บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชนิดของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ใช้ในอุตสหกรรมฉีดพลาสติกนั้นมีอยู่หลายชนิด ทำให้ยากแก่การแบ่งแยกชนิดให้ชัดเจน อย่างไรก็ตามสามารถแบ่งแม่พิมพ์ออกเป็นกลุ่มซึ่งมีโครงสร้างพื้นฐานและหน้าที่การทำงานต่างกัน ซึ่งจะแบ่งตาม

- ชนิดของ gate และระบบ runner
- ชนิดของการปลดชิ้นงาน
- มีหรือไม่มี undercut และ slide core
- ชนิดของตัวกระทุ้งชิ้นงาน

แม้จะพิจารณาเฉพาะพื้นฐานสี่ข้อดังกล่าว และแบบที่เกิดจากทั้งสามผสมกัน ก็ยังมีจำนวนแบบที่แตกต่างอีกมาก ซึ่งไม่สามารถอธิบายได้หมด ดังนั้นการแบ่งชนิดของแม่พิมพ์อาจแบ่งตามโครงสร้างพื้นฐานดังนี้

- แม่พิมพ์สองแผ่น (two plate mold)
- แม่พิมพ์สามแผ่น (three plate mold)
- แม่พิมพ์แบบแยก (split mold)

แม่พิมพ์สองแผ่น จะเปิดออกระนาบเดียวเรียกว่า parting line แม่พิมพ์สองแผ่นจะใช้กับชิ้นงานที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อน สามารถมีรู gate ขนาดใหญ่ได้ มีค่าใช้จ่ายในการผลิตและบำรุงรักษาแม่พิมพ์ต่ำ แต่การตัด gate ต้องทำหลังจากฉีดชิ้นงานเสร็จแล้ว ยกเว้นกรณีที่ใช้ gate แบบ submarine gate

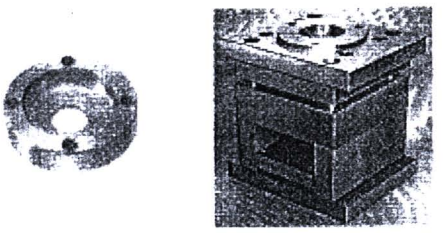
แม่พิมพ์สามแผ่น จะเปิดออกสองระนาบเพื่อแยกชิ้นงานกับ runner ออกจากกันโดยอัตโนมัติ ซึ่งเรียก gate แบบนี้ว่า pin point gate

แม่พิมพ์แบบแยก จะเปิดออกมากกว่าสองระนาบ ใช้กับชิ้นงานมีรูปร่างซับซ้อน

2.2 ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ (mold parts)

2.2.1 แหวนบังคับศูนย์บน (locating ring)

แหวนบังคับศูนย์บน จะมีหน้าที่บังคับแม่พิมพ์ให้อยู่ในแนวกับเครื่องฉีดได้อย่างถูกต้อง และตรงจุดศูนย์กลางหัวฉีดจะตรงกับศูนย์กลางแม่พิมพ์พอดี จึงติดตั้งแม่พิมพ์อย่างแม่นยำ

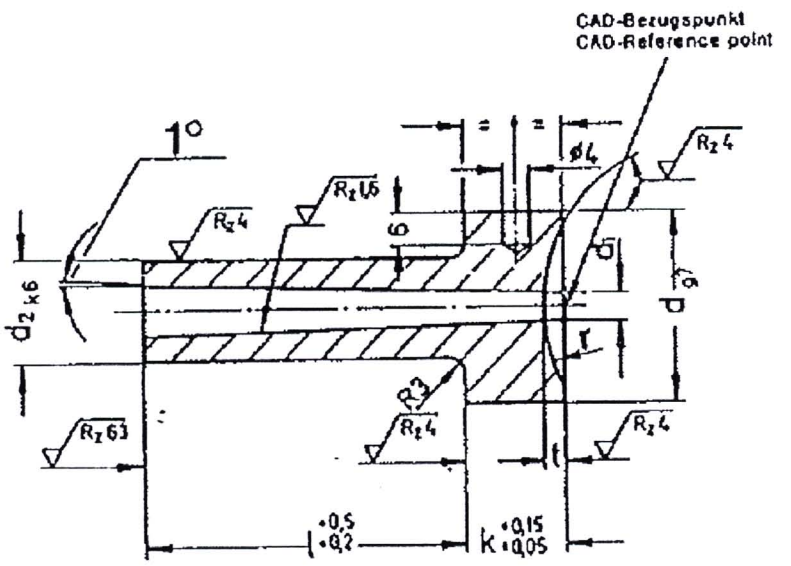


รูปที่ 2.1 แหวนบังคับศูนย์บน (locating ring) [1:167]

2.2.2 ปลอกนำฉีด (sprue bushing)

ปลอกนำฉีด เป็นชิ้นส่วนที่สัมผัสโดยตรงระหว่างหัวฉีด (nozzle) ของกระบอกฉีดกับแม่พิมพ์ โดยทั่วไปจะมีรัศมีความโค้งรับสัมพันธ์กับรัศมีหัวฉีด ซึ่งให้หัวฉีดมีรัศมี r และปลอกนำฉีดมีรัศมี R หัวฉีดและปลอกนำฉีดจะประกบกันอย่างสนิทพอดี เมื่อ R = r + 1 หมายความว่ารัศมีของปลอกนำฉีดจะใหญ่กว่ารัศมีของหัวฉีดอยู่ 1 มม. เพื่อให้น้ำพลาสติกไหลเข้าไปอยู่บริเวณผิวสัมผัสของผิวโค้งทั้งสอง และแข็งตัวกลายเป็นฉนวนป้องกันความร้อนถ่ายเทจากหัวฉีดสู่แม่พิมพ์ และการประกบระหว่างหัวฉีดกับปลอกนำฉีดแบบสนิทยิ่งขึ้นจนไม่มีการรั่วของน้ำพลาสติกเมื่อฉีดด้วยแรงดันสูง

โดยทั่วไป รูของปลอกนำฉีดมี taper 2-4 องศา รูของหัวฉีดซึ่งเป็น taper ด้วย ควรมีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่ารูปลอกนำฉีดประมาณ 1 มม. ณ จุดที่สัมผัสกัน เพื่อให้ง่ายต่อการดึงแกนรูฉีด (sprue) ออกเมื่อเปิดแม่พิมพ์



รูปที่ 2.2 ปลอกนำฉีด (sprue bushing) [1:168]

2.2.3 สลักนำและปลอกนำ (leader pin and leader pin bushing)

สลักนำและปลอกนำ จะเป็นตัวนำเลื่อนส่วนเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์ และบังคับให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง สัมพันธ์กับส่วนอยู่กับที่ของแม่พิมพ์ สลักนำ (รูปที่ 2.3 ก. และ 2.3 ข.) มักจะติดอยู่กับส่วนอยู่กับที่ของแม่พิมพ์ ขณะที่ปลอกนำ (รูปที่ 2.4 ก. และ 2.4 ข.) จะติดอยู่กับส่วนเคลื่อนที่ ทั้งสองสลักนำ (รูปที่ 2.3 ก. และปลอกนำ (รูปที่ 2.4 ก.) จะมีส่วนต่อสั้นๆ (heel) อยู่ถัดจากบ่า ซึ่งมีหน้าที่บังคับให้แผ่นต่างๆ อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง จึงไม่จำเป็นตองมีเดือย (dowel pin) และยังช่วยรับแรงด้านข้างที่กระทำต่อแผ่นแม่พิมพ์ ซึ่งอาจเกิดในแม่พิมพ์ที่มี sliding (slide core) สลักนำและปลอกนำ ดังรูปที่ 2.3 ก. และ 2.4 ก. มักจะใช้กันมากในแม่พิมพ์ที่มีความเที่ยงตรง (precision) สูง เนื่องจากช่วยให้วางแนว (alignment) ของแผ่นแมพิมพ์ทุกแผ่นได้อย่างถูกต้อง และสามารถรับแรงในแนวนอนได้มาก

ก.) ข.)

รูปที่ 2.3 สลักนำ (leader pin) [1:169]

ก.) มีส่วนต่อ (heel)

ข.) ไม่มีส่วนต่อ

ก.) ข.)

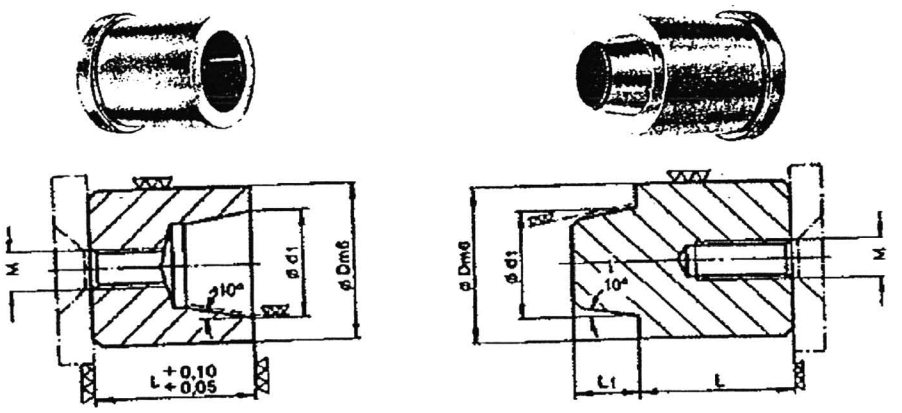
รูปที่ 2.4 ปลอกนำ (leader pin bush) [1:169]

ก.) มีส่วนต่อ (heel)

ข.) ไม่มีส่วนต่อ

2.2.4 tapered interlock

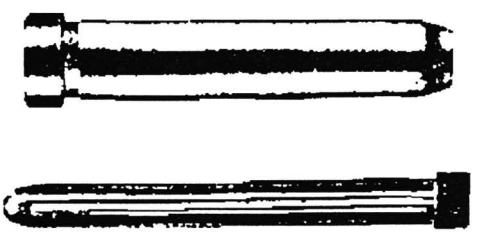
สลักนำและปลอกนำ จะรับแรงด้านข้างที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์ อย่างไรก็ตาม เมื่อแรงด้านข้างมาก หรือกรณีที่แม่พิมพ์หนักมาก จะประกอบ tapered interlock เพิ่มเข้าไปในแม่พิมพ์ในบางกรณี จะใช้ tapered interlock เพียงอย่างเดียว ไม่มีสลักและปลอกนำ โดยเฉพาะในแม่พิมพ์ตื้นๆ และไม่มีแรงด้านข้างเกิดขึ้นในระหว่างปิดแม่พิมพ์



รูปที่ 2.5 tapered interlock [1:170]

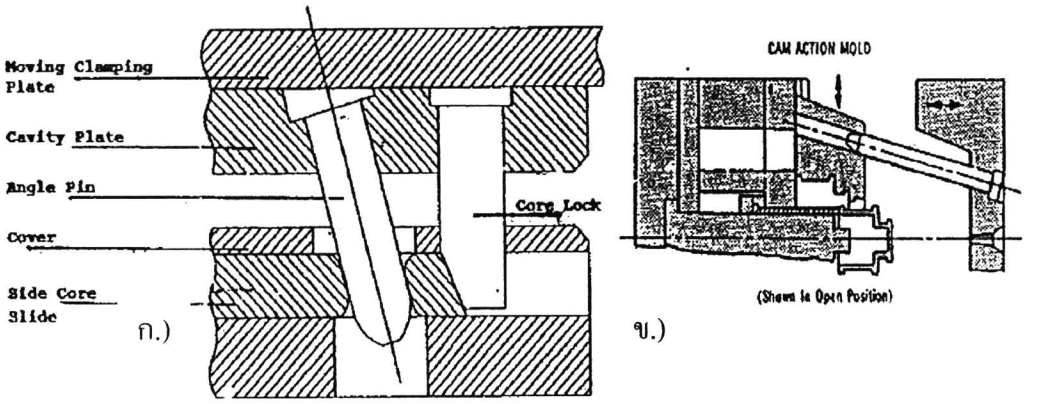
2.2.5 angle pin

slide core ที่อยู่ในแม่พิมพ์ จะเลื่อนโดยใช้ angle pin ซึ่งประกอบเข้าในแม่พิมพ์โดยเอียงเป็นมุมเพื่อเลื่อน slide core ให้ได้ระยะตามต้องการ และสัมพันธ์กับจังหวะเปิดแม่พิมพ์ มักใช้มุมเอียงระหว่าง 15-25 องศา แบบของ angle pin และค่าพิกัดความเผื่อแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 angle pin [1:170]

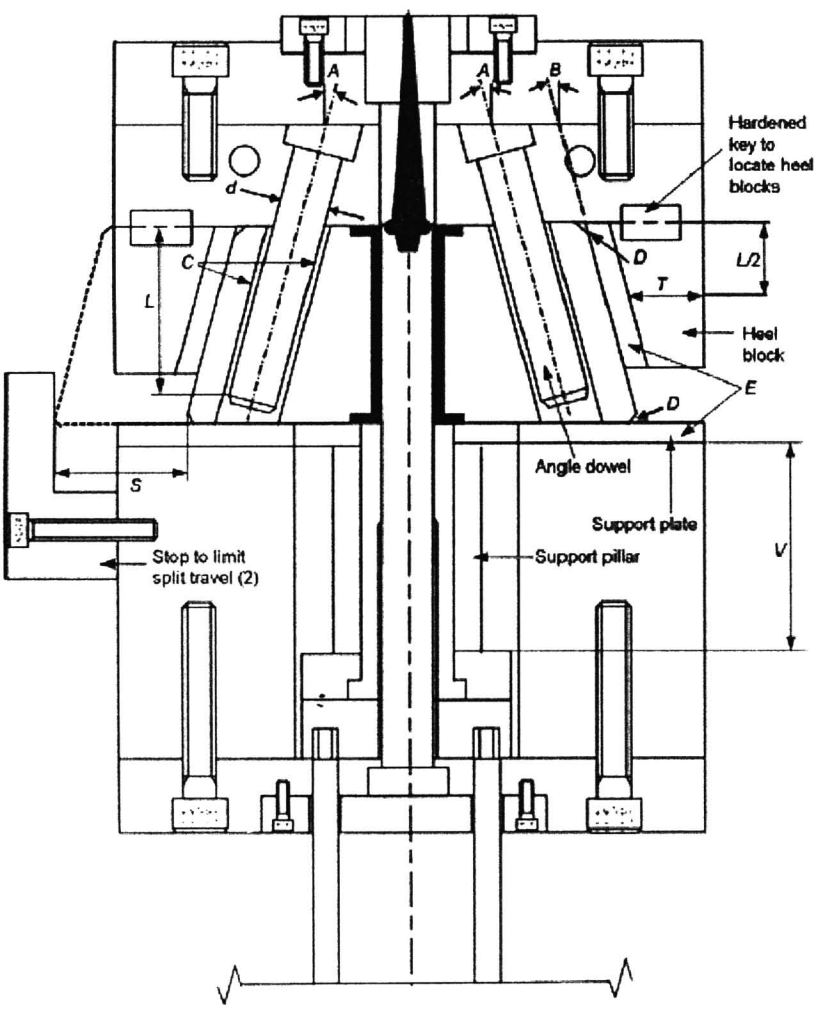
ในกรณีที่ใช้ angle pin ไปเลื่อน slide core ตัวเลื่อนที่เป็น core (core slide) จะต้องถูกล็อกไว้ด้วย core lock ที่มีผิวเอียง ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ขณะที่การประกอบ angle pin เข้าไปในตัวเลื่อนควรเป็นแบบค่อนข้างหลวม การใส่ angle pin เพื่อให้แน่ใจว่า ตัวเลื่อนจะกลับสู่ตำแหน่งเดิมอย่างถูกต้องทุกครั้ง และ core lock จะต้องมีความแข็งแรง และประกอบกันอย่างแม่นยำ เพื่อจะได้ต้านแรงจากการฉีดพลาสติกในแม่พิมพ์



รูปที่ 2.7 การใช้ angle pin ในแม่พิมพ์ [1:171]

ก.) แม่พิมพ์ที่มี core ข้างเลื่อนได้

ข.) แม่พิมพ์แยก (split mold)



รูปที่ 2.8 โครงสร้างแม่พิมพ์มี slide core [2:171]

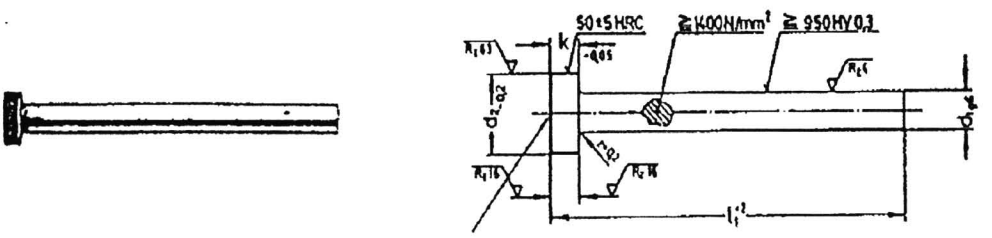
การออกแบบแม่พิมพ์มี slide core จากรูปที่ 2.8 [2:172]

1. มุม A ต้องไม่เกิน 26 องศา
2. มุม B ควรใหญ่กว่ามุม A 2 ถึง 5 องศา
3. ระยะ slide S = L x tan A + clearance
4. ระยะปลดชิ้นงาน V ต้องใหญ่กว่าความลึกของ slide core
5. C คือระยะห่างระหว่าง angle pin และ รูสวม
6. ตำแหน่ง D ต้องทำรัศมี
7. angle pin ต้องเป็นวงกลมหรือสี่เหลี่ยม (สำหรับขนาดเท่ากันแบบสี่เหลี่ยมแข็งแรงกว่า)
8. angle pin ควรทำจากเหล็กชุบแข็ง
9. ความหนาของ Heel block $T = \frac{1.5}{4.6}\sqrt[3]{\frac{6WL}{b}}$ [2:172]

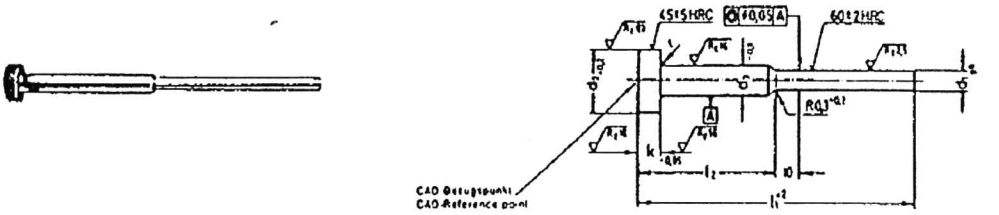
   W คือ แรงดันต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

2.2.6 เข็มกระทุ้ง (ejector pin) และ core pin

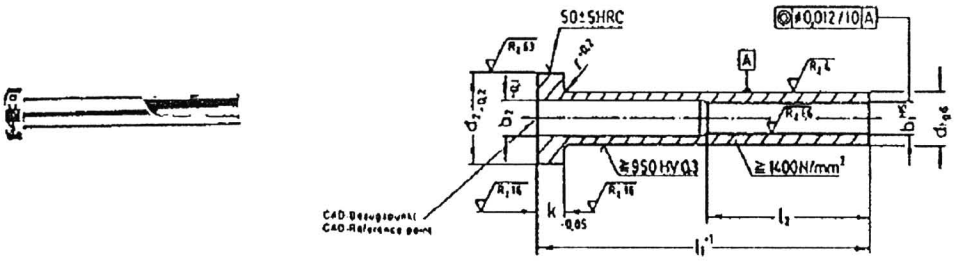
โดยทั่วไป เข็มกระทุ้งจะเป็นส่วนที่ต้องทนแรงกด ที่จะทำให้เข็มงอโค้ง (buckling) เนื่องจากมีความยาวและค่อนข้างเล็ก ในอีกด้านหนึ่ง จะต้องทนต่อการสึกหรอจากการเสียดสีโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเลื่อนไปมา จึงควรชุบแข็งแบบไนไตรด์ (nitrided), trufftrided หรือ borrided รูปที่ 2.9 แสดงแบบของเข็มกระทุ้ง ซึ่งมีความแข็งต่างๆ กัน จะเห็นได้ว่าความแข็งขนาด 65-70 HRC นี้ ทำได้โดยการชุบแข็งด้วยวิธีที่กล่าวมาแล้วนั้น ผิวควรเจียระไนอย่างละเอียด และพิกัดความเผื่อสำหรับรูสวมเข็มกระทุ้งควรเป็น H7 และสำหรับเข็มกระทุ้ง พิกัดความเผื่อควรเป็น g6 เพื่อหลีกเลี่ยงการแลบของพลาสติกที่เกิดกับชิ้นงานบริเวณรอบเข็มกระทุ้ง เข็มกระทุ้งอาจทำเป็นขั้น ดังรูปที่ 2.10 หรือกลวงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.9 เข็มกระทุ้งแบบตรง (straight ejector pin) [1:172]



รูปที่ 2.10 เข็มกระทุ้งแบบขั้น (stepped ejector pin) [1:172]



รูปที่ 2.11 ปลอกกระทุ้ง (ejector sleeve) [1:172]

2.2.7 แผ่นฐานอยู่กับที่หรือแผ่นยึดบน (fixed base plate or front clamp plate)

แผ่นฐานอยู่กับที่หรือแผ่นยึดส่วนหน้า (ชื่อเรียกแบบอเมริกา) ทำให้ยึดส่วนที่อยู่กับที่ของแม่พิมพ์เข้ากับหน้าแปลนด้านที่อยู่กับที่ของเครื่องฉีดให้สะดวกขึ้น และต้องทนแรงดันซึ่งหัวฉีดกดปลอกรูฉีด และใช้เป็นแผ่นรองสำหรับส่วนโพรงแบบ (cavity insert) ได้ในแม่พิมพ์บางแบบ ยิ่งกว่านี้ ยังสามารถทำช่องหล่อเย็นไว้ในแผ่นยึดเพื่อหล่อเย็น ส่วนแกนรูฉีด (sprue) สำหรับการฉีดชิ้นงาน ที่ต้องการให้รอบเวลาฉีด (cycle time) สั้นหรือผลผลิตสูง

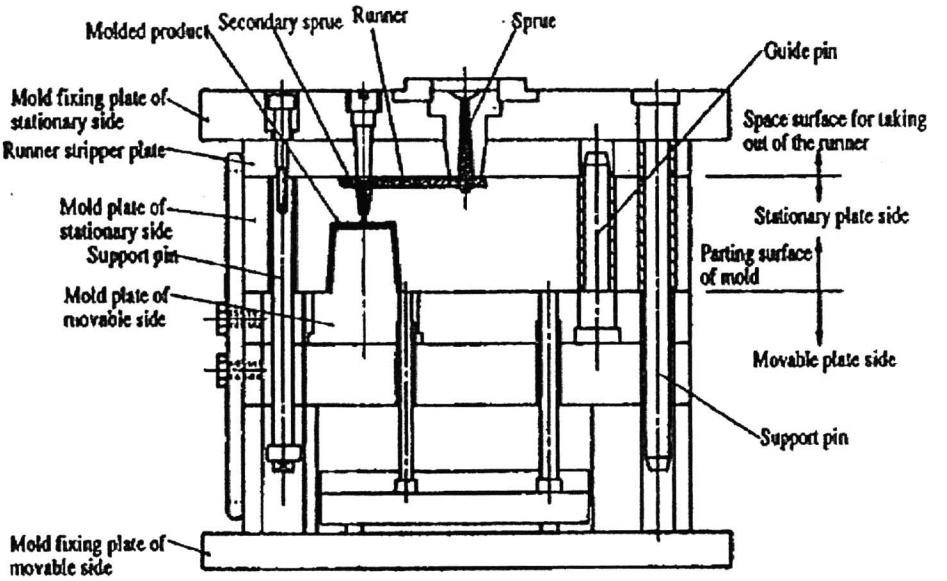
แผ่นยึดส่วนหน้าอาจกว้างกว่าแผ่นโพรงแบบ (cavity plate) 20-25 มม. สำหรับเป็นที่จับของตัวยึด (machine clamp) หากพื้นที่ในการยึดของเครื่องฉีดมีอยู่จำกัด ก็ทำการกัดเซาะร่องสี่เหลี่ยมที่แผ่นยึดหรือแผ่นโพรงแบบ สำหรับเป็นที่จับของตัวยึด อย่างไรก็ตาม ควรทำเช่นนี้ในกรณีที่จำเป็นเท่านั้น คือ ไม่มีที่ว่างพอในการยึด เพราะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการกัดร่อง ซึ่งก็ไม่คุ้มค่ากับวัสดุที่ประหยัดได้จากการลดขนาดแผ่นยึด

2.2.8 แผ่นโพรงแบบอยู่กับที่หรือแผ่นแม่พิมพ์บน (fixed cavity plate or front cavity plate)

เป็นแผ่นที่มีไว้สำหรับประกอบส่วนโพรงแบบ (cavity insert) เจาะช่องน้ำหล่อเย็น และต่อสายยางสำหรับน้ำหล่อเย็นในแม่พิมพ์ส่วนที่อยู่กับที่ แม่พิมพ์ขนาดเล็กจะใช้การกัดแผ่นโพรงแบบให้เป็นรูปโพรงแบบตามต้องการ วิธีนี้จะใช้กับแม่พิมพ์ขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ได้ในบางกรณี

2.2.9 แผ่นฐานยึดล่างหรือแผ่นฐานยึดเคลื่อนที่ (support core plate)

เป็นแผ่นรองรับชิ้นส่วนของ core Insert ต่างๆ หรือส่วนของ core plate เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแม่พิมพ์ เช่น slide core หรือเจาะท่อน้ำหล่อเย็นเป็นต้น ซึ่งในการออกแบบแม่พิมพ์ส่วนแผ่นยึดล่างอาจมีหรือไม่มีก็ได้ ขึ้นอยู่กับความต้องการในการออกแบบความสะดวกในการขึ้นรูปและประกอบแม่พิมพ์ ส่วนใหญ่จะยึดติดกับแผ่น core เป็นชุดเดียวกัน



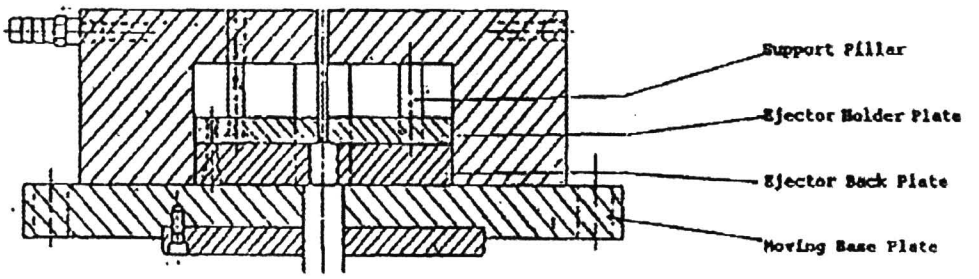
รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบต่างๆ ของแม่พิมพ์ [1:175]

2.2.10 หมอนรอง (spacer block)

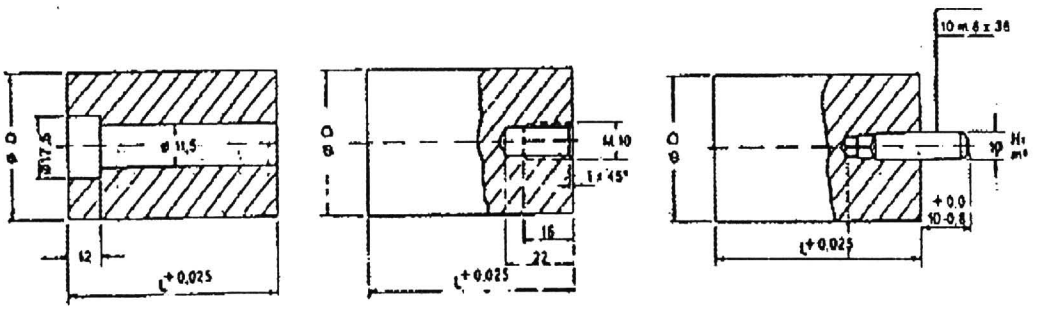
โดยทั่วไปจะมีหมอนรองอยู่สองชั้น ประกอบไว้ส่วนที่เคลื่อนที่ของแม่พิมพ์ เพื่อเว้นระยะให้มีที่สำหรับการเคลื่อนที่ของเข็มกระทุ้ง ความสูงของหมอนรองจะขึ้นอยู่กับช่วงความยาวของการปลดชิ้นงาน (Ejector Stroke) บวกกับความหนาของแผ่นกระทุ้ง (ejector plate) และแผ่นใส่เข็มกระทุ้ง (ejector retainer plate) และหัวของ stop bottom ที่โผล่ออกมา

2.2.11 เสาค้ำ (support pillar)

ในกรณีที่โพรงแบบมีพื้นที่ใหญ่มาก แผ่นด้านคอร์ (core plate) ต้องมีการค้ำไว้ เพื่อป้องกันการแอ่นของแผ่นรอง จึงใส่เสาค้ำดังรูปที่ 2.13 จำนวนเสาที่ใช้และการเว้นระยะห่างที่เท่ากัน จะขึ้นอยู่กับขนาดของโพรงแบบและแรงที่กดอยู่ ข้อสำคัญคือ การให้ความเค้นนำ (pre-stress) ที่ตัวเว้นระยะดังนั้นเสาค้ำควรสูงกว่าหมอนรอง 0.025 มม.



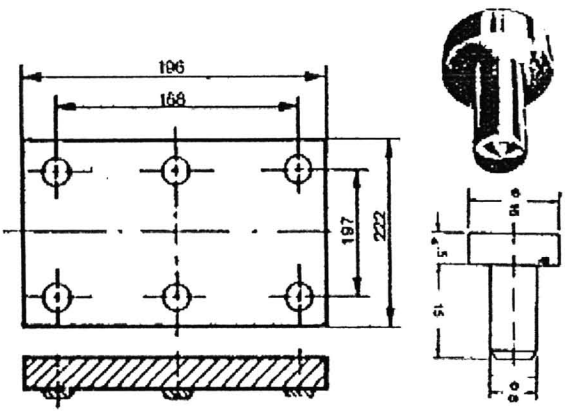
รูปที่ 2.13 ส่วนประกอบของแผ่นกระทุ้ง (ejector plate) พร้อมด้วยเสาค้ำ (support pillar) และแผ่นฐานเคลื่อนที่ (moving base plate) [1:176]



รูปที่ 2.14 เสาค้ำ (support pillar) ชนิดต่างๆ (สำหรับการยึดติดกับแผ่นเคลื่อนที่ด้วยวิธีต่างๆ) [1:176]

2.2.12 แผ่นกระทุ้ง และแผ่นใส่เข็มกระทุ้งพร้อมด้วย stop button (ejector plate and ejector retainer plate with stop button)

แผ่นยึดจะทำให้เข็มกระทุ้งอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง และเคลื่อนกลับได้อย่างคล่องตัว โดยทั่วไป การประกอบเข็มกระทุ้งกับแผ่นยึดจะค่อนข้างหลวม เส้นผ่าศูนย์กลางของรูจะมีขนาดใหญ่กว่าเข็มกระทุ้งประมาณ 0.1-0.3 มม. ขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเข็มกระทุ้ง เผื่อสำหรับการปรับ หากเกิดการเยื้องศูนย์กันของเข็มกระทุ้งกับรูที่แผ่น core ความหนาของแผ่นยึดมีขนาดประมาณ 10-16 มม. แผ่นรองจะรักษาตำแหน่งของเข็มกระทุ้งในแนวยาวไว้ ขณะที่เคลื่อนกลับที่ศูนย์กลางของแผ่นรองอาจมีรูทำเกลียวไว้สำหรับต่อแก่นกระทุ้ง (ejector rod) ในกรณีที่เครื่องฉีดพลาสติกนั้นติดตั้งชุดกระทุ้งแบบไฮดรอลิกส์ นอกจากนี้ควรมี stop button (รูปที่ 2.15 ข.) จำนวน 4-6 ตัว ประกอบไว้ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ก. เพื่อให้เข็มกระทุ้งเลื่อนกลับมาอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง แม้ในกรณีที่มีสิ่งแปลกปลอมหลุดเข้าไปอยู่ระหว่างแผ่นเคลื่อนที่และแผ่นกระทุ้ง



ก.) ข.)

รูปที่ 2.15 การวางตำแหน่งของ stop button ในแผ่นรอง (ejector back plate) [1:177]

2.2.13 แผ่นยึดล่าง (moving clamping plate (bottom))

เป็นแผ่นสำหรับยึดแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องฉีดพลาสติกด้านเคลื่อนที่ จะรองรับหมอนรองและชุด core plate โดยใช้สกรูยึดเข้าด้วยกัน ทำให้ชุดนี้เป็นชุดสำหรับเคลื่อนที่ ส่วนใหญ่แผ่นยึดล่างจะมีขนาดเดียวกับแผ่นยึดบน สามารถที่จะรองรับแรงกระทำจากการฉีดและเปิด-ปิดแม่พิมพ์ได้ ตรงกลางของแผ่นจะเจาะรูสำหรับแกนกระทุ้ง (ejector rod) จากเครื่องฉีด

2.2.14 แผ่นแม่พิมพ์ล่าง (core plate or moving cavity plate)

แผ่นโพรงแบบส่วนหลังหรือแผ่น core เป็นแผ่นที่ใช้ใส่ส่วนโพรงแบบ (cavity insert) หรือส่วน core (core-insert) ส่วนมากมีช่องน้ำหล่อเย็นอยู่ด้วย สำหรับแม่พิมพ์ที่มีความแม่นยำสูง และฉีดชิ้นงานได้มาก จะชุบแข็งแผ่น core ด้วย ไม่ว่าส่วนโพรงแบบหรือส่วน core จะชุบแข็งหรือไม่ก็ตาม

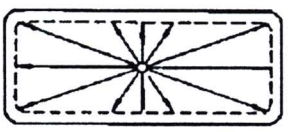
2.3 การวางตำแหน่งและชนิดของ gate

2.3.1 การวางตำแหน่ง gate

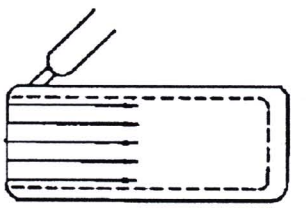
gate เป็นส่วนสำคัญไม่เฉพาะสำหรับการฉีดพลาสติกให้เป็นไปอย่างเรียบร้อย แต่ยังมีผลไปถึงการปลดชิ้นงานในขั้นสุดท้าย และการผลิตชิ้นงานโดยปราศจากข้อบกพร่องด้วย

การวางตำแหน่งของ gate บนชิ้นงานฉีดพลาสติก จะกำหนดให้เป็นไปตามความต้องการพื้นฐาน คือ พลาสติกเหลวควรไหลเข้าแม่พิมพ์อย่างรวดเร็วด้วยเส้นทางการไหลที่สั้น โดยมีการสูญเสียความร้อนและแรงดันน้อยที่สุด และควรไหลไปให้ถึงปลายทางทุกโพรงแบบในเวลาไล่เลี่ยกันซึ่งมีความสำคัญต่อแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก โดยเฉพาะแม่พิมพ์ที่มีหลายโพรงแบบเส้นทางการไหลของพลาสติกเหลวไปทุกโพรงแบบจะต้องเหมือนกัน รูปที่ 2.16 แสดงให้เห็นว่า การวางตำแหน่งของ gate มีผลต่อเส้นทาง

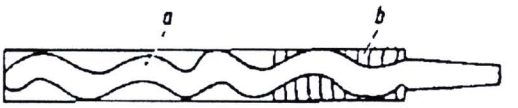
การไหลของพลาสติกเหลวที่เข้าไปในโพรงแบบ และการเกิด weld line รูปที่ 2.17 แสดง gate เข้าด้านข้างตามปกติ (normal, lateral gate) ทำมุมอย่างเหมาะสมเพื่อไม่ให้พลาสติกเหลวเข้าไปในโพรงแบบโดยปราศจากการควบคุม สิ่งสำคัญในการวางตำแหน่ง gate ก็คือพลาสติกเหลวจะต้องชน cavity หรือ core ถ้าพลาสติกเหลวถูกฉีดเข้าไปในที่ว่างของโพรงแบบโดยตรง จะเกิดการไหลเป็นรูปตัวหนอนดังรูปที่ 2.18 ในกรณีนี้พลาสติกเหลวจะพุ่งเป็นลำเข้าไปในโพรงแบบจนดูคล้ายตัวหนอน เมื่อสัมผัสกับผนังโพรงแบบที่เย็นกว่า พลาสติกเหลวจะแข็งตัวและพลาสติกเหลวที่ไหลตามเข้ามาจะเป็นรูปคลื่นจะไม่รวมตัวกับพลาสติกที่เป็นตัวหนอน ทำให้ผิวชิ้นงานมีความหยาบ



รูปที่ 2.16 gate เข้าตรงกลาง [1:185]



รูปที่ 2.17 gate เข้าด้านข้าง [1:185]



รูปที่ 2.18 การไหลเป็นรูปตัวหนอนหรือพุ่งเป็นลำ [1:185]

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

2.3.2 ชนิดของ gate

2.3.2.1 sprue gate

gate ชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้กับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่และสมมาตรกับแกน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 4-12 มม. ขึ้นอยู่กับน้ำหนักชิ้นงานและความยาวของเส้นทางการไหล หลังจากปลดชิ้นงานแล้วต้องตัด sprue ทิ้ง ซึ่งเป็นการเพิ่มขั้นตอนการทำงาน และระบบ gate ที่มีขนาดใหญ่เช่นนี้ไม่ควรให้อยู่บนผิวที่มองเห็นได้ง่าย

รูปที่ 2.19 sprue gate [1:189]

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 3 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 246179
เลขเรียกหนังสือ

2.3.2.2 film gate

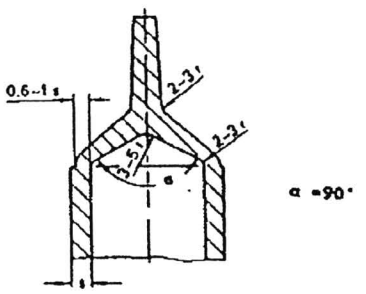
ใช้กับชิ้นงานขนาดใหญ่แบน โดยเฉพาะที่ทำจากเทอร์โมพลาสติกโครงสร้างเป็นระเบียบ การหดตัวในแต่ละทิศทางมีค่าต่างกัน การใช้ sprue gate หรือ pin gate เข้าจุดเดียวจะทำให้สภาพการไหลไม่ดี และหากใช้ pin gate เข้าหลายจุดก็จะเป็นผลให้เกิด weld line ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้มีในชิ้นงาน จึงควรใช้การฉีดด้วย film gate เข้าด้านข้างหรือตรงกลาง พลาสติกเหลวจะไหลเข้าสู่ runner ที่มีหน้าตัดกลมใหญ่ หลังจากนั้น จะไหลผ่าน film gate อย่างสม่ำเสมอ เต็มตลอดความกว้างของชิ้นงาน ในบางกรณี ความหนาของ gate ควรค่อยๆ เพิ่มจากตรงกลางไปถึงขอบตั้งแต่ 0.6-1 มม.

2.3.2.3 lateral film gate

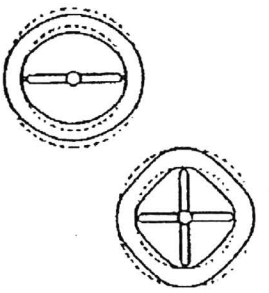
เพื่อให้สามารถฉีดแม่พิมพ์โพรงแบบเดียว โดยไม่ต้องทำ runner ให้เยื้องออกไป และไม่เกิดผลเสียจากการวางตำแหน่งโพรงแบบเยื้องศูนย์ วิธีที่ดีที่สุดคือ การฉีดเข้าที่ parting line โดยตรง ซึ่งทำได้โดยใช้เครื่องฉีดพลาสติก ที่ติดตั้งชุดฉีดที่สามารถหมุนได้ 90 องศา การใช้เครื่องฉีดแบบนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับการผลิตชิ้นงานแบบใหญ่ ซึ่งได้ชิ้นงานเกือบจะไม่มีความเค้นเลย ถ้าไม่สามารถฉีดพลาสติกผ่านทาง parting line ได้ เพราะชุดฉีดหมุนไม่ได้ ต้องฉีดเข้าโพรงแบบจากกึ่งกลางแม่พิมพ์ หมายถึงแม่พิมพ์รับแรงที่ไม่สมดุลย์ และอาจถูกดันแยกออกมาได้ที่ผิวแบ่ง เนื่องจากการวางตำแหน่งโพรงแบบไม่สมมาตร จึงควรทำแม่พิมพ์เป็นสองโพรงแบบ ซึ่งแรงในแม่พิมพ์สามารถจัดให้สมดุลย์ได้

2.3.2.4 disk gate หรือ diaphragm gate

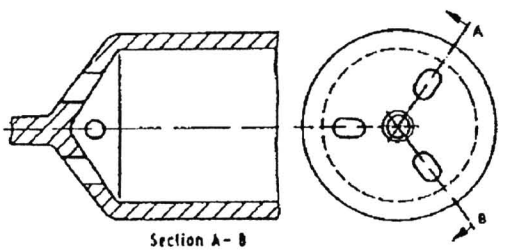
ใช้สำหรับผลิตงานรูปปลอก วงแหวน เป็นต้น และเหมาะสำหรับการฉีดชิ้นงานรูปร่างกลมที่มีคุณภาพสูง ข้อดีคือ ทำให้พลาสติกเหลวไหลเข้าสู่โพรงแบบได้อย่างสม่ำเสมอ ความหนาของผนังเท่ากันทุกส่วน และไม่มี weld line ซึ่งเป็นจุดอ่อนของชิ้นงาน ที่จะเกิดเมื่อใช้ gate เข้าด้านข้างหากคอร์มีขนาดที่เหมาะสมแล้ว จะไม่เกิดการเลื่อน หลักในการกำหนด คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์ควรน้อยกว่า 5/1 ในกรณีที่คอร์มีความยาวกว่านี้ ควรยึดปลายด้านที่ฉีดพลาสติก เพื่อป้องกันการเลื่อนของคอร์ เนื่องจากความแตกต่างของแรงดันของพลาสติกเหลวที่ไหลเข้าไปในโพรงแบบ ข้อเสียคือ เพิ่มการทำงานที่ต้องตัด diaphragm gate รูปที่ 2.20 เสดงให้เห็น diaphragm gate รูปที่ 2.21 แสดงผลของการกระจายพลาสติกเหลว ที่มีต่อคุณภาพชิ้นงาน เมื่อใช้ gate เข้าจุดเดียวหรือหลายจุด ชิ้นงานอาจเกิดการผิดรูป รูปที่ 2.22 แสดงตัวอย่างของ disk gate ที่มีส่วนยึดคอร์ รูปที่ 2.23 แสดง disk gate หรือ diaphragm gate แบบต่างๆ



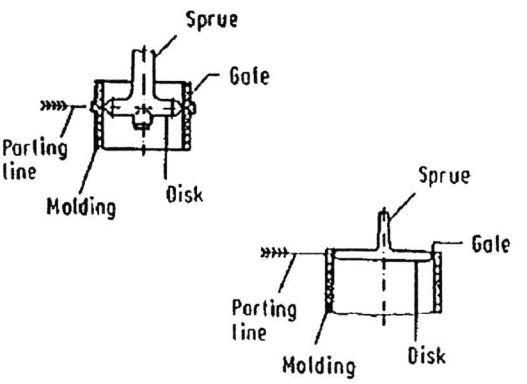
รูปที่ 2.20 disk gate หรือ diaphragm gate [1:194]



รูปที่ 2.21 ผลของการกระจายพลาสติกเหลวที่มีต่อคุณภาพชิ้นงาน [1:194]



รูปที่ 2.22 disk gate รูปกรวยที่มีช่องสำหรับยึดคอร์ [1:194]



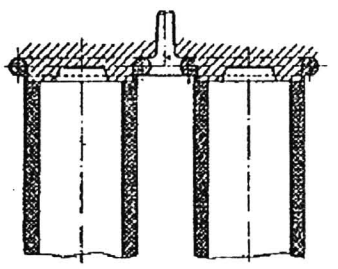
รูปที่ 2.23 disk gate แบบต่างๆ [1:194]

2.3.2.5 ring gate

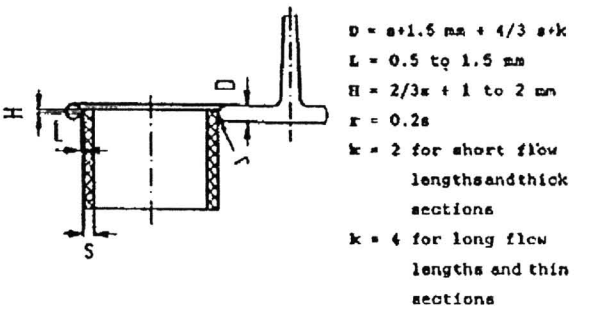
เป็น gate ที่ใช้กับชิ้นงานรูปทรงกระบอก ต้องมีการยึดปลาย core ทั้งสองข้าง เพราะมีความยาวมาก พลาสติกเหลวจะไหลผ่าน sprue เข้าไปใน runner รูปวงแหวน ที่ต่อกับชิ้นงานด้วย ส่วน land (ดูตามรูปที่ 2.24) ส่วน land ที่มีหน้าตัดแคบ จะทำหน้าที่เสมือนกับช่องบังคับ (throttle) ในระหว่างช่วงที่พลาสติกเหลวไหลเข้าสู่โพรงแบบ ด้วยเหตุนี้ พลาสติกเหลวจะไหลเข้าเต็มวงแหวนก่อนชิ้นงานที่ฉีดได้ต้องมีการตัด gate ออก และขัดแต่งรอย gate ให้เรียบร้อย ส่วน gate จะมีความหนาของหน้าตัด 0.3-0.6 มม. gate ชนิดนี้จะใช้เฉพาะกับการฉีดพลาสติกที่ไหลตัวได้ยาก และชิ้นงานมีรูปร่างกลม

ข้อดีของ gate ชนิดนี้คือ สามารถยึดคอร์ทั้งสองปลายได้ ทำให้ฉีดชิ้นงานทรงกระบอกยาวๆ ได้ (อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 5/1) โดยความหนาผนังเท่ากัน gate ชนิดวงแหวน (ring gate) ยังใช้กับชิ้นงานรูปทรงกระบอกในแม่พิมพ์หลายโพรงแบบได้ด้วย (รูปที่ 2.24) ถึงแม้ gate ชนิดนี้จะมีแบบที่คล้ายกับ disk gate มากก็ตาม แต่การฉีดหลายโพรงแบบและมีการยึดปลายคอร์สองด้านนี้ ทำได้ด้วย ring gate เท่านั้น

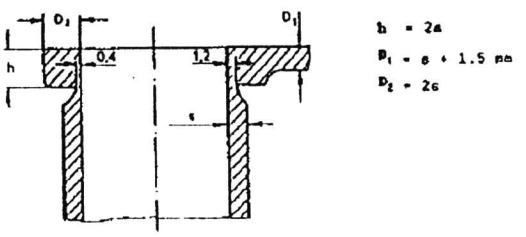
ขนาดของ ring gate ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกที่ฉีด น้ำหนักและขนาดของชิ้นงานความยาวในการไหล รูปที่ 2.25 เป็นขนาดของร่องหน้าตัดกลมที่ใช้กันทั่วไป ring gate อาจมีช่องที่มีหน้าตัดและขนาดต่างกันไปดังแสดงในรูปที่ 2.26 ในรูปที่ 2.27 แสดงให้เห็น ring gate แบบวงแหวนอยู่นอกและอยู่ใน



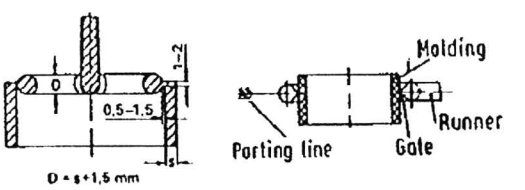
รูปที่ 2.24 ring gate สำหรับงานรูปปลอกและมีส่วน interlock สำหรับยึดคอร์ [1:195]



รูปที่ 2.25 ring gate ที่มีวงแหวนหน้าตัดกลม [1:195]



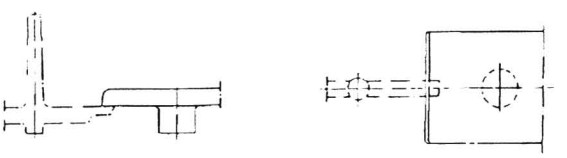
รูปที่ 2.26 ring gate ที่มีวงแหวนหน้าตัดสี่เหลี่ยมจตุรัส [1:195]



รูปที่ 2.27 ring gate แบบวงแหวนอยู่นอกและอยู่ใน [1:195]

2.3.2.6 overlap gate

ถ้าการออกแบบ gate ในการฉีดชิ้นงานหน้าตัดหนา เป็นไปในลักษณะที่พลาสติกเหลวไหลเป็นลำเข้าไปในโพรงแบบ พุ่งชนผนังด้านตรงข้าม จากนั้นจึงไหลย้อนจนเต็มโพรงแบบ จะไม่สามารถหลีกเลี่ยงการเกิดรอยบนผิวชิ้นงานได้ การแก้ไขมีอยู่สองวิธีคือ ทำให้พลาสติกเหลวไหลเข้าชนสิ่งกีดขวางจนมีรูปแบบการไหลเข้าสู่โพรงแบบ จากทิศทางของ gate อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งทำได้โดยบังคับทิศทางลำพลาสติกเหลวเป็นมุม และพุ่งชนผนังข้างหรือคอร์ อีกวิธีหนึ่งที่ใช้กันอยู่เสมอคือ overlap gate ดังรูปที่ 2.28 พลาสติกเหลวจะพุ่งชนผนังที่อยู่ถัดจาก gate จากนั้นจึงไหลเข้าสู่โพรงแบบอย่างสม่ำเสมอ

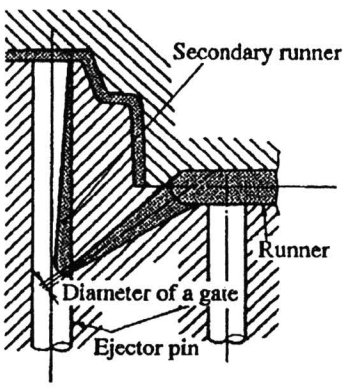


รูปที่ 2.28 overlap gate [1:196]

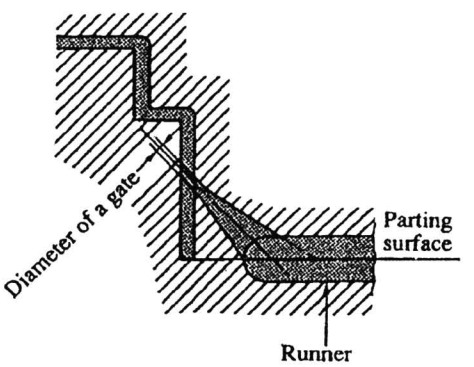
2.3.6 tunnel gate หรือ submarine gate

มักจะใช้กับแม่พิมพ์ที่มีหลายโพรงแบบสำหรับการผลิตชิ้นงานขนาดเล็กสามารถเข้า gate ด้านข้างได้ gate แบบนี้จะตัดออกจากชิ้นงานได้เอง

ขอบชิ้น runner จะอยู่ที่เส้นแบ่งเดียวกัน ช่อง runner จะทำให้ถึงจุดที่ใกล้กับโพรงแบบซึ่งจะเอียงเป็นมุมโดยมีปลายเป็นรูเรียว (taper) ต่อกับโพรงแบบผ่านทางส่วน land รูที่คล้ายอุโมงค์จะเจาะเข้าไปในผนังโพรงแบบโดยทำมุมเอียงจนเกิดเป็นขอบคมระหว่างโพรงแบบกับอุโมงค์ (tunnel) ขอบนี้จะตัดชิ้นงานให้ขาดออกจากระบบ runner tunnel ที่ใช้กันมีอยู่สองแบบดังรูปที่ 2.29, 2.30



รูปที่ 2.29 tunnel gate ที่มีรูเข้าเป็น taper tunnel [1:197]



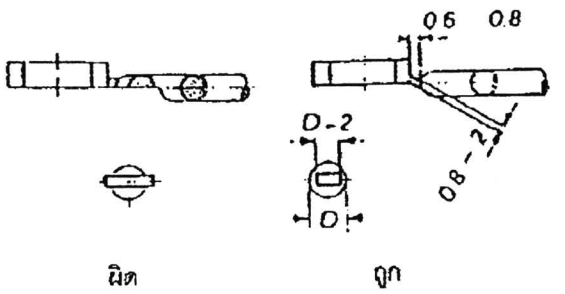
รูปที่ 2.30 tunnel gate ที่ตัดส่วน tunnel เป็นรูเข้า [1:197]

2.4 ขนาดของ gate

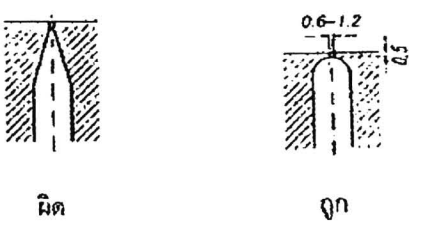
ขนาดหน้าตัดของ gate จะกำหนดโดยชนิดพลาติกที่ใช้ และความหนาผนังของชิ้นงานที่ฉีด เมื่อเพิ่มความหนืดของพลาสติก และความหนาผนัง ก็จะต้องขยายขนาดของหน้าตัดของ gate ออกไปด้วย ขนาดของ gate ขึ้นอยู่กับหน้าตัดส่วนที่หนาที่สุดของชิ้นงาน การให้ gate เข้าที่ส่วนนี้ (ส่วนที่หน้าตัด

หนาที่สุด) เป็นวิธีที่ดี ถ้า gate ไม่ได้เข้าที่ส่วนหน้าตัดที่หนาที่สุดของชิ้นงาน จะเกิดโพรงอากาศ (void) และรอยยุบ (sink mark) อันเป็นผลมาจากเวลาที่ให้แรงดันตาม (holding pressure) สั้นเกินไป เพราะพลาสติกบริเวณ gate แข็งตัวเร็วเกินไป

อย่างไรก็ตาม ในการฉีดโครงสร้างของโฟม (structural foam) ควรให้ gate เข้าส่วนที่บางที่สุดของชิ้นงาน เพราะการไหลเข้าสู่โพรงแบบ จะเกิดจากแรงดันของก๊าซที่ถูกระบายออก ส่วน land ของ gate ควรมีความยาวระหว่าง 0.6-0.8 มม. ดังในรูปที่ 2.31 ความกว้างของ gate ต้องเล็กกว่าช่อง runner เพื่อป้องกันพลาสติกแข็งจากผิวชั้นนอกของ runner ไม่ให้ไหลเข้าไปในคาวิตี้ ความกว้างของ gate ควรเล็กกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของ runner อยู่ 2 มม. (D-2 มม.) [1] ดังแสดงในรูปที่ 2.31 รูปที่ 2.32 แสดงแบบของ runner ที่ถูกต้อง ในส่วนที่ต่อกับ gate

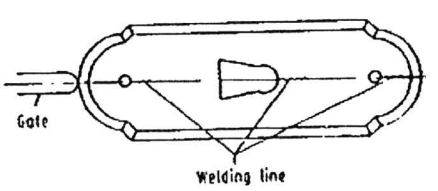


รูปที่ 2.31 แบบของ gate ที่ถูกต้อง [1:202]

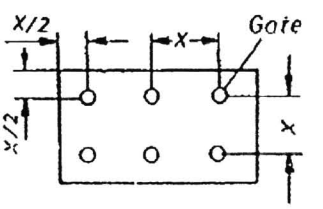


รูปที่ 2.32 ปลายของ runner เข้าสู่โพรงแบบด้วยแบบที่ถูกต้องและไม่ถูกต้อง [1:202]

ชิ้นงานบางชิ้นมีขนาดใหญ่ จะต้องมี gate หลายตำแหน่งเพื่อให้พลาสติกไหลเข้าแบบได้มากขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิด weld line ถ้าพลาสติกเหลวที่ไหลมารวมกันเย็นลง รอย weld line ก็จะยิ่งเห็นชัดขึ้น และมีความแข็งแรงลดลง weld line ยังเกิดขึ้นที่ด้านหลัง core ดังแสดงในรูปที่ 2.33 ความแข็งแรงในแนวขวางจะไม่ดี โดยเฉพาะชิ้นงานที่ฉีดด้วยพลาสติกเสริมใยเพิ่มความแข็งแรง (fibre-reinforce) กรณีนี้ควรใช้ gate หลายจุด ควรควบคุมไม่ให้ความแตกต่างของอุณหภูมิพลาสติกเหลวในโพรงแบบ เกินกว่า 20° C [1] ยิ่งความแตกต่างของอุณหภูมิน้อย ก็ยิ่งทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงมากขึ้น และเห็น weld line จางลง การใช้ gate หลายจุด จำเป็นต้องให้การไหลจาก gate ไปถึงรอยต่อของพลาสติกเหลวมีความยาวเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.33 weld line ที่มองเห็นได้หลัง core [1:203]



รูปที่ 2.34 pin gate เข้าหลายจุด X = ความยาวการไหลของพลาสติกเหลว [1:203]

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

2.5 ระบบ runner

runner เป็นส่วนที่เชื่อมโยง sprue เข้ากับโพรงแบบโดยผ่าน gate เพื่อให้จ่ายพลาสติกเข้าสู่ทุกโพรงแบบในเวลาเดียวกัน ภายใต้แรงดันเท่ากัน ระบบ runner สามารถแบ่งออกเป็นสามชนิดตามระดับอุณหภูมิ

2.5.1 ระบบ runner มาตรฐาน (standard runner system)

ช่อง runner มาตรฐาน ทำได้โดยกัดเซาะแผ่นแม่พิมพ์โดยตรง และไม่มีการติดต่อท่อให้ความร้อน (heat manifold) ดังนั้นอุณหภูมิของระบบ runner จึงเป็นเช่นเดียวกับอุณหภูมิแม่พิมพ์ทั้งหมด อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า isothermal runner พลาสติกจะแข็งตัวใน runner หลังจากการฉีดแต่ละครั้งและต้องปลดออกพร้อมกับชิ้นงาน หลังจากการเปิดแม่พิมพ์ ระบบนี้ใช้กับการฉีดเทอร์โมพลาสติกและวัสดุที่ต้องทำปฏิกิริยา เช่น เทอร์โมเซ็ท หรือยาง (elastomer) runner ที่เกิดจากเทอร์โมเซ็ทจะเป็นของเสีย ขณะที่ runner ที่เกิดจากเทอร์โมพลาสติกสามารถนำกลับมาบดใช้ใหม่ได้

2.5.2 ระบบ hot runner

ลักษณะของระบบ hot runner ในแม่พิมพ์ฉีดเทอร์โมพลาสติก จะต้องติดตั้งท่อให้ความร้อน (heat manifold หรือ heater cartridge) อุณหภูมิของ heater คือ 180-300 °C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวเทอร์โมพลาสติก จึงเห็นได้ชัดว่า สูงกว่าอุณหภูมิปกติของแม่พิมพ์ ซึ่งอยู่ระหว่าง 20-120 °C manifold หรือ runner ที่ได้รับความร้อน จะนำพลาสติกเหลวจากหัวฉีดของเครื่องฉีดไปถึง gate ของโพรงแบบโดยไม่สูญเสียความร้อน สามารถพิจารณาอย่างง่ายๆ ว่าเป็นหัวฉีดที่ต่อเข้าไปจนถึงโพรงแบบ เทอร์โมพลาสติกใน hot runner จะคงหลอมหลวอยู่ซึ่งต่างกับ runner ธรรมดาจึงไม่ต้องปลดส่วนที่เป็น runner ออก และยังใช้ในการฉีดครั้งต่อไปได้ ปัญหาเบื้องต้นของระบบ hot runner คือ การกั้นส่วน manifold ที่ร้อนกับแม่พิมพ์ที่เย็นกว่า ในกรณีที่ heater วางอยู่ใน runner (แบบของ DME) จะต้องออกแบบ runner ให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ขึ้น เพราะพลาสติกชั้นนอกจะแข็งตัว เป็นฉนวนกันการสูญเสียความร้อนของแกนในซึ่งยังร้อนอยู่

2.5.3 ระบบ cold runner

เป็นระบบ runner อีกประเภทหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเหมาะสำหรับฉีดเทอร์โมพลาสติก เป็นการเซาะช่องในแม่พิมพ์หรือบนแผ่น runner ต่างหาก เพื่อนำพลาสติกเหลวเข้าสู่โพรงแบบโดยอุณหภูมิของ runner จะเท่ากับแม่พิมพ์ เมื่อชิ้นงานเย็นตัวพลาสติกในช่อง runner จะแข็งตัวด้วยและนำออกมาจากแม่พิมพ์เช่นกัน ในการออกแบบแม่พิมพ์ส่วนใหญ่จะใช้ cold runner ระบบนี้

2.5.4 ลักษณะเฉพาะของ runner

การกำหนดขนาดของระบบ runner จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ซึ่งเป็นผลจากรูปร่างของชิ้นงาน ชนิดของพลาสติกที่ใช้ เครื่องฉีดพลาสติกและแม่พิมพ์ ปัจจัยทั้งหมดนี้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 นอกจากระบบ runner ยังต้องทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ และความต้องการอย่างเพียงพอในด้านคุณภาพ และความประหยัด ดังสรุปไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบระบบ runner

ปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบ runner	
ชิ้นงาน	พลาสติกที่ใช้ในการฉีด
รูปร่าง ปริมาตร ความหนาผนัง คุณภาพที่ต้องการ ด้านขนาด ด้านแสง ด้านเชิงกล	ความหนืด องค์ประกอบทางเคมี (โครงสร้างไม่เป็นระเบียบ,เป็นระเบียบ) สารที่เติมผสม เวลาในการแข็งตัว (freezing time) ช่วงการอ่อนตัว (softening range) อุณหภูมิอ่อนตัว (softening temperature) ความไวต่อความร้อน การหดตัว (shrinkage)
เครื่องฉีดพลาสติก	แม่พิมพ์
ชนิดของการประกบแม่พิมพ์ (clamping) แรงดันฉีด (injection pressure) อัตราการฉีด (injection rate)	ปลดชิ้นงานอัตโนมัติ ปลดชิ้นงานด้วยมือ อุณหภูมิของระบบ runner

พลาสติกเหลวไหลเข้าไปใน runner ของแม่พิมพ์ที่เย็นกว่าด้วยความเร็วสูง ความร้อนจะถ่ายเทจากพลาสติกส่วนที่ใกล้กับผนัง พลาสติกบริเวณดังกล่าวจึงเย็นลงอย่างรวดเร็ว จนกลายเป็นของแข็ง เกิดเป็นชั้นของฉนวนกันความร้อน สำหรับพลาสติกที่ไหลตามมาตรงกลางช่อง ก่อตัวเป็นแกนในของพลาสติกเหลวที่ร้อน ซึ่งพลาสติกสามารถไหลเข้าสู่คาวิตี้ได้ ต้องคงแกนในที่ร้อนนี้ไว้จนกว่าชิ้นงานจะกลายเป็นของแข็งโดยสมบูรณ์ เพื่อให้มีแรงดันตาม (holding pressure) อย่างเต็มที่ชดเชยการหดตัวในหว่างที่ชิ้นงานกลายเป็นของแข็ง รูปร่างของ runner จะกำหนดให้เป็นไปตามความต้องการนี้

ตารางที่ 2.2 หน้าที่และความต้องการสำหรับระบบ runner

หน้าที่และความต้องการ	
1. การไหลเข้าเต็มคาวิตี้มี weld line น้อยที่สุด 2. มีสิ่งกีดขวางการไหลน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ 3. เป็นสัดส่วนของน้ำหนักรวมน้อยที่สุด 4. ปลดชิ้นงานได้ง่าย 5. ไม่มีผลกระทบต่อรูปร่าง 6. ความยาวน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้การสูญเสียแรงดัน อุณหภูมิ และเนื้อพลาสติกน้อยที่สุด	7. ขนาดหน้าตัดทำให้เวลาการแข็งตัวเท่ากับหรือมากกว่าของชิ้น เพื่อให้มีแรงดันตามจนกว่าชิ้นงานจะกลายเป็นของแข็ง 8. ระบบ runner ควรมีผลกระทบต่อรอบเวลาฉีดให้น้อยที่สุดหรือไม่มีผลเลย 9. ให้ gate เข้าที่ส่วนหน้าตัดหนาที่สุด 10. วางตำแหน่งหรือออกแบบ gate จนกระทั่งไม่เกิด jetting

2.5.5 การออกแบบ runner

ด้วยเหตุผลของการประหยัดพลาสติก และจากสภาพการหล่อเย็น อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรควรมีค่าน้อยๆ เห็นได้ชัดเจนว่าขนาดของ runner จะขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นงาน แบบของแม่พิมพ์ และชนิดของพลาสติกที่ใช้ฉีด ตามหลักทั่วไป เมื่อเพิ่มขนาดของชิ้นงานและความหนาของผนัง ก็ต้องเพิ่มขนาดหน้าตัดของ runner ด้วย หน้าตัดที่ใหญ่ทำให้การฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ทำได้ดีขึ้น เพราะมีความต้านทานการไหลน้อยกว่า runner ที่บาง runner ที่ยาวกว่า (flow path ยาวกว่า) ควรใช้พลาสติกที่มีความหนืดต่ำกว่า

นอกจากนี้ การผลิตชิ้นงานยังต้องทำอย่างประหยัดที่สุดเท่าที่จะทำได้ runner จะมีผลต่อปริมาณเศษพลาสติกและเวลาในการหล่อเย็น ถ้าทำหน้าตัดขนาดใหญ่เกินไปไม่เหมาะกับขนาดของชิ้นงาน ในตารางที่ 2.3 จะเป็นข้อสรุปเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบ runner เพราะขนาดของ runner มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน และค่าใช้จ่ายในการผลิต ตารางที่ 2.4 แสดงรูปหน้าตัดของ runner ที่ใช้กันทั่วไป และประเมินสมรรถนะของ runner แต่ละแบบ ผลปรากฏว่าหน้าตัดแบบ parabolic ใช้ได้ดีที่สุด

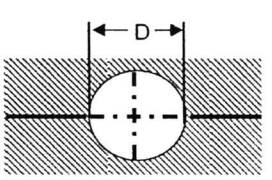
ตารางที่ 2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อแบบและขนาดของ runner

ปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบ runner	
ปริมาตรของชิ้นงาน	การสูญเสียความร้อน
ความหนาของผนัง	การสูญเสียความเสียดทาน
ชนิดของพลาสติก	เวลาในการหล่อเย็น
ความยาวของเส้นทางการไหล	ปริมาณเศษพลาสติก
ความต้านทานการไหล	ต้นทุนในการผลิต
อัตราส่วนพื้นผิว/ปริมาตร	ชนิดของแม่พิมพ์เช่น hot runner

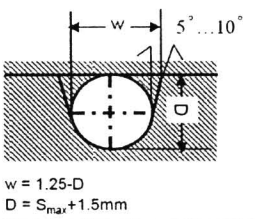
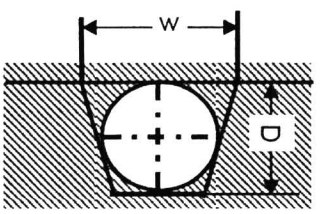
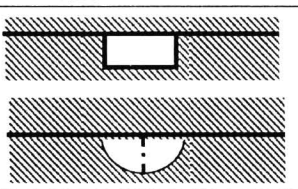
2.5.6 หน้าที่ของ runner

- ลำเลียงพลาสติกเหลวเข้าไปในโพรงแบบอย่างรวดเร็วและไม่ติดขัด ในเส้นทางที่สั้นที่สุด มีการสูญเสียความร้อนและแรงดันน้อยที่สุด
- พลาสติกต้องเข้าสู่โพรงแบบทุกๆ gate ในเวลาเดียวกัน ภายใต้แรงดันและอุณหภูมิเท่ากัน
- หน้าตัดควรมีขนาดเล็กเพื่อการประหยัดพลาสติก ถึงแม้หน้าตัดที่ใหญ่กว่าอาจให้ผลดี ในหน้าตัดควรมีขนาดเล็กเพื่อการประหยัดพลาสติก ถึงแม้หน้าตัดที่ใหญ่กว่าอาจให้ผลดี ในอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรควรมีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

ตารางที่ 2.4 รูปร่างหน้าตัดของ runner [1:208]

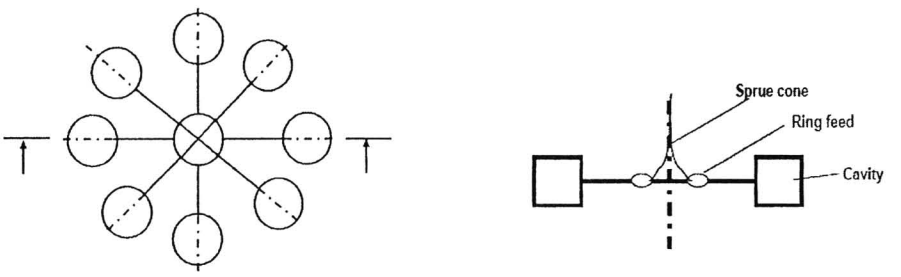
รูปหน้าตัดของ runner	
หน้าตัดรูปวงกลม  $D = S_{ma}+1.5mm$	***ข้อดี*** มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับขนาดหน้าตัด อัตราการเย็นตัวช้าที่สุด การสูญเสียความร้อนและความเสียดทานน้อย แกนกลางของช่องจะแข็งตัวช้ากว่าส่วนอื่น จึงให้แรงดันตามได้อย่างมีประสิทธิภาพ ***ข้อเสีย*** การกัดเซาะร่องที่พิมพ์สองด้านทำได้ยากและมีราคาแพง หากใช้ดอกกัดปลายกลมจะกัดได้ช้า

ตารางที่ 2.4 รูปร่างหน้าตัดของ runner (ต่อ)

หน้าตัดรูป Parabolic  w = 1.25-D D = S_{max}+1.5mm	***ข้อดี*** คล้ายกับหน้าตัดรูปวงกลม การกัดเซาะร่องที่แผ่นแม่พิมพ์เพียงด้านเดียวจะทำได้ง่ายกว่า (มักจอยู่บนแม่พิมพ์ส่วนที่เคลื่อนที่เพราะปลดง่ายกว่า) ***ข้อเสีย*** มีการสูญเสียความร้อนและพลาสติกมากกว่า เมื่อเทียบกับหน้าตัดรูปวงกลม หากใช้ดอกกัดปลายกลมจะกัดได้ช้า
หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมคางหมู  w = 1.25-D	***ข้อดี*** คล้ายกับหน้าตัดรูป parabolic การกัดเซาะร่องทำได้ง่ายกว่า ***ข้อเสีย*** มีการสูญเสียความร้อนและพลาสติกมากกว่าหน้าตัดรูป parabolic
	หน้าตัดไม่เหมาะสำหรับ runner

การขัดผิวของ runner จะขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกที่ฉีด ในบางกรณีการไม่ขัดผิวก็เป็นผลดี เพราะชั้นของพลาสติกแข็งจะติดอยู่ที่ผนัง runner ได้แน่นกว่า และถูกชะหลุดไปง่ายๆ ด้วย พลาสติกเหลวที่ไหลตามมา แต่สำหรับพลาสติกบางชนิด ต้องการ runner ที่ขัดผิวมันหรือเคลือบผิวด้วยโครเมี่ยมเพื่อไม่ให้เกิดข้อบกพร่องที่ชิ้นงาน พลาสติกดังกล่าวได้แก่ PVC, PC, POM

ในแม่พิมพ์หลายโพรงแบบ จำเป็นอย่างยิ่งที่พลาสติกไหลเข้าเต็มทุก ๆ โพรงแบบอย่างสม่ำเสมอ และพร้อมกัน เพื่อให้มีแรงดันตามเท่ากันในแต่ละโพรงแบบ และพลาสติกทุกส่วนกลายเป็นของแข็งในเวลาเดียวกัน การให้พลาสติกเต็มทุกโพรงแบบพร้อมกันสามารถทำได้โดยเส้นทางการไหลมีความยาวเท่ากันและขนาดหน้าตัดเท่ากัน ระบบ runner ที่มีคุณสมบัติเช่นนี้ คือแบบวงแหวน ดังแสดงในรูปที่ 2.34 ตอนแรกพลาสติกเหลวจะไหลจาก sprue เข้าไปใน runner รูปวงแหวนซึ่งต่อกับโพรงแบบด้วย runner ที่แยกออกไป อย่างไรก็ตาม การจัดวางเช่นนี้ไม่อาจใช้ทั่วไป บ่อยครั้งที่โพรงแบบต้องวางเรียงแถวกัน ดังนั้นแบบที่ดีในการปฏิบัติคือ การจัดวางสำหรับ runner หลักหนึ่งทาง จ่ายพลาสติกเหลวไปยัง runner สาขาหลายทาง แบบนี้จะไม่เป็นไปตามหลักการที่ให้ความยาวการไหลเท่ากัน แต่สามารถทดแทนได้ด้วยการจัดวางแบบสมมาตร



รูปที่ 2.35 runner หลักรูปวงแหวนแยกเป็น runner สาขา [1:209]

2.5.7 ขนาดของ runner

การกำหนดขนาดของ runner ทำได้ไม่ง่ายนัก การคำนวณขนาดหน้าตัดของ runner จะขึ้นอยู่กับแรงดันที่ลดลง อัตราการไหล คุณสมบัติของพลาสติก ความหนืด อุณหภูมิ และค่าคงที่บางอย่างของชนิดพลาสติก ต้องตั้งสมมุติฐานที่อาศัยหลักประสบการณ์เป็นอย่างมาก การทดลองเพื่อยืนยันความถูกต้องของทฤษฎี ยังเป็นสิ่งที่ต้องติดตามกันต่อไป ถึงแม้จะมีความก้าวหน้าไปมาก เมื่อได้มีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์และหาสมดุลของ runner แต่การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกด้วยวิธีที่ทำกันมา ก็ยังคงต้องใช้ประสบการณ์ในการทำงาน การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาติกจะมีสูตรที่ใช้กำหนดขนาด runner คือ [1]

$$D = S_{max} + 1.5 \text{ มม.}$$

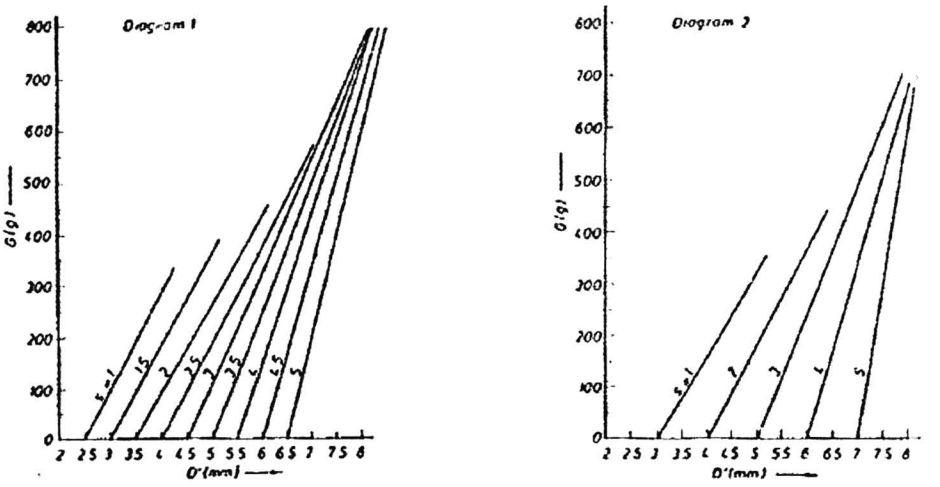
เมื่อ D = เส้นผ่าศูนย์กลางของ runner เป็น มม.

S_{max} = ความหนาสูงสุดของชิ้นงาน เป็น มม.

เนื่องจากสูตรนี้ไม่ได้คิดถึงรูปร่างชิ้นงาน และคุณสมบัติการไหลของพลาสติก โดยคิดจากความหนาของผนังเพียงอย่างเดียว การใช้งานจึงจำกัดอยู่เพียงชิ้นงานขนาดเล็กเท่านั้น

วิธีอื่นในการกำหนดขนาดหน้าตัดของ runner ซึ่งช่วยในการออกแบบ runner ได้ คือใช้รูปที่ 2.36 ที่แม้จะเป็นสูตรสำเร็จ แต่ก็คิดถึงเรื่องชนิดของพลาสติก น้ำหนัก ความหนาผนังของชิ้นงานและความยาวของ runner ด้วย

ปัจจุบันการหาขนาดทำได้แม่นยำและน่าเชื่อถือมากขึ้น โดยวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ด้วยตัวแปรที่จำเป็นทั้งหมดได้แก่ อัตราการฉีด แรงดันฉีด คุณสมบัติของพลาสติก อุณหภูมิของพลาสติกเหลวและแม่พิมพ์ เป็นต้น จะนำมาคิดด้วย มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่น่าเชื่อถือได้หลายชุด ซึ่งสามารถประหยัดเวลา และค่าใช้จ่ายในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกได้

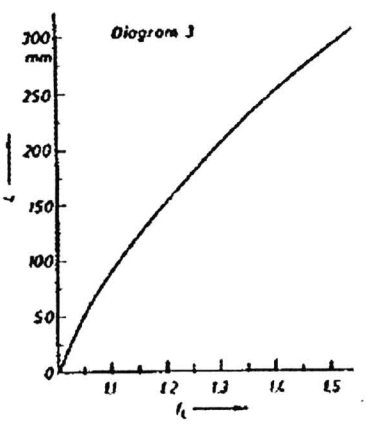


ก.) ข.)

รูปที่ 2.36 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาด runner และ น้ำหนักชิ้นงาน [1:210]

ก.) ใช้สำหรับ PS, ABS, SAN, CAB

ข.) ใช้สำหรับ PE, PP, PA, PC, POM



รูปที่ 2.37 แผนภาพสำหรับการหาขนาดของ runner [1:211]

สัญลักษณ์ที่ใช้

S = ความหนาของชิ้นงาน (มม.)

D' = เส้นผ่าศูนย์กลางของ runner (มม.)

G = น้ำหนักของชิ้นงาน (กรัม)

L = ความยาวของ runner ที่ไปเข้าพรงแบบเดียว (มม.)

f_L = ค่าแก้ไข (correction factor)

ขั้นตอนการใช้รูปที่ 2.36 และ รูปที่ 2.37

หาค่า G และ S

หาค่า D' จากแผนภาพสำหรับพลาสติกที่ใช้

หาค่า L

หาค่า f_L จากรูปที่ 2.37

แก้ไขขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด runner $D = D' \times f_L$

สำหรับระบบ runner ที่มีการแยกกิ่งโดยทั่วไป runner จะมีขนาดเล็กลงตั้งแต่ spure bush ไปจนถึง gate โดยที่การเปลี่ยนแปลงขนาด runner เกิดขึ้นเมื่อมีการแตกกิ่งของ runner โดยมีสมการดังนี้

$d_{feed} = d_{branch} \times N^{1/3}$ [3:145]

d_{feed} = ขนาด runner เข้า

d_{branch} = ขนาด runner ออก

N = จำนวนกิ่ง runner ออก

2.5.8 การแบ่งประเภทของระบบ runner

การนำ runner แบบต่าง ๆ มาจัดเป็นประเภทตามความต้องการ และวัตถุประสงค์ทำให้วิศวกรออกแบบมีทางเลือกหลายทาง ซึ่งสามารถเลือกแบบใดแบบหนึ่งได้ดังต่อไปนี้

runner ที่ยังติดอยู่กับชิ้นงานและต้องตัดออกภายหลัง

runner ที่ตัดออกจากชิ้นงานโดยอัตโนมัติและปลดแยกออกจากกัน

runner ที่ตัดออกจากชิ้นงานโดยอัตโนมัติแต่ยังติดอยู่กับแม่พิมพ์

ส่วนใหญ่แล้วระบบ runner จะขึ้นอยู่กับชนิดของ gate จึงแบ่งประเภทของ runner ได้ตามตารางที่ 2.5 runner ควรทำให้สั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้ ไม่ควรเพิ่มความยาว runner โดยไม่จำเป็น หน้าตัดของ runner ควรเป็นรูปวงกลม เพื่อให้มีอัตราส่วน พื้นผิว/ปริมาตร น้อยที่สุด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.4 เส้นรอบวงของหน้าตัดรูปวงกลม มีความยาวน้อยที่สุด คือ ¶D ขณะที่เส้นรอบรูปของหน้าตัดรูป parabolic ยาวประมาณ 1.2 ¶D และเส้นรอบรูปของหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมคางหมูยาวประมาณ 1.35 ¶D รูปร่างของ gate ควรเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ตารางที่ 2.5 การแบ่งประเภทของ runner และ gate ที่ใช้ด้วยกันได้

ประเภทของ runner	ชนิดของ gate ที่ใช้ด้วยกันได้
1	sprue gate pin gate film gate disk gate ring gate
2	tunnel gate (Submarine gate) pin gate (three plate mold)
3	pin gate (reverse sprue) runnerless gating runner สำหรับ stack mold runner หุ้มฉนวน hot runner

2.6 การเสียรูปของแม่พิมพ์ (mold deformation)

แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก จะต้องรับแรงมาก และมักจะใช้ฉีดชิ้นงานที่ต้องการความแม่นยำสูง การเสียรูปของแม่พิมพ์ มีผลต่อขนาดของชิ้นงานที่ได้ในขั้นสุดท้าย รวมทั้งการเปลี่ยนขนาดของพลาสติกในระหว่างขั้นตอนหล่อเย็น นอกจากนี้ การเสียรูปมากเกินไปของแม่พิมพ์ ยังทำให้เกิดผลเสียต่อการฉีดพลาสติก

ผลที่มีต่อคุณภาพชิ้นงาน

ไม่ได้ขนาดตามที่ออกแบบไว้

เกิดครีบแลบ (flashing)

ผลที่มีต่อการทำงานของแม่พิมพ์

โดยเฉพาะการเสียรูปในแนวขวางกับทิศทางการปลดชิ้นงาน และมีขนาดใหญ่กว่าการหดตัวของชิ้นงาน จะทำให้เกิดปัญหาในการเปิดแม่พิมพ์ หรือใช้แรงกระทุ้งมากในการปลดชิ้นงาน

ด้วยเหตุนี้ความแข็งแรง (rigidity) ของแม่พิมพ์ จึงมีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน และการทำงานที่ถูกต้องของแม่พิมพ์ แม่พิมพ์ทั่วไปประกอบขึ้นจากชิ้นส่วนหลายชิ้น ซึ่งทั้งหมดจะช่วยสร้างความแข็งแรงให้กับแม่พิมพ์ และทำงานร่วมกัน ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์เป็นวัตถุแข็ง ในการออกแบบต้องพิจารณาความเครียด (strain) จากการดัดและเฉือน ขนาดของชิ้นส่วนต่าง ๆ ต้องให้ความแข็งแรงพอ โดยไม่จำเป็นต้องคิดถึงความเค้นสูงสุดที่จะรับได้ เพราะการเสียรูปที่ยอมให้มีได้น้อยอยู่แล้ว

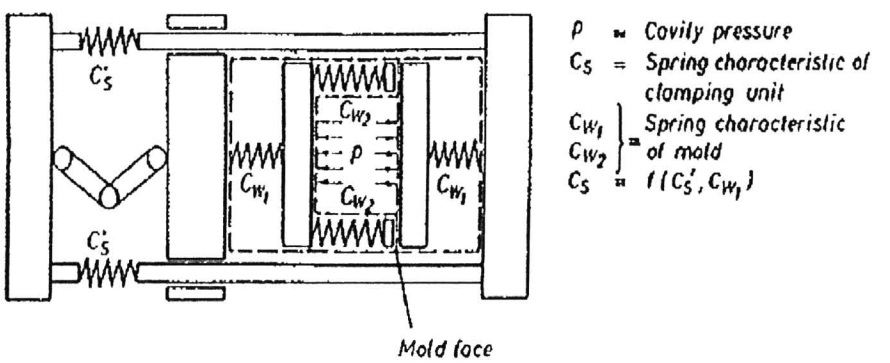
2.6.1 ทฤษฎีที่ใช้อธิบายการเสียรูป

ขั้นแรกคือการพิจารณากลศาสตร์ของแรงกระทำ ระหว่างเครื่องฉีดพลาสติก และแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก แม่พิมพ์จะทำหน้าที่เป็นข้อต่ออันหนึ่ง ในระบบปิดของชุดประกบแม่พิมพ์ การเสียรูปของแต่ละส่วน ซึ่งขึ้นอยู่กับแรงจากแรงดันฉีดพลาสติก และแรงประกบแม่พิมพ์ จะรู้ได้โดยแยกคิดทีละส่วนดังนี้ คือ

ชิ้นส่วนที่ได้รับแรงลดลงจากผลของแรงดันในโพรงแบบ

ชิ้นส่วนที่ได้รับแรงเพิ่มขึ้นจากผลของแรงดันในโพรงแบบ

ถ้าพิจารณาการเสียรูป และแรงที่ขนานกับทิศทางแรงประกบแม่พิมพ์ จะได้แผนภาพสมมูลของชุดประกบแม่พิมพ์ รวมทั้งแม่พิมพ์ ดังรูปที่ 2.38



รูปที่ 2.38 แผนภาพข้องแรงแบบยืดหยุ่นของชุดประกบแม่พิมพ์และแม่พิมพ์ [4:354]

ชิ้นส่วนที่มีความตึงของสปริง (แรงต่อหน่วยการยุบตัว) C_{w1} และ C'_s จะเกิดความเค้นจากแรงประกบแม่พิมพ์ก่อน แล้วเพิ่มความเค้นจากแรงดันคาวิตี้เข้าไปอีก ดังนั้น หน้าแปลนของเครื่องฉีด จะแสดงลักษณะการเสียรูปเช่นเดียวกับ tie bar ของชุดประกบแม่พิมพ์ โดยจะมีเส้นแบ่ง (parting line) ของแม่พิมพ์เป็นเส้นอ้างอิง ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ ซึ่งมีความตึงของสปริง C_{w2} (พื้นที่คาวิตี้) จะเกิดความเค้นจากแรงประกบแม่พิมพ์ก่อน แต่หลังจากนั้นจะลดความเค้น หรือเกิดความเค้นลักษณะตรงกันข้าม

เมื่อได้รับแรงจากแรงดันโพรงแบบ โดยถือว่า ผิวหน้าของแม่พิมพ์สัมผัสกัน การยืดมากขึ้นของชุดประกบแม่พิมพ์ (Δ_{Ls}) และการอัดตัวลดลงของโพรงแบบ (Δ_{Lw}) จะเท่ากัน [4:355]

$$\Delta_{Ls} = \Delta_{Lw} \tag{2.1}$$

$$\Delta F = C \times \Delta L \tag{2.2}$$

$$\frac{\Delta F_S}{C_S} = \frac{\Delta F_W}{C_{w2}} \tag{2.3}$$

$$p \times A_M = \Delta F_s + \Delta F_w \tag{2.4}$$

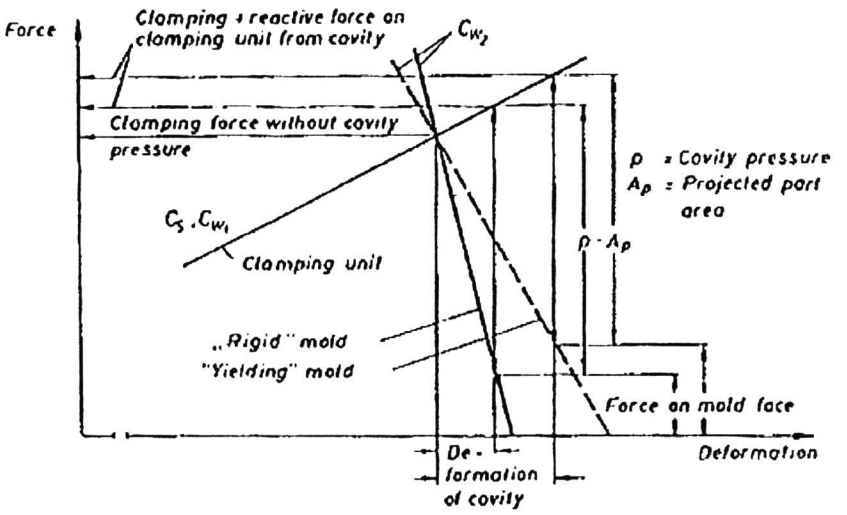
$$p \times A_M = C_s \times \Delta_{Ls} + C_w \times \Delta_{Lw} \tag{2.5}$$

$$p \times A_M = \Delta L(C_s + C_w) \tag{2.6}$$

p = แรงดันในโพรงแบบ

A_M = พื้นที่ภาพฉายของชิ้นงาน

ลักษณะการเสียรูปจะแสดงในรูปที่ 2.39



รูปที่ 2.39 ลักษณะการเสียรูปของแม่พิมพ์และชุดประกบในทิศทางการประกบแม่พิมพ์ [4:354]

การเสียรูปของโพรงแบบในทิศทางการประกบแม่พิมพ์ จะมีผลอย่างมากต่อคุณภาพของชิ้นงาน การเสียรูปนี้ ขึ้นอยู่กับความแข็งแรง (rigidity) ของแม่พิมพ์และชุดประกบ ชุดประกบแม่พิมพ์ซึ่งมีความแข็งแรงพอ เมื่อได้รับแรงจากแรงดันในโพรงแบบแล้วจะเป็นดังนี้คือ

โพรงแบบมีการเสียรูปน้อยในทิศทางการประกบแม่พิมพ์

เกิดความเค้นสูงในชุดประกบแม่พิมพ์

ผิวที่ประกบแม่พิมพ์จะได้รับแรงมาก

ข้อ ข.) และ ค.) จะเกิดขึ้นต่อเมื่อ ไม่มีชุดป้องกันการรับแรงเกินขนาด (ดังเช่นที่ใช้กับชุดประกบแม่พิมพ์แบบไฮดรอลิกส์ล้วน)

แม่พิมพ์ที่มีความแข็งแรงพอจะให้ผลดังนี้ คือ

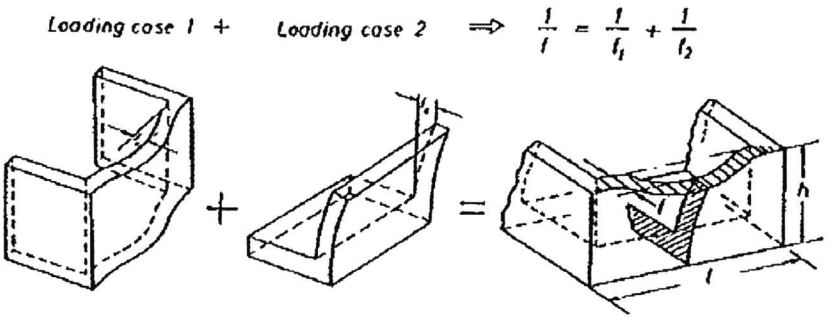
ก.) โพรงแบบมีการเสียรูปน้อยในทิศทางการประกบแม่พิมพ์

ข.) เกิดความเค้นต่ำในชุดประกบแม่พิมพ์

จากสาเหตุเหล่านี้จึงควรออกแบบแม่พิมพ์ให้มีความยืดหยุ่นสูง

2.6.2 วิธี superimposition

แม่พิมพ์เป็นผลรวมของส่วนต่าง ๆ ซึ่งรับแรงต่างกัน ดังนั้น จึงสามารถแยกส่วนของแม่พิมพ์ออกเป็นส่วนย่อย และพิจารณาคุณสมบัติความยืดหยุ่นของส่วนย่อยนั้น และพิจารณาคุณสมบัติความยืดหยุ่นของส่วนย่อยนั้น วิธีนี้ช่วยให้หาการเสียรูปทั้งหมดได้ง่ายขึ้น (รูปที่ 2.40)



ก.) ข.) ค.)

รูปที่ 2.40 การแยกส่วนของแม่พิมพ์ [4:356]

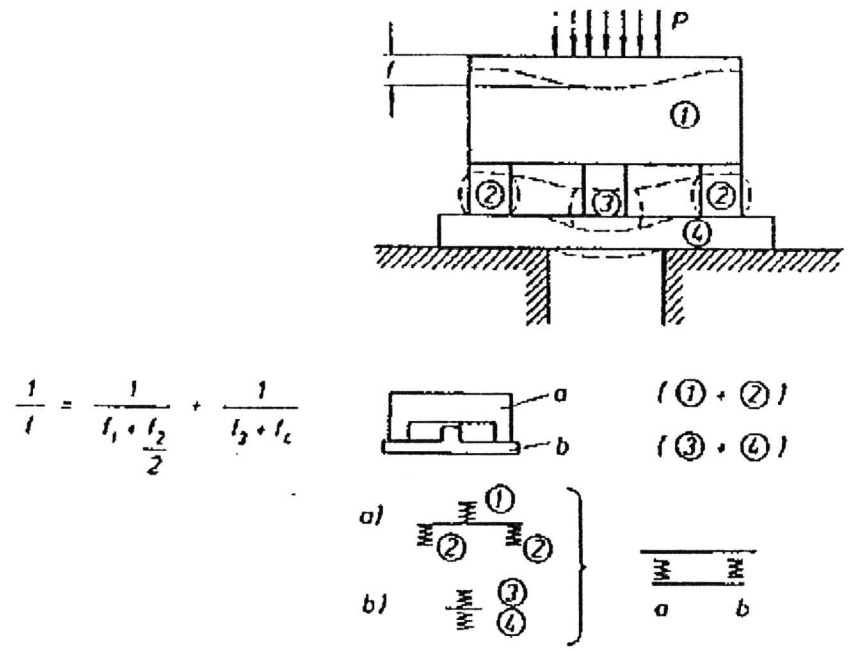
ก.) แม่พิมพ์โก่งเนื่องจาก การดัด

ข.) แม่พิมพ์โก่งเนื่องจากการเฉือน

ค.) แม่พิมพ์โก่งรวมเนื่องจากการดัด และ การเฉือน

2.6.3 ชิ้นส่วนที่เทียบได้กับสปริงคู่

วิธี superimposition ก็คือ การแยกคิดการเสียรูปของแต่ละส่วน ชิ้นส่วนทุกชิ้นของแม่พิมพ์ (แผ่นแม่พิมพ์ ตัวเว้นระยะ และเสาค้ำ) จะพิจารณาเสมือนเป็นสปริง ที่มีความตึงที่แน่นอนค่าหนึ่ง (รูปที่ 2.41)



รูปที่ 2.41 วิธี superimposition [2:357]

ดังที่อธิบายไปแล้วว่า การกำหนดขนาดชิ้นส่วนแม่พิมพ์ จะต้องคิดเรื่องการดัดและการเฉือนสมการที่แสดงคุณสมบัติของสปริง คือ

$$F = C \times f \Rightarrow f = F / C \tag{2.7}$$

เมื่อแผ่นแม่พิมพ์ถูกดัดและเฉือน จะเกิดการเสียรูปคือ [4:357]

$$f = \frac{P_D \times L^4 \times 12}{384 \times E \times S^3} + \frac{P_D \times L^2 \times 2.66}{8 \times E \times S} \tag{2.8}$$

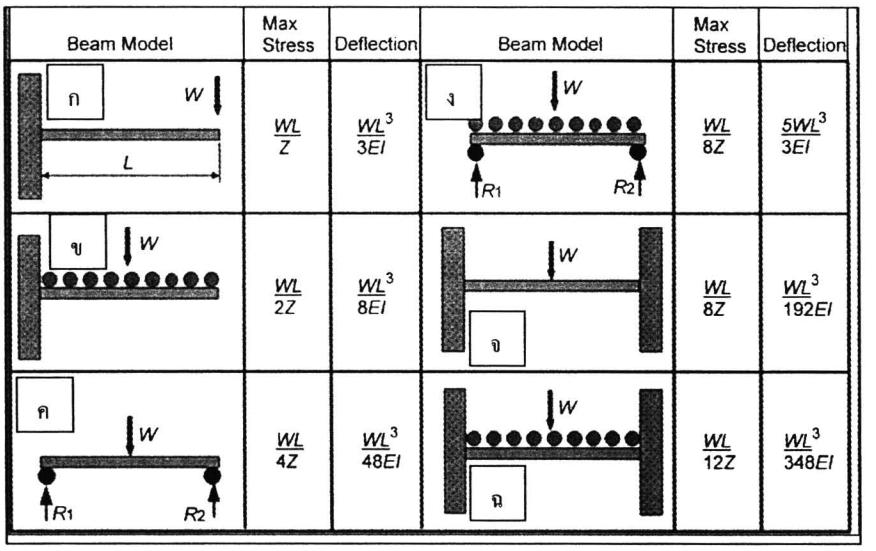
การดัด การเฉือน

$$f = P_D \left[\frac{L^4 \times 12}{384 \times E \times S^2} + \frac{L^2 \times 2.66}{8 \times E \times S} \right] \tag{2.9}$$

ในกรณีการแอ่นของแผ่นแม่พิมพ์ ค่าต่าง ๆ ซึ่งขึ้นกับรูปร่างของแผ่นแม่พิมพ์ยังคงที่ ส่วนที่อยู่ในวงเล็บของสมการที่ (2.9) จะตรงกับค่าคงที่ C ของสปริง แรงที่กระทำต่อส่วนต่าง ๆ ของแม่พิมพ์ จะมีความสัมพันธ์คล้ายกันทุกกรณี ทำให้พิจารณาชิ้นส่วนของแม่พิมพ์เป็นสปริงได้

2.6.4 ทฤษฎีที่ใช้อธิบายการเสียรูปด้านแผ่นฐาน(support plate)จากแรงดันฉีด

ทฤษฎี beam เป็นทฤษฎีหนึ่งที่ใช้วิเคราะห์การโก่งตัวของคานซึ่งเหมาะสมกับการอธิบายการเสียรูปด้านแผ่นฐานจากแรงดันฉีด



รูปที่ 2.42 รูปแบบของ beam โดยที่ ก, ค และ จ รับแรงกระทำเป็นจุด และ ข ง และ ฉ รับแรงกระทำกระจายเต็มหน้าตัด [2:392]

สำหรับการวิเคราะห์การโก่งตัวของแผ่นฐาน(support plate) โดยคิดว่าแผ่นฐาน (support plate)รับแรงดันฉีดโดยมี spacer block รองรับอยู่ด้านล่าง ตามรูปที่ 2.42 ฉ

จากรูปที่ 2.42 ฉ จะได้ ระยะโก่งตัวตามสมการ 2.10 [2:399]

$$f = \frac{WL^3}{384EI} \tag{2.10}$$

f คือ ระยะโก่งตัว

W คือ ความดัน

L คือ ระยะระหว่าง spacer block

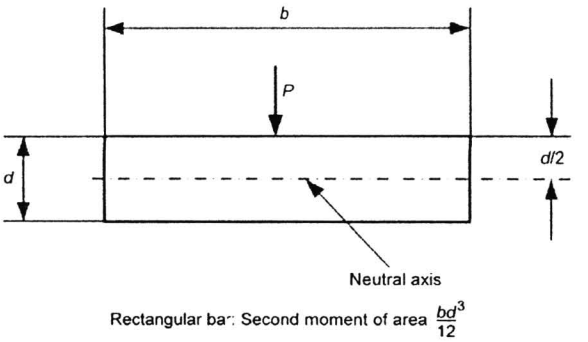
E คือ ค่าโมดูลัสของเหล็ก

I คือ second moment of area สำหรับแถบที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ตามรูปที่ 2.43 $$I = \frac{bd^3}{12} \tag{2.11}$$

B คือ ความยาวของแม่พิมพ์

d คือ ความหนาของแผ่นฐาน (Support plate)



รูปที่ 2.43 Beam รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า [2:395]

แทนสมการ 2.11 ในสมการ 2.10 จะได้ [2:400]

$$\frac{bd^3}{12} = \frac{WL^3}{384Ef}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{WL^3}{32Ebf}} \qquad (2.12)$$

จากสมการ 2.12 จะได้ค่าระยะโก่งตัวของแผ่นฐานแม่พิมพ์ (support plate)

2.6.5 ความล้า (fatique)

การเสียรูปของแม่พิมพ์จำนวนมากมีสาเหตุมาจากความล้า คือในแต่ละรอบการทำงานแม่พิมพ์จะถูกแรงบีบอัดจากเครื่องฉีดพลาสติก แล้วถูกให้ความร้อนจากพลาสติกเหลว แล้วเย็นลงจากการหล่อเย็นและคายแรงบีบอัดเมื่อเปิดแม่พิมพ์ เมื่อมีการทำงานซ้ำหลายๆรอบการทำงาน แผ่นแม่พิมพ์ที่มีการกระทบกันซ้ำๆ ก็จะเกิดการเสียรูป

ข้อสังเกตุ

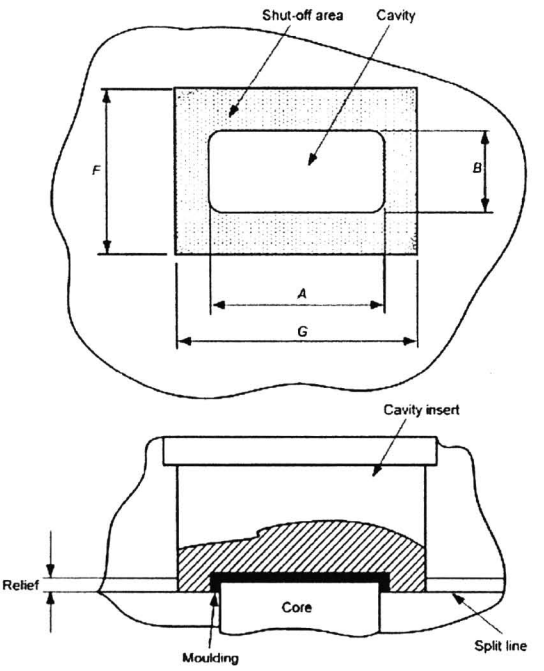
1. เมื่อมีการทำงานซ้ำเป็นรอบ แผ่นเหล็กจะมีความสามารถในการทนความเค้นลดลง
2. แผ่นเหล็กจะแตกหัก เมื่อได้รับความเค้นมากกว่าความเค้นสูงสุด (Ulimate tensine stress)
3. จากการทดลอง แผ่นเหล็กที่ได้รับแรงกระทำเป็นรอบ ถ้าสามารถทนแรงกระทำได้ 2,000,000 รอบ โดยไม่แตกหัก ก็จะไม่แตกหักไม่ว่าจะทำงานอีกกี่รอบก็ตาม [2:408]

การคำนวณหาพื้นที่ปิดแม่พิมพ์(Shut-off area)

พื้นที่ปิดแม่พิมพ์(Shunt-off area) คือพื้นที่ที่ได้รับแรงอัดจากเครื่องฉีดพลาสติก โดยมีหลักการพิจารณาคือ

1. จะต้องมีพื้นที่น้อยพอที่รับแรงดันฉีดได้
2. จะต้องมีพื้นที่มากพอที่จะทนความล้าได้

จากรูปที่ 2.44 พื้นที่ปิดแม่พิมพ์ (Shut-off area) = FxG – AxB



รูปที่ 2.44 พื้นที่ปิดแม่พิมพ์ (Shut-off area) [2:411]

จากสมการ ความเค้น = แรง/พื้นที่

ถ้าพื้นที่มีขนาดเล็กจะทำให้เกิดความเค้นมาก และเมื่อความเค้นมากก็จะเกิดการแตกหักได้ ดังนั้นจึงต้องคำนวณหาพื้นที่น้อยที่สุดที่สามารถทนต่อการแตกหักเนื่องจากความล้า โดยใช้ค่าความเค้นดังนี้

ความเค้นสูงสุดที่ทำให้เกิดการล้าก่อนเสียหายของเหล็กแข็ง = 40 MPa

(Maximum allowable fatigue stress of hardened alloy steel = 40 MPa) [2:412]

ความเค้นสูงสุดที่ทำให้เกิดการล้าก่อนเสียหายของเหล็กอ่อน = 20 MPa

(Maximum allowable fatigue stress of soft alloy steel = 20 MPa) [2:412]

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกในประเทศไทยได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว โดยส่วนใหญ่ถูกผลิตขึ้นจากกระบวนการฉีดขึ้นรูป ซึ่งจำเป็นต้องใช้แม่พิมพ์ฉีดเป็นอุปกรณ์สำคัญในกระบวนการผลิต แม่พิมพ์ฉีดที่มีคุณภาพและมีความเที่ยงตรงสูงจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ได้มี

คุณภาพสูงด้วยเช่นกัน ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีต่างๆ มีความก้าวหน้ามากขึ้น คอมพิวเตอร์มีประสิทธิภาพในการคำนวนมากขึ้น ทำให้มีการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบ ซึ่งผลที่ตามมาคือ สามารถลดต้นทุนการผลิต ลดเวลาในการทดลองผิดทดลองถูก และ ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพ

ในต่างประเทศการพัฒนาและวิจัยการนำเอาคอมพิวเตอร์ มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการฉีดพลาสติกได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ในปี 1986 Colin [5:50-58] ทำการสำรวจการนำเอาคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์ฉีดสำหรับโรงงานผลิตฉีดพลาสติก ในปี 1993 Musumoto และ คณะ [6:1-15] ได้แสดงให้เห็นขั้นตอนของการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยหาเส้นทางเดินที่เหมาะสมของระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เพื่อเพิ่มคุณภาพของชิ้นงานและลดเวลาในการหล่อเย็น ในปี 1995 Corbit [7:1-20] ได้แสดงการใช้ CAE ช่วยในการสร้างแบบจำลอง และหาค่าตัวแปรที่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิ ความดัน เวลา สำหรับงานฉีดพลาสติก ในปี 1995 Sumnuk [8:114-140] ทำการออกแบบการทดลองของการจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกแบบ Co-Injection Moulding ได้แสดงให้ถึงการไหลตัวของพลาสติกขณะทำการฉีดแบบ 2 สี โดยการใช้ร่วมกับซอฟท์แวร์ Moldflow เพื่อใช้ในการหาค่าตัวแปรในงานฉีดที่มีผลต่อความหนาของผิวหน้าของพลาสติกชั้นภายนอก ในปี 1996 บริษัท Citroen [9:15-24] ที่ผลิตรถยนต์ที่มีชื่อเสียงของฝรั่งเศส ได้ทำการประยุกต์ใช้ คอมพิวเตอร์ในการจำลองฉีดพลาสติกลงในพิมพ์ โดยกรรมวิธีการใช้การฉีดพลาสติกที่สำเร็จรูปลงในแม่พิมพ์ เพื่อลดขั้นตอนที่ต้องทาสีแผงคอนโซน

สำหรับในประเทศไทยมีงานวิจัยเกี่ยวกับการฉีดพลาสติกโดยใช้ CAD/CAE/CAM เพื่อสนับสนุนการพัฒนาอุตสาหกรรมเช่น ในปี 1994 สุรศิษฐ์ โรจนนันต์ [10:136] ได้เสนอผลงานวิทยานิพนธ์การออกแบบและ สร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกคุณภาพสูงโดยใช้ CAD/CAE/CAM โดยกล่าวถึงการใช้ CAD/CAE/CAM ในการสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกของตัวใบปั้มน้ำขนาดเล็ก เพื่อทำนายพฤติกรรมของพลาสติกในขณะฉีดและทำการเปรียบเทียบผลกับชิ้นงานจริง ซึ่งสามารถนำไป ประยุกต์ใช้งานในด้านอื่นๆ ได้ ในปีเดียวกัน สนอง เดชาวิชิตเลิศ และ คณะ [11:40] ได้เสนอวิทยานิพนธ์เรื่อง การเปรียบเทียบการไหลตัวของพลาสติกระหว่างการใช้โปรแกรม STRIM 100 กับการทดสอบฉีดพลาสติกจริง โดยทำแม่พิมพ์ตามมาตรฐาน ASTM จากนั้นจึงใช้โปรแกรมการไหลตัวและจำลองการฉีดพลาสติกแล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับการทดสอบฉีดพลาสติกจริง พบว่าชิ้นงานมีความถูกต้องและช่วยลดเวลาในการผลิต

ในปี 1997 พรนภา สนองบุญ และ ภาศิษฎ์ ชูสุวรรณ [12:68] ทำการประยุกต์ CAD ในการออกแบบงานฉีดพลาสติก เพื่อแสดงให้เห็นการนำ CAD/CAE มาใช้สร้างและวิเคราะห์งานฉีดพลาสติกซึ่งจะช่วยลดเวลาและขั้นตอนในการคำนวณ ในปีต่อมา กิตติ แซ่อึ่ง และ คณะ [13:80] ทำการประยุกต์ใช้ไฟไนเอลิเมนต์สำหรับงานฉีดพลาสติก โดยทำการเขียนแบบจำลองของเครื่องทำลายเข็มฉีดยา

ต้นแบบ พบว่าสามารถใช้หาตัวแปรที่เหมาะสมในการฉีดได้ดี ช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการออกแบบ วิเคราะห์และทดสอบ

ในปี 2000 พรนภา สนองบุญ [14:120] ได้นำเสนอวิทยานิพนธ์ การศึกษาการปรับตั้งพารามิเตอร์ที่สำคัญของเครื่องฉีดพลาสติก เป็นการนำเอาความรู้จากประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญในการปรับตั้งพารามิเตอร์ต่างๆ นำมาวิเคราะห์สร้างแบบจำลองการฉีดด้วยซอฟท์แวร์ C–MOLD เพื่อหาอัลกอริทึมที่เหมาะสมของตัวแปรสำคัญในงานฉีด แล้วได้นำไปสร้างโปรแกรม INJECTMOLD เพื่อช่วยในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก ในปีเดียวกัน ณรงค์ พิทักษ์ทรัพย์สิน [15:73] ได้เสนอวิทยานิพนธ์ การประยุกต์ใช้ CAD/CAE/CAM ในการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ เป็นการศึกษาการใช้ซอฟท์แวร์โปรแกรม I–DEAS MASTER SERIES 7 และสร้างแบบจำลองชิ้นงานฝาครอบมอเตอร์สำหรับปรับทิศทางลม เพื่อทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการจำลองการชิ้นงานฉีดกับข้อมูลเดิมของบริษัทแสดงให้เห็นว่าการนำเอา CAD/CAE/CAM มาช่วยในขั้นตอนต่างๆ ของการทำงาน สามารถลดเวลา ขั้นตอน ต้นทุน และความผิดพลาด

ในปี 2004 Wong และ คณะ [16:13] ได้ออกแบบและผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ซึ่งสามารถผลิตชิ้นงานได้ 2 แบบที่แตกต่างกัน โดยใช้ฐานแม่พิมพ์เดียวกันแต่เปลี่ยน Insert ได้ เพื่อลดราคาแม่พิมพ์และค่าใช้จ่ายในการผลิตแม่พิมพ์ โดยใช้โปรแกรม Pro/Engineer ในการออกแบบแม่พิมพ์และชิ้นงานพลาสติก และใช้ CAD/CAM ในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ เพื่อลดข้อผิดพลาดในการผลิต และสามารถผลิตแม่พิมพ์ที่มีความละเอียดได้อีกด้วย

ในปี 2008 พิชัย จริยธรรมนุกูล และ คณะ [17:374-379] ได้นำเสนอแนวทางการออกแบบและจัดสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกโดยใช้เทคโนโลยี CAD/CAE/CAM เข้ามาใช้ ซึ่งพบว่าสามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับทฤษฎีการออกแบบแม่พิมพ์ เพื่อช่วยลดเวลาในการออกแบบและกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ อันจะก่อให้เกิดการลดต้นทุนการผลิตทั้งในแง่ของเวลาและกำลังคน รวมถึงสามารถวิเคราะห์หาเงื่อนไขในกระบวนการผลิตที่เหมาะสม และได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามความต้องการ

ในปี 2009 รุ่งกานต์ สุขาทิพย์ และ คณะ [18:1-9] ได้เสนอโครงงานการออกแบบและสร้างโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับงานฉีดพลาสติก โดยใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 มาช่วยในการเขียนการคำนวณหาสภาวะการตั้งเครื่องฉีดพลาสติก และจากผลการทดลองพบว่า ตัวแปรการผลิตที่คำนวณมาจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถนำไปตั้งเครื่องฉีดผลิตชิ้นงานได้ ชิ้นงานมีน้ำหนักต่ำกว่าทางทฤษฎีประมาณ 24-29 เปอร์เซ็นต์ และ ลดปัญหาการสูญเสียเวลา และ วัตถุดิบในการผลิตอีกด้วย

จากงานวิจัยที่กล่าวมาแล้วแสดงให้เห็นว่าการใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ทำให้สามารถหา เส้นทางเดินของระบบหล่อเย็นที่เหมาะสม ทำให้ได้พารามิเตอร์ในการฉีดพลาสติก ช่วยลดเวลาในการออกแบบ และ ลดข้อผิดพลาดในการผลิต