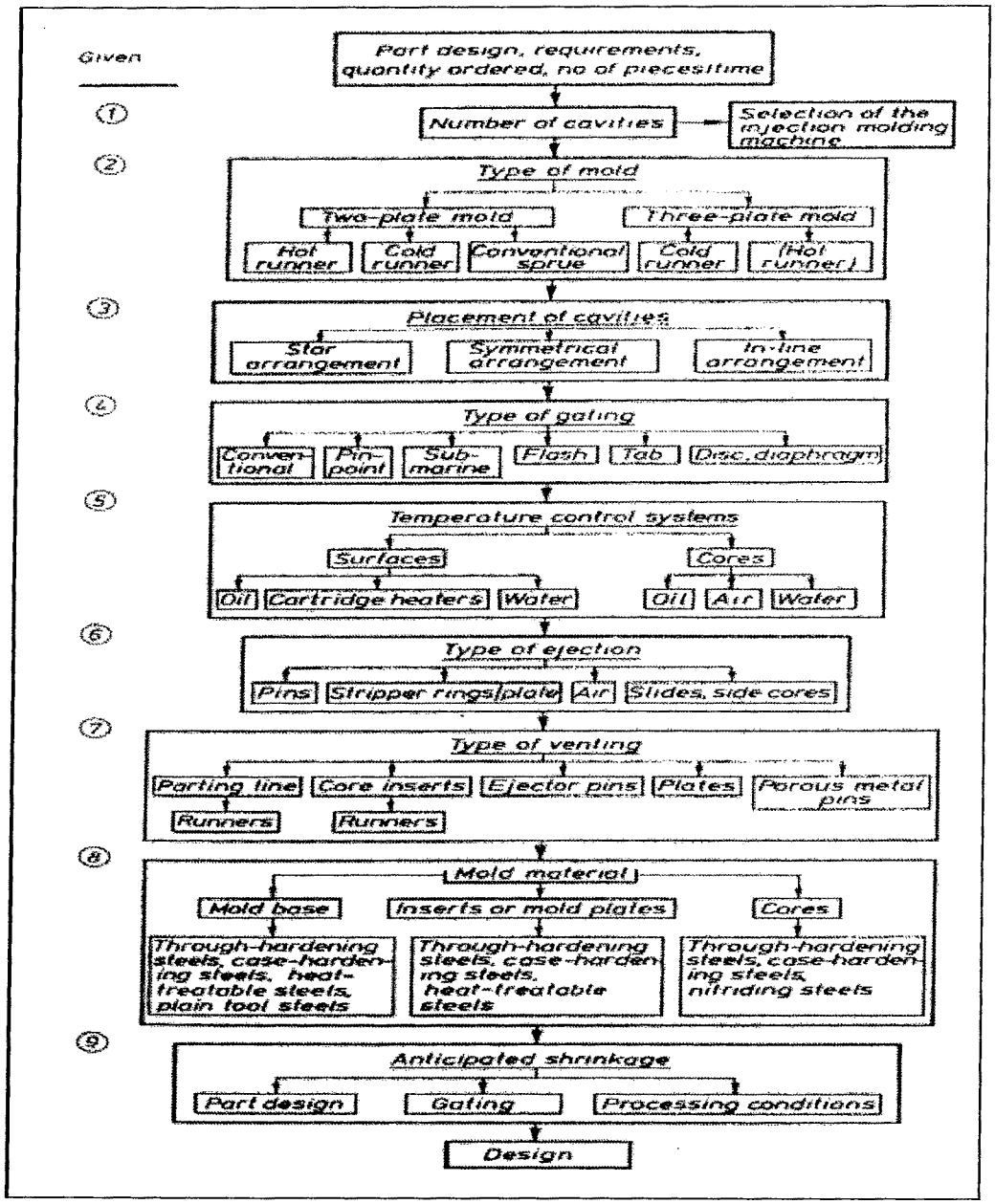
บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินการ

หลังจากที่ได้ศึกษาทฤษฎีการออกแบบคำนวณและวิเคราะห์แม่พิมพ์ขั้นสูงมาใช้ในการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดชิ้นงานกล่องพลาสติกตามรายละเอียดของโครงการ สามารถสรุปขั้นตอนในการออกแบบได้ต่อดังไปนี้

3.1 ขั้นตอนที่ใช้ในการออกแบบมีทั้งหมด 9 ขั้นตอน ดังนี้

1. จำนวนคาวิตี้ที่เหมาะสม
2. ชนิดของแม่พิมพ์
3. การวางตำแหน่งของคาวิตี้
4. ระบบป้อน
5. ระบบการหล่อเย็น
6. ระบบปลดชิ้นงาน
7. ระบบระบายอากาศ
8. การเลือกวัสดุทำแม่พิมพ์
9. การประมาณการหดตัว

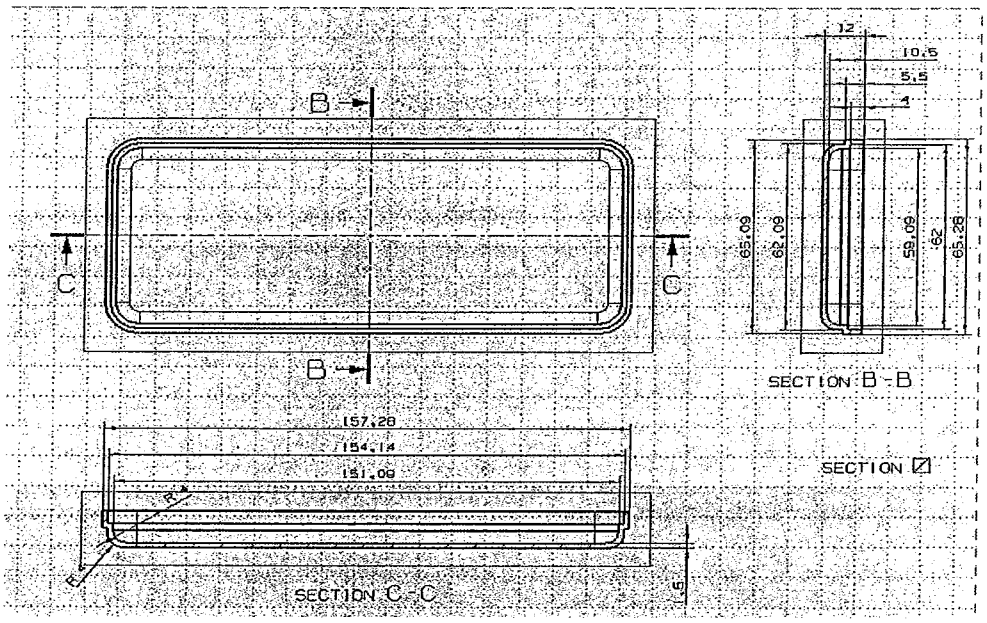


ภาพที่ 3.1 แสดงวิธีการ 9 ขั้นตอนในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดชิ้นงานกล่องพลาสติก

3.1.1 ขั้นตอนที่ 1 จำนวนคาวิตี้ที่เหมาะสม (Number of Cavity)

1. ผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต คือ กล่องพลาสติกสำหรับใส่ดินสอและปากกา
2. วัสดุที่ใช้ในการผลิต Polypropylene (PP)
3. ปริมาตร(V) ของชิ้นงานมากสุด = 21.8604 cm^3
4. น้ำหนักชิ้นงาน (M) = 19.674 g
5. ความหนาของวัตถุ (Density) PP = 0.90 g/cm^2

3.1.1.2 หาจำนวนคาวิตี้ จากน้ำหนักชิ้นงาน



ภาพที่ 3.2 แสดงขนาดของชิ้นงานพลาสติก

น้ำหนักชิ้นงาน = 19.674 g

น้ำหนักของรูฉีดและทางเข้าแม่พิมพ์ = 20%ของน้ำหนักชิ้นงาน

= 0.2 × 19.674 g

= 3.934 g

น้ำหนักฉีดทั้งหมดขณะแข็ง = น้ำหนักชิ้นงาน + น้ำหนักรูฉีด

= 19.674 g + 3.934 g

= 23.6 g/cavity

เมื่อ Density (ρ) ของ Polyethylene (PP) = 0.90 g/cm^3

$$\rho = \frac{m}{v}$$

∴ ปริมาตร ($V_{ของแข็ง}$) $$V = \frac{m}{\rho}$$

$$= \frac{23.6}{0.90}$$

= 26.2 cm^3

เมื่อพลาสติกหลอมเหลวจะเกิดการขยาย (คิด 20 % ของปริมาตร(V) ของแข็ง)

∴ ปริมาตร ($V_{ของเหลว}$) = 1.2×26.2

$= 31.47\ cm^3/cavity$

จากข้อมูลเครื่องฉีดพลาสติกยี่ห้อ KRAUSS MAFFEL รุ่นKM 65 – 180 CX Screw diameters = 30 mm., Maximum stroke volume = 85 cm^3 (ภาคผนวก ง)

โดยที่ D = Screw diameters

ระยะการเคลื่อนที่การฉีดของสกรู 1D-5D

ดังนั้น Maximum stroke (คิดที่ 1D - 3D) = 3D/5D

$= 0.6$

ดังนั้น Maximum stroke $= 0.6 \times 85\ cm^3$

$= 51\ cm^3$

จำนวน Cavity $= \frac{51}{31.47}$

$= 1.62$

$\approx$ 2 cavity

∴ จำนวน Cavity ที่เหมาะสมคือ 2 Cavity

3.1.1.3 คำนวณหาแรงปิดแบบ (Clampiog Force)

แรงปิดแบบ (Clampiog Force

$F = P \times A$

เมื่อ

P = ค่าเฉลี่ยในแม่พิมพ์

PP = คิดที่งาน Ordinary molding = 250 kg/cm^3

A = พื้นที่ภาพฉายชิ้นงาน

คำนวณหาพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้า = (กว้าง×ยาว)

= (65.28 mm.×157.28 mm.) ×2 ชิ้น

= 20534.47 mm^2

หรือ = (6.528 cm×15.728 cm) ×2 ชิ้น

= 205.3447 cm^2

และ = 15.971 cm ×6.663 cm

= 105.93 cm^2

ดังนั้น = 105.93 cm^2 ×2

= 211.86 cm^2

∴ แรงปิดแบบแม่พิมพ์ : F = P×A

ดูค่าความดันเฉลี่ยในแม่พิมพ์ Ordinary Molding = 250 kg/ cm^3

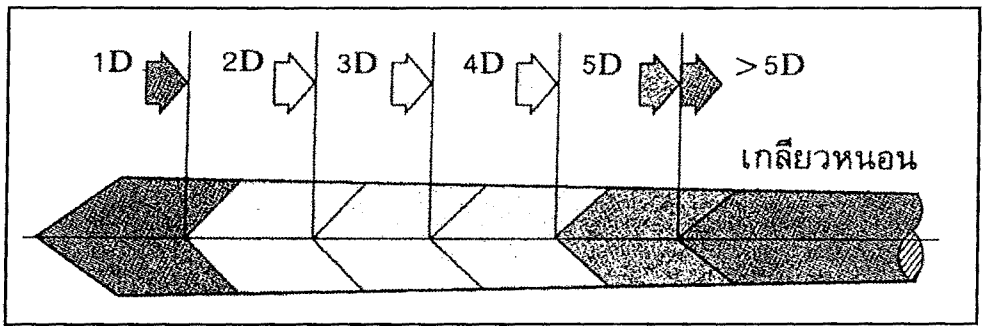
แทนค่า = 250 kg/ $cm^3 \times 211.86\ cm^2$

= 52965 kg

= 52.965 ≈ 53 Ton

∴ สามารถใช้เครื่องฉีดพลาสติก ยี่ห้อ KRAUSS MAFFEL รุ่นKM 65 – 180 CX ซึ่งมี แรงปิดแบบสูงสุด 65 ตันได้

3.1.1.4_ การคำนวณหาระยะชักของสกรูเครื่องฉีดเพื่อหาปริมาตรน้ำพลาสติก



ภาพที่ 3.3 แสดงระยะการเคลื่อนการฉีดของสกรู 1D-5D

จากข้อมูลเครื่องฉีดพลาสติกยี่ห้อ KRAUSS MAFFEL รุ่น KM 65 – 180 CX เลือกใช้ Screw Diamater เท่ากับ 30 mm

เมื่อ ϕ สกรูฉีด = 30 mm

พื้นที่หน้าตัดสกรู (D) = $\frac{\pi D^2}{4}$

= $\frac{\pi \times 3.0^2}{4}$

= 7.068 cm^2

จาก ($V_{ของเหลว}$) = $A \times L$

L = $\frac{V}{A}$ × Number of cavity

= $\frac{31.47}{7.068} \times 2$

= 8.904 cm

≈ 89.04 mm

อัตราส่วนระยะชักต่อสกรู = $\frac{L}{D}$

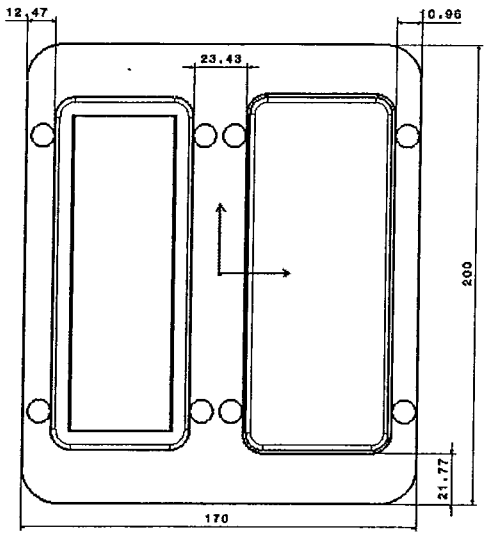
$$= \frac{8.904cm}{3.0cm}$$

$$= 2.968 \text{ D}$$

สรุป จากการคำนวณใช้ระยะชักสกรู 2.968 D ได้ เพราะอยู่ในช่วง 1D -3D สามารถใช้เครื่องฉีดพลาสติกยี่ห้อ KRAUSS MAFFEL รุ่น KM 65 – 180 CX ในการฉีดได้

3.1.1.5 การหาขนาดวางแผนผังคาวิตี้ (Layout cavity)

จากการหาขนาดแม่พิมพ์การวางแผนผังคาวิตี้ (Layout cavity) ซึ่งคำนวณได้ 2 คาวิตี้ ระยะห่างระหว่างคาวิตี้ ซ้าย-ขวา = 23.43 มม. และระยะห่างจากคาวิตี้ จากทางด้านข้างจะใช้ด้านละ 10 มม. เพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบระบบหล่อเย็น โดยการออกแบบทั่วไปไม่ควรน้อยกว่า 5 มม.แต่ขนาดที่ได้จะมีการปรับขนาดให้ลงตัวในบ้างจุด เพราะง่ายต่อการออกแบบระบบหล่อเย็นและการออกแบบทั่วไปไม่ควรน้อยกว่า 5 mm. ฉะนั้นพื้นที่ด้านกว้างที่ต้องการ หาได้จากสูตร 23.43 + (63.07×2) = 149.57 มม. ด้านยาวหาได้จากความยาวของชิ้นงาน = 156.45 มม. (ดังภาพที่ 3.4)



ภาพที่ 3.4 แสดงการวางแผนผังของคาวิตี้ (Layout of cavity)

ทำการเปรียบเทียบขนาดของชิ้นงานกับโมลด์เบสมาตรฐาน สำหรับมาตรฐานงานแม่พิมพ์ฉีด (Standard Mold Bases) เนื่องจากชิ้นงานที่จะทำมีขนาดใหญ่พอสมควร ไม่มีความสลับซับซ้อนและทางเข้าพลาสติกเป็นแบบ Pin Poing Gate ประกอบกับการตัดทางวิ่ง (Runner) โดยอัตโนมัติ จึงได้เลือกใช้โมลด์เบสแบบ Three Plate Mold ของบริษัท อินเตอร์ทูล เทคโนโลยี จำกัด มีขนาดความกว้าง×ยาว × สูง = 350 × 300 × 280 มม.

3.3.1.5 การคำนวณความหนาของแม่พิมพ์ และระยะสำหรับเปิดแม่พิมพ์

ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแบบสามแผ่น(Three plate mold) ต้องการตัดทางวิ่ง (Runner) โดยอัตโนมัติและปลดชิ้นงานด้วยเข็มกระทุ้ง (Ejector Pin) จะเลือกใช้โมลด์เบสมาตรฐานของบริษัท อินเตอร์ทูล เทคโนโลยี จำกัด และใช้ ED Type ในการหาระยะแม่พิมพ์ในตำแหน่งปิด-เปิด จะต้องทราบความหนาของแม่พิมพ์ ซึ่งอาจเลือกใช้ตามมาตรฐานที่มีอยู่ ประกอบด้วย ความกว้าง, ความยาว, ความสูงของชิ้นงาน ขนาดความหนาของแผ่นแม่พิมพ์แต่ละแผ่นของ ED Type มีดังนี้

จากด้านบนลงล่าง

1. แผ่นที่ 1 = 45 มม.
2. แผ่นที่ 2 = 30 มม.
3. แผ่นที่ 3 = 30 มม.
4. แผ่นที่ 4 = 50 มม.
5. หาระยะ C = ความสูงของชิ้นงาน + 10 มม. + (25+20)
   = 68 มม.

∴ ควรเลือกระยะ C = 100 มม.

6. แผ่นที่ 6 = 25 มม.

เมื่อรวมทั้ง 6 แผ่น จะได้ระยะในตำแหน่งปิดของแม่พิมพ์ 280 มม.

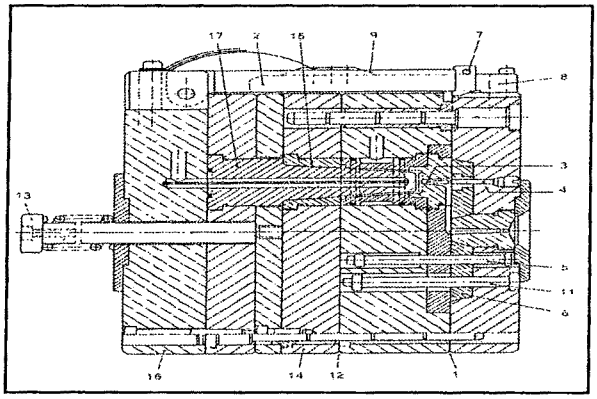
1. ระยะเปิดเพื่อให้ชิ้นงานหล่นออก = (2 เท่าของความสูงชิ้นงาน + ระยะเผื่อ 10 มม.)
   = (2 × 13) + 10
   = 46 มม.
2. ระยะการปลดชิ้นงาน = 50 มม.
3. ระยะในตำแหน่งที่แม่พิมพ์เปิด = 100+50 = 150 มม.

ดังนั้น ระยะในตำแหน่งที่แม่พิมพ์เปิดรวมกับระยะแม่พิมพ์ปิด = 150 + 280
= 430 มม.

3.1.2 ขั้นตอนที่ 2 ชนิดของแม่พิมพ์ (Kind Of Mould Design)

ในขั้นตอนนี้เป็นการเลือกชนิดแม่พิมพ์ในการออกแบบ มีดังนี้

1. ชนิดของแม่พิมพ์จะพิจารณาเลือกใช้แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแบบสามแผ่น (Three Plate Mold) เนื่องจากชิ้นงานกล่องดินสอมีผนังบ้างและต้องการตัดทางวิ่ง (Runner) โดยอัตโนมัติ (ดังภาพที่ 3.5)



ภาพที่ 3.5 แสดงแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแบบสามแผ่น (Three Plate Mold)

2. พิจารณาเลือกชนิดของทางเข้า (Gate) จะเลือกใช้แบบ Pin Point Gate

3. เนื่องจากต้องการตัดทางวิ่งของน้ำพลาสติก (Runner) โดยอัตโนมัติและรอยตำหนิของชิ้นงานน้อย

4. ชนิดของแผ่น Plateวางได้ 2 คาวิตี้

5. เลือกการปลดชิ้นงานออกจาก Core ปลดด้วย เข็มกระทุ้ง(Ejector Pin)

6. เนื่องจากทำง่าย และประหยัดค่าใช้จ่าย

7. พิจารณาเลือกชิ้นส่วนของ (Three Plate Mold) ที่ บริษัท อินเตอร์ทูล เทคโนโลยี จำกัด

3.1.3 ขั้นตอนที่ 3 การวางตำแหน่งคาวิตี้ (Position Of Cavity)

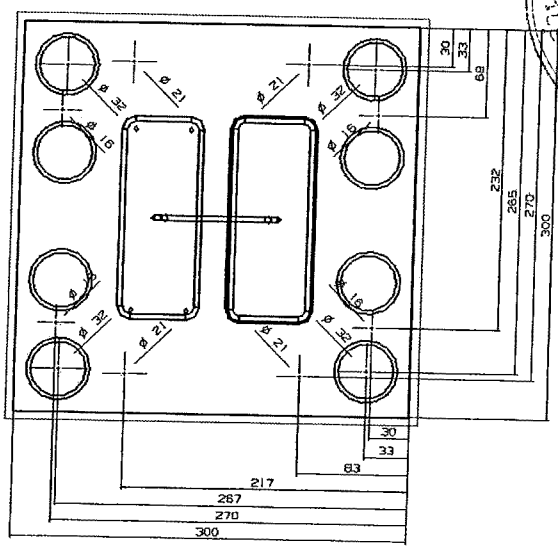
ในการจัดวางคาวิตี้ ต้องมีความสัมพันธ์กับกึ่งกลางของรูฉีด และถ้าหลายๆ คาวิตี้ ควรทำตามเงื่อนไข ดังนี้

1. น้ำพลาสติกไหลเข้าเต็มทุกคาวิตี้พร้อมๆ กันด้วยอุณหภูมิเท่ากัน

2. ระยะห่างระหว่างคาวิตี้ต้องมากพอสำหรับวางหล่อเย็นและทนแรงดันจากการฉีดพลาสติกได้

3. ผลลัพธ์ของแรงกระทำการอยู่ที่ศูนย์ถ่วงแม่พิมพ์

4. การวางแบบคาวิตี้ที่สำคัญ คือ ความสมดุลในแม่พิมพ์ และชุดประกอบของเครื่องฉีดที่เกิดขึ้นจะต้องมีความสม่ำเสมอ หากคาวิตี้อยู่ในระดับเยื้องศูนย์กับรูฉีดของแม่พิมพ์ที่ทำให้แม่พิมพ์จะถูกดันให้เอียงเข้าไปทำให้มีผลการเกิดครีบแลบออกมา และยังเกิดความเสียหายกับผิวแบ่งจนประกบไม่สนิทได้ (ดังภาพที่ 3.6)



ภาพที่ 3.6 แสดงการวางตำแหน่งของแบบคาวิตี้ (Cavity)

3.1.3.1 ค่าตัวแปรที่มีผลต่อการวางโพรงแบบ

การจัดวางตำแหน่งคาวิตี้ ขึ้นอยู่กับค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

1. จำนวนของ Cavity
2. รูปร่างของชิ้นงาน
3. ชนิดของแม่พิมพ์แบบสามแผ่น (Three Plate Mold)
4. ชนิดของทางเข้า (Gate) เป็นแบบ Pin Point Gate

3.1.3.2 ขนาดของแผ่นคาวิตี้ ที่ต้องเลือกให้สัมพันธ์กับสิ่งต่อไปนี้

เครื่องฉีดพลาสติกยี่ห้อ KRAUSS MAFFEL รุ่น KM 65 -180 CX

1. ช่องว่างระหว่าง Tie-bar (370-370)
2. ระยะปิด-เปิดเครื่องฉีด (200×650)
3. ขนาดและระยะยึดโมลด์กับเครื่องฉีด (350×300)

3.1.3.3 ระบบการปลดชิ้นงานด้วย เข็มกระทุ้ง (Ejector Pin)

3.1.3.4 ตำแหน่งของอุปกรณ์ประกอบแม่พิมพ์

1. Guide bush
2. Support Pin
3. Stop bolt

3.1.4 ขั้นตอนที่ 4 ระบบป้อน (Feeding System)

3.1.4.1 Sprue bushing guide

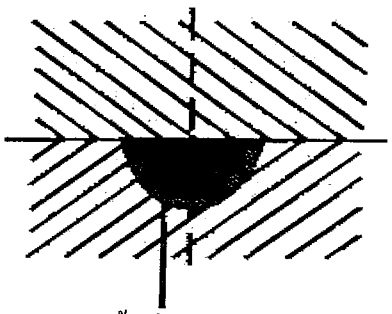
ในการออกแบบ Sprue bushing guide จะเลือกใช้มาตรฐานของ บริษัท อินเตอร์ทูล เทคโนโลยี จำกัด (ระบุค่าขนาดโดยมีขนาด d 20 , D 40 , H15 , L 110)

3.1.4.2 Runner Lock Pins

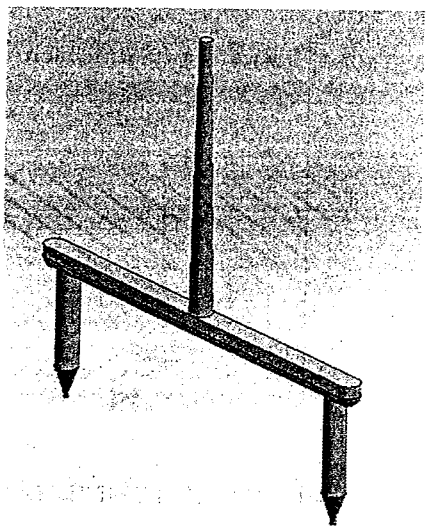
Runner Lock Pins ใช้แบบ Straight tip edge type เพื่อปลดพลาสติกที่แข็ง Sprue bushing และทางวิ่ง (Runner) เมื่อแม่พิมพ์เปิดและปลด (Eject)และทางวิ่ง (Runner)

3.1.4.3 ระบบทางวิ่ง (Runner System)

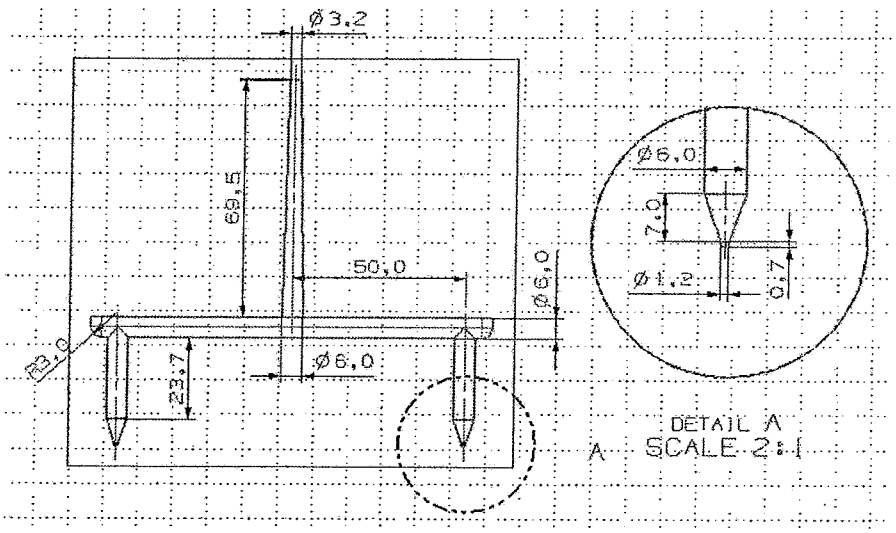
ใช้ทางวิ่ง (Runner) แบบโคลรันเนอร์ (Cold Runner) ลักษณะของทางวิ่งมีรูปแบบเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ขึ้นรูปก่อน แล้วใช้ บอลโนส (Ball Nose) กัดขึ้นรูปซ้ำอีกครั้ง เพื่อให้ปลายของสี่เหลี่ยมคางหมูเกิดการโค้งมน (ดังภาพที่ 8) เพราะชิ้นงานมี 2 เบ้า(Cavity) เพื่อป้องกันการฉีดไม่เต็มชิ้นงาน และ ง่ายต่อการปลดรันเนอร์



ภาพที่ 3.7 แสดงพื้นที่หน้าตัดครึ่งวงกลม กัดร่องข้างเดียว



ภาพที่ 3.8 แสดงทางวิ่ง (Runner) และทางเข้า (Gate) ของชิ้นงานกล่องพลาสติก จากโปรแกรม NX 5



ภาพที่ 3.9 แสดงทางวิ่ง (Runner) และทางเข้า (Gate) ของชิ้นงานกล่องพลาสติกจากโปรแกรม NX 5

3.1.4.4 การคำนวณหาขนาดทางวิ่ง(Runner)

ผู้ออกแบบจะเลือกใช้ขนาดของทางวิ่งโตเท่าใด แบบใด จะต้องพิจารณา คือ

1. รูปทรงหน้าตัดของทางวิ่งและปริมาตรของชิ้นงาน
2. ระยะทางจากทางวิ่งหลักหรือรูฉีดไปยังคาวิตี้
3. ควรพิจารณาเกี่ยวกับการหล่อเย็นระบบทางวิ่ง
4. ขนาดของ Tools ที่จะใช้นั้นสามารถหาขนาด ϕ ใช้กัดงานได้หรือไม่
5. ควรพิจารณาชนิดของพลาสติกที่ใช้ในการฉีด

กำหนดให้

S = ความหนาของชิ้นงาน

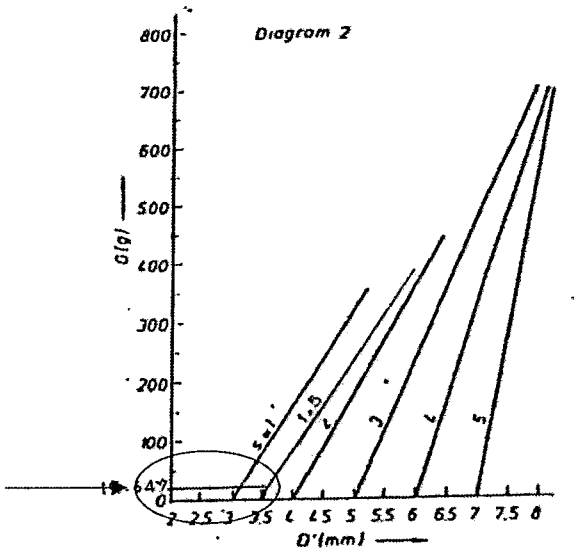
D' = เส้นผ่านศูนย์กลางของรูวิ่ง (มม.)

G = น้ำหนักของชิ้นงาน (กรัม)

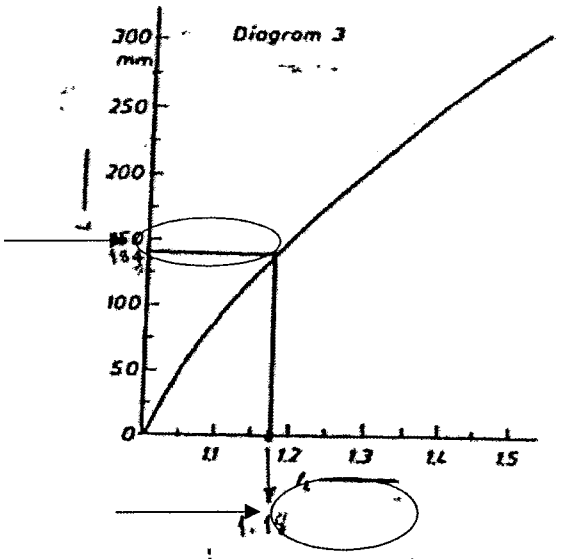
L = ความยาวของรูวิ่งพิจารณาเพียงคาวิตี้เดียว (มม.)

f_L = ค่าแก้ไข (Correction factor)

(ที่มา: TGI (สถาบันไทย-เยอรมัน))



ภาพที่ 3.10 แสดงกราฟน้ำหนักชิ้นงานและเส้นผ่าศูนย์กลางของรูวิ่ง



ภาพที่ 3.11 แสดงกราฟแสดงความยาวของทางวิ่ง (Runner)

ระยะต่างๆ ของทางวิ่ง ทำได้ดังนี้

1. Main Runner มีความยาว = 69.5 mm.
2. จาก Main Runner ถึงปลายสุด = 50 mm.
3. จาก Main Runner ถึงชิ้นงาน = 37.4 mm.

∴ ความยาวทางวิ่ง(Runner) ทั้งหมด = 69.5 + 50 + 37.4 = 156.90 มม.

คำนวณหาขนาดทางวิ่ง (Runner)

กำหนดให้

1. ชนิดของพลาสติก = Polypropylene : PP

2. น้ำหนักชิ้นงาน 2 ชิ้น (กรัม) = 35 กรัม

3. ความหนาชิ้นงาน (มม.) = 1.5 มม.

4. ความยาวทางวิ่ง(Runner) ทั้งหมด = 69.5 + 50 + 37.4 = 156.90 มม.

จากภาพที่ 3.11 D' = 3.5 mm.

f_L = 1.18 mm.

∴ ขนาด ϕ ของทางวิ่ง (Runner) = D' × f_L มม.

= 3.5 × 1.18

= 4.13 มม.

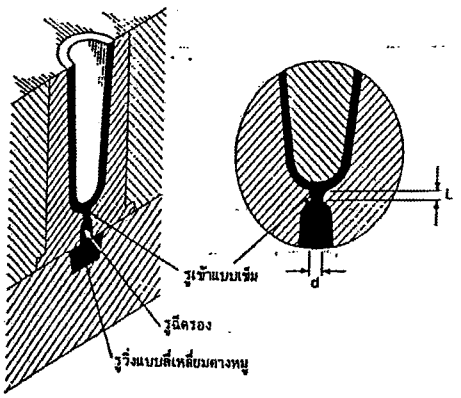
สรุป ใช้ขนาดความโตของ Tools = ϕ 6 มม. เพราะไม่มี Tools ในการกัดค่าขนาดของทางวิ่ง (Runner) ที่ ϕ 4.13 มม. แต่ที่ให้ใช้ϕ 6 มม. เพราะ Tool หาง่าย,ราคาถูก และให้พอดีกับขนาดของรูแกนรูฉีด ซึ่งขนาดรูมาตรฐานที่ขายในท้องตลาดส่วนใหญ่เล็กสุดจะอยู่ที่ ϕ 6 มม.

3.1.4.5 การออกแบบรูน้ำฉีดพลาสติกเข้า (Gate Design)

ในการออกแบบรูน้ำฉีดพลาสติก (Gate Design) จะใช้ Spure Gate ซึ่งมีทางวิ่ง (Runner) จากไปยัง Cavity ต่างๆ จะถูกปลดออกจากแม่พิมพ์ในจังหวะปลดชิ้นงาน Spure Gate ต่อด้วย Pin Poing Gate เพื่อจะตัด Gate โดยอัตโนมัติต่อไป (ดังภาพที่ 3.12)

- การคำนวณหาขนาดของ Gate

แบบ Pin Point Gate (ดังภาพ 3.12)



ภาพที่ 3.12 แสดงรูปร่างทางเข้าแบบ Pin Point Gate

สูตร $\gamma = \frac{4Q}{\pi r^3}$

$r^3 = \frac{4Q}{\pi\gamma}$

$r = \sqrt[3]{\frac{4Q}{\pi\gamma}}$

เมื่อ Q = ปริมาตร (V ของเหลว) ของชิ้นงาน

r = รัศมีของทางเข้า

ค่า Shear Rate ของ PP = 100000 (1/sec)

แทนค่า

$$r = \sqrt[3]{\frac{4\times 31.47}{\pi\times 100000}}$$

$$= 0.0736 \text{ cm}$$

เปลี่ยน cm. เป็น mm. = 10 mm

$$r = 0.736 \text{ mm.} \times 2 = 1.47 \text{ mm.}$$

∴ ความโตของทางเข้าใช้ ϕ 1.2 มม.

เนื่องจากงานโดยทั่วไปทางเข้าแบบเข็มความโตจะมีขนาด 0.7-1.2 มม. ถ้าชิ้นงานมีขนาดใหญ่ความโตอาจจะทำให้ใหญ่ขึ้น แต่ห้ามโตเกินกว่า 2 มม. เพราะตำแหน่งที่พลาสติกขาดออกจากกันอาจจะกินเข้าไปในเนื้องานได้ เพราะฉะนั้นในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดกล่องดินสอ จะมีความยาวทางเข้า (L) เท่ากับ 0.7 มม. ที่ใช้ค่านี้เพราะความยาว (L) ตามมาตรฐานจะอยู่ในช่วง 0.7-1.2 มม. ถ้ามากกว่านี้จะทำให้มีผลต่อคุณสมบัติทางกลของชิ้นงานพลาสติก

<u>แนวคิดในการออกแบบ</u>

1. รัศมีของ Sprue bush ที่สัมพันธ์กับหัวฉีด (Nezzle) ต้องกำหนดให้มากกว่า จากข้อมูลเครื่อง KM 65 -180 CX มีรัศมีหัวฉีด (Nezzle) 30 มม. ดังนั้น การผลิตจะกำหนดให้รัศมีของปลอกรูฉีด (Sprue) มีรัศมี 31 มม.

2. มุมเรียวของปลอกรูฉีด (Sprue buses)

3. ผิวภายในจะต้องมีความเรียวผิวมากและขัดมัน หากต้องการความแข็งแรงสูงจะต้องชุบแข็ง

4. การกำหนดความยาวของปลอกรูฉีด ต้องทำให้สั้นที่สุดรวมทั้งพิจารณาถึงระยะที่หัวฉีดเคลื่อนที่ผ่าน Fix Plate ของเครื่องฉีดว่าเคลื่อนที่ได้เท่าไร ดังนั้นการออกแบบวางตำแหน่งของปลอกรูฉีดกับแผ่นยึดโมลด์ (Top Clamping Plate) ประมาณ 69 มม.

5. แหวนกำหนดตำแหน่ง (Locating Ring) มีหน้าที่กำหนดตำแหน่งของแม่พิมพ์ให้ศูนย์ร่วมกับหน้าแปลนเครื่องฉีดและยึดปลอกรูฉีดได้เช่นกัน (จากข้อมูล ยี่ห้อ KRAUSS MAFFEL KM 65 -180 CX) หน้าแปลนเครื่องฉีดมี ϕ 125^{H7} ดังนั้น การออกแบบความโตของแหวน กำหนดตำแหน่งต้องมีพิกัด และต้องทำการร่วมศูนย์กับปลอกรูฉีดด้วย

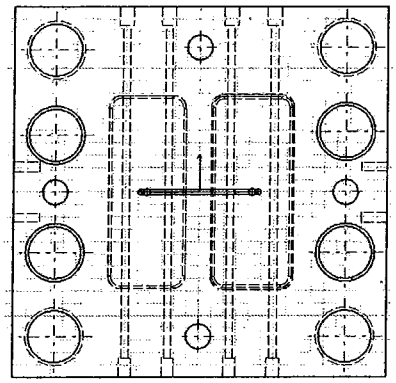
6. มีการปลด Runner ด้วย Stripper plate จะต้องทำปลายของ Sprue เป็น Taper โดยจะต้องกำหนดมุมเรียว 3-5 องศา

7. ความโตของปลอกรูฉีดจะต้องโตมากกว่ารูของหัวฉีด (Nezzle) อยู่ 1 มม. จะใช้เครื่องรุ่น KM 65 -180 CX รูหัว (Nezzle) = 4 มม.) จะต้องใช้ ϕ ของ Sprue เท่ากับ 5 มม.

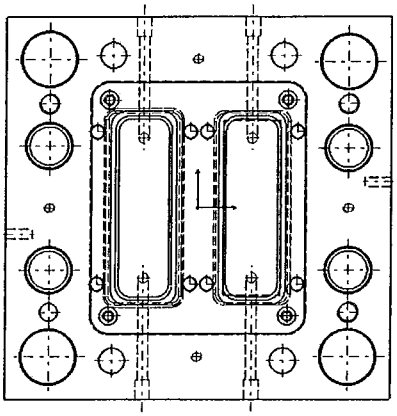
3.1.5 ขั้นตอนที่ 5 ระบบการหล่อเย็น (Cooling Design)

การออกแบบระบบการหล่อเย็นในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกกล่องดินสอ จะเป็นแบบวน วิ่งผ่านหลังคาวิตี้โดยการวนหากัน (ดังภาพ3.13) และมีการหล่อเย็นในตำแหน่งต่างๆ ดังนี้

- คาวิตี้ อินเสิร์ท (Cavity Insert) (ดังภาพ 3.13)
- คอร์ อินเสิร์ท (Core Insert) (ดังภาพ 15)



ภาพที่ 3.13 แสดงระบบการหล่อเย็นที่คาวิตี้ อินเสิร์ท (Cavity Insert)

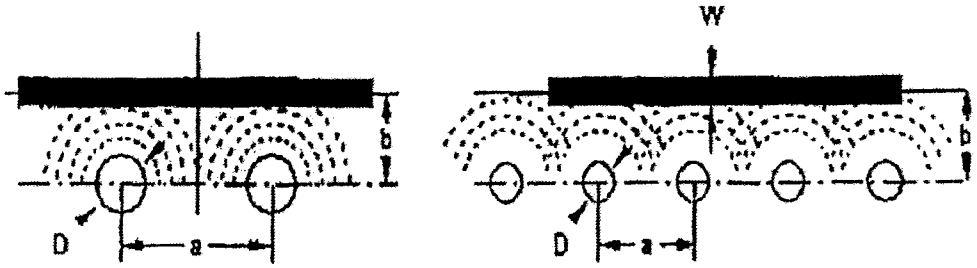


ภาพที่ 3.14 แสดงระบบการหล่อเย็นที่คอร์คาวิตี้ (Core Insert)

แนวคิดในการออกแบบ

1. การเดินระบบหล่อเย็นควรให้สม่ำเสมอกับผิวชิ้นงาน
2. การควบคุมอุณหภูมิแม่พิมพ์มีผลต่อตัวแปรในการฉีด
3. การหล่อเย็นมีผลต่อ Dimension, Properties, Tensile, Strength, Stress
4. รอบการฉีด (Cycle time) จำนวนความต้องการฉีดแต่ละครั้ง
5. อุณหภูมิ Mold มีผลต่อชิ้นงานฉีด

3.4.5.1 การถ่ายเทความร้อนที่สม่ำเสมอ



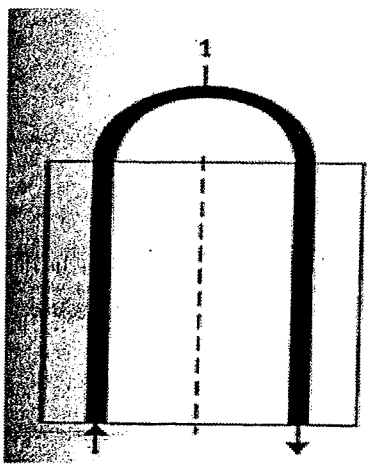
ภาพที่ 3.15 แสดงระยะต่างๆ ของรูน้ำหล่อเย็น

1. ความหนาชิ้นงาน (W) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (D) ท่อน้ำหล่อเย็น

   < 2 มม. 8-10 มม.

2. ระยะห่าง b = 2-5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อน้ำหล่อเย็น (d)
3. ระยะห่าง a = 2-5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อน้ำหล่อเย็น (d)

เพราะฉะนั้นจากความหนาของชิ้นงานกล่องดินสอ ≈1.5 มม. เลือกใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (D) ท่อน้ำหล่อเย็น = 8 มม และวงจรนำหล่อเย็นแบบรอบ Cavity และวิ่งผ่านภายใน Core แบบวน (ดังภาพ 3.16)



ภาพที่ 3.16 แสดงลักษณะการหล่อเย็นใน คอร์ อินเสิร์ท (Core Insert) แบบวน

3.1.5.2 การคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น (Cooling time) หาได้จากบทที่ 2 สมการ 2.6

$$t_k = \frac{S^2}{\pi^2 \cdot a_{eff}} \ln \left[\frac{4}{\pi} \left(\frac{(\vartheta_M - \vartheta_W)}{(\vartheta_E - \vartheta_W)} \right) \right]$$

S = ความหนาของแบบ (คิดส่วนหนาที่สุด) (moulding thickness) = 1.5 mm

a_{eff} = ประสิทธิภาพการนำความร้อนเฉลี่ย (effective mean thermal Conductivity) (mm^2/s) PP = 0.065 mm^2/s

ϑ_M = อุณหภูมิการหลอมเหลวพลาสติก (melt temperature) =200-300 °C ≈ 200 °C

ϑ_W = อุณหภูมิเฉลี่ยของผนังพลาสติก (mean cavity wall tempera thickness)

= 30+70 = 100 /2 = 50 °C

ϑ_E = อุณหภูมิในการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ (mean demoulding tempera ture, average thickness) = 65 °C

$$t_k = \frac{1.5^2}{\pi^2 \times 0.065} \ln \left[\frac{4}{\pi} \left(\frac{200-50}{65-50} \right) \right]$$

$$= 3.510 \ln 12.73$$

$$t_k = 8.92 \text{ Sec}$$

$$\approx 8.9 \text{ Sec}$$

∴ เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น 9 วินาที

3.1.6 ขั้นตอนที่ 6 ระบบปลดชิ้นงาน (Ejection System)

แนวคิดในการเลือกปลดชิ้นงานกล่องดินสอที่เป็นเข็มกระทุ้ง (Ejector Pin)

1. ทำการเลือกปลดชิ้นงานกล่องดินสอที่ Core โดยใช้เข็มกระทุ้ง (Ejector Pin)
2. ในการปลดชิ้นงานจะใช้เข็มกระทุ้ง (Ejector Pin) ที่มุมชิ้นงาน Cavity ละ 4 ตัวถ้าวางตำแหน่งน้อยกว่านี้อาจทำให้ชิ้นงานที่ปลดออกเกิดการบิดเบียว งอ เสียหาย หรือชิ้นงานอาจไม่หลุดออกจาก Core ได้

3.1.7 ขั้นตอนที่ 7 ระบบระบายอากาศ (Venting System)

ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดจะต้องมีการเตรียมช่องระบายอากาศ (Vent) เมื่อพลาสติกเหลวไหลเข้าแม่พิมพ์ จะไปแทนที่อากาศภายในคาวิตี้ หากอากาศไม่สามารถออกมาได้ก็จะขัดขวางการไหลของน้ำพลาสติก ผลที่เกิดขึ้นจะทำให้อากาศร้อนขึ้นจากการอัดตัว จนพลาสติกรอบๆ เกิดการไหม้ หรือเกิดรอยไหม้บริเวณรอยต่อ และบริเวณที่ขอบหรือมุม อาจจะฉีดไม่เต็มได้

แนวคิดในการเลือกวิธีระบายอากาศ

1. เนื่องจากชิ้นงานเป็นกล่องดินสอรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะใช้กระบวนการเจียระไนผิวหน้า Moldที่เส้นแบ่งผิวให้มีความละเอียดผิว 0.020 มม.

3.1.8 ขั้นตอนที่ 8 การเลือกวัสดุในการทำแม่พิมพ์ (Mould Material Selection)

ในการเลือกขนาดของ (Mold Bases) ต้องพิจารณาจากการออกแบบคาวิตี้ , วิธีการฉีด , การปลด , ชิ้นงาน , การควบคุมอุณหภูมิแม่พิมพ์และตำแหน่งของส่วนประกอบในแม่พิมพ์ รวมทั้งตำแหน่งระยะของส่วนต่างๆ ของเครื่องฉีดพลาสติก

3.1.8.1 แนวคิดในการเลือกวัสดุสำหรับทำแม่พิมพ์ มีรายละเอียดคือ

1. วัสดุที่ใช้ทำฐานแม่พิมพ์
2. ชิ้นส่วนที่ได้รับความเค้นสูง
3. ชิ้นส่วนที่ไม่ได้รับความเค้นสูง
4. สลักและปลอกนำเลื่อน

3.1.8.2 วัสดุที่ใช้ทำแผ่นคาวิตี้และคอร์ มีดังต่อไปนี้

1. วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ เลือกวัสดุ S 50 C
2. ชิ้นงานที่ต้องขัดผิวมัน เช่น คาวิตี้ (Cavity) คอร์(Core)
3. วัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนที่ไม่ได้รับความเค้นสูง เช่น แหวนบังคับศูนย์ (Locater ring) เลือก S 50 C
4. วัสดุที่ต้องการความแข็งแรงสูงและขัดผิวมันได้ดี เช่นคาวิตี้(Cavity),คอร์(Core) เลือกใช้วัสดุ S 50 C
5. วัสดุที่ใช้ในการนำเลื่อน เช่น Guide bush , Guide pin เลือกใช้มาตรฐานของ บริษัท อินเตอร์ทูล เทคโนโลยี จำกัด

3.1.9 ขั้นตอนที่ 9 การประมาณการหดตัว (Estimation Of Shrinkage)

ในการหดตัวของพลาสติกจะเกิดขึ้นกับทิศทางการไหลของพลาสติก โดยทั่วไปแล้วการหดตัวของขนาดชิ้นงานในแนวเดียวกับทิศทางการไหลของพลาสติกมากกว่าขนาดของการหดตัวใน

แนวตั้งฉากการไหลอยู่ครึ่งหนึ่งของค่าเปอร์เซ็นต์ของการหดตัว ซึ่งมีข้อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการหดตัว ดังนี้

- **ทางด้านคุณสมบัติของพลาสติก**
    1. ชนิดและปริมาณที่สารเติมเต็ม
    2. ระดับของการเป็นระเบียบ
- **ทางด้านรูปร่างชิ้นงาน**
    1. ความหนาของผนังชิ้นงาน
    2. รูปร่างขนาดความยาวต่อความกว้าง
    3. ตำแหน่งและระยะทางของ Gate
- **ทางด้านตัวแปรของการฉีด**
    1. แรงดัน
    2. อุณหภูมิ
    3. อัตราการฉีด

3.1.9.1 คำนวณประมาณการหดตัว

วัสดุที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานคือ Polypropylene (PP) จากข้อมูลของเม็ดพลาสติกมีค่าการหดตัว (Shrinkage) = 0.01-0.03 mm./mm. สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

ความหนาของ Cavity = ความหนาชิ้นงาน × (1+ ค่า%การหดตัว)

ความหนาของชิ้นงาน = 1.5 มม.

ค่าเผื่อการหดตัว = 2.5 % (ดูตารางมาตฐานการเผื่อค่าหดตัวเม็ดพลาสติก)

แทนค่า

ความหนาของ Cavity = 1.5+ 0.0375

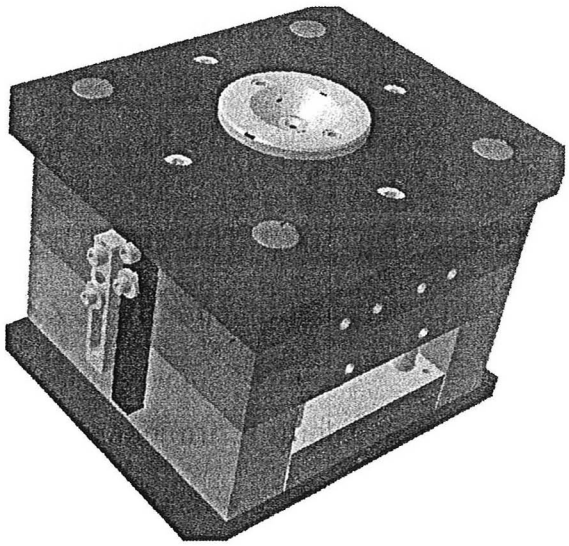
= 1.5375 mm.

∴ การเผื่อค่าหดตัว เท่ากับ 1.5375 มม. ของความหนาชิ้นงานทุกด้าน (โดยใช้ Softward)

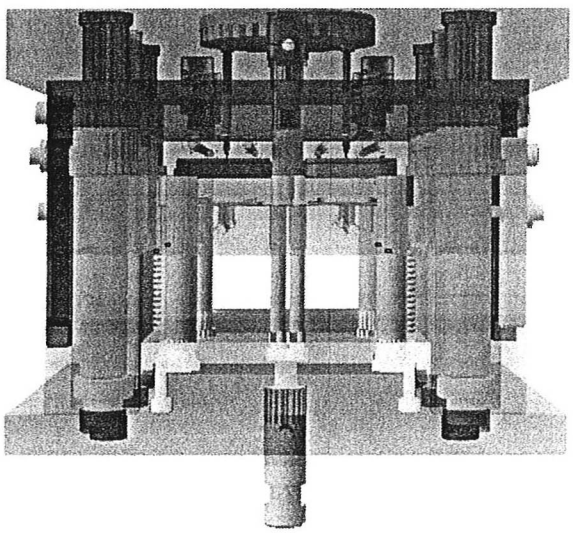
<u>สรุป</u>

ขั้นตอนที่ใช้ในการออกแบบทั้งหมด 9 ขั้นตอนนี้ เป็นการรวบรวมทฤษฎีการคำนวณและการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกขั้นสูง ที่ถูกต้องตามหลักวิชาการมาใช้ในการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดชิ้นงานกล่องพลาสติกตามรายละเอียดของโครงการวิจัย

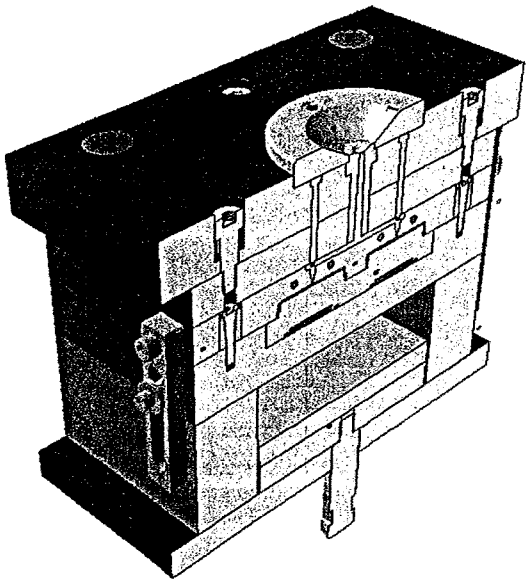
3.2 ในส่วนของขั้นตอนการศึกษาการใช้ซอฟแวร์การออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Unigraphic NX 5 นั้น เมื่อศึกษาจนเข้าใจแล้วจึงนำมาใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแบบ Three Plate Mould โดยถูกต้องตามหลักวิชาการจำนวน 1 ชุด โดยจะมีการออกแบบทางเข้าของน้ำพลาสติก และการออกแบบระบบหล่อเย็นตามที่ได้ออกแบบและคำนวณที่ถูกต้องตามหลักวิชาการไว้แล้วดังภาพที่ 3.17-3.19



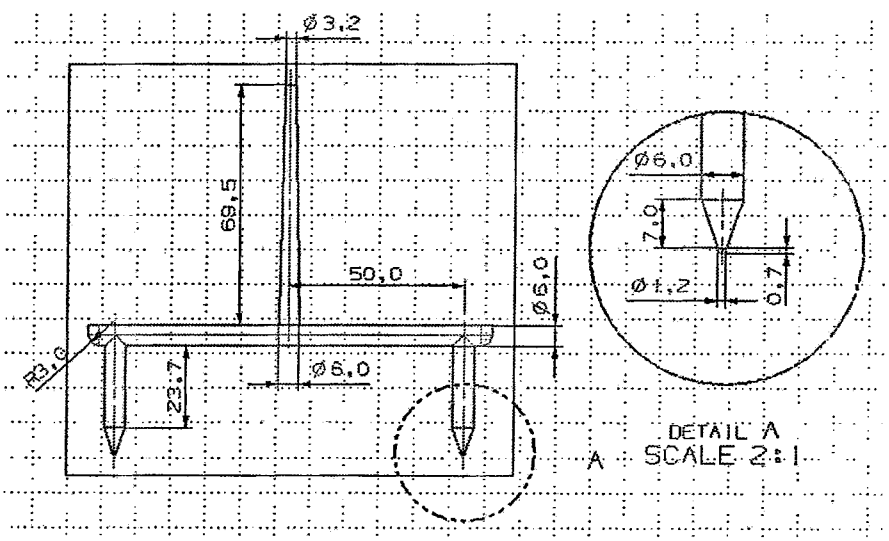
ภาพที่ 3.17 การจำลองแม่พิมพ์ฉีดกล่องพลาสติกขณะปิดแบบ 3 มิติ



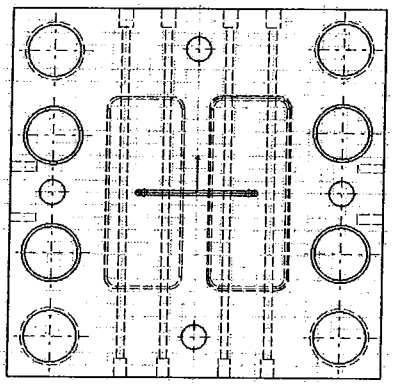
ภาพที่ 3.18 การจำลองแม่พิมพ์ฉีดกล่องพลาสติกขณะปิดแบบ 3 มิติ



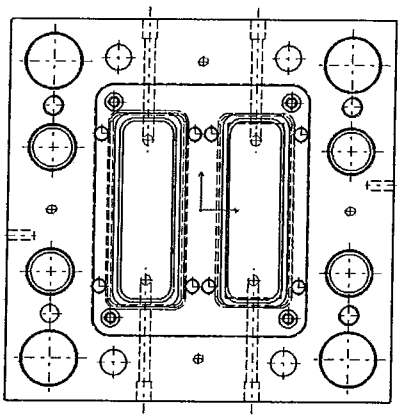
ภาพที่ 3.19 การจำลองแม่พิมพ์ฉีดกล่องพลาสติกขณะปิดแบบผ่าครึ่ง 3 มิติ



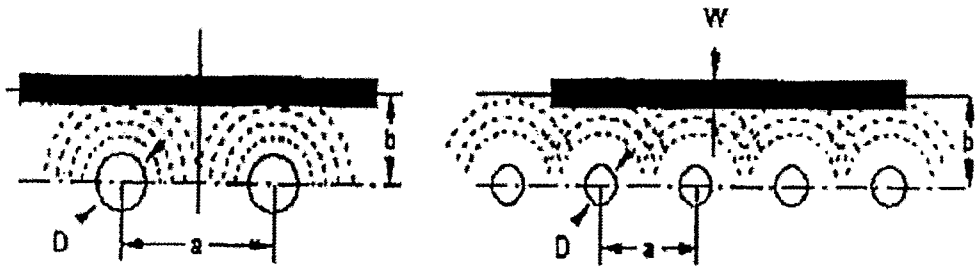
ภาพที่ 3.20 ขนาดของทางวิ่ง (Runner) และทางเข้า (Gate) ของชิ้นงานกล่องพลาสติกที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ



ภาพที่ 3.21 แสดงระบบการหล่อเย็นที่คาวิตี้ อินเสิร์ท (Cavity Insert)ที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ



ภาพที่ 3.22 แสดงระบบการหล่อเย็นที่คอร์คาวิตี้ (Core Insert)ที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ



ภาพที่ 3.23 ภาพด้านขวาแสดงระยะต่างๆ ของรูน้ำหล่อเย็นที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ

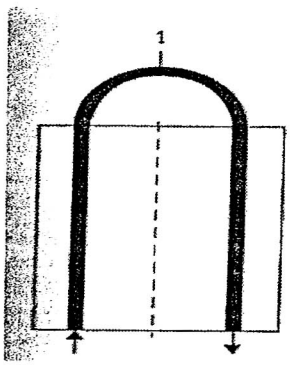
1. ความหนาชิ้นงาน (W) < 2 มม.

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (D) ท่อน้ำหล่อเย็น 8-10 มม.

2. ระยะห่าง b = 2-5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อน้ำหล่อเย็น (d)

3. ระยะห่าง a = 2-5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อน้ำหล่อเย็น (d)

จากความหนาของชิ้นงานกล่องดินสอ ≈1.5 มม. เลือกใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (D) ท่อน้ำหล่อเย็น = 8 มม และวงจรนำหล่อเย็นแบบรอบ Cavity และวิ่งผ่านภายใน Core แบบวน (ดังภาพ 3.24)



ภาพที่ 3.24 แสดงลักษณะการหล่อเย็นใน คอร์ อินเสิร์ท (Core Insert) แบบวน

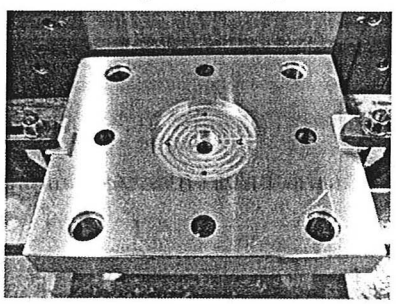
หลังจากที่ออกแบบแม่พิมพ์ฉีดชิ้นงานกล่องพลาสติกที่ถูกต้องตามหลักวิชาการด้วยคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Unigraphic NX 5 เสร็จแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการดำเนินการสร้างแม่พิมพ์เพื่อที่จะทดลองฉีดจริง

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

3.3.1 การสร้างแม่พิมพ์ฉีดชิ้นงานกล่องพลาสติกที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ

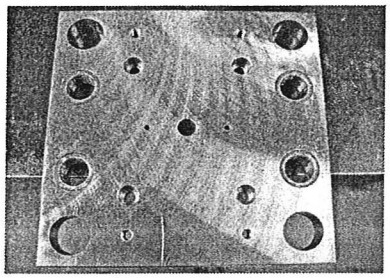
ภาพการผลิตและสร้างชิ้นส่วนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกฯ

1. การทำแผ่นแม่พิมพ์บน (Fixed Clamp Plate(Top)



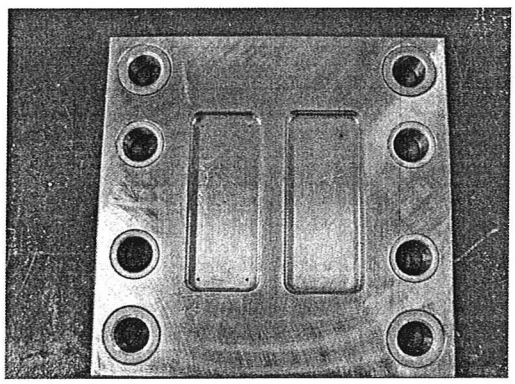
ภาพที่ 3.25 แสดงแผ่นแม่พิมพ์บน (Fixed Clamp Plate(Top)

2. การทำแผ่นปลด Runner (Fixed Installation Plate)



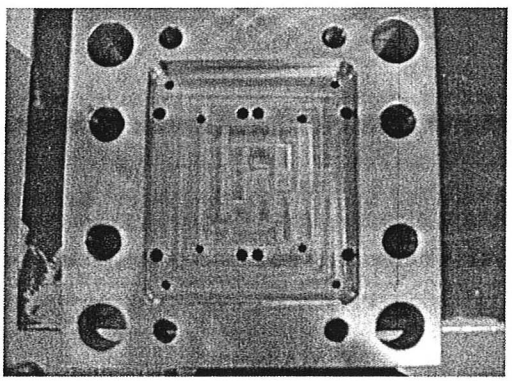
ภาพที่ 3.26 แสดงแผ่นปลด Runner (Fixed Installation Plate)

3. การทำคาวิตี้อินเสิร์ท (Cavity Insert)



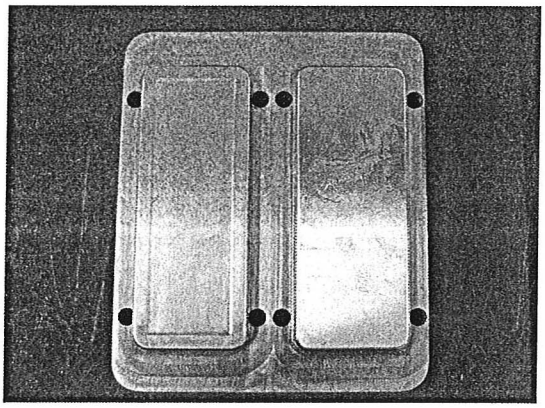
ภาพที่ 3.27 แสดงคาวิตี้อินเสิร์ท (Cavity Insert)

4. การทำแผ่นแม่พิมพ์ล่าง (Core Plate)



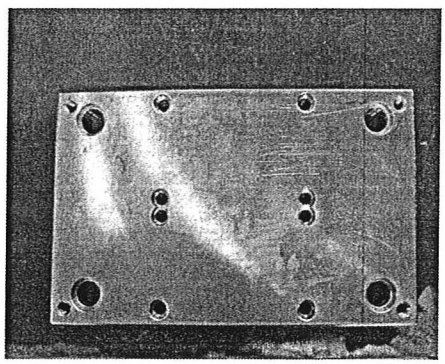
ภาพที่ 3.28 แสดงแผ่นแม่พิมพ์ล่าง (Core Plate)

5. การทำคอร์อินเสิร์ท (Core Insert)



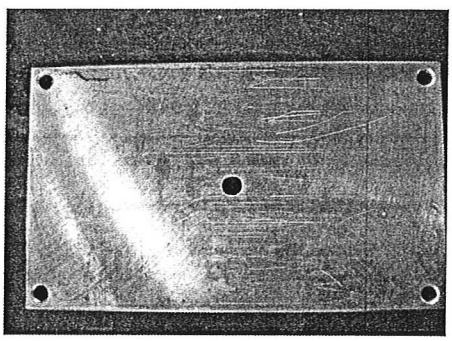
ภาพที่ 3.29 แสดงคอร์อินเสิร์ท (Core Insert)

6. การทำแผ่นใส่เข็มกระทุ้ง (Ejector Retainer Plate)



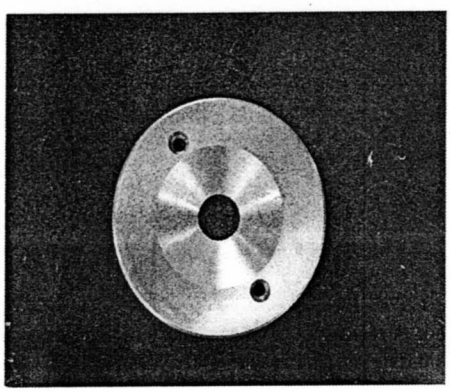
ภาพที่ 3.30 แสดงแผ่นใส่เข็มกระทุ้ง (Ejector Retainer Plate)

7. การทำแผ่นกระทุ้ง (Ejector Plate)



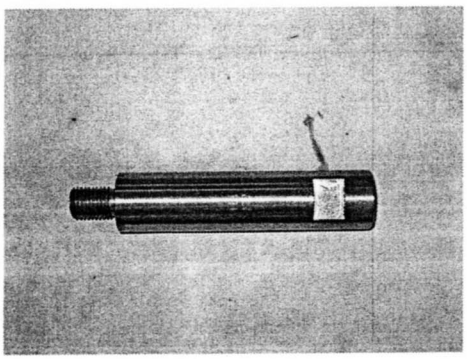
ภาพที่ 3.31 แสดงแผ่นกระทุ้ง (Ejector Plate)

8. การทำแหวนบังคับศูนย์ (Locating Ring)



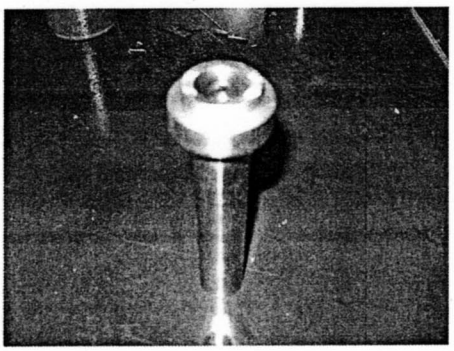
ภาพที่ 3.32 แสดงแหวนบังคับศูนย์ (Locating Ring)

9. การทำเพลากระทุ้ง (Ejector Rod)



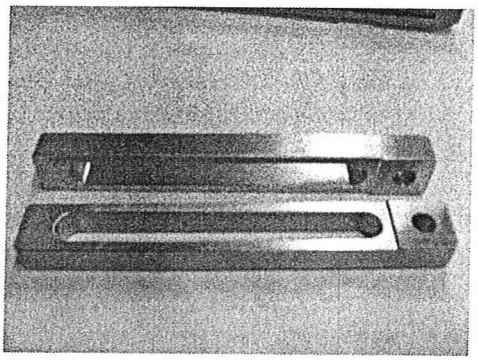
ภาพที่ 3.33 แสดงเพลากระทุ้ง (Ejector Rod)

10. การทำปลอกนำฉีด (Spure Bush)



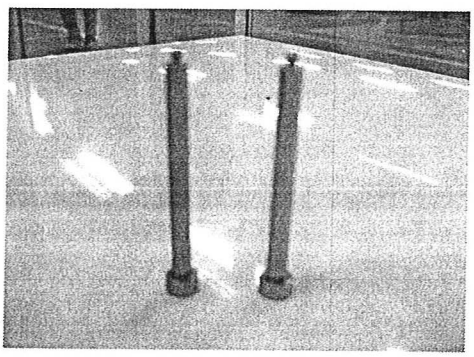
ภาพที่ 3.34 แสดงปลอกนำฉีด (Spure Bush)

11. การทำตัวเปิดระยะแม่พิมพ์ (Guide For Tension Links)

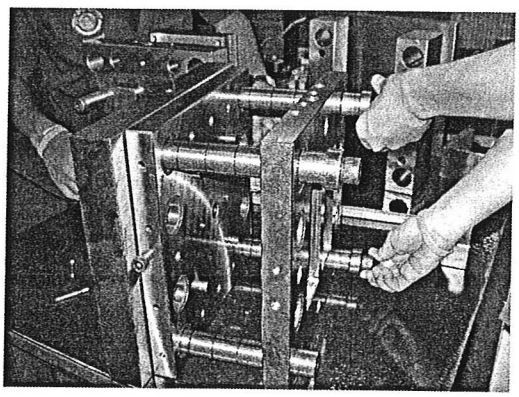


ภาพที่ 3.35 แสดงตัวเปิดระยะแม่พิมพ์ (Guide For Tension Links)

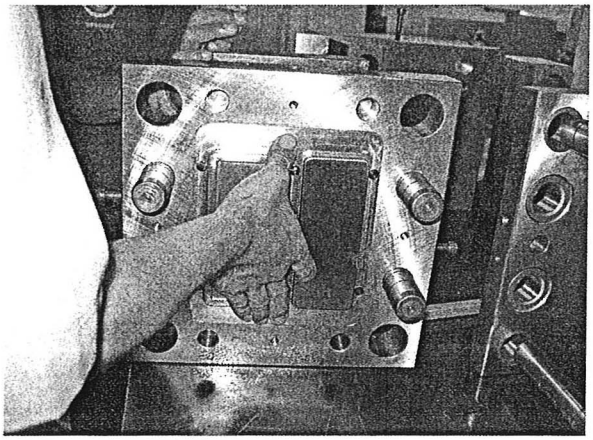
12. การทำเข็มดึง Runner (Runner Lock Pin)



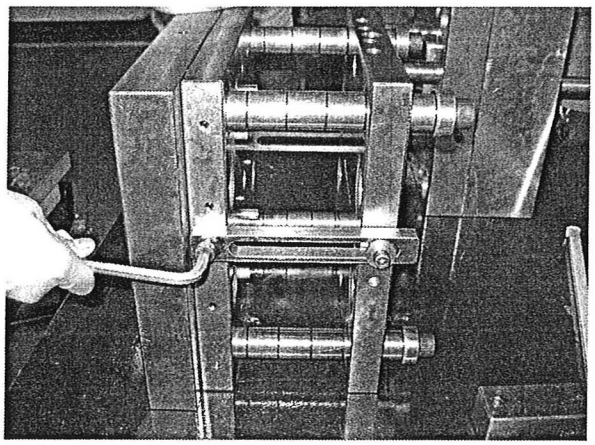
ภาพที่ 3.36 แสดงเข็มดึง Runner (Runner Lock Pin)



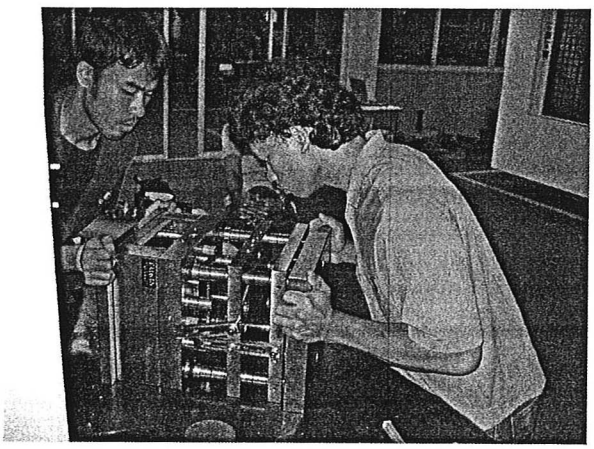
ภาพที่ 3.37 แสดงการประกอบชุดคาวิตี้ (Assembly Cavity Inser)



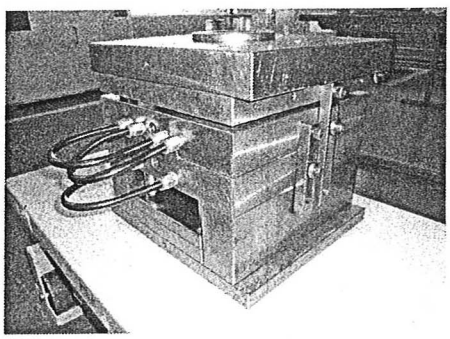
ภาพที่ 3.38 แสดงการประกอบชุด คอร์อินเสิร์ท (Assembly Core Inser)



ภาพที่ 3.39 แสดงการประกอบ Guide For Tension Links



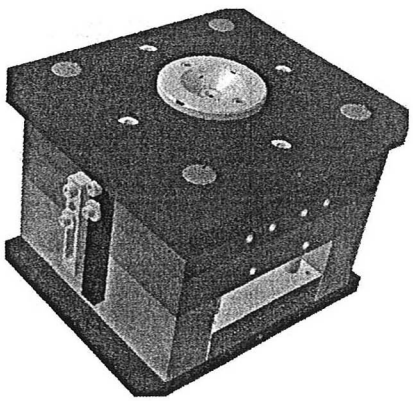
ภาพที่ 3.40 แสดงทำการปิดแม่พิมพ์



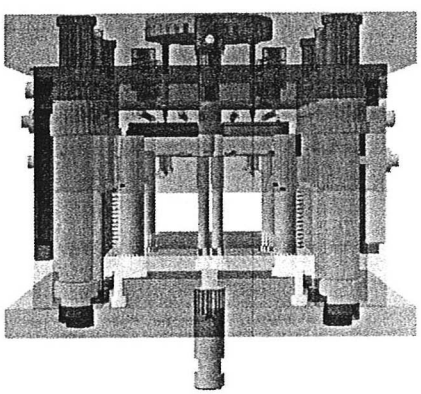
ภาพที่ 3.41 แสดงการประกอบชุดระบบหล่อเย็น (Assembly Cooling System)

3.3.2 การสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ

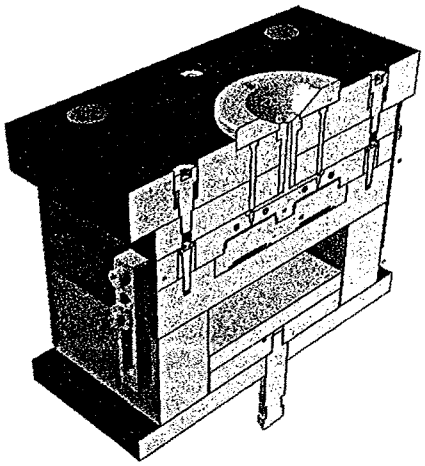
การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแบบ Three Plate Mould โดยไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการจำนวน 1 ชุดนั้น จะมีการออกแบบทางเข้าของน้ำพลาสติก และการออกแบบระบบหล่อเย็นให้แตกต่างจากที่ได้ออกแบบและคำนวณที่ถูกต้องตามหลักวิชาการดังภาพที่ 3.42-3.44



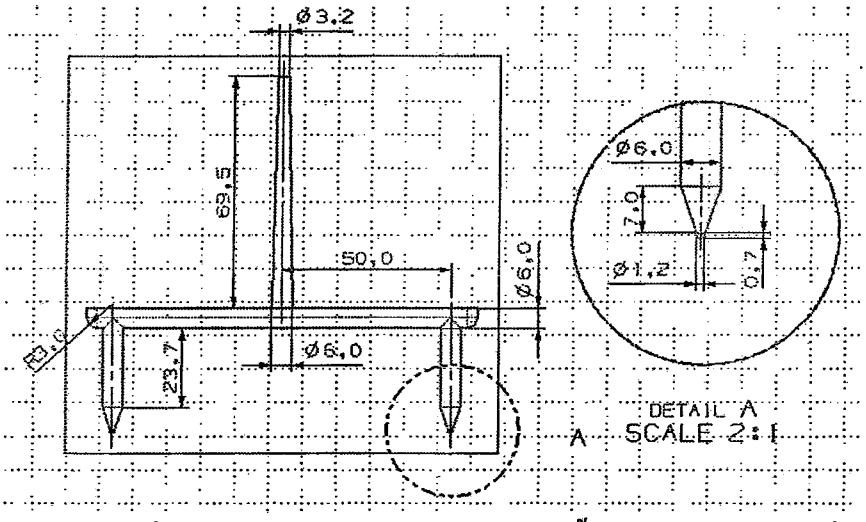
ภาพที่ 3.42 การจำลองแม่พิมพ์ฉีดกล่องพลาสติกขณะปิดแบบ 3 มิติ



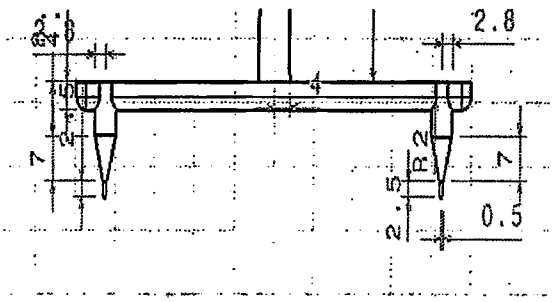
ภาพที่ 3.43 การจำลองแม่พิมพ์ฉีดกล่องพลาสติกขณะปิดแบบ 3 มิติ



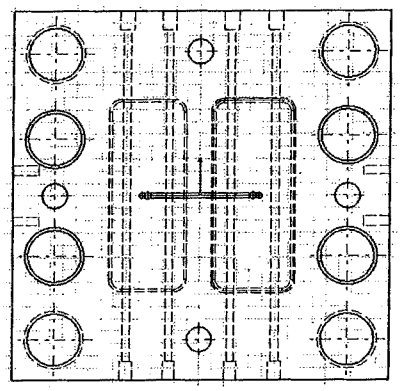
ภาพที่ 3.44 การจำลองแม่พิมพ์ฉีดกล่องพลาสติกขณะปิดแบบผ่าครึ่ง 3 มิติ



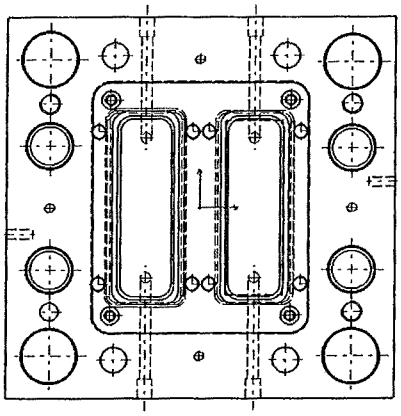
ภาพที่ 3.45 ขนาดของทางวิ่ง (Runner) และทางเข้า (Gate) ของชิ้นงานกล่องพลาสติกที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ



ภาพที่ 3.46 ขนาดของทางวิ่ง (Runner) และทางเข้า (Gate) ของชิ้นงานกล่องดินสอที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ

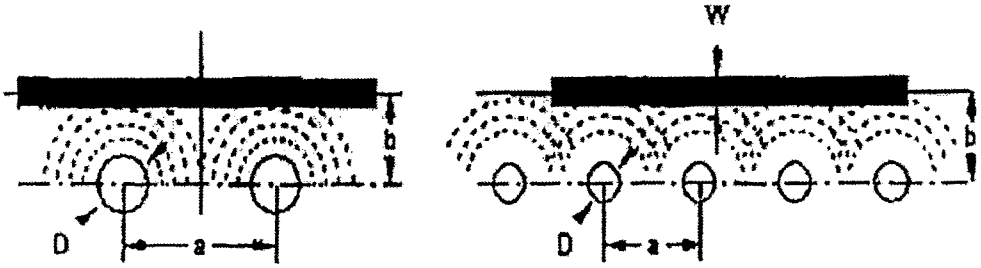


ภาพที่ 3.47 แสดงระบบการหล่อเย็นที่คาวิตี้ อินเสิร์ท (Cavity Insert)ที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ



ภาพที่ 3.48 แสดงระบบการหล่อเย็นที่คอร์คาวิตี้ (Core Insert)ที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ

ในการออกแบบระยะต่างๆ ของรูน้ำหล่อเย็นที่ไม่ถูกต้องต้องตามหลักวิชาการ จะออกแบบให้ขนาดและระยะห่างของรูน้ำหล่อเย็นแตกต่างจากรายละเอียดด้านล่าง



ภาพที่ 3.49 ภาพด้านขวาแสดงระยะต่างๆ ของรูน้ำหล่อเย็นที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ

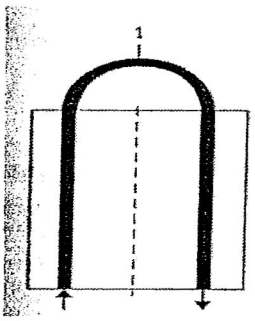
1. ความหนาชิ้นงาน (W) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (D) ท่อน้ำหล่อเย็น

< 2 มม. 8-10 มม.

2. ระยะห่าง b = 2-5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อน้ำหล่อเย็น (d)

3. ระยะห่าง a = 2-5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อน้ำหล่อเย็น (d)

จากความหนาของชิ้นงานกล่องดินสอ ≈1.5 มม. เลือกใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (D) ท่อน้ำหล่อเย็น = 8 มม และวงจรนำหล่อเย็นแบบรอบ Cavity และวิ่งผ่านภายใน Core แบบวน (ดังภาพ 3.50)

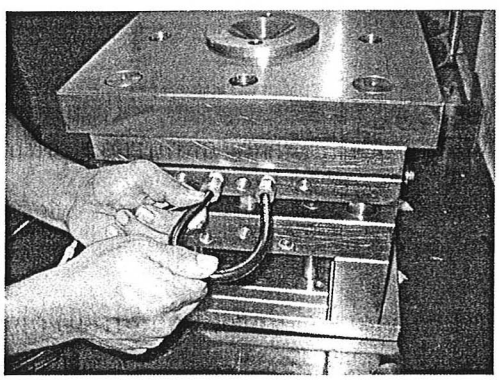


ภาพที่ 3.50 แสดงลักษณะการหล่อเย็นใน คอร์ อินเสิร์ท (Core Insert) แบบวน

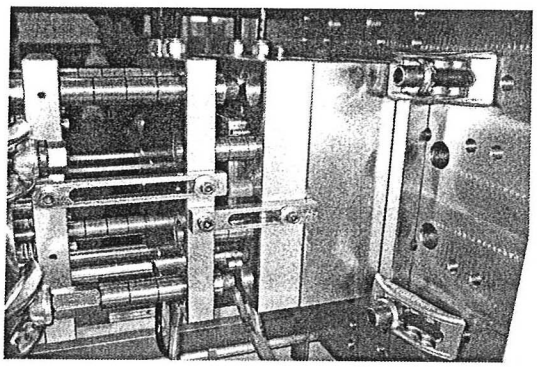
หลังจากที่ออกแบบแม่พิมพ์ฉีดชิ้นงานกล่องพลาสติกที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการด้วยคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Unigraphic NX 5 เสร็จแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการดำเนินการสร้างแม่พิมพ์เพื่อที่จะทดลองฉีดจริง

3.3.2.1 การสร้างแม่พิมพ์ฉีดชิ้นงานกล่องพลาสติกที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ

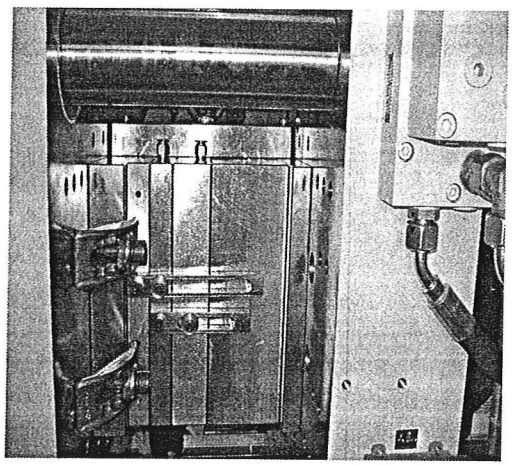
ในการดำเนินการสร้างชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์ฉีดชิ้นงานกล่องพลาสติกที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ จำนวน 1 ชุดนั้น จะดำเนินการสร้างตามรายละเอียดที่ได้ออกแบบไว้ในหัวข้อ 3.3.2 ซึ่งเมื่อนำชิ้นส่วนต่างๆ มาประกอบกันจะได้ดังภาพ 3.51



ภาพที่ 3.51 แสดงการประกอบชุดระบบหล่อเย็น (Assembly Cooling System)



ภาพที่ 3.52 ขณะแม่พิมพ์เปิด



ภาพที่ 3.53 ขณะแม่พิมพ์ปิด