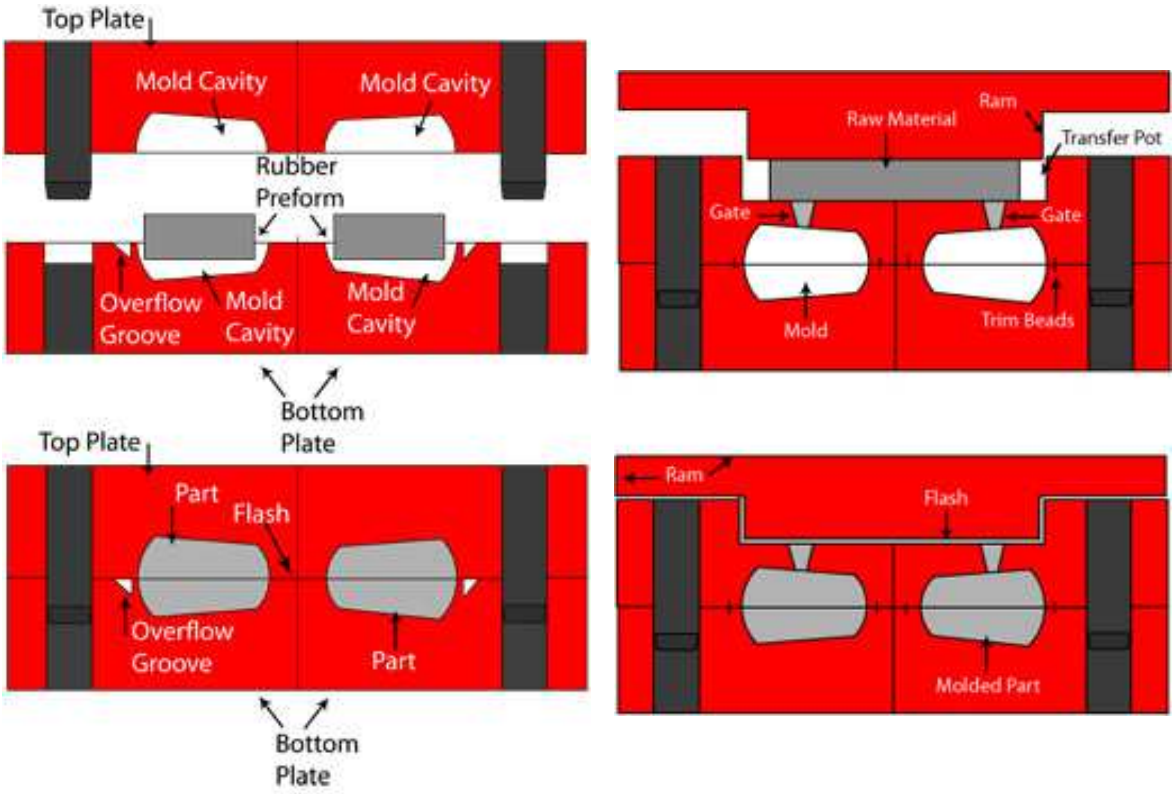
1. จะมีของเสียเกิดขึ้นที่ runner
2. ราคาเครื่องมือแพงกว่า

รูปที่ 4. 9 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทำจากฟีนอลิค ที่ได้จากกระบวนการทรานสเฟอร์โมลดิ่ง

รูปที่ 4. 10 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ยางที่ได้จากกระบวนการกดอัดและกระบวนการทรานสเฟอร์โมลดิ่ง

คำถามท้ายบท

1. พิจารณากระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานสองกระบวนการ ในภาพต่อไปนี้



อธิบายความแตกต่างของกระบวนการทั้งสอง

2. เพราะเหตุใด การขึ้นรูปแบบกดอัดจึงนิยมใช้ในการขึ้นรูปเทอร์โมเซตและยางมากกว่าเทอร์โมพลาสติก