บทที่ 4
การหล่อโลหะ

รองศาสตราจารย์ธรรม์ณชาติ วันแต่ง

สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

Casting Methods

- Sand Casting
High Temperature Alloy,
Complex Geometry,
Rough Surface Finish

- Investment Casting
High Temperature Alloy,
Complex Geometry,
Moderately Smooth Surface Finish

- Die Casting
High Temperature Alloy,
Moderate Geometry,
Smooth Surface

คุณสมบัติของน้ำโลหะ

การไหลของน้ำโลหะมี

ความเฉื่อย (Inertia)

ความหนืด (Viscosity) /อุณหภูมิ

ชนิดของสาร	จุดหลอมละลาย (°C)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	สัมประสิทธิ์ของความหนืด (g/cm.sec)	ความตึงผิว (dyne/cm)
น้ำ	0	0.9982(20°C)	0.010046(20°C)	72(20°C)
ปรอท	-38.9	13.56(20)	0.01547(20)	465(20)
ดีบุก	232	5.52(232)	0.01100(250)	540(247)
ตะกั่ว	327	10.55(440)	0.016509(400)	450(330)
สังกะสี	420	6.21(420)	0.03160(420)	750(500)
อลูมิเนียม	660	2.35(760)	0.0055(760)	520(750)
ทองแดง	1,083	7.84(1,200)	0.0310(1,200)	581(1,200)
เหล็ก	1,537	7.13(1,600)	0.0400(1,600)	970(1,600)
เหล็กหล่อ	1,170	6.9(1,300)	0.016(1,300)	1,15(1,300)

มีความหนืดจุดหลอมเหลวเท่ากับหรือต่ำกว่าน้ำ เช่น อลูมิเนียม และดีบุก

ความตึงผิว (Surface Tension)

การไหล (Flow)

การแข็งตัวของโลหะ

น้ำโลหะทั้งหมดกลายเป็นเม็ดผลึก (Grains)

มีขอบระหว่างเม็ดผลึก (Grain Boundaries)

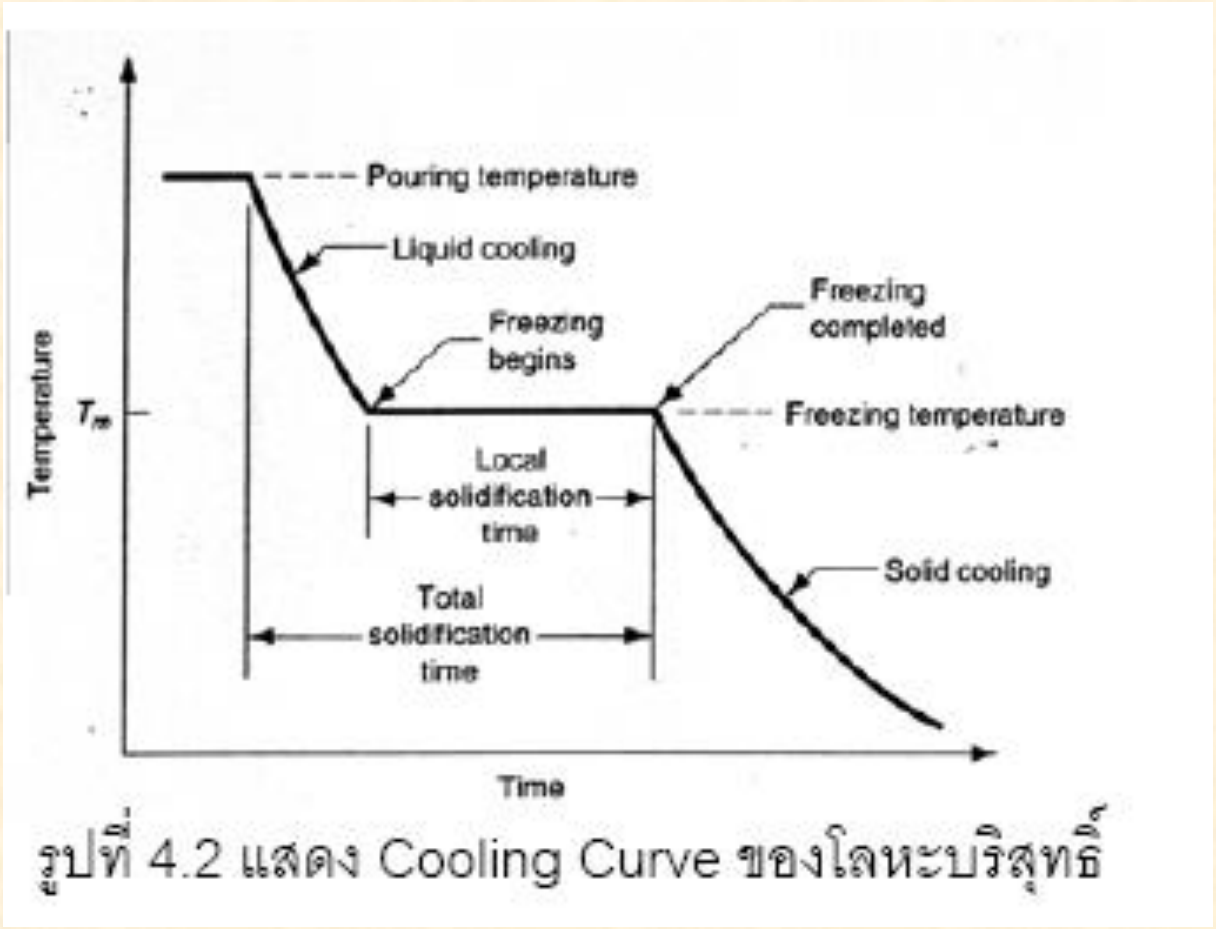
อัตราการโตของผลึก แข็งตัวจะเพิ่มขึ้น

น้ำโลหะก็จะค่อยๆ ยุบตัว

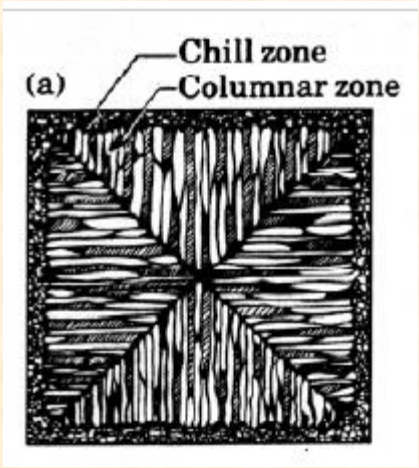
ด้านบนจะยุบตัวลงเรียกว่าไพพ์ (Pipe)

(การหดตัวในแนวศูนย์กลาง Centerline Shrinkage)

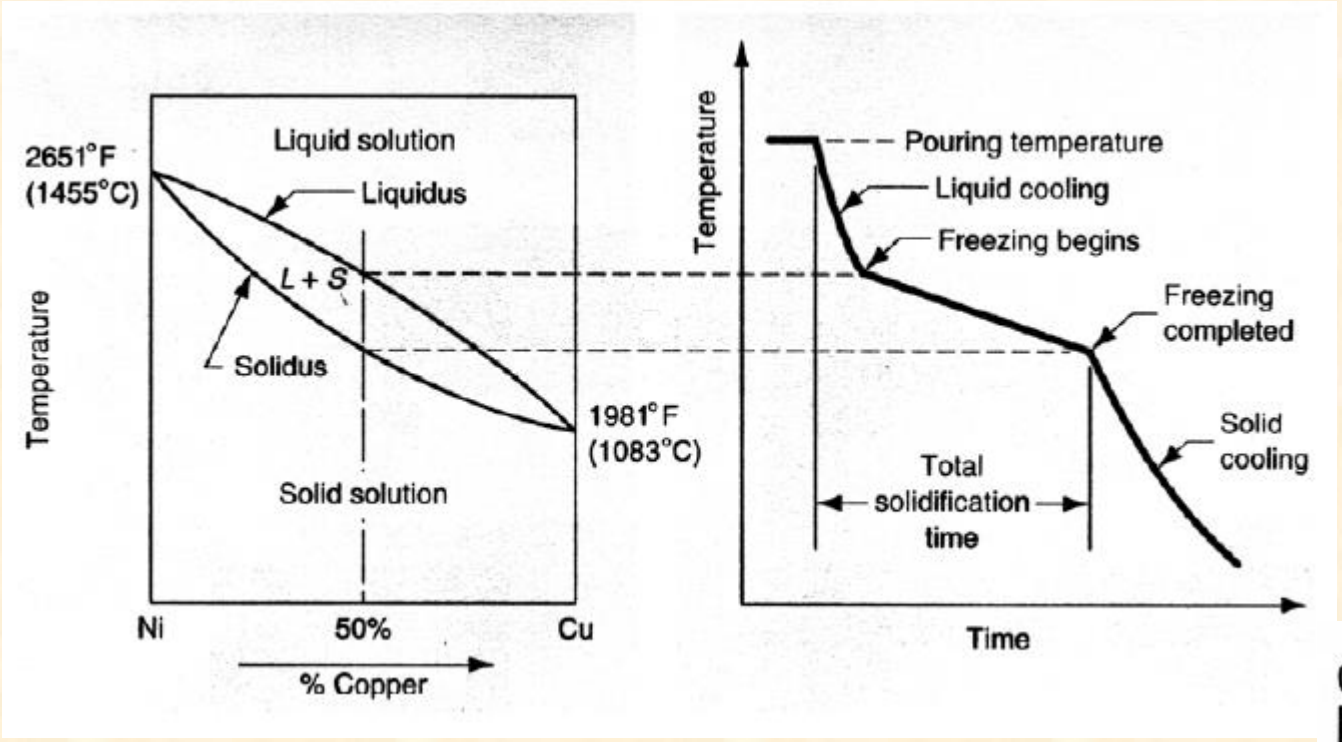
การแข็งตัวของโลหะบริสุทธิ์

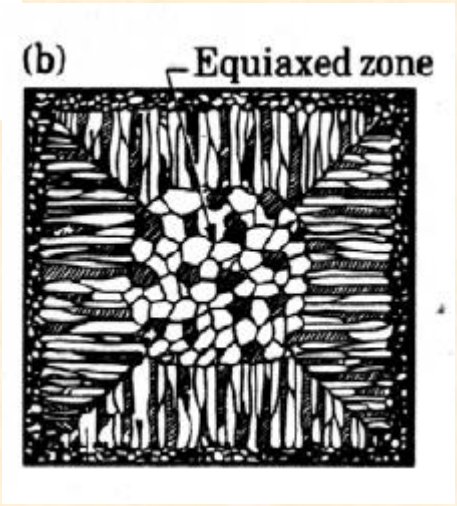


รูปที่ 4.2 แสดง Cooling Curve ของโลหะบริสุทธิ์



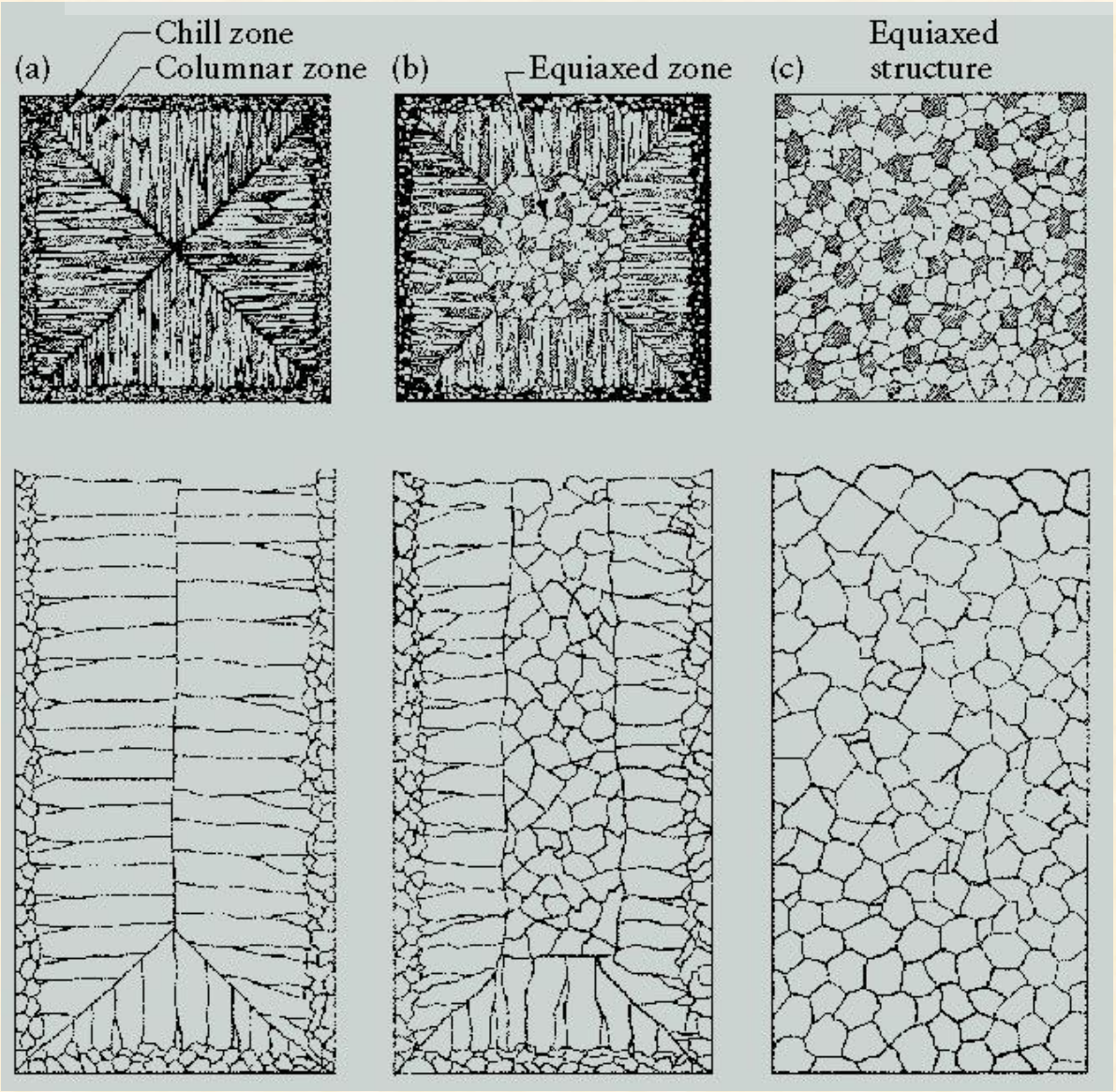
การแข็งตัวของโลหะผสม





ความร้อนแฝง (Latent Heat)

Three Cast Structures of Solidified Metals



•FIGURE 5.8 Schematic illustration of three cast structures of metals solidified in a square mold:

•(a) pure metals;

•(b) solid-solution alloys; and

•(c) the structure obtained by heterogeneous nucleation of grains, using nucleating agents.

เวลาในการแข็งตัว Chvorinoy's Rule

$$T = C(V/A)^2$$

เมื่อ T = เวลาในการแข็งตัว (นาที)

C = ค่าคงที่ (ขึ้นกับวัสดุแบบหล่อ)

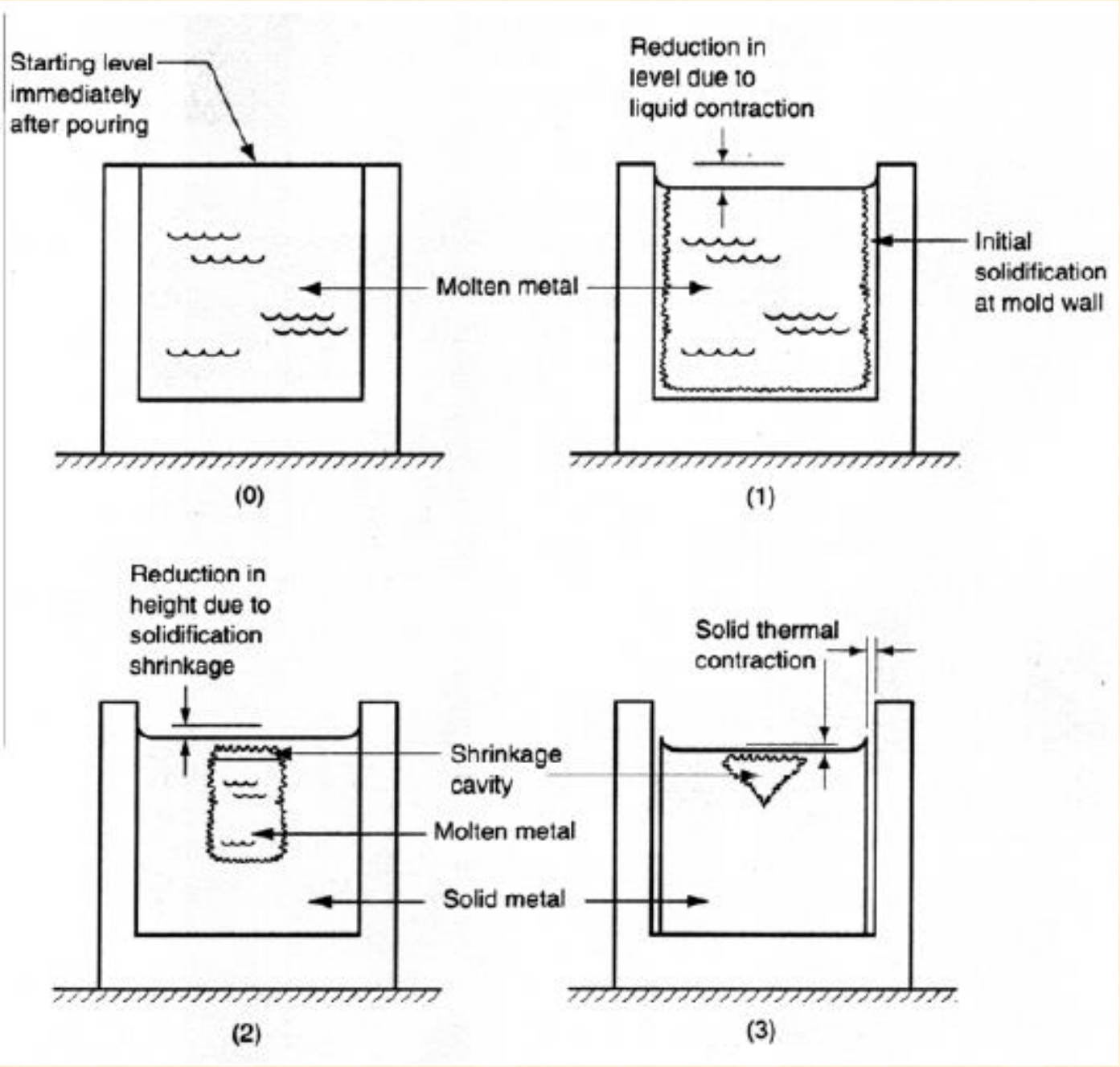
V = ปริมาตรของชิ้นงานหล่อ (ลบ.ซม.)

A = พื้นที่ผิวของชิ้นงาน (ซม.^{2})

เวลาในการแข็งตัว (ทรงกลม)	=	0.043C
เวลาในการแข็งตัว (ลูกบาศก์)	=	0.028C
เวลาในการแข็งตัว (ทรงกระบอก)	=	0.033C
เมื่อ C	=	ค่าคงที่ (ขึ้นกับวัสดุแบบหล่อ)

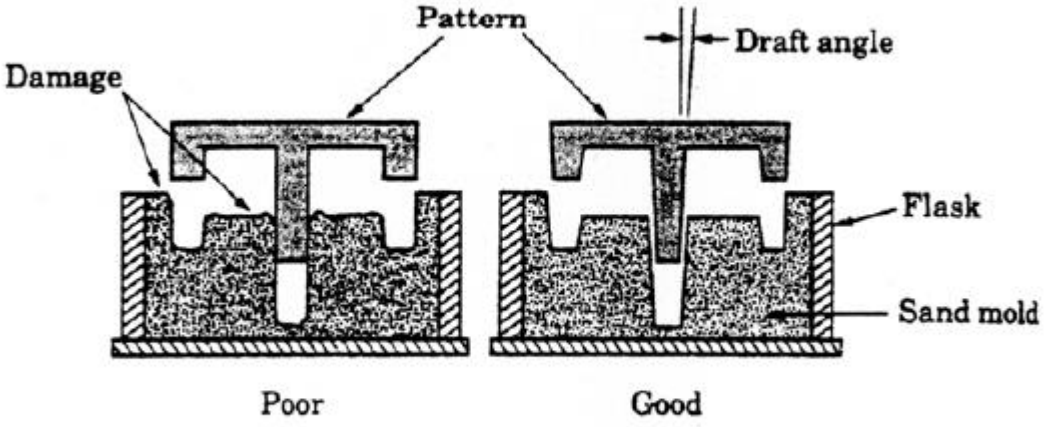
ตารางที่ 4.2 การหาค่าปริมาตรของชิ้นงานหล่อพื้นที่ผิวของชิ้นงาน

รูปทรง	ปริมาตร	พื้นที่ผิว
ทรงกลม	$V=(4/3)\pi r^3$, $r=(3/4\pi)^{1/3}$	$A=4\pi r^2$
ลูกบาศก์	$V=a^3$	$A=6a^2$
ทรงกระบอก	$V=2\pi r^3$, $r=(1/2\pi)^{1/3}$	$A=2\pi r^2+2\pi r^2 h$

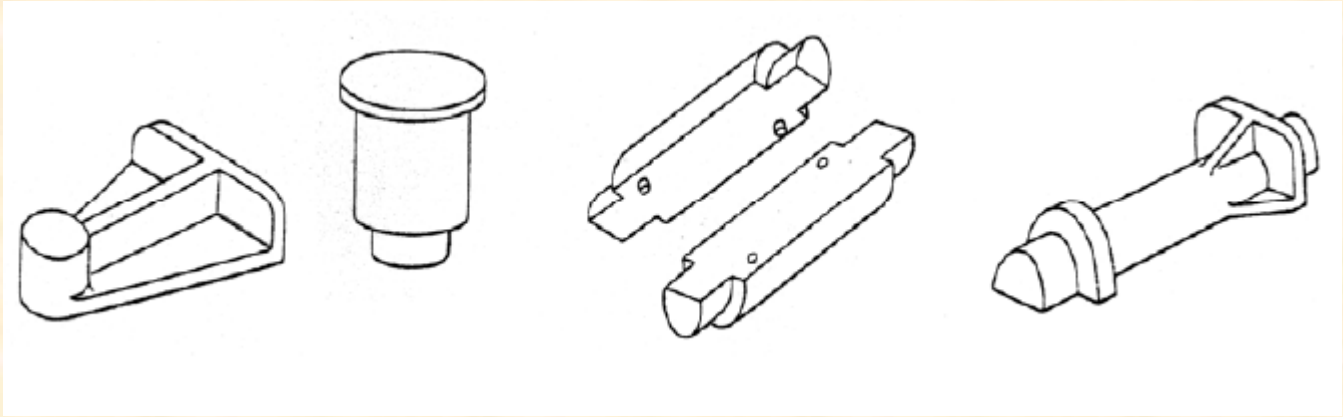


วิธีการแก้ไขกระทำได้โดยการทำรูล้น (Riser)

โลหะแต่ละชนิดจะมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่แตกต่างกัน

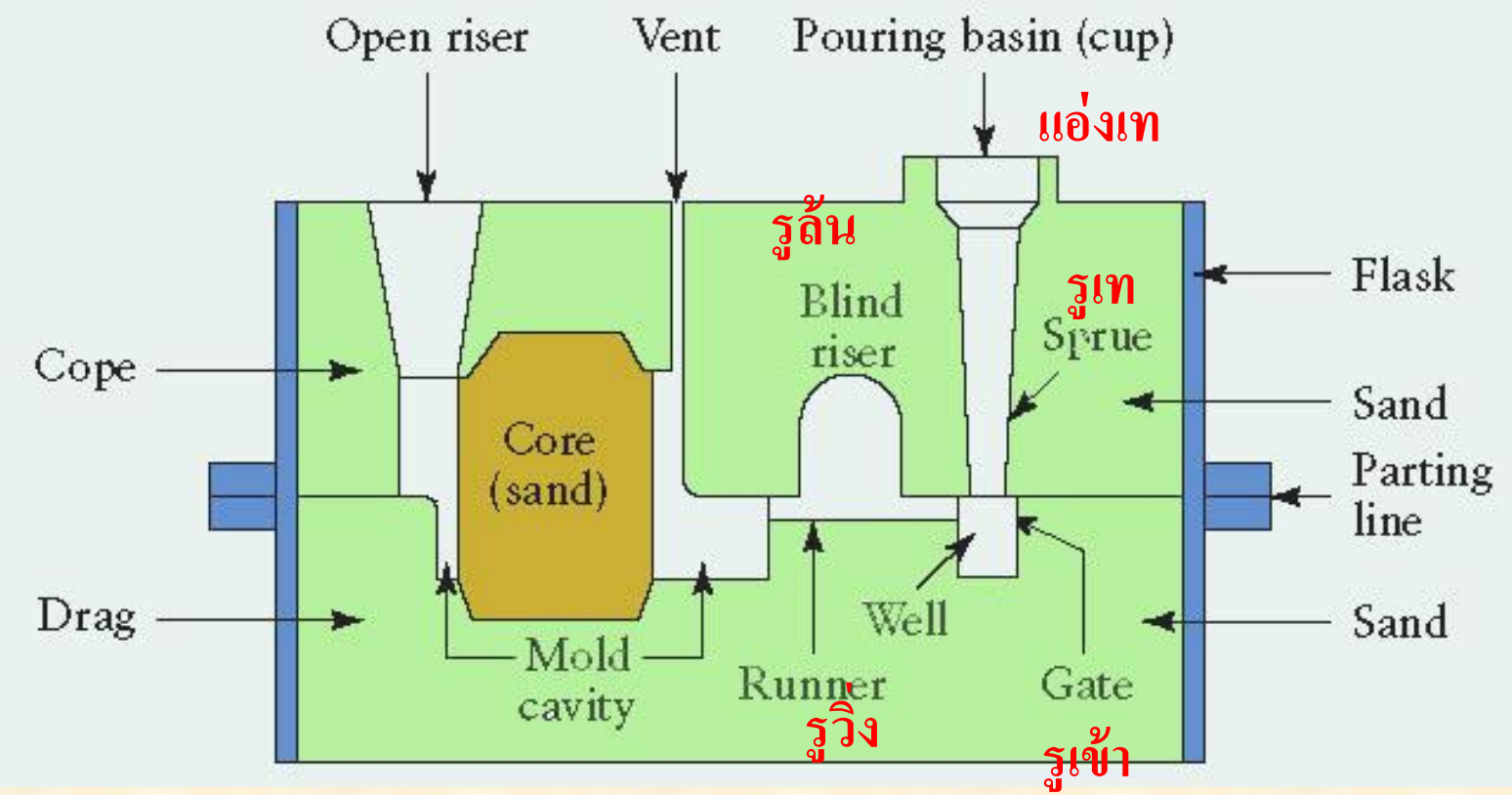


รูปที่ 4.8 แสดงการถอดกระสวนออกจากแบบหล่อทราย

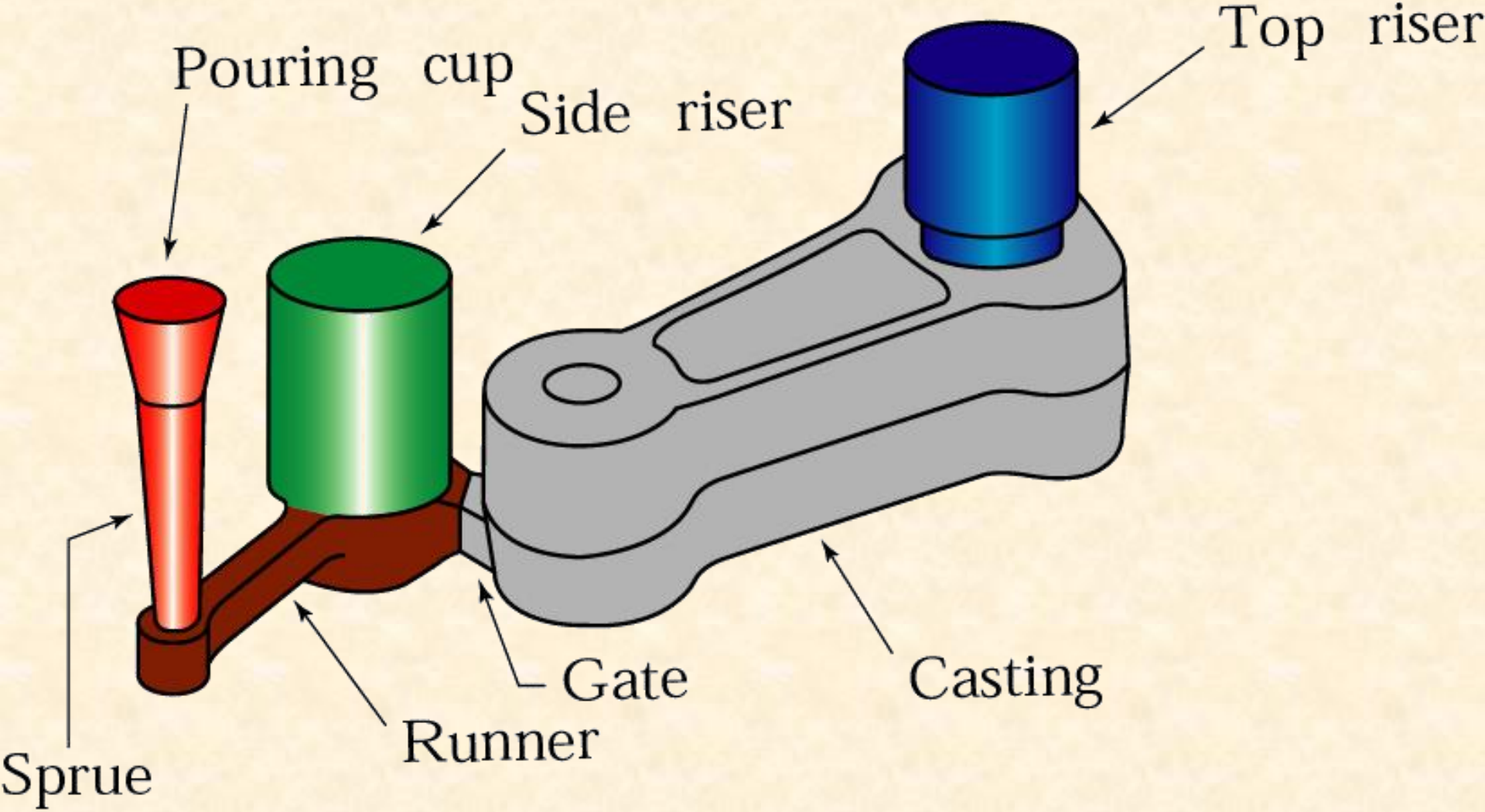


- กระสวนชิ้นเดียว (Single Type Pattern)
- กระสวนแยกได้ (Split Pattern)
- กระสวนครึ่งของจริง (Half Pattern) ชิ้นงานที่ส่วนบนและส่วนล่างเหมือนกัน

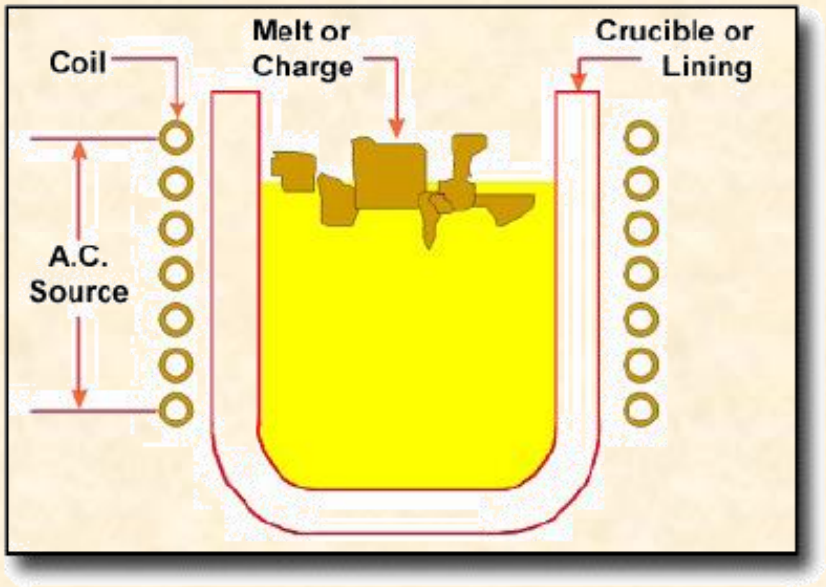
Features of a Sand Mold



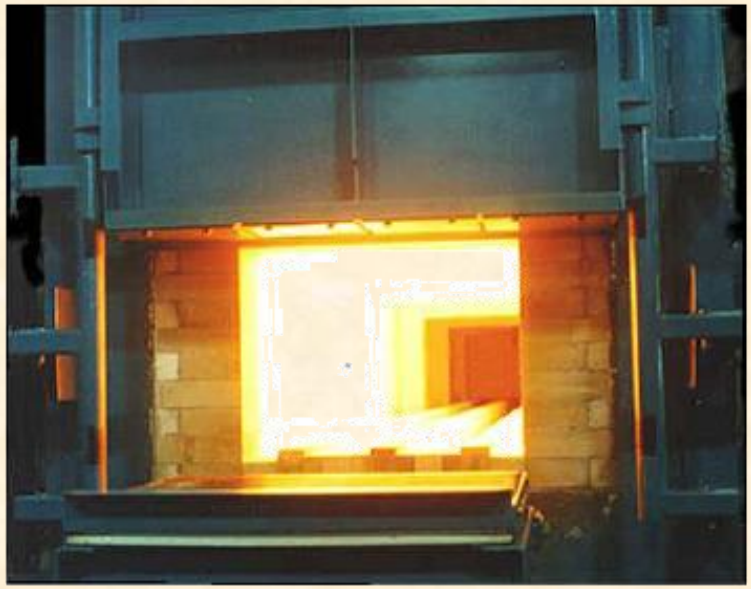
•**Schematic illustration of a sand mold, showing various features.**


Pouring cup
Side riser
Top riser
Sprue
Runner
Gate
Casting

Electric Furnaces



Induction Furnace



Electric Furnace

ทรายหล่อ (Green Sand)

ต้องเติมตัวประสาน (Binders)

เบนโทไนท์ หรือแป้ง หรือเดกซ์ทรีน (Dextrine)

ตัวประสานพิเศษ น้ำแก้ว (Water Glass) เรซิน (Resins) หรือซีเมนต์ (Cement)

ใช้ผงถ่านหิน ผงยางมะตอย ผงถ่านโค้ก หรือผงกราไฟท์ ประมาณ 1% ผสมกับทรายหล่อ เพื่อทำให้ผิวงานหล่อมีความละเอียด สามารถถอดแบบออกได้ง่าย

คุณสมบัติของทรายหล่อ

ขึ้นรูปได้ง่าย

เม็ดทรายต้องมีขนาดพอเหมาะ

ราคาถูก

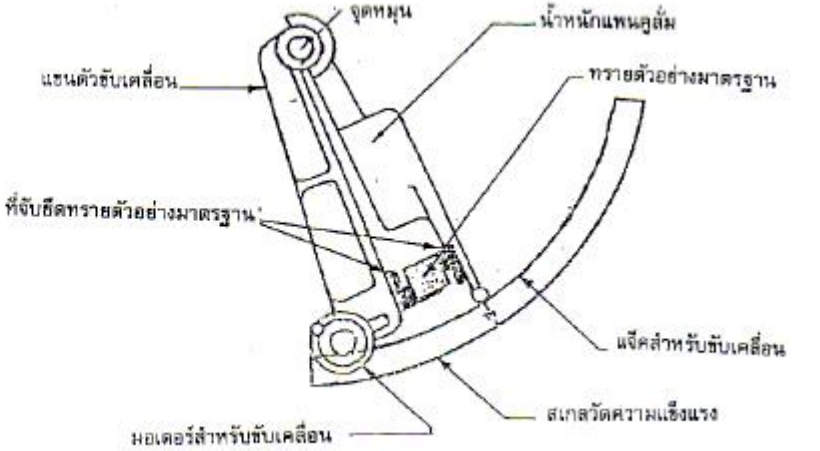
กลับมาใช้ได้อีก

ไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมี เมื่อกระทบหรือสัมผัสกับน้ำโลหะ

ก๊าซไหลผ่านออกได้สะดวก

ทนความร้อนจากน้ำโลหะ เช่น เหล็กเหนียวหล่อประมาณ 1,500°-1,550°C

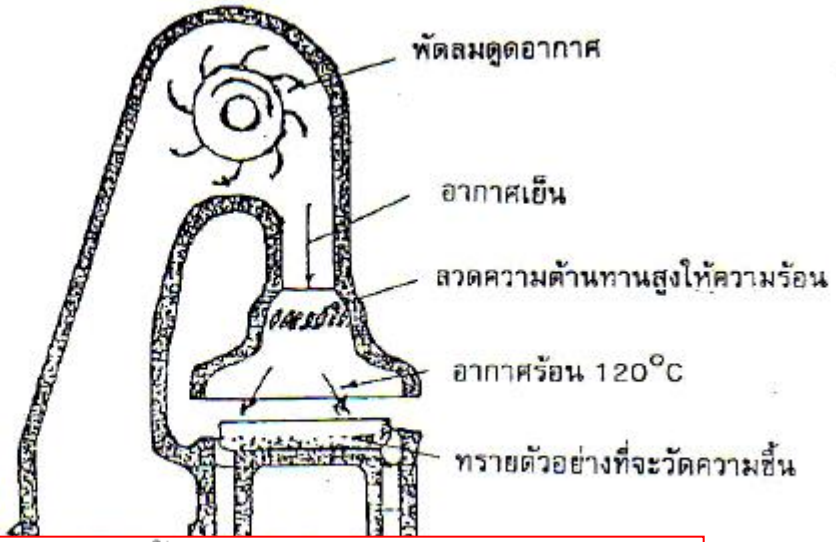
การทดสอบทรายหล่อ (Sand Testing)



การทดสอบความแข็งแรงของทราย (Sand Strength Test)

การวัดหาความละเอียดของเม็ดทราย (Fineness Test)

การวัดหาปริมาณของดินเหนียว (Clay-Content Test)

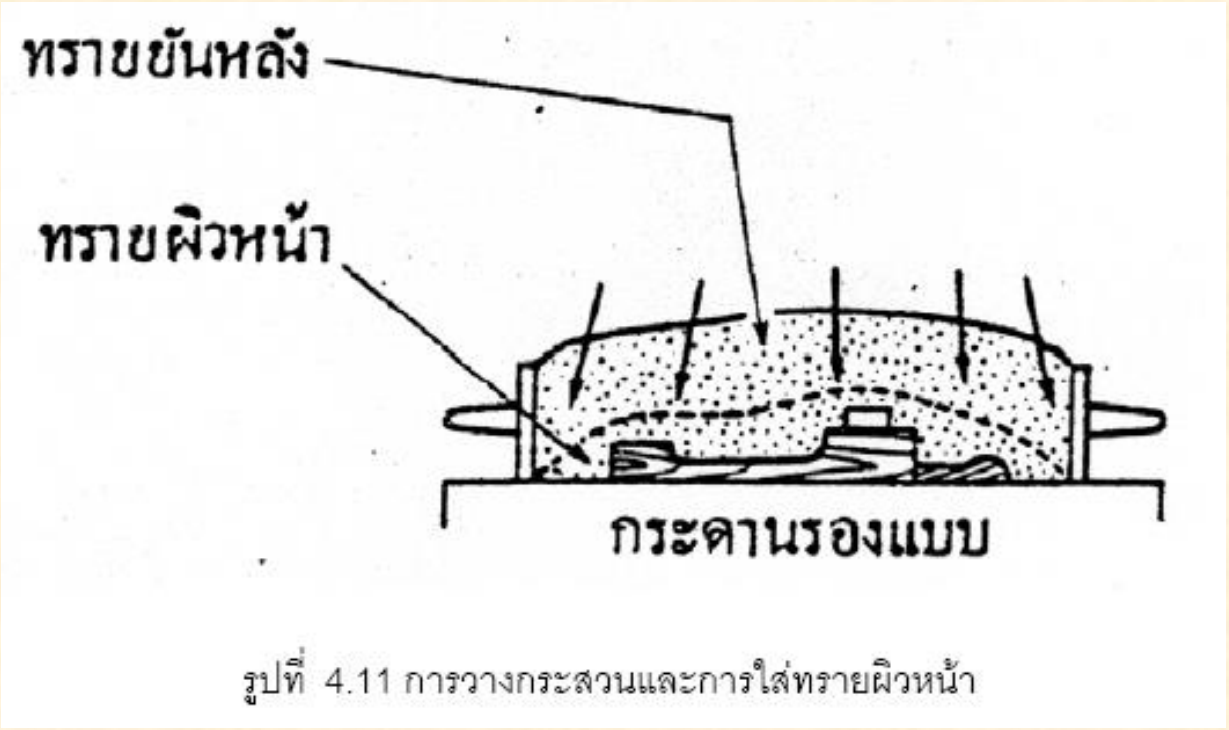


การทดสอบหาปริมาณน้ำในทราย (Moisture Content)

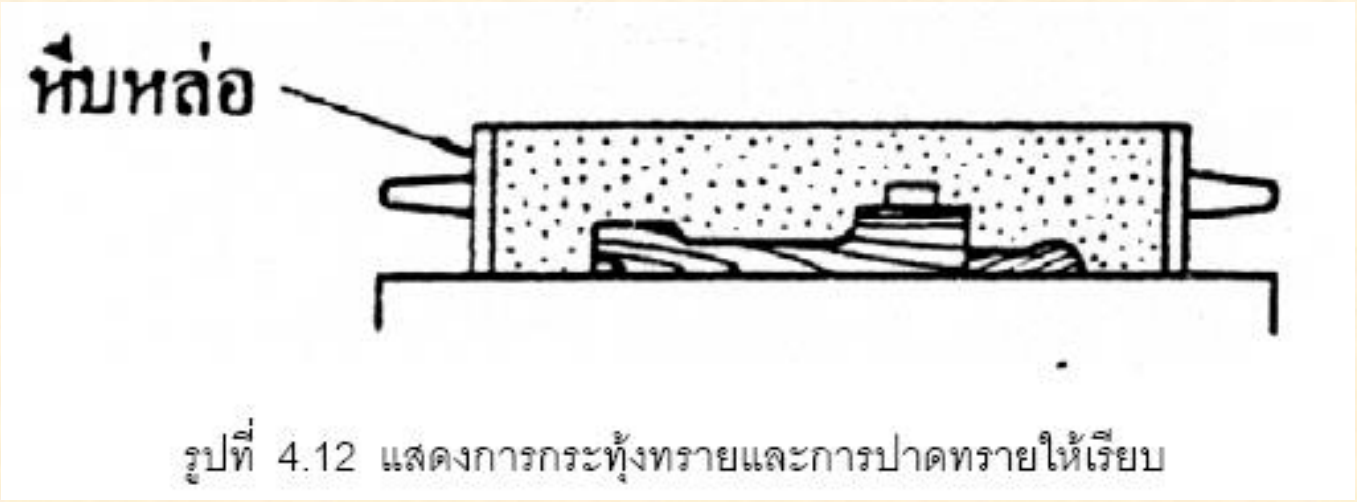
ภาพที่ 2 Mould permeability accessory, Sand rammer and Compactability tester

การทดสอบความโปร่งอากาศ (Permeability Test)

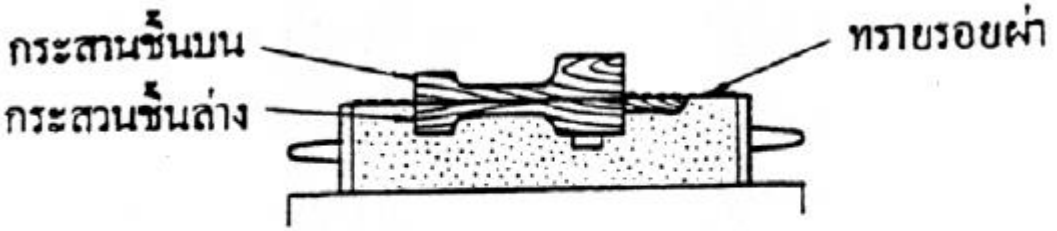
แบบหล่อทราย (Sand Molding)



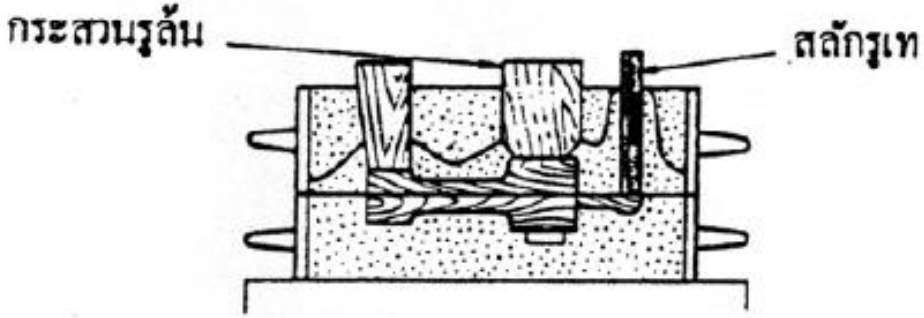
รูปที่ 4.11 การวางกระสวนและการใส่ทรายผิวหน้า



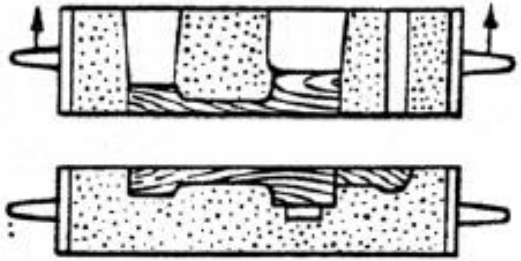
รูปที่ 4.12 แสดงการกระทุ้งทรายและการปาดทรายให้เรียบ



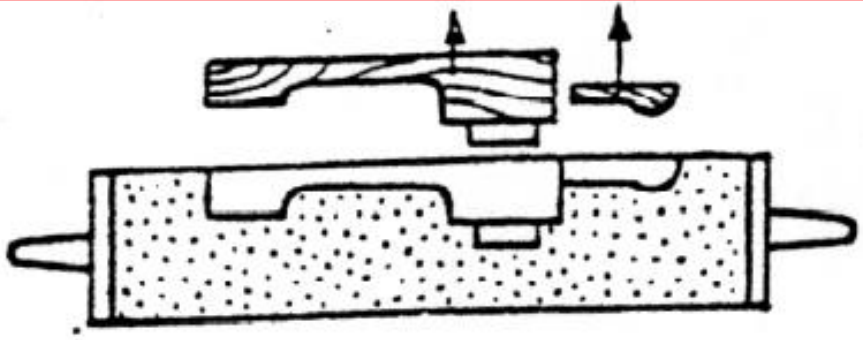
รูปที่ 4.13 การวางกระสวนครึ่งหลัง



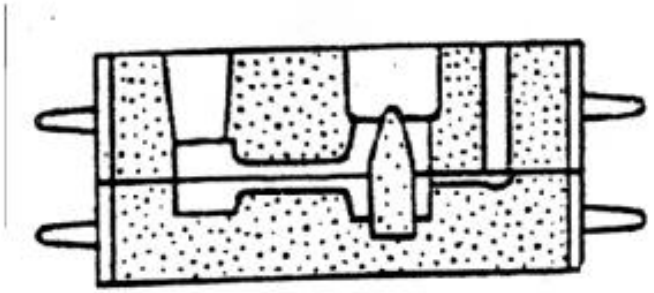
รูปที่ 4.14 แสดงการวางรูเท รูล้น และการทำแบบหล่อบน



รูปที่ 4.15 แสดงการถอดแบบหล่อบน



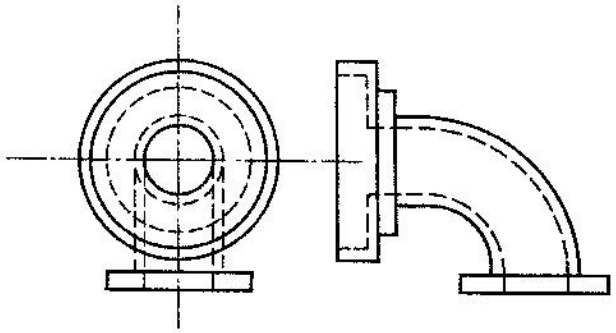
รูปที่ 4.16 แสดงการดึงกระสวน การวางใส่แบบ



รูปที่ 4.17 แสดงการประกอบแบบหล่อ

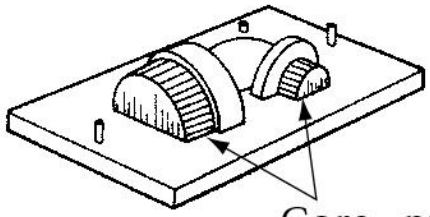
Steps in Sand Casting

(a)



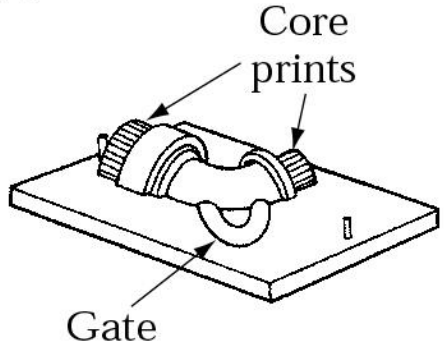
Mechanical drawing of part

(b)



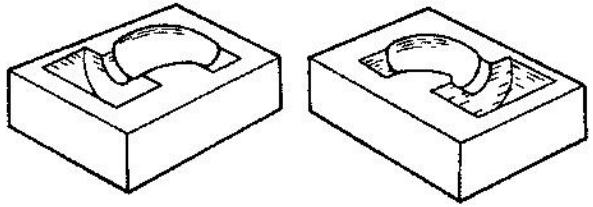
Cope pattern plate

(c)



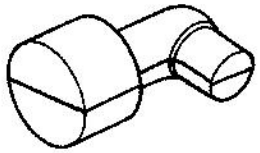
Drag pattern plate

(d)



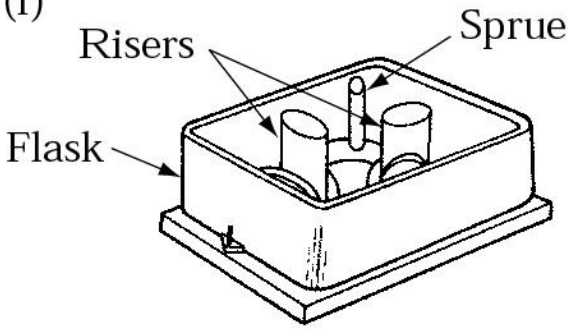
Core boxes

(e)



Core halves
pasted together

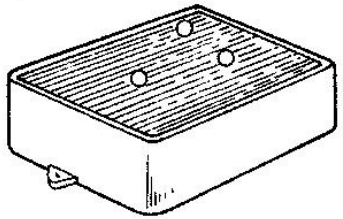
(f)



Cope ready for sand

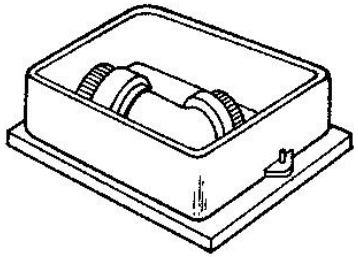
Steps in Sand Casting

(g)



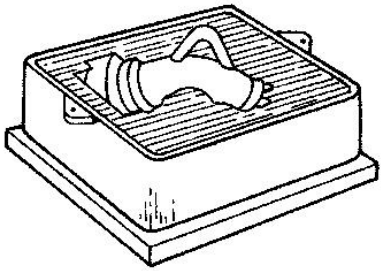
Cope after ramming with sand and removing pattern, sprue, and risers

(h)



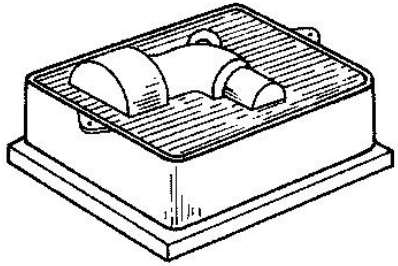
Drag ready for sand

(i)



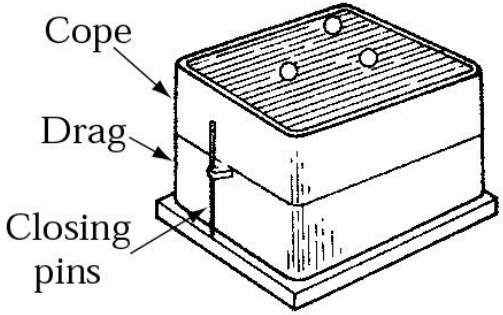
Drag after removing pattern

(j)



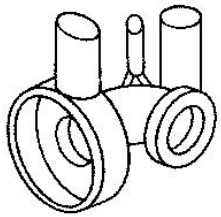
Drag with core set in place

(k)



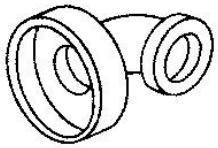
Cope and drag assembled ready for pouring

(l)



Casting as removed from mold; heat treated

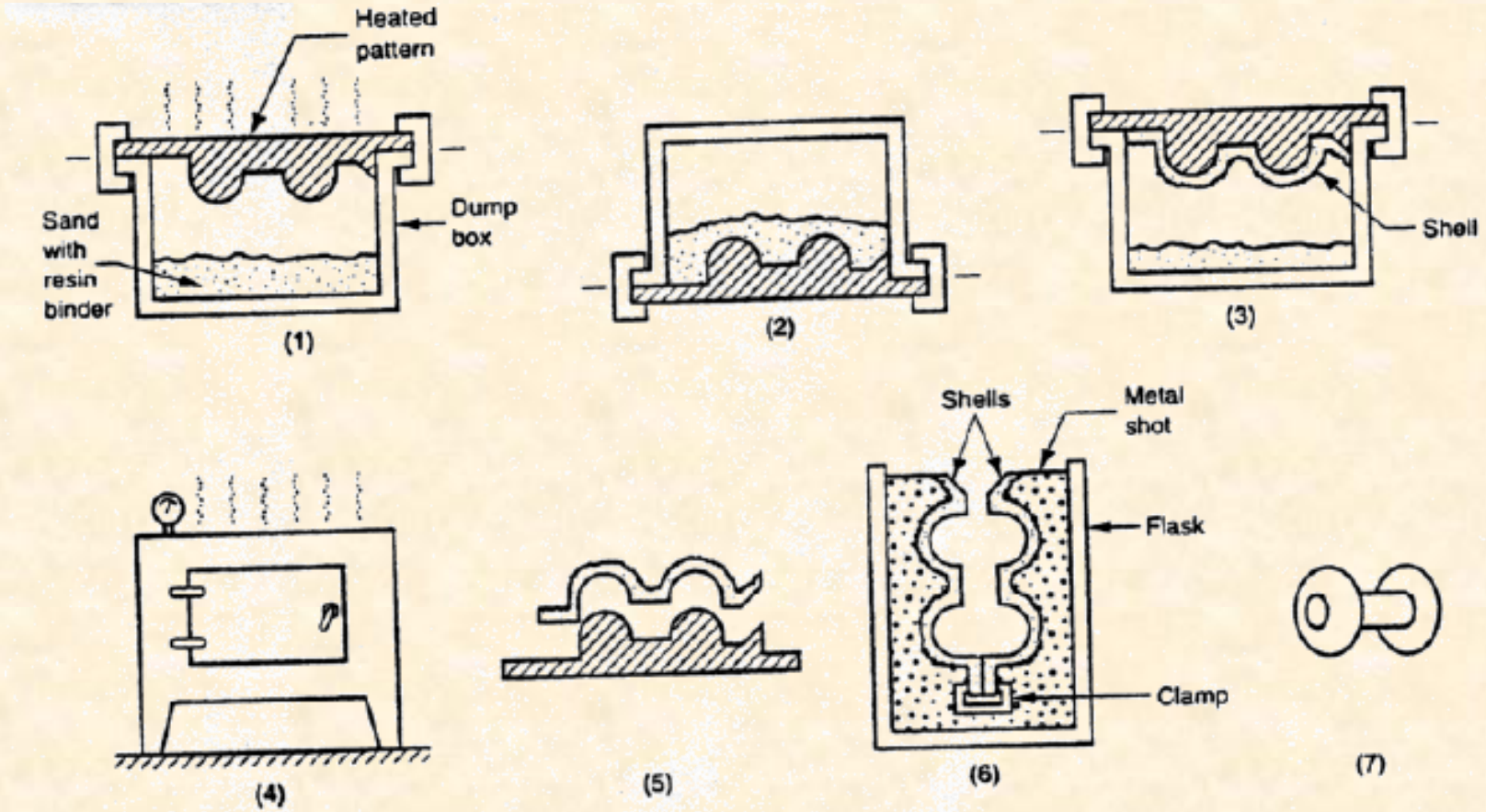
(m)



Casting ready for shippement

กระบวนการหล่อด้วยกรรมวิธีอื่น ๆ (Other Expendable Mold Casting Processes)

แบบหล่อเปลือก (Shell Molds)



รูปที่ 4.18 แสดงขั้นตอนการสร้างแบบหล่อเปลือก

Shell Casting

Dump-Box Technique

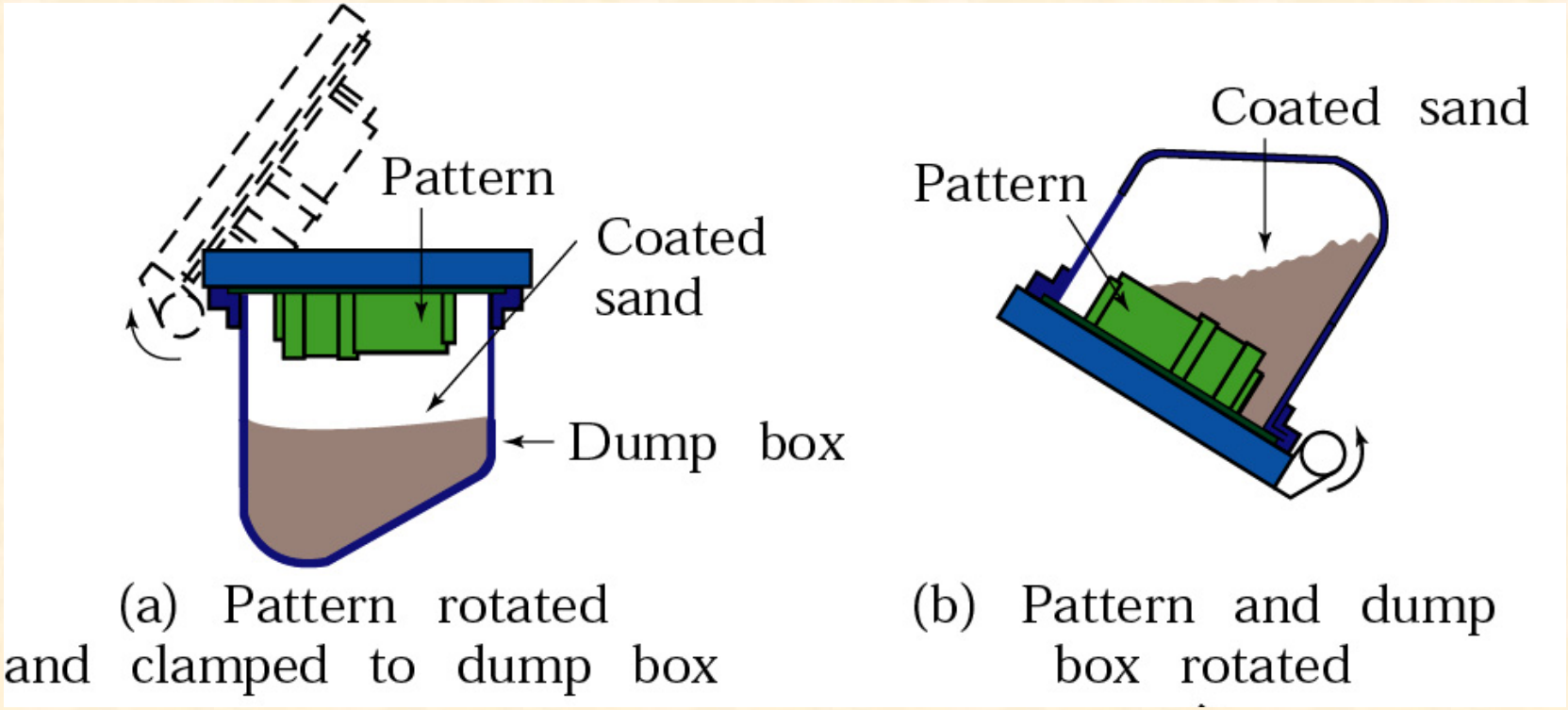
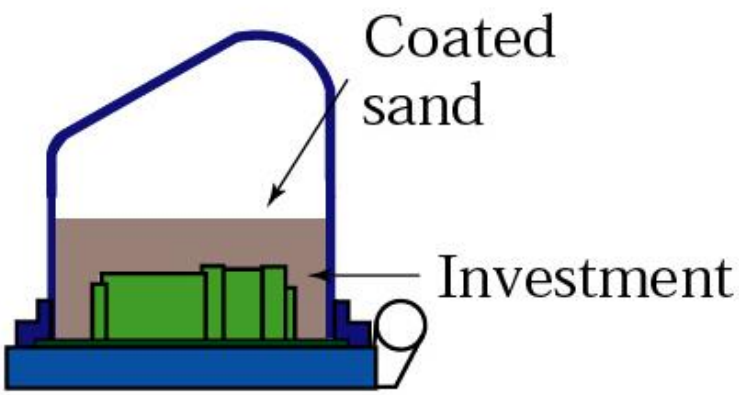


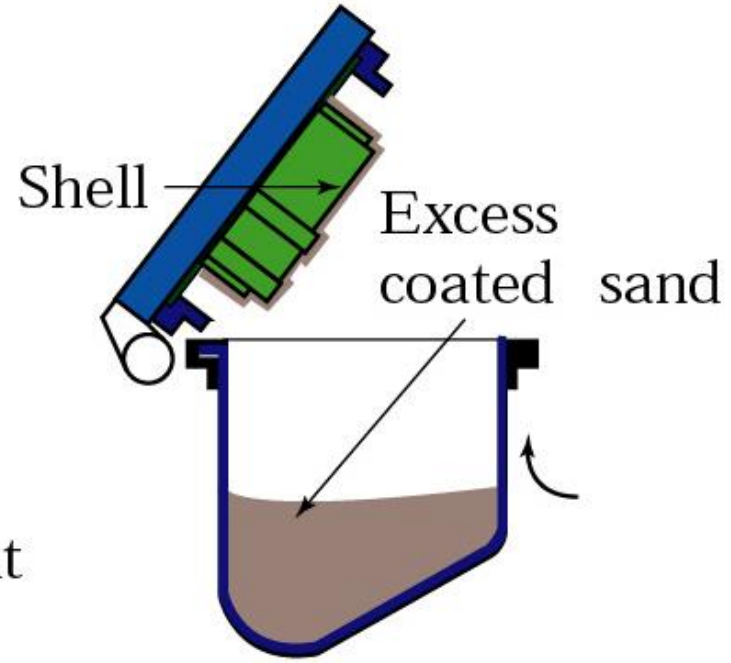
Figure 11.13 A common method of making shell molds. Called *dump-box* technique, the limitations are the formation of voids in the shell and peelback (when sections of the shell fall off as the pattern is raised). *Source*: ASM International.

Shell Casting

Dump-Box Technique

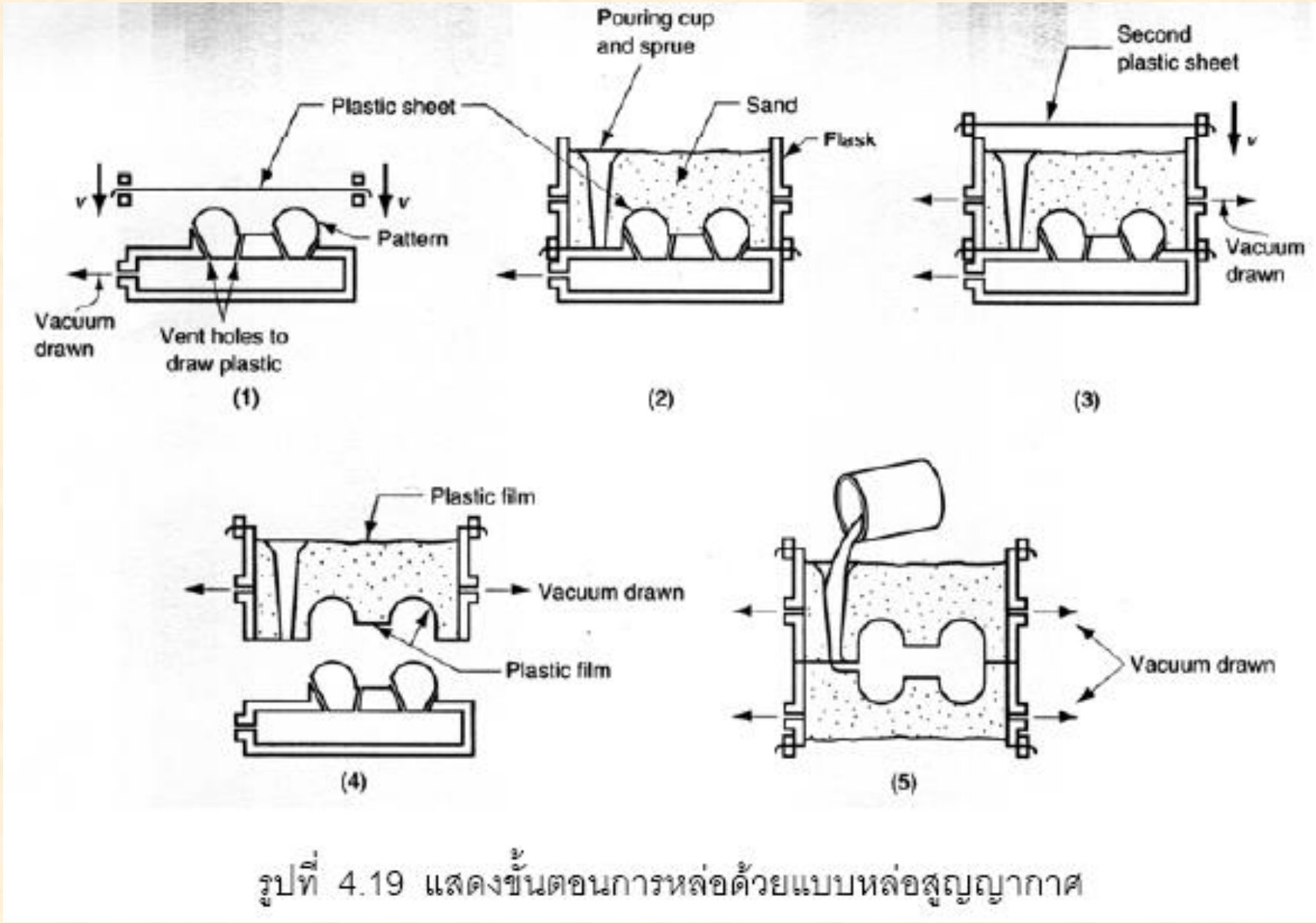


(c) Pattern dump box in position for the investment



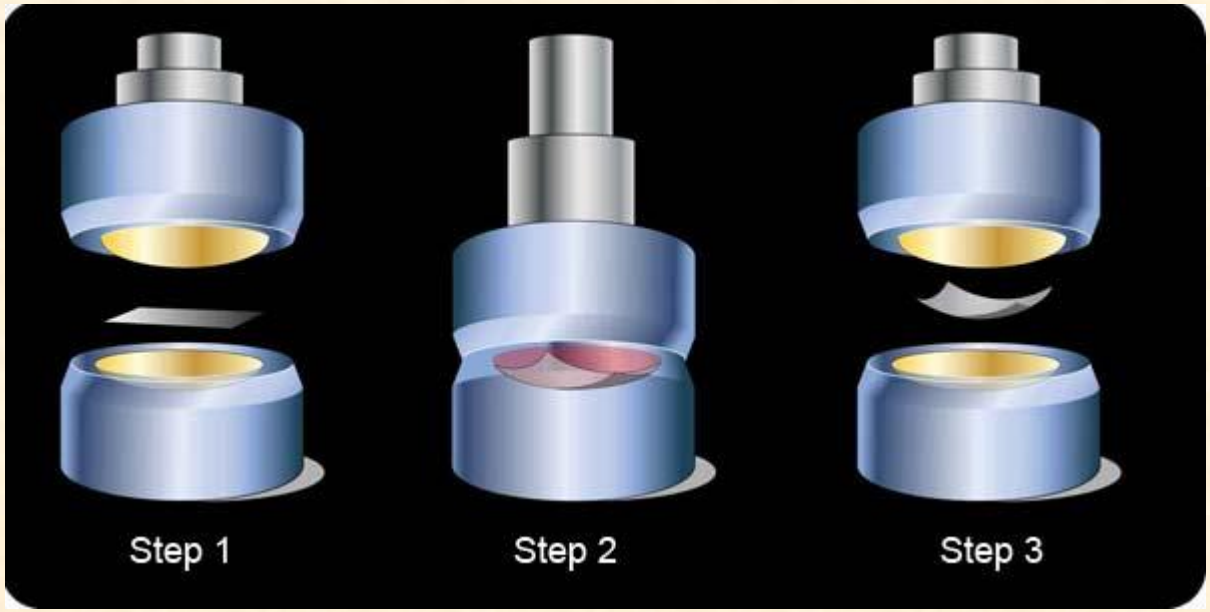
(d) Pattern and shell removed from dump box

วิธีการหล่อแบบหีบร้อน (Hot Box Method)



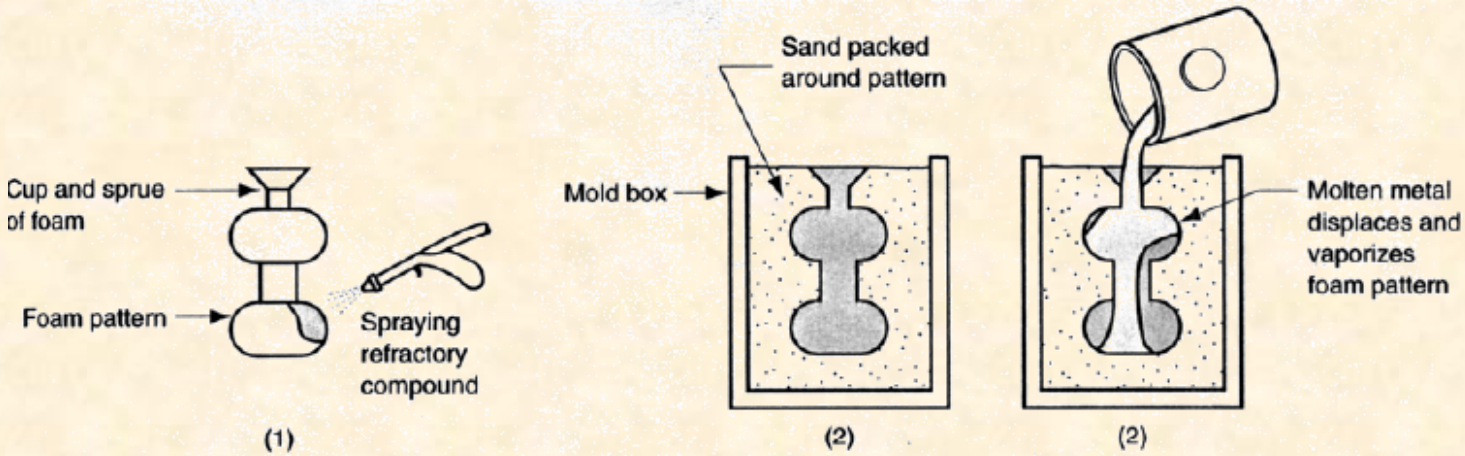
รูปที่ 4.19 แสดงขั้นตอนการหล่อด้วยแบบหล่อสูญญากาศ

แบบหล่อสูญญากาศ (Vacuum Molding)



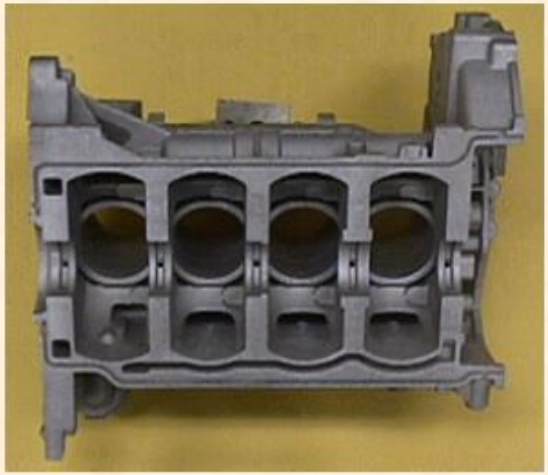
V-Process

แบบหล่อโพลีเอทีรีน (Expanded Polystyrene Process)



รูปที่ 4.20 แสดงขั้นตอนการหล่อโดยการใช้กระสวนโฟม

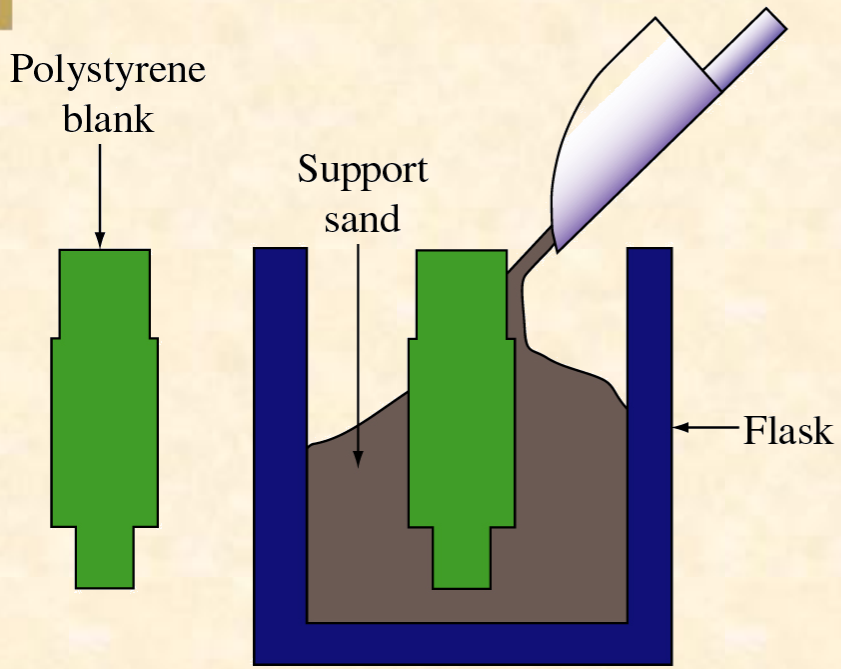
Lost Foam Castings

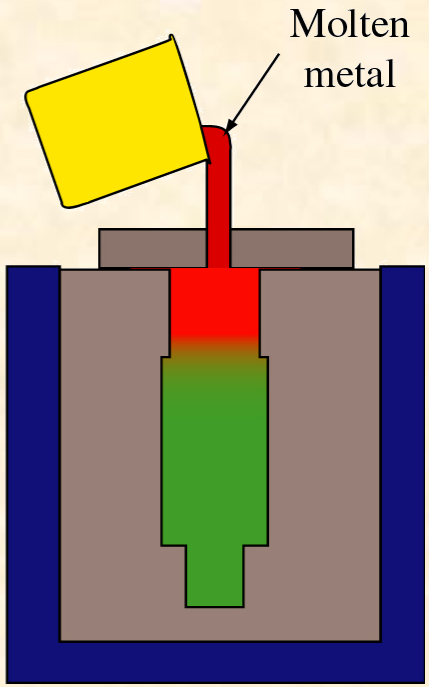


(a)

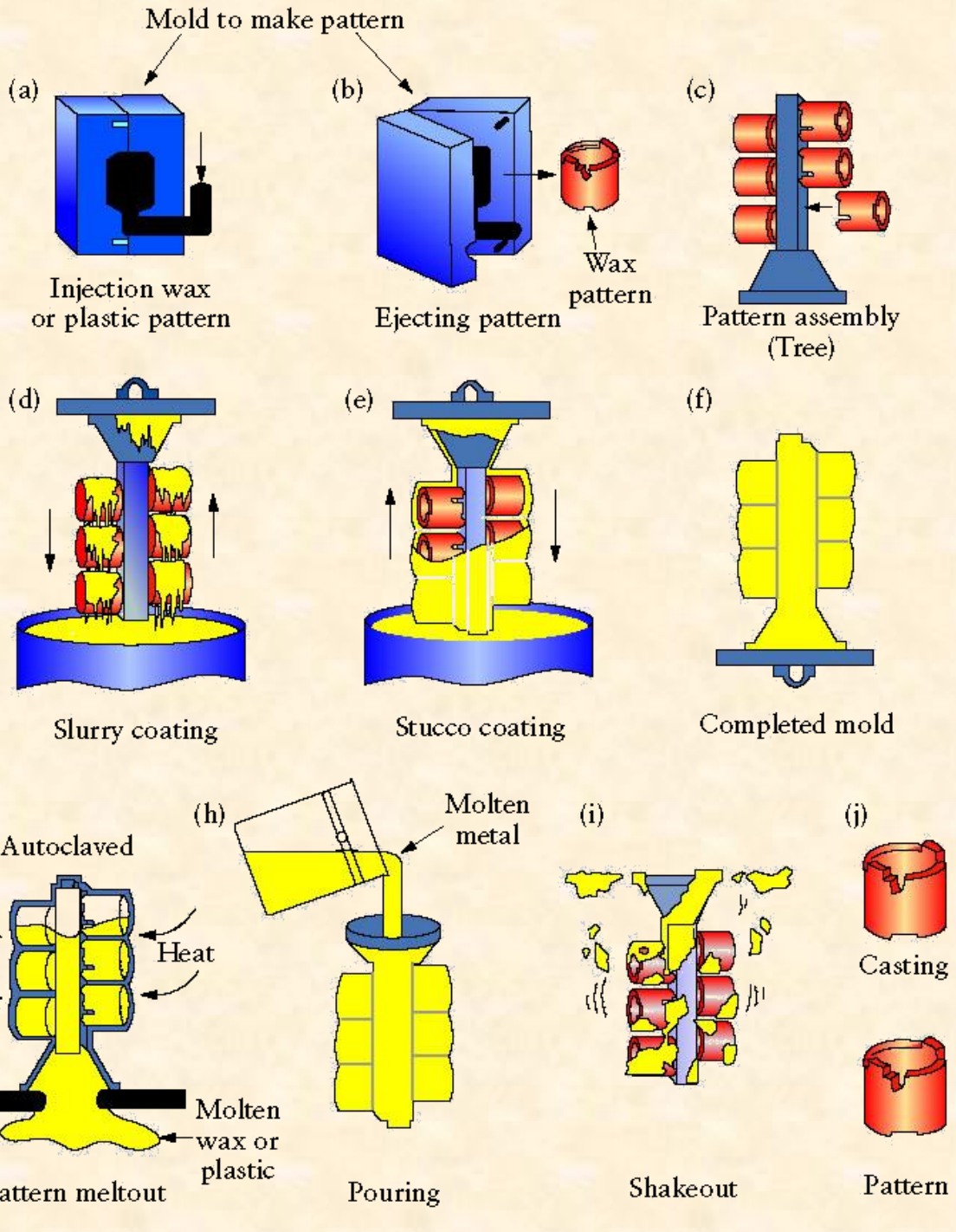
(b)

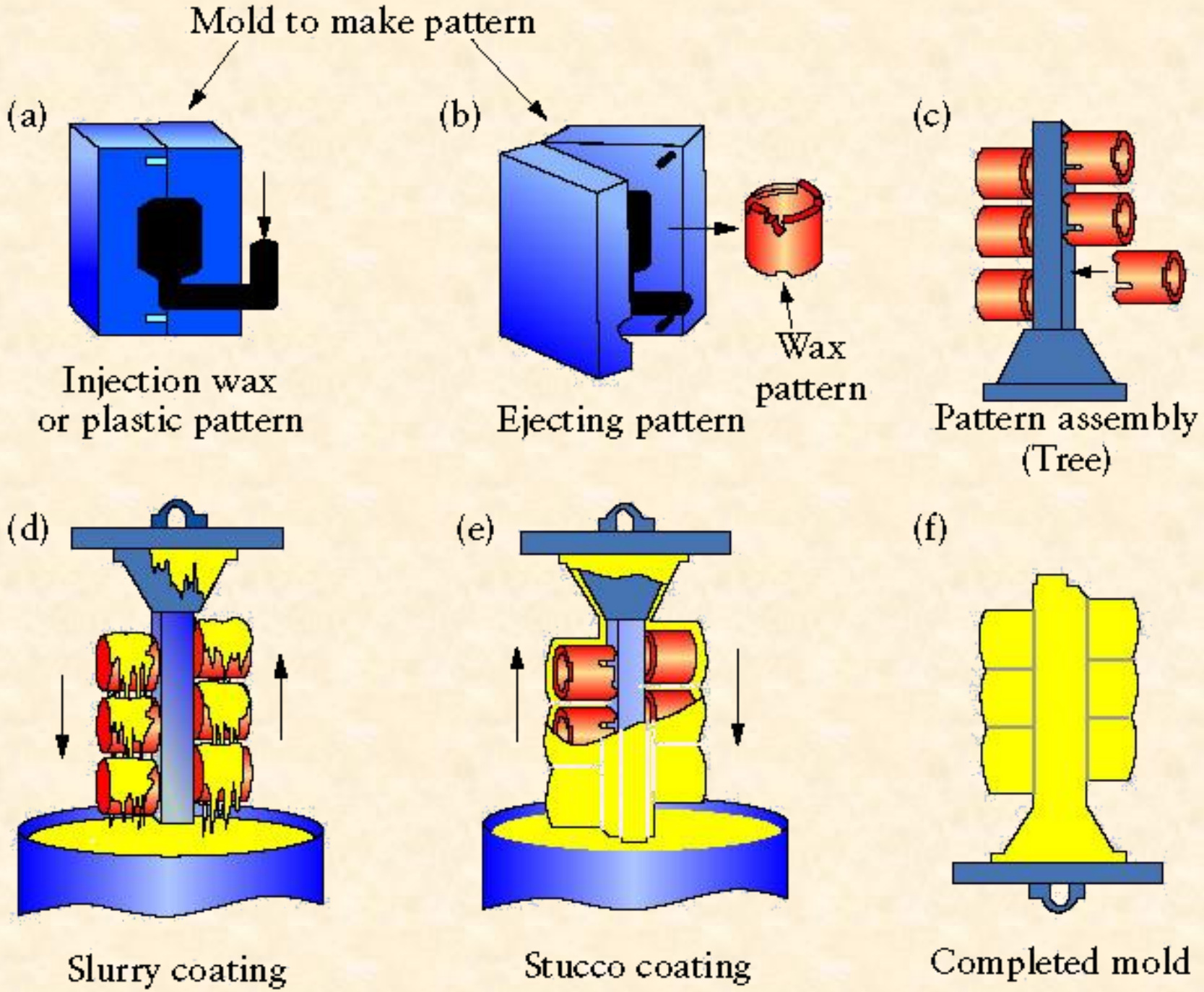
(c)

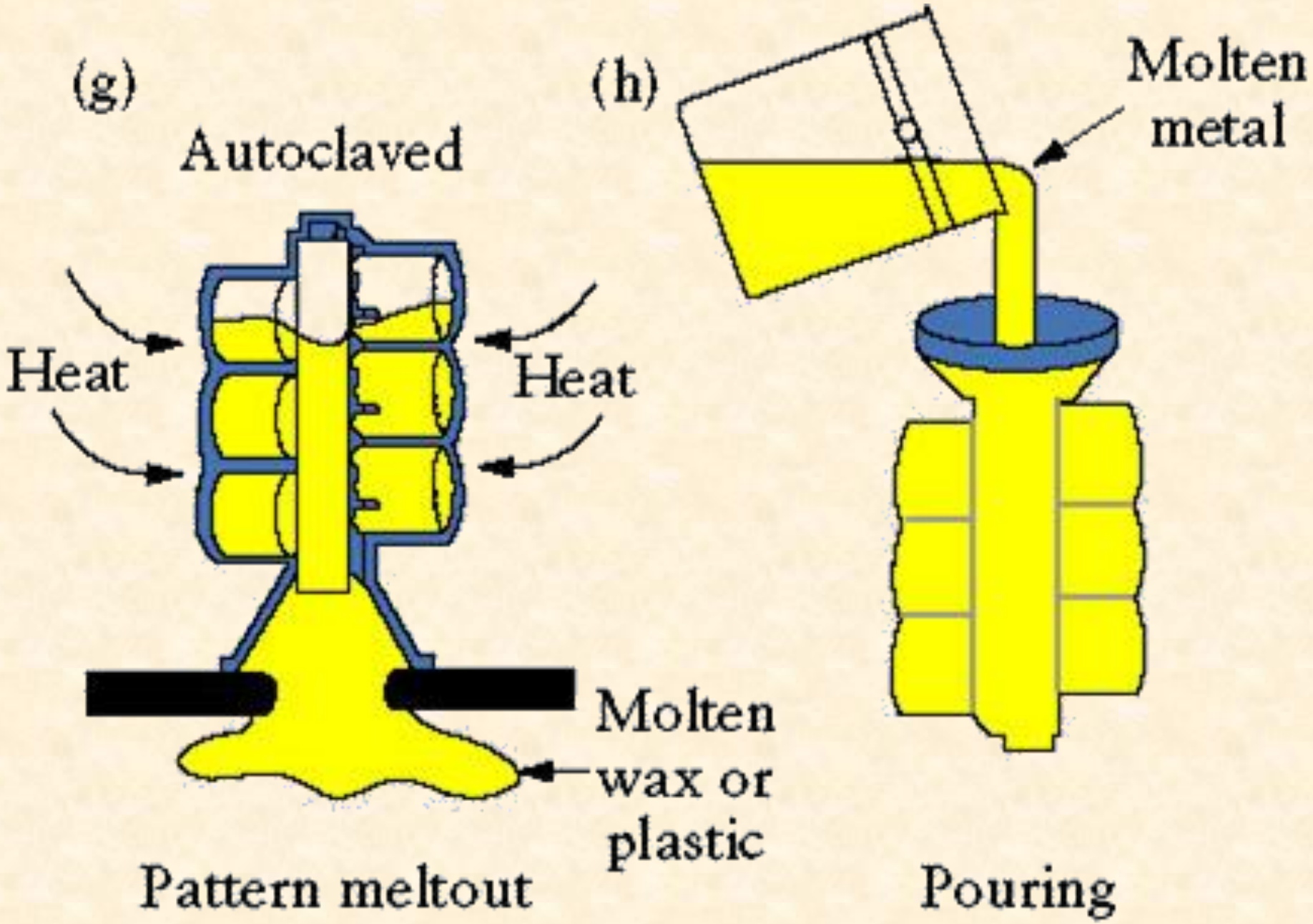




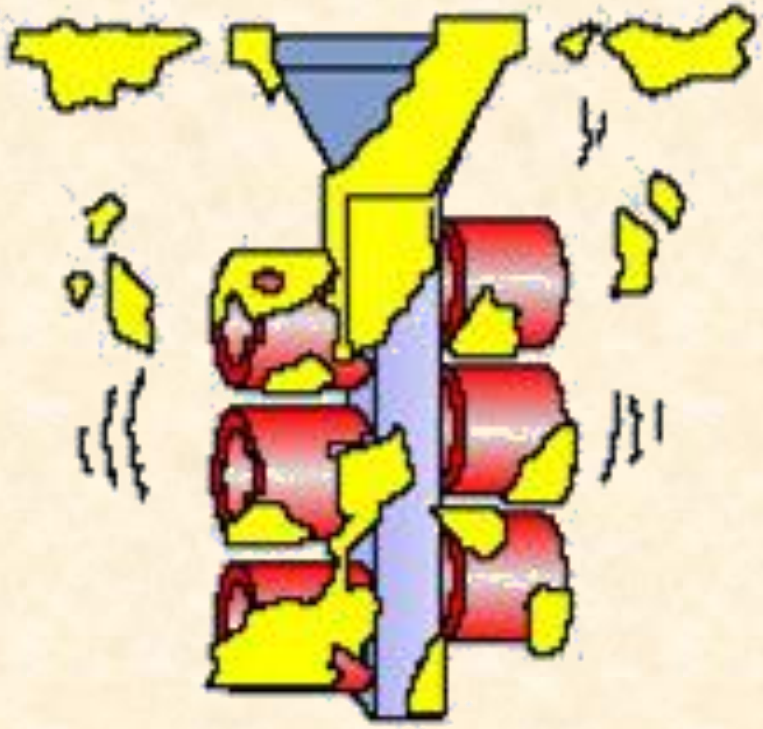
การหล่อแบบอินเวสท์เมนท์ (Investment Casting)




Mold to make pattern
(a)
(b)
(c)
Injection wax
or plastic pattern
Wax
pattern
Ejecting pattern
Pattern assembly
(Tree)
(d)
(e)
(f)
Slurry coating
Stucco coating
Completed mold


(g)
Autoclaved
Heat
Heat
Molten
wax or
plastic
Pattern meltout
(h)
Molten
metal
Pouring

(i)



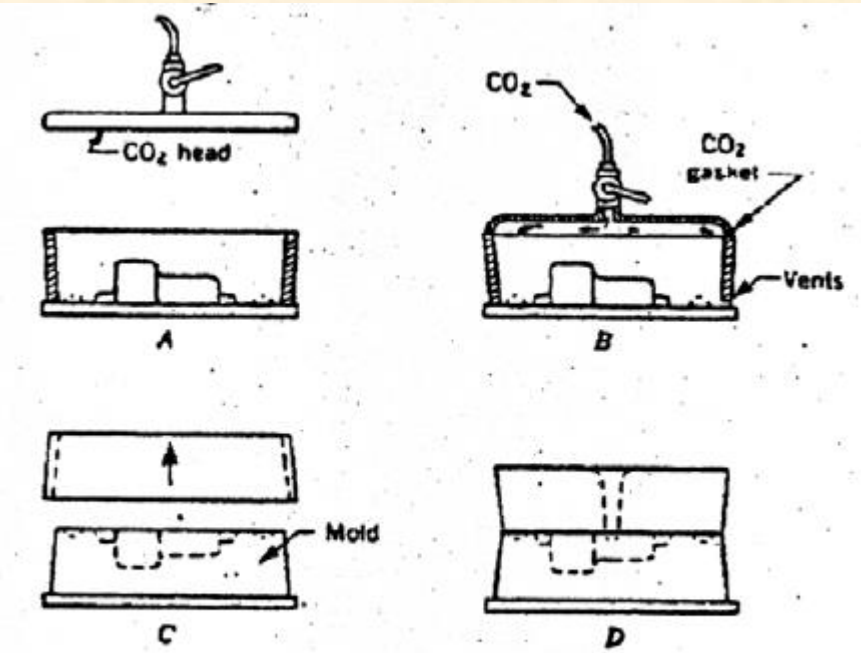
Shakeout

(j)

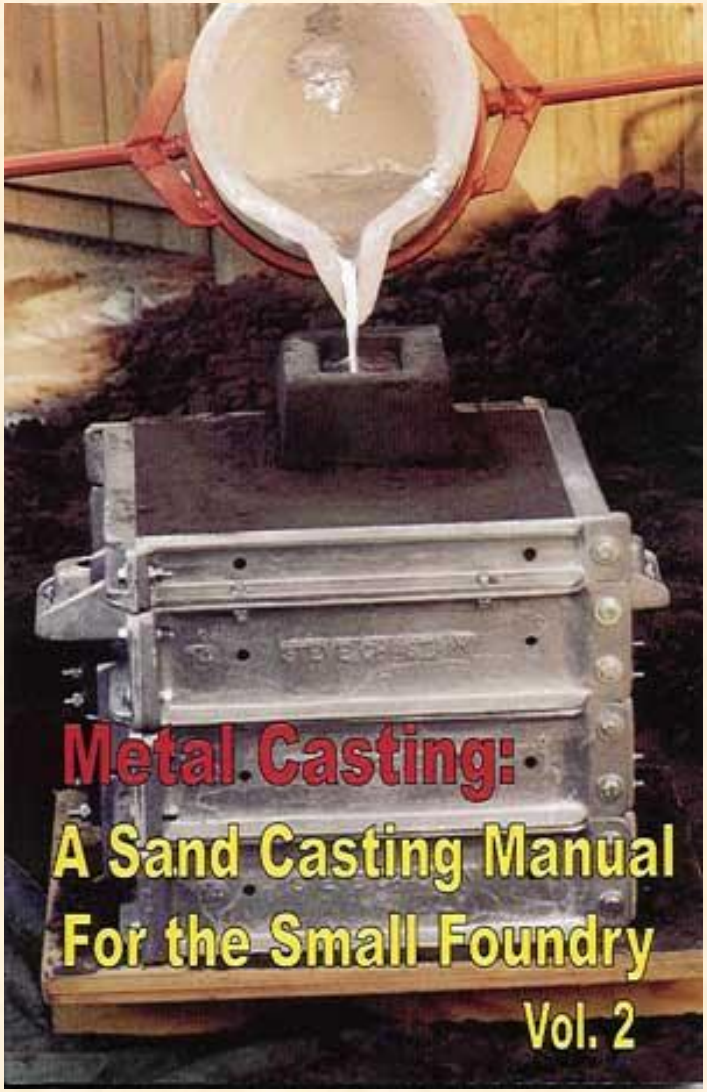
Casting

Pattern

แบบหล่อคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2 Mold Process)

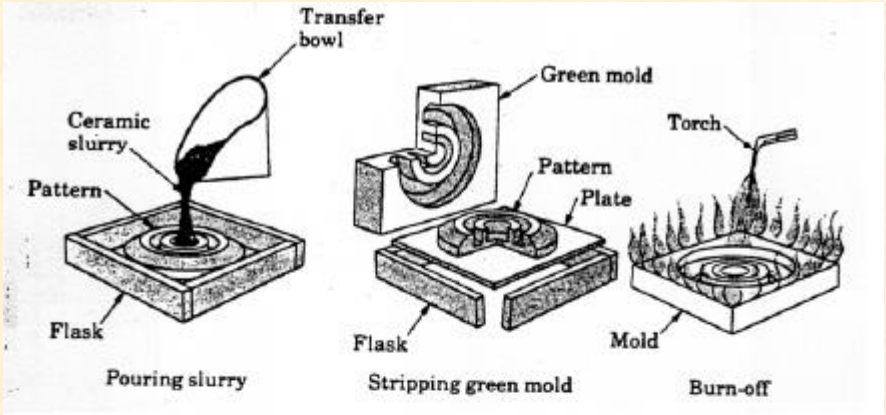


รูปที่ 4.22 แสดงขั้นตอนการทำแบบหล่อ CO_2

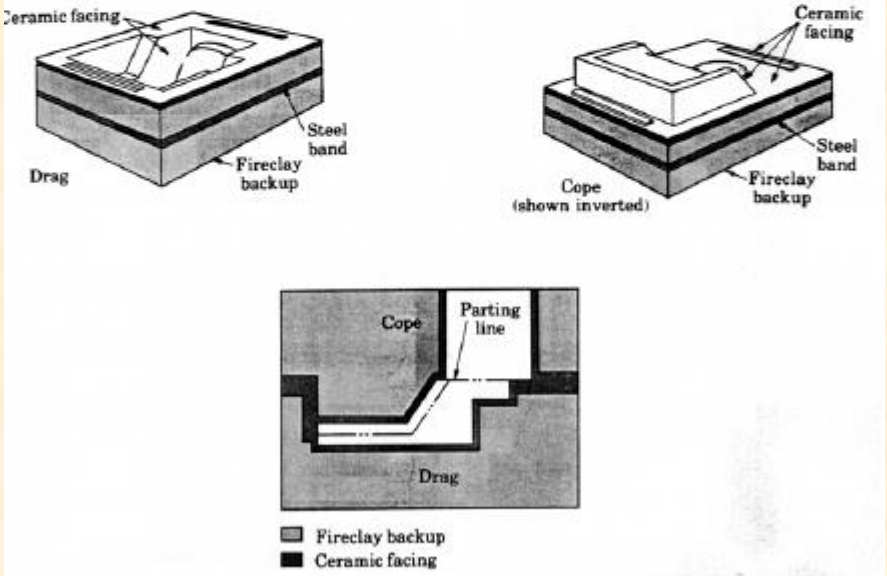


แบบหล่อทรายผสมซีเมนต์ (Sand Mold with Cement Binder)

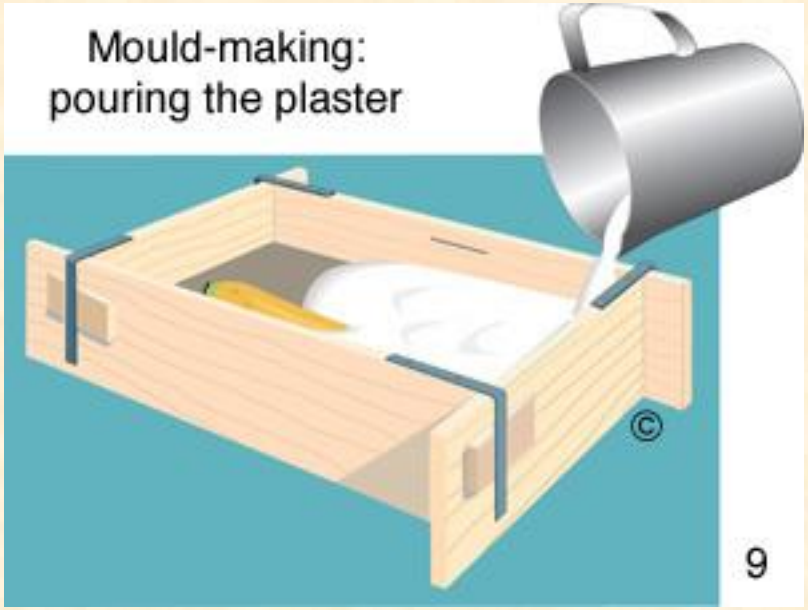
แบบหล่อเซรามิก (Ceramic–Mold Casting)



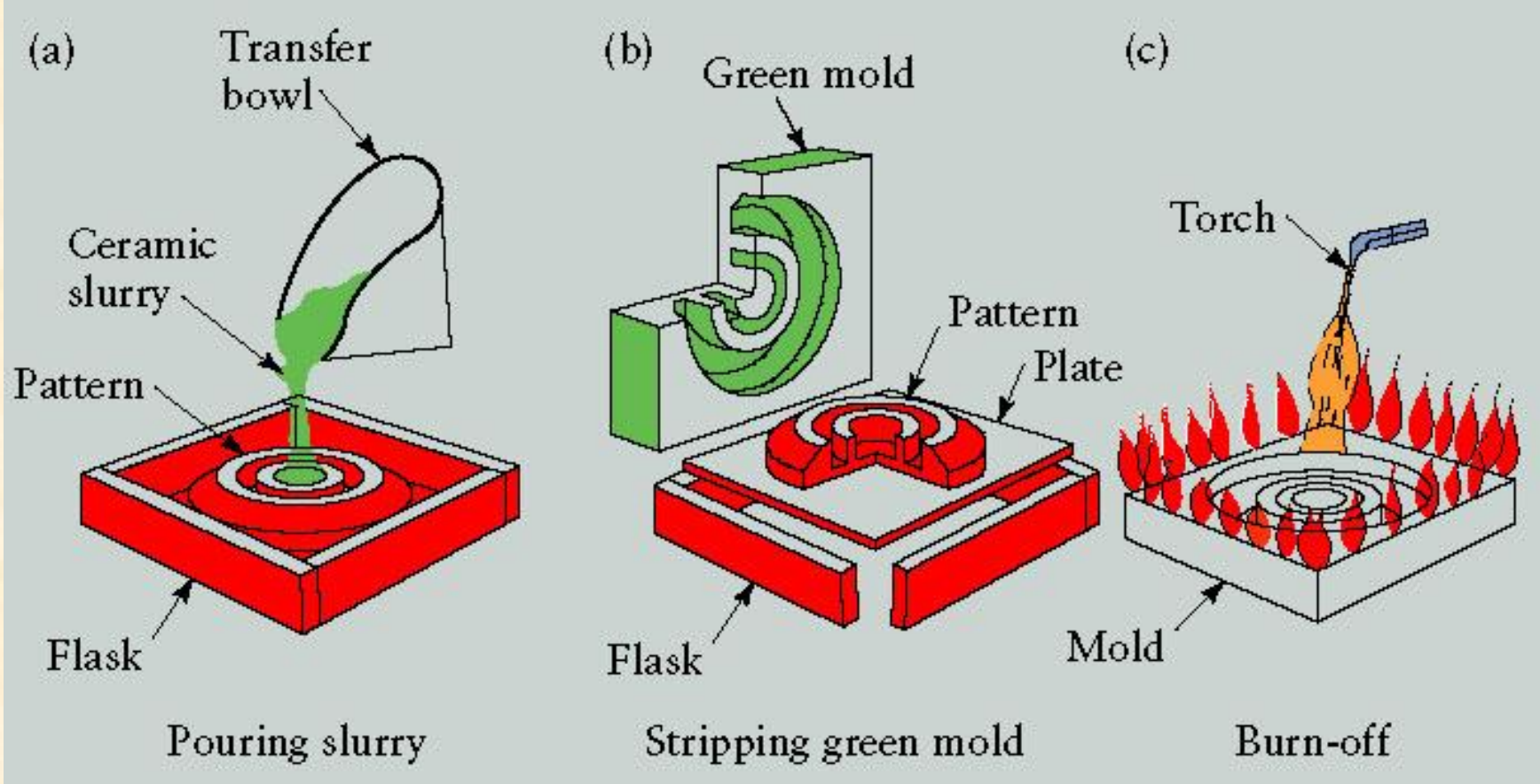
รูปที่ 4.23 แสดงขั้นตอนการทำแบบหล่อเซรามิก



รูปที่ 4.24 แสดงแบบหล่อเซรามิก



Operation Sequence of Making a Ceramic Mold



- **Sequence of operations in making a ceramic mold.**

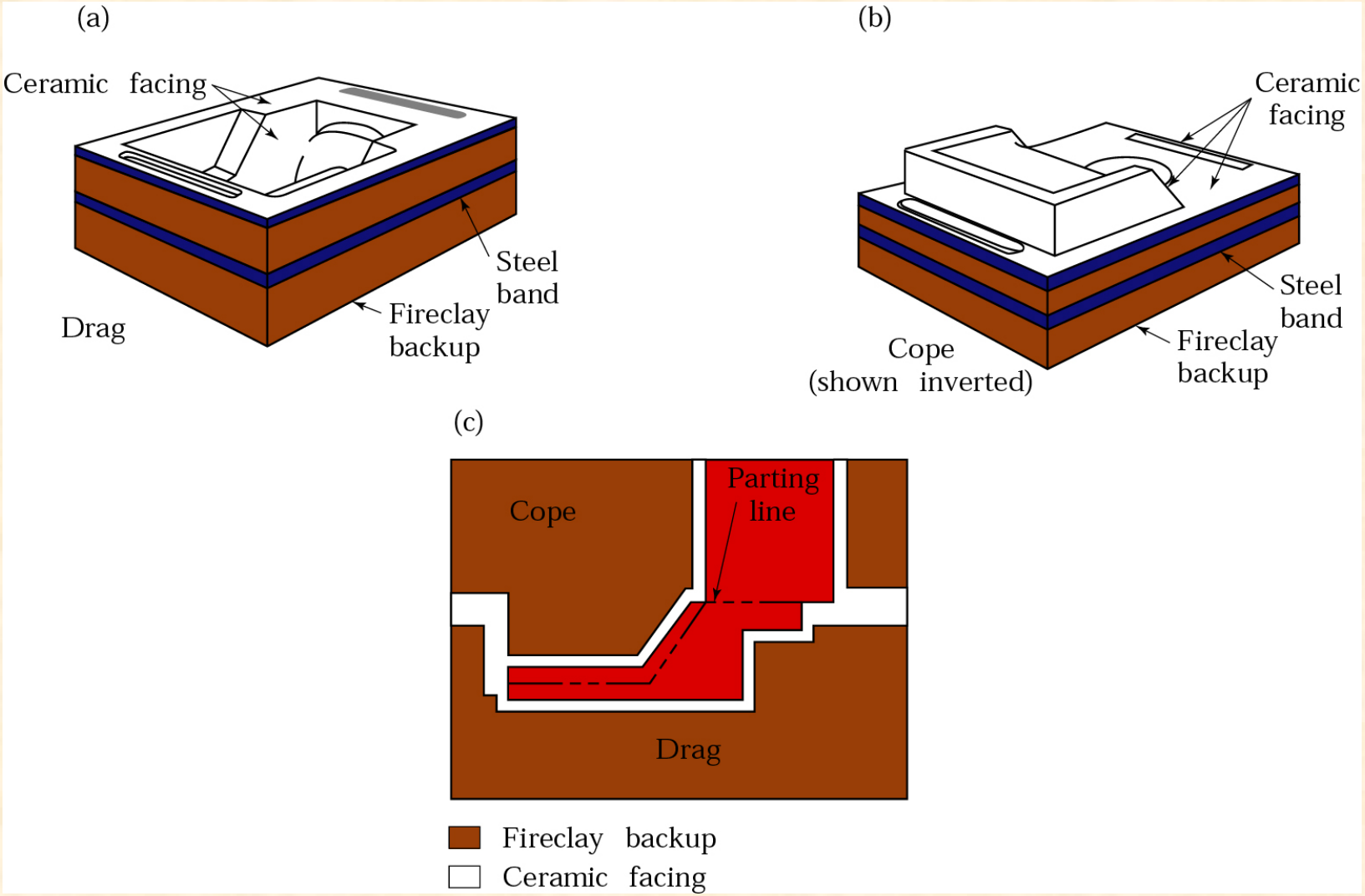
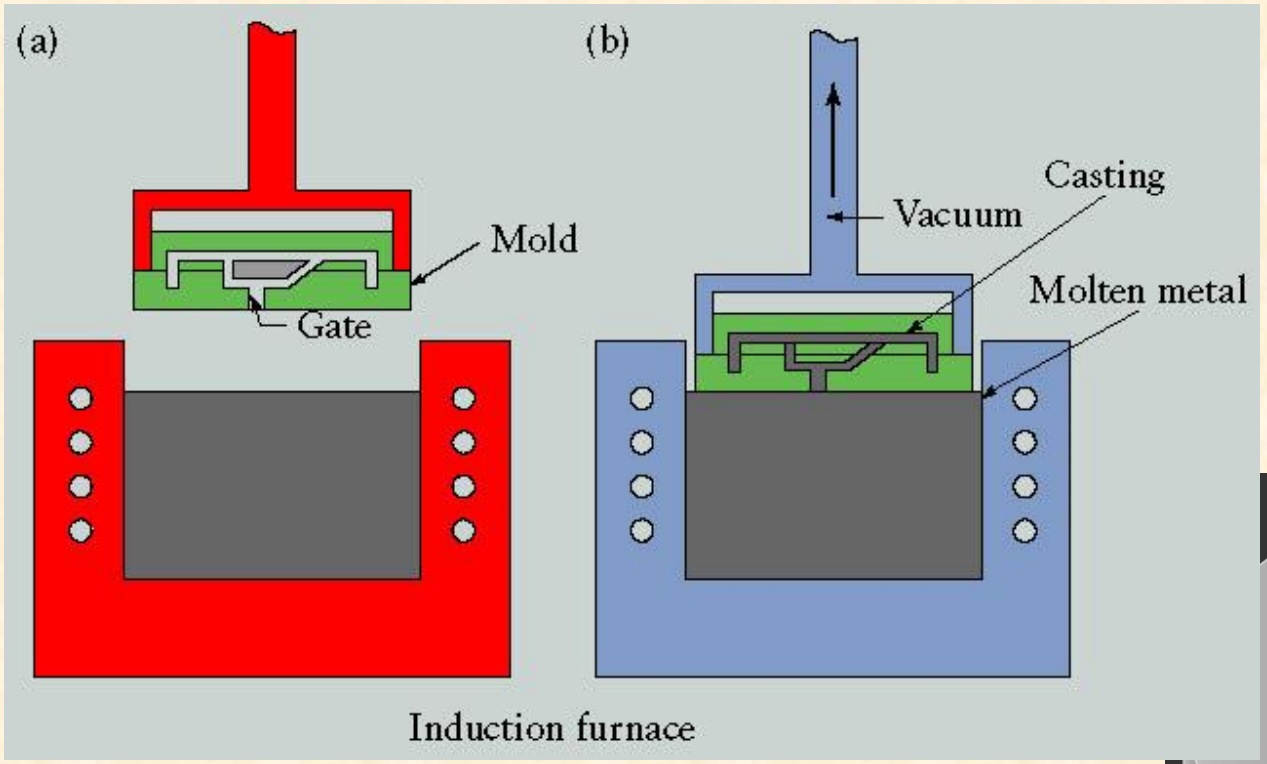
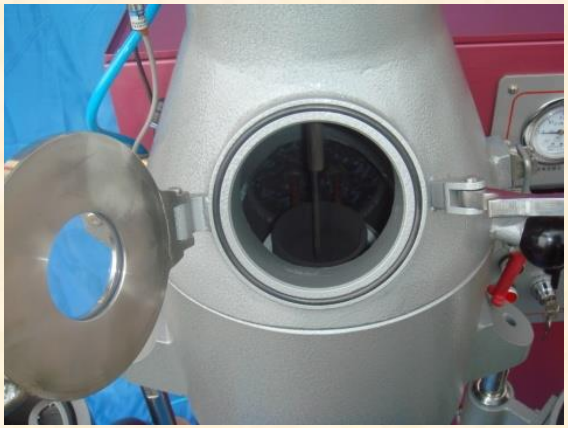
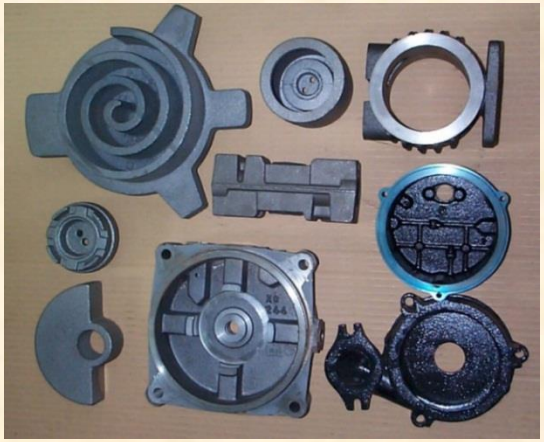


Figure 11.17 A typical ceramic mold (Shaw process) for casting steel dies used in hot forging.

การหล่อวิธีสูญญากาศ (Vacuum Casting)







Die Casting Machine

การหล่อเหวี่ยง (Centrifugal Casting)

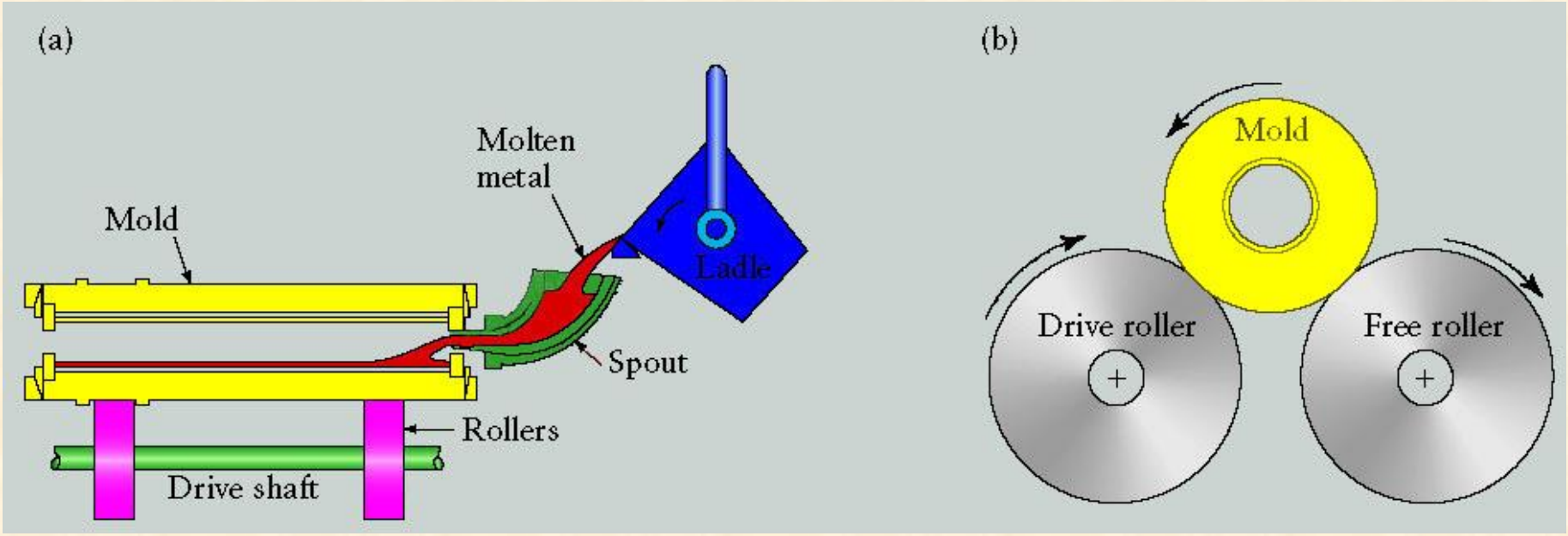
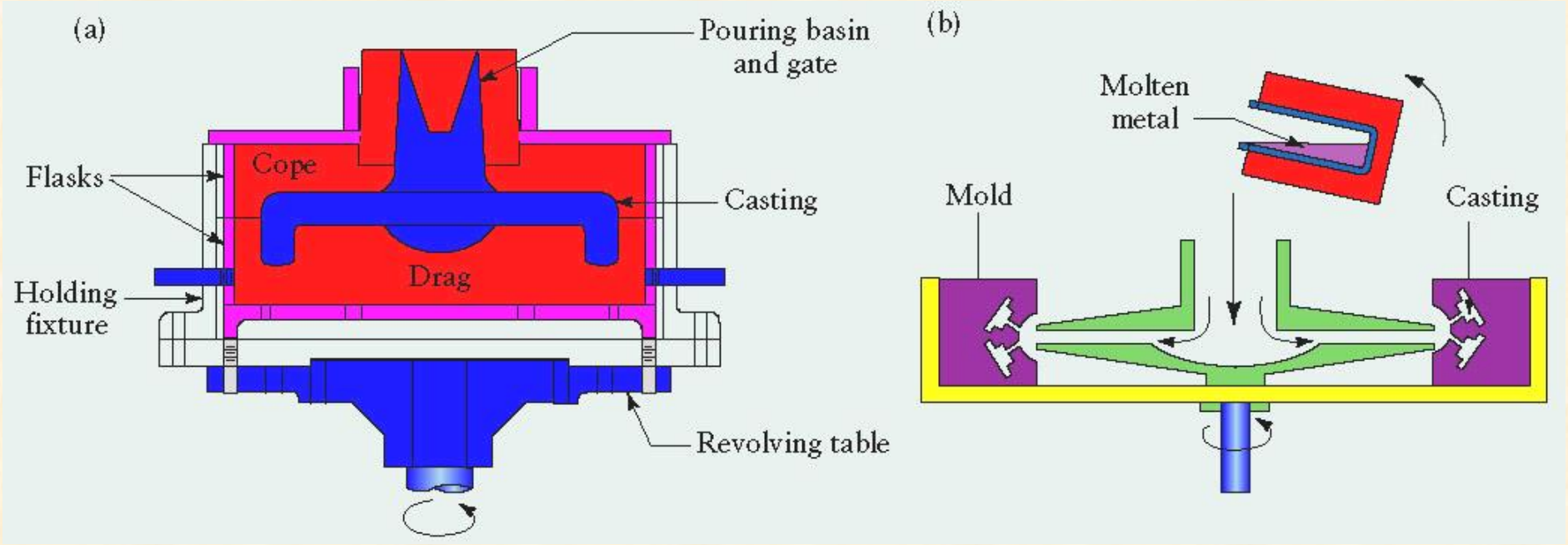


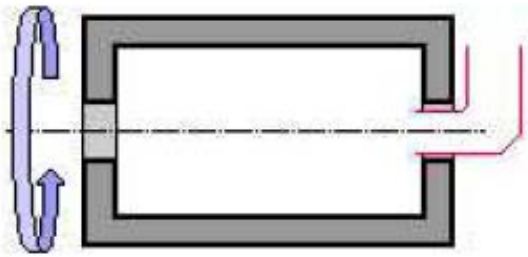
FIGURE 5.30 Schematic illustration of the centrifugal casting process. Pipes, cylinder liners, and similarly shaped parts can be cast by this process.

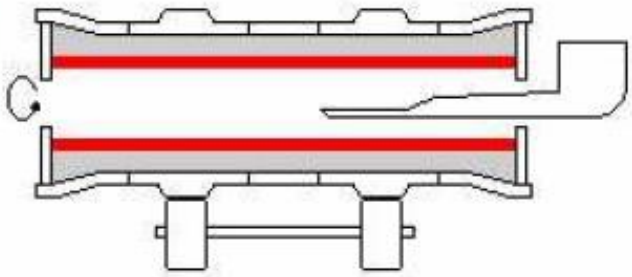
Semicentrifugal Casting Process

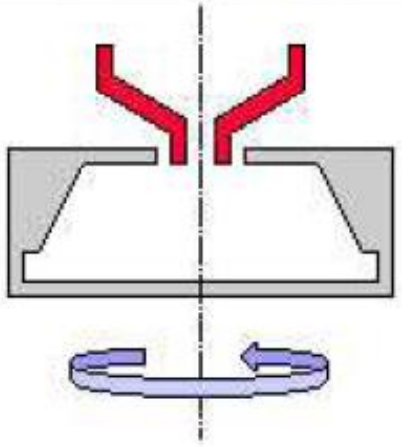


•**FIGURE 5.31 (a) Schematic illustration of the semicentrifugal casting process. (b) Schematic illustration of casting by centrifuging. The molds are placed at the periphery of the machine, and the molten metal is forced into the molds by centrifugal forces.**

Centrifugal Casting





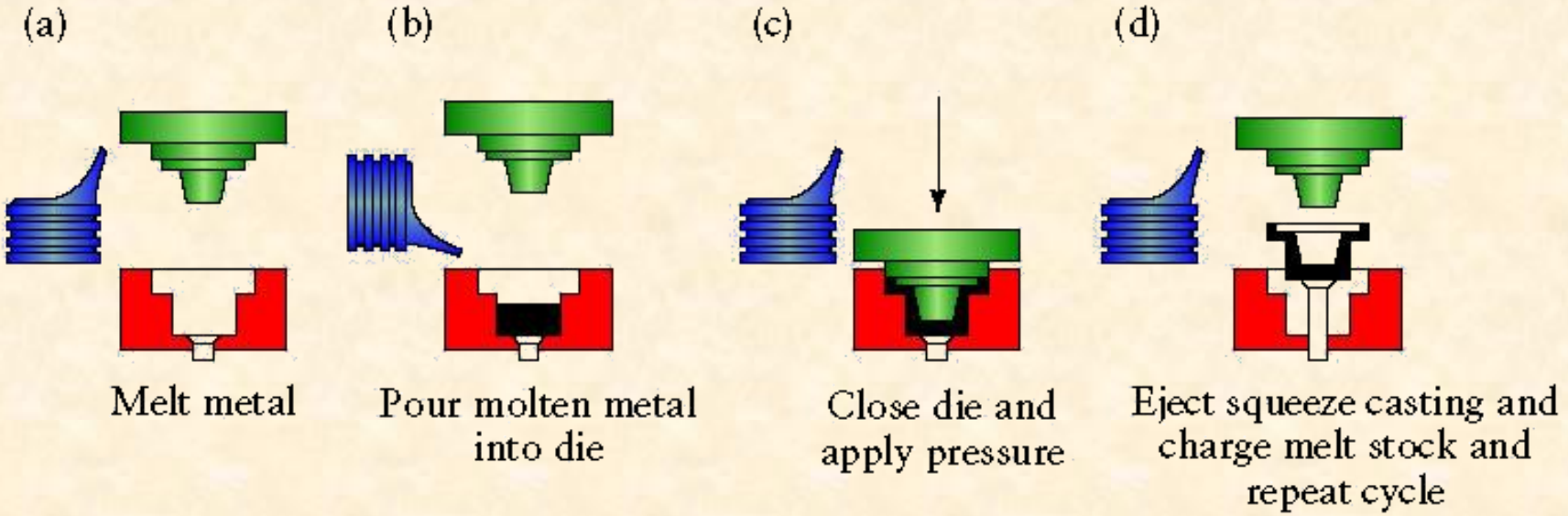


horizontal

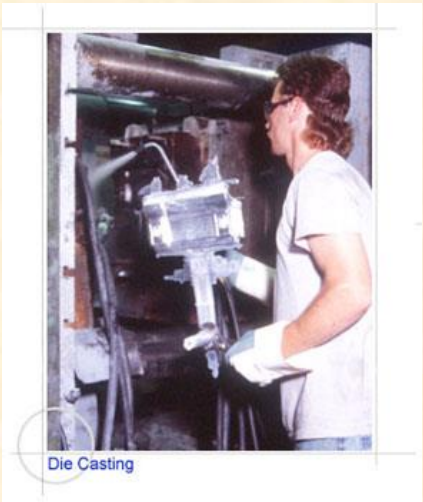
sand-lined mold casting

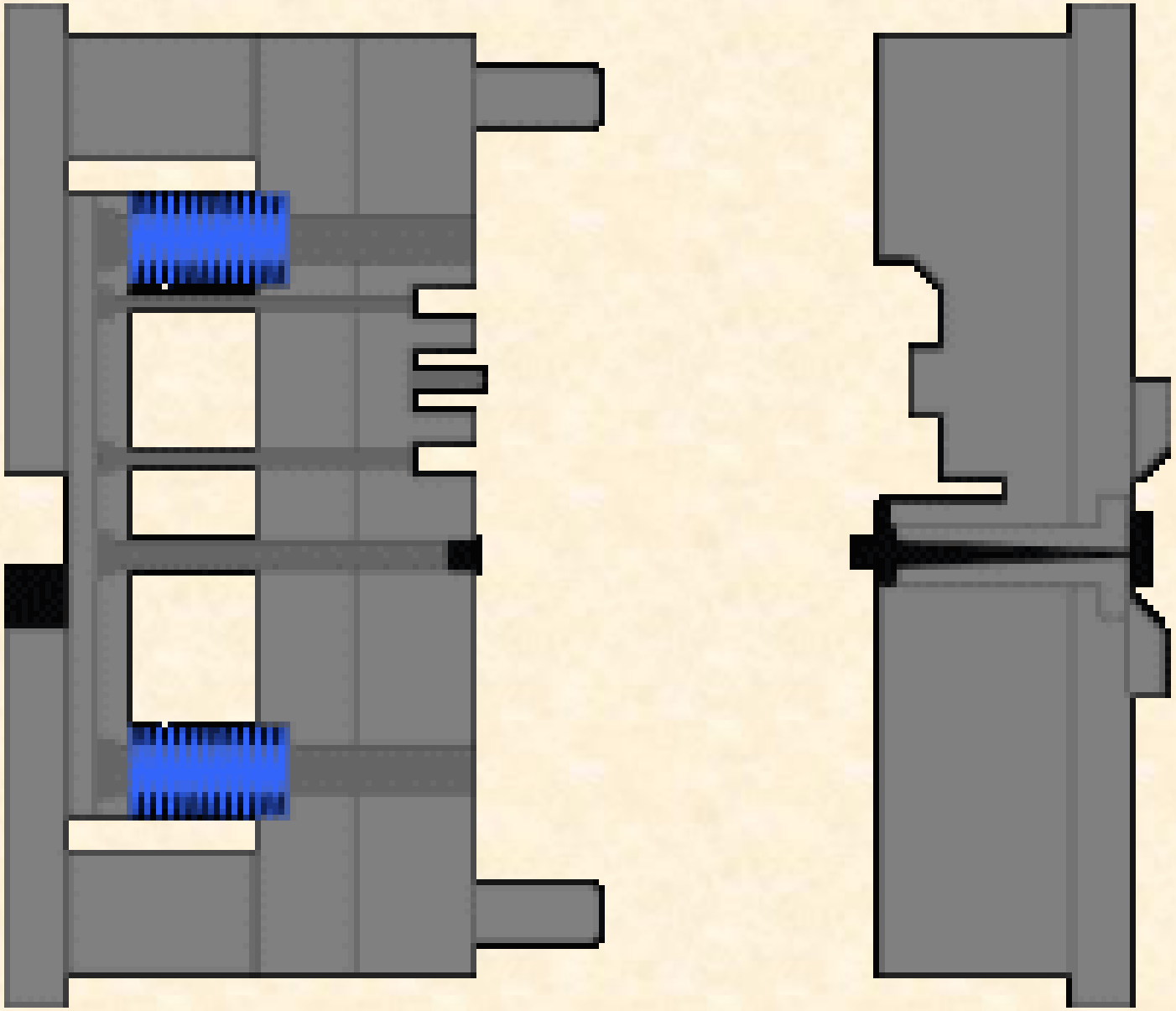
vertical

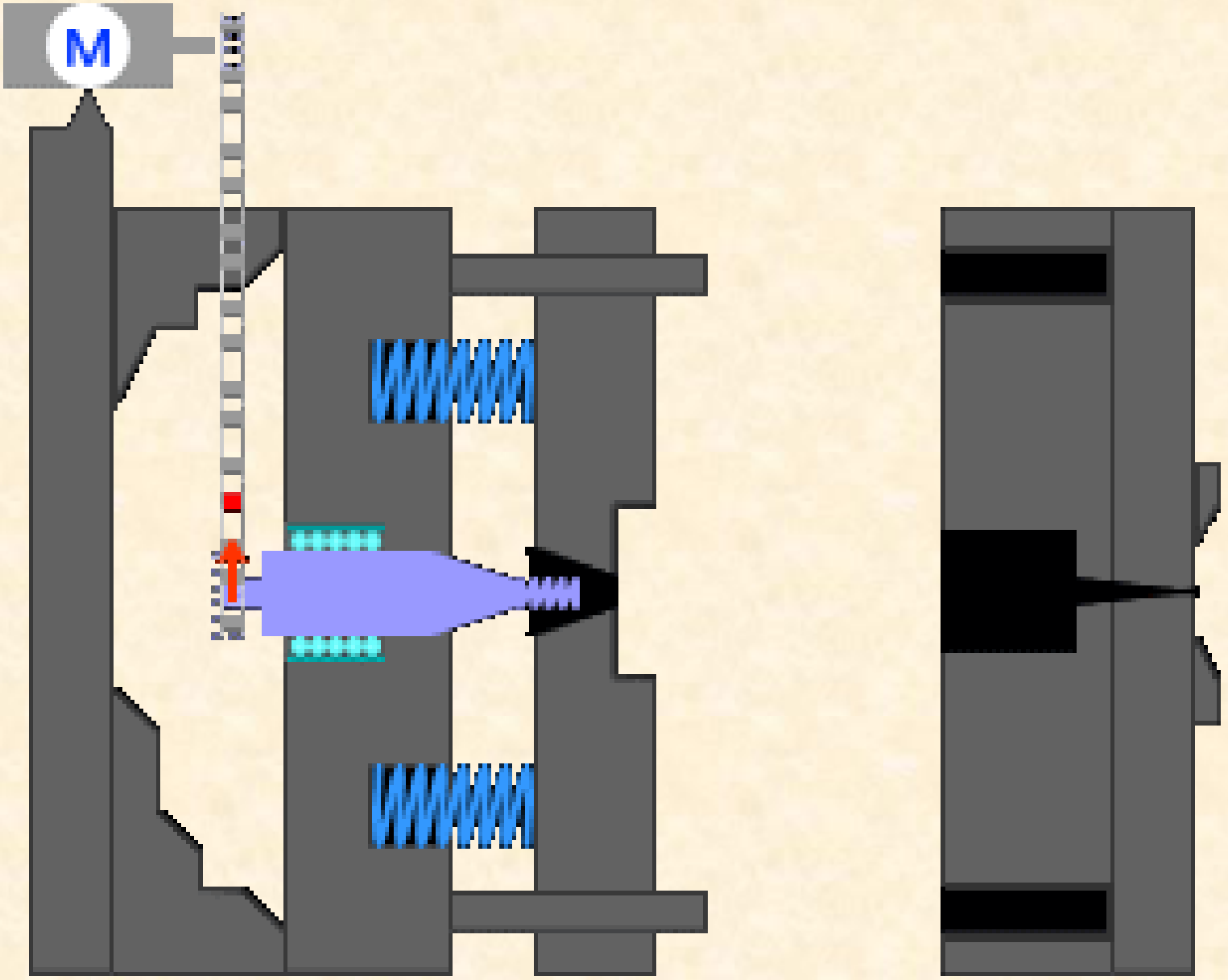
การหล่อบีบอัด Squeeze-Casting Process

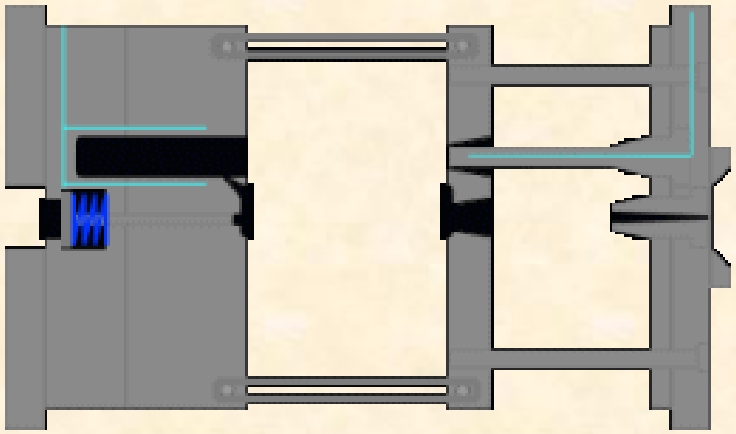


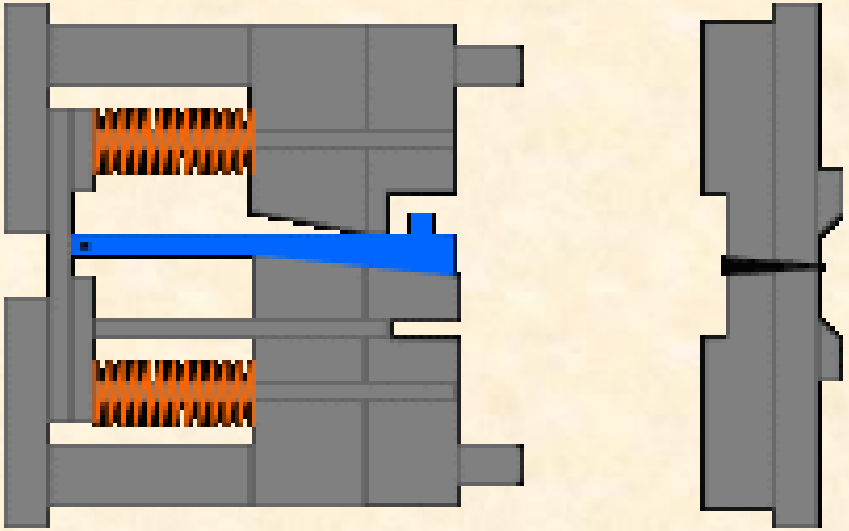
การหล่อแบบโพรง (Slush Casting)

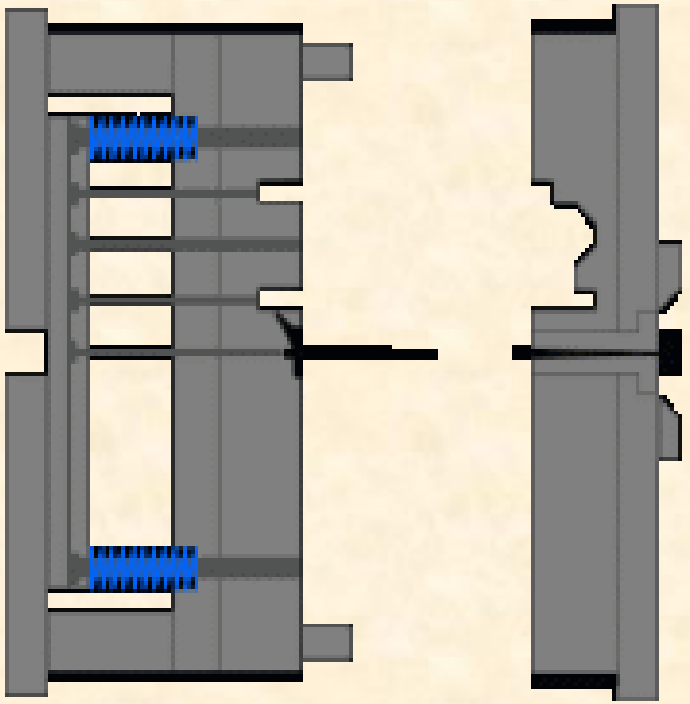


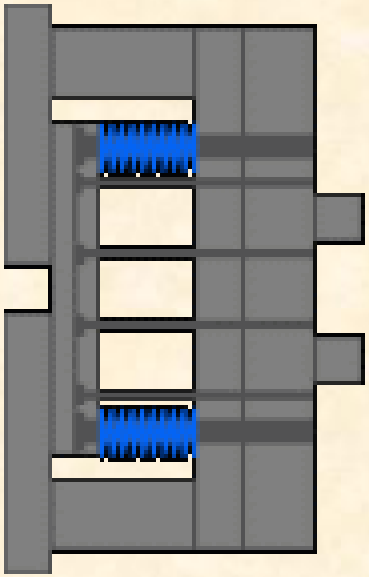


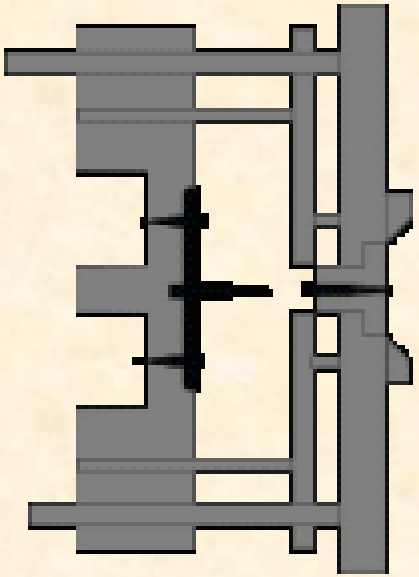

M

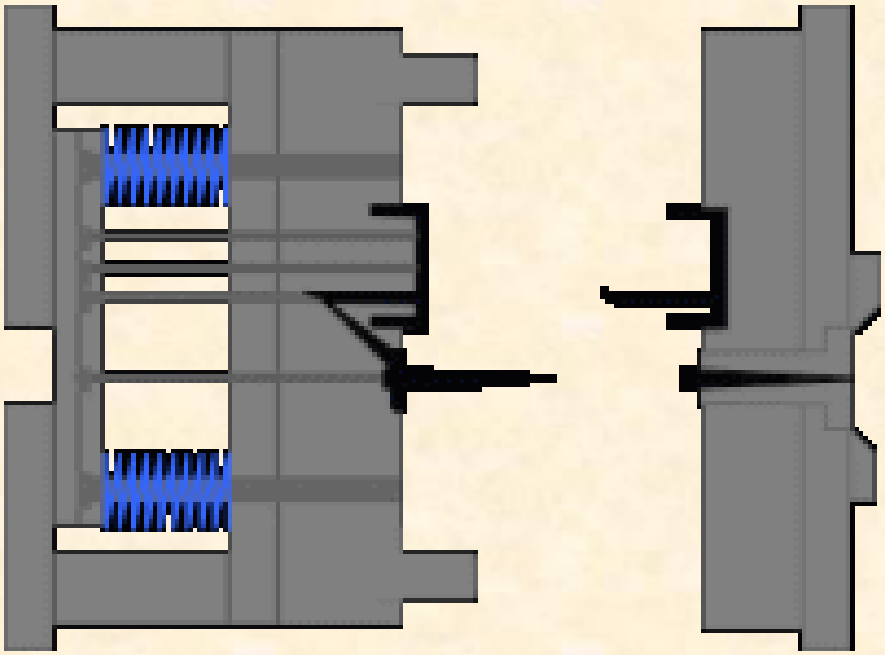


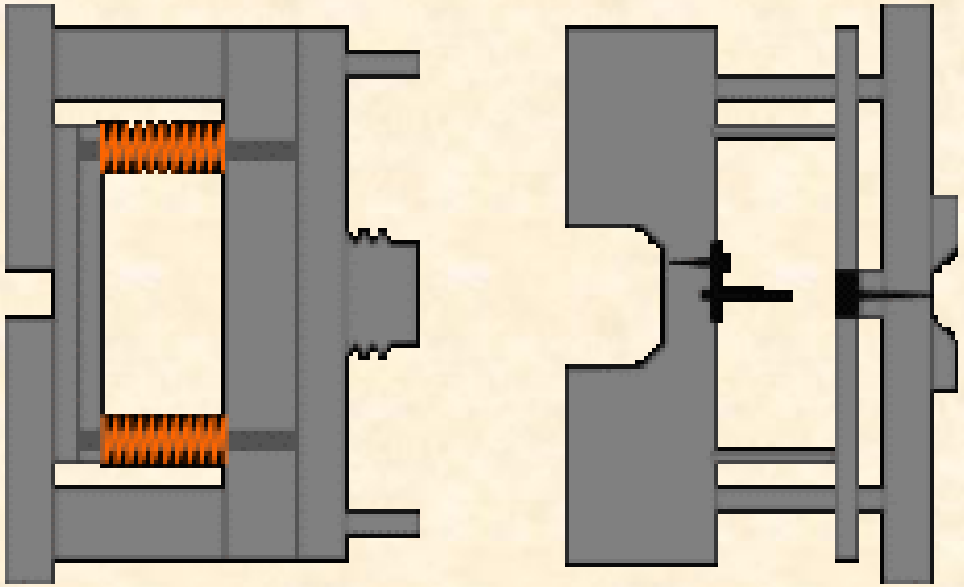












เอกสารอ้างอิง

1. ชลิตต์ มธุรสมนตรี ปราโมทย์ พูนนายม กุลชาติ จุลเพ็ญ, กระบวนการผลิต (Manufacturing Processes) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ, กรุงเทพฯ, 2544
2. สารัมย์ บุญมี, Engineering Materials – วัสดุวิศวกรรม และ foundry sands, สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
3. อนุวัฒน์ จุติลาภถาวร, กรรมวิธีการผลิต2, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ ,2548
4. SCHULER, Metal Forming Handbook, Springer, Verlag Berlin Heidelberg New York, 1998
5. Repp McCarthy, Metalwork Technology and Practice, New York, 1989
6. Matthew Yuen, Extrusion , Research. May 15, 2009 from http://faculty.ksu.edu.sa/maesaleh/IE%20351/Ch6-Extrusion.ppt
7. ทวี เทศเจริญ, กรรมวิธีการผลิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, พิมพ์ครั้งที่ 2, 2536.
8. สารัมภ์ บุญมี, Engineering Materials, สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, Research. May 15, 2008 from http://www.sut.ac.th/Engineering/Metal/courses/engmat.html
9. ปัญญา บัวฮมบุรา และอุษนีย์ กิตกำธร, Physical Metallurgy Lab I, สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, Research. May 15, 2012 from http://www.sut.ac.th/Engineering/Metal/courses/phymet1.html