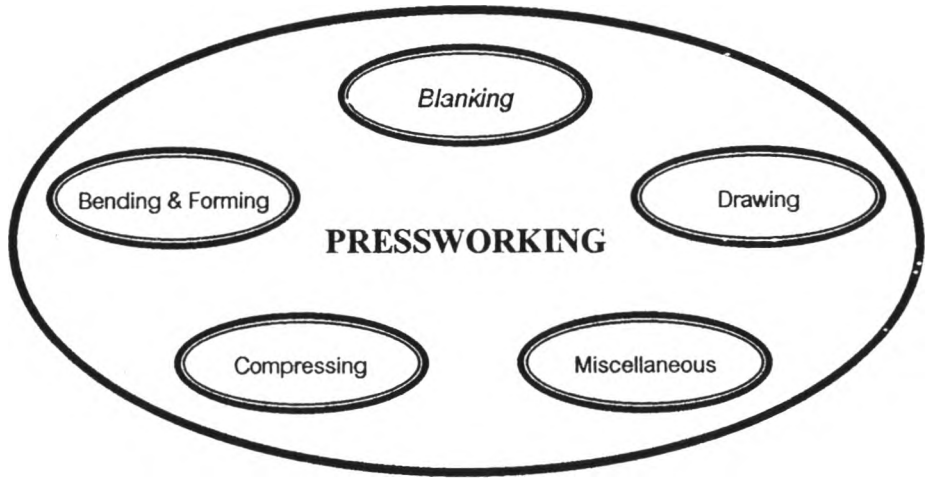
บทที่ 2

ทฤษฎี แนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. งานอัดขึ้นรูปโลหะ

AIDA Engineering, Ltd. (1992) ได้แบ่งงานอัดขึ้นรูป (Pressworking) โลหะออกเป็น 5 กลุ่มใหญ่ๆ ดังรูปที่ 2.1 และกระบวนการขึ้นรูปโลหะในแต่ละกลุ่มแสดงเป็นแผนผังดังรูปที่ 2.9

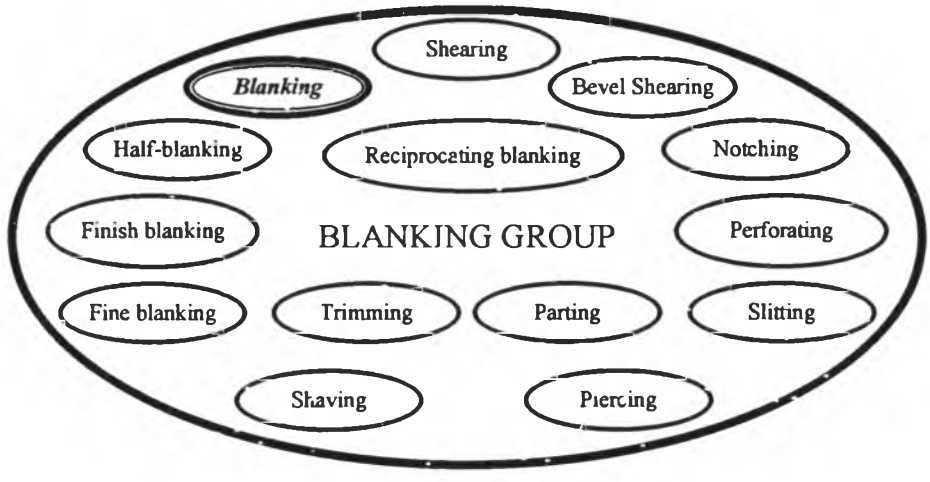
1. งานตัด (blanking)
2. งานพับและอัดขึ้นรูป (bending and forming)
3. งานลากขึ้นรูป (drawing)
4. งานอัด (compression)
5. อื่น ๆ



รูปที่ 2.1 กลุ่มงานอัดขึ้นรูป

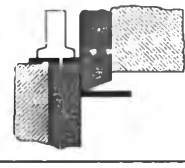
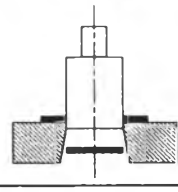
2.1.1. กระบวนการขึ้นรูปโลหะในกลุ่มงานตัด (Blanking Group)

กระบวนการขึ้นรูปโลหะในกลุ่มงานตัดแบ่งออกเป็น 14 กระบวนการ ดังรูปที่ 2.2 และรายละเอียดของทั้ง 14 กระบวนการดูได้จากตารางที่ 2.1

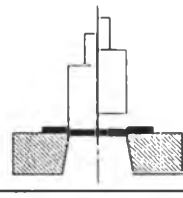
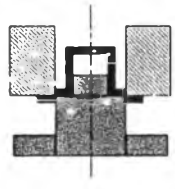
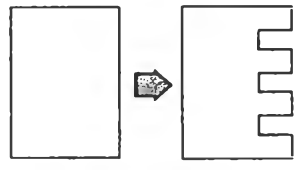
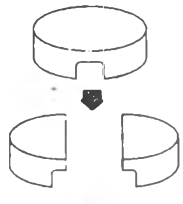
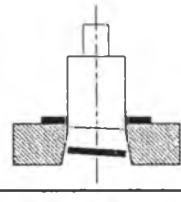
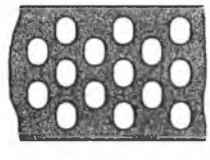


รูปที่ 2.2 กระบวนการขึ้นรูปโลหะในกลุ่มงานตัด

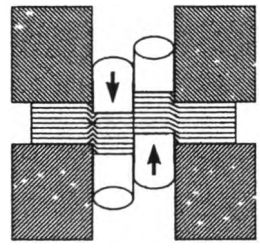
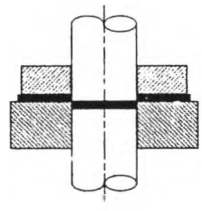
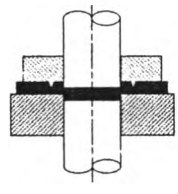
ตารางที่ 2.1 สรุปกระบวนการขึ้นรูปโลหะในกลุ่มงานตัด

ชื่อกระบวนการ	ภาพร่าง	คำอธิบาย
Shearing		เป็นงานตัดทั่วๆ ไปที่ใช้คมตัด เฉือนโลหะให้ขาดออกจากกัน
Bevel shearing		เป็นงานตัดริมขอบของชิ้นงานโดยมีคมตัดด้านบนเอียงทำมุมกับแนวดิ่ง
Blanking		เป็นงานตัดที่ต้องการเอาส่วนที่ถูกตัดไปแปรสภาพเป็นชิ้นงานต่อไป โดยส่วนที่ถูกตัดจะมีรูปร่างตามที่ได้ออกแบบไว้

ตารางที่ 2.1 สรุปกระบวนการขึ้นรูปโลหะในกลุ่มงานตัด (ต่อ)

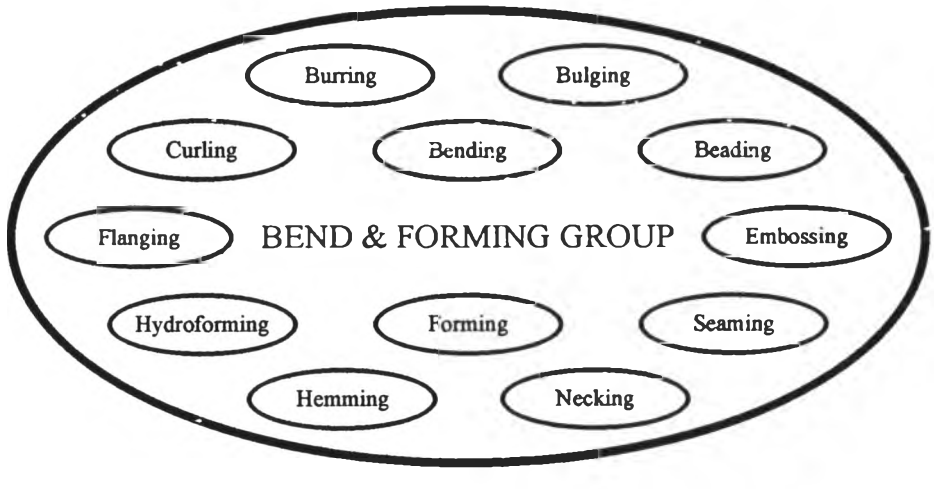
ชื่อกระบวนการ	ภาพร่าง	คำอธิบาย
Half blanking		เป็นงานตัดที่พั้นช์จะหยุดก่อนที่ชิ้นงานจะขาด
Trimming		เป็นงานตัดขอบส่วนที่ไม่ต้องการออกจากชิ้นงานที่ขึ้นรูปแล้ว
Notching		เป็นงานตัดเป็นรูปร่างต่างๆ ที่ขอบหรือริมของชิ้นงาน
Slitting		การตัดเป็นเส้นตรงตามความยาวของ coils หรือ strips ใช้ในการตัดแยกโลหะแผ่นเล็กออกจากแผ่นใหญ่
Parting or Separating		เป็นการตัดแยกชิ้นงานออกเป็น 2 ส่วนหรือมากกว่า
Piercing		เป็นการตัดเจาะรู เพื่อนำรูไปใช้ ต่างกับ blanking ที่นำเศษของรูไปใช้งาน
Perforating		เป็นการตัดเจาะรูหลายรูพร้อมกัน ซึ่งส่วนใหญ่รูเหล่านี้จะมีรูปร่างและขนาดเท่ากันทั้งหมด
Shaving		เป็นการตัดครั้งที่สองหลังจากที่ shearing หรือ cutting มาแล้ว เพื่อทำให้ผิวขอบของชิ้นงานเรียบ

ตารางที่ 2.1 สรุปกระบวนการขึ้นรูปโลหะในกลุ่มงานตัด (ต่อ)

ชื่อกระบวนการ	ภาพร่าง	คำอธิบาย
Reciprocating blanking		เป็นการตัดที่เพิ่มพั้นช์และดายอีกหนึ่งชุด โดยชุดแรกจะทำงานเมื่อ half-blanking แล้วพั้นช์และดายชุดที่สองจะทำ half-blanking เหมือนชุดแรก แต่ทำในทิศทางตรงข้าม เป็นวิธีขจัดการ burr ของชิ้นงานเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่ดีขึ้น
Finish blanking		เป็นการตัดที่ละเอียดโดยที่ช่องว่างระหว่างพั้นช์และดายและรัศมีของมุมดายจะน้อยมาก ทำให้ผิวเรียบ ขนาดแม่นยำขึ้น
Fine blanking		เป็นวิธีการตัดละเอียดที่มีแผ่นยึด ซึ่งมีส่วนนูนรูปสามเหลี่ยมใกล้กับพั้นช์ เพื่อให้เกิดความเค้นอัดสูงที่ผิวตัด ทำให้ผิวตัดเรียบ โดยขณะตัดจะมี cushion รองรับงานตัดเพื่อให้เกิด burr น้อยที่สุด

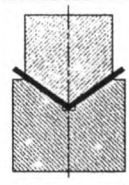
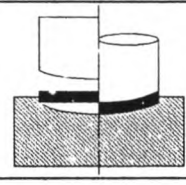
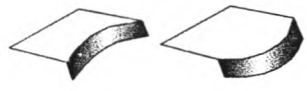
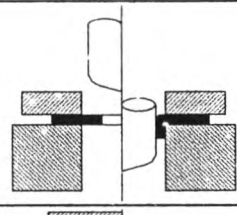
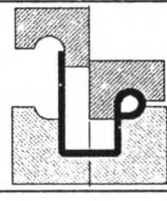
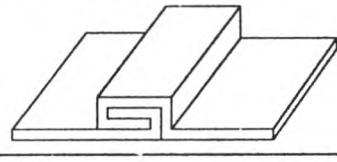
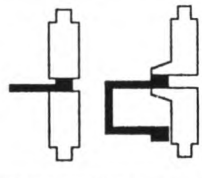
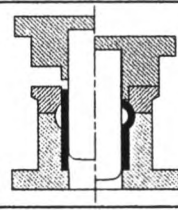
2.1.2. กระบวนการขึ้นรูปโลหะในกลุ่มงานพับและงานอัดขึ้นรูป (Bending and Forming)

กระบวนการขึ้นรูปโลหะในกลุ่มงานพับและงานอัดขึ้นรูปแบ่งออกเป็น 12 กระบวนการ ดังรูปที่ 2.3 และรายละเอียดของทั้ง 12 กระบวนการดูได้จากตารางที่ 2.2

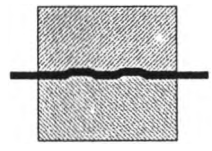
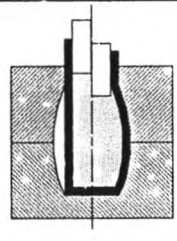
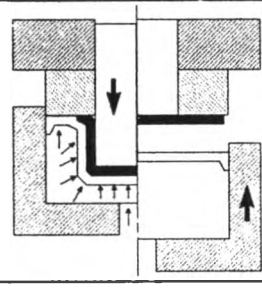


รูปที่ 2.3 กระบวนการขึ้นรูปโลหะในกลุ่มงานพับและอัดขึ้นรูป

ตารางที่ 2.2 สรุปกระบวนการขึ้นรูปโลหะในกลุ่มงานพับและอัดขั้นรูป

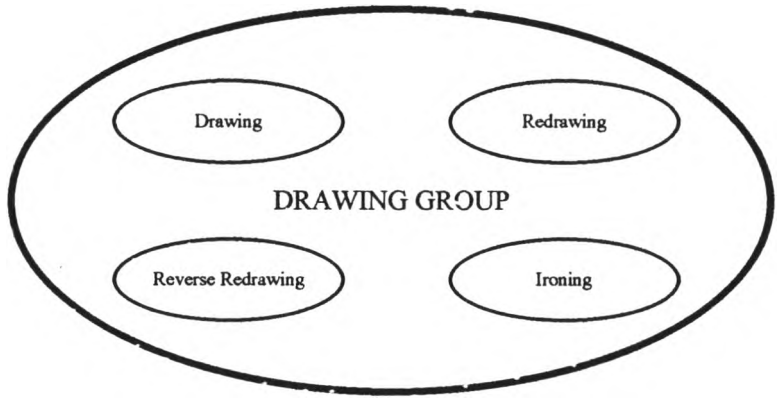
ชื่อกระบวนการ	ภาพร่าง	คำอธิบาย
Bending		เป็นการพับโลหะซึ่งอาจจะเป็นรูปตัว V หรือตัว U ก็ได้
Forming		เป็นการอัดเข้ารูปโลหะแผ่นเรียบให้มีรูปร่างตามต้องการโดยที่ชิ้นงานจะมีรูปร่างและขนาดตามรูปร่างและขนาดของ punch และ die
Flanging		เป็นการพับขอบของชิ้นงาน ซึ่งอาจมีทั้งพับตรง, เว้าเข้า (contraction flanging) หรือ โค้งออก (expansion flanging)
Burring		เป็นการพับบริเวณขอบของรูหรือบานรูออก
Curling		เป็นการม้วนที่ปลายขอบชิ้นงานรูปถ้วย, ท่อ หรือโลหะแผ่นเรียบ
Seaming		เป็นการต่อปลายของโลหะเข้าด้วยกันโดยวิธีการพับติดกัน
Hemming		เป็นการพับกลับเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและเรียบ
Beading		เป็นการขึ้นรูปสันเนิน เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับชิ้นงาน

ตารางที่ 2.2 สรุปกระบวนการขึ้นรูปโลหะในกลุ่มงานพับและอัดขั้นรูป (ต่อ)

ชื่อกระบวนการ	ภาพร่าง	คำอธิบาย
Embossing		เป็นการอัดโลหะเพื่อทำให้เกิดเป็นรอยกดตื้นๆ ซึ่งตามทฤษฎีแล้วจะไม่ทำให้ความหนาของโลหะเปลี่ยนไป
Necking		เป็นการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของภาชนะรูปทรงกระบอกลงให้รูปร่างเหมือนกับบริเวณคอของขวด
Bulging		เป็นการขยายผนังของรูปถ้วย, รูปทรงกระบอกหรือท่อต่างๆ โดยใช้แรงดันจากด้านในออกมา แรงนี้ได้จากการอัดตัวของ punch ซึ่งกระทำต่อตัวกลาง เช่น อากาศ, ของเหลว หรือสารพวกขี้ผึ้ง, ไข หรือยาง
Hydro Forming		เป็นการขึ้นรูปที่มีแต่ punch เท่านั้น ที่จะเป็นตัวกำหนดรูปร่างของชิ้นงาน ส่วนที่ die จะเป็นของเหลว ซึ่งมีหน้าที่ในการอัดโลหะให้มีรูปร่างตามลักษณะของ punch การขึ้นรูปชนิดนี้ นิยมใช้กับการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรูปร่างยุ่งยาก

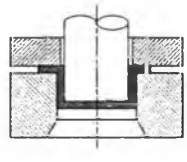
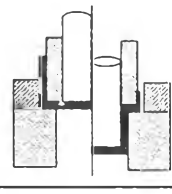
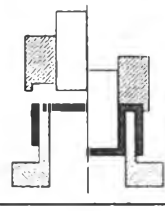
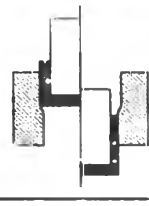
2.1.3. กระบวนการขึ้นรูปโลหะในกลุ่มงานลากขึ้นรูป (Drawing)

กระบวนการขึ้นรูปโลหะในกลุ่มงานลากขึ้นรูป แบ่งออกเป็น 4 กระบวนการ ดังรูปที่ 2.3 และรายละเอียดของทั้ง 4 กระบวนการดูได้จากตารางที่ 2.3



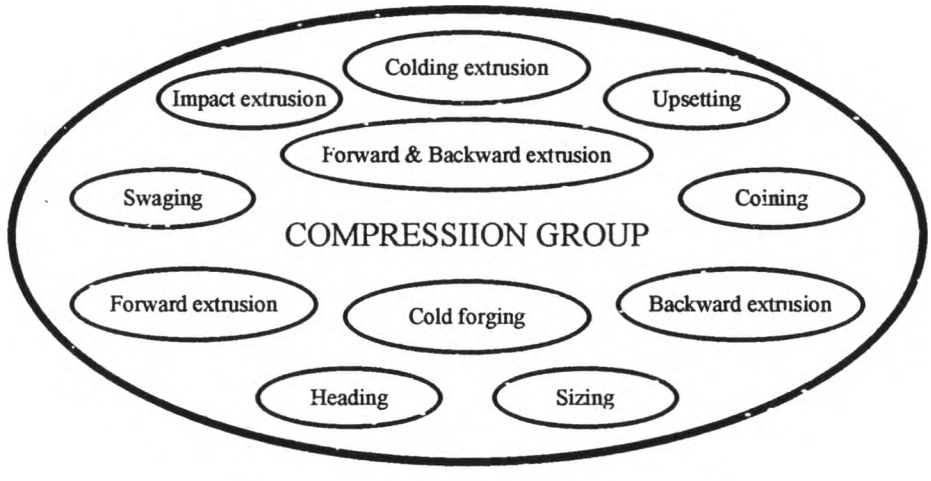
รูปที่ 2.4 กระบวนการขึ้นรูปโลหะในกลุ่มงานลากขึ้นรูป

ตารางที่ 2.3 สรุปกระบวนการขึ้นรูปโลหะในกลุ่มงานลากขึ้นรูป

ชื่อกระบวนการ	ภาพร่าง	คำอธิบาย
Drawing		เป็นการขึ้นรูปโดยที่ punch จะกดโลหะแผ่นเรียบเข้าไปในช่องว่างของ die เพื่อทำให้เกิดเป็นภาชนะรูปถ้วยกลวงและไม่มีตะเข็บ
Redrawing		เป็นการขึ้นรูปต่อจากการขึ้นรูปครั้งแรก ซึ่งภาชนะรูปถ้วยจะมีความลึกเพิ่มขึ้นและพื้นที่หน้าตัดจะลดลง
Reverse Drawing		เป็นการขึ้นรูปต่อจากการขึ้นรูปครั้งแรก แต่ทิศทางของการขึ้นรูปตรงข้ามกับการขึ้นรูปครั้งแรก
Drawing with Ironing		เป็นการลดความหนาของผนังด้านข้างของรูปถ้วยและจะทำให้ผิวหน้าเรียบตลอด

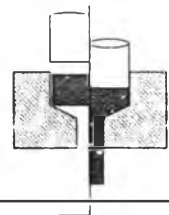
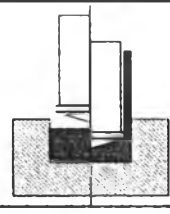
2.1.4. กระบวนการขึ้นรูปโลหะในกลุ่มงานอัด

กระบวนการขึ้นรูปโลหะในกลุ่มงานอัดแบ่งออกเป็น 11 กระบวนการดังรูปที่ 2.5 และรายละเอียดของทั้ง 11 กระบวนการดูได้จากตารางที่ 2.4

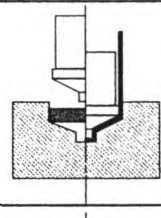
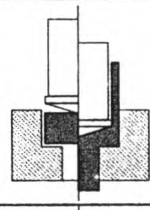
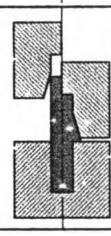
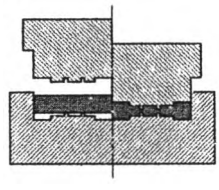
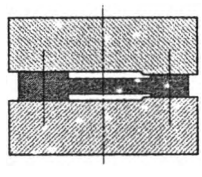
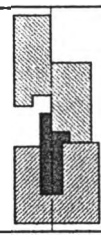
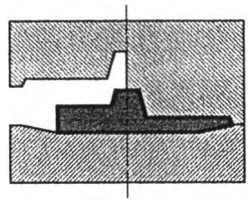


รูปที่ 2.5 กระบวนการขึ้นรูปโลหะในกลุ่มงานอัด

ตารางที่ 2.4 สรุปกระบวนการขึ้นรูปโลหะในกลุ่มงานอัด

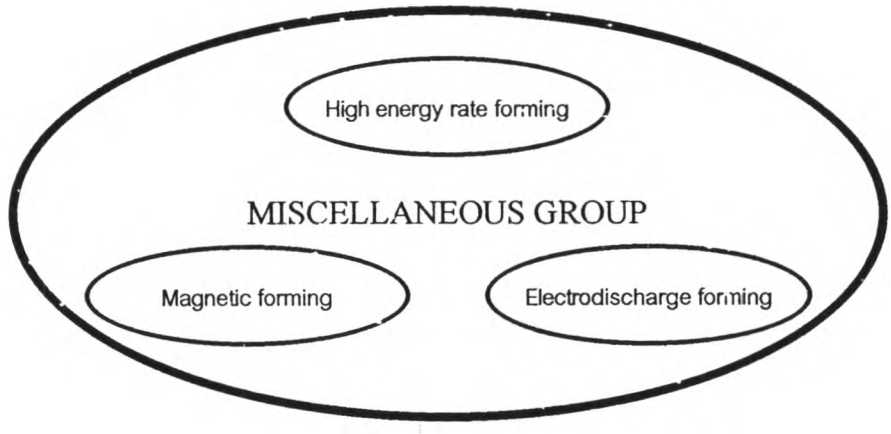
ชื่อกระบวนการ	ภาพร่าง	คำอธิบาย
Cold Extrusion	ไม่มี	เป็นการขึ้นรูปชนิดหนึ่งโดยที่ punch จะอัดโลหะเข้าไปใน die orfice ซึ่งจะทำให้ได้ชิ้นงานตามรูปพื้นที่หน้าตัดของ orfice
Forward Extrusion		เป็นการอัดโลหะโดยโลหะที่ถูกอัดจะไหลตัวเข้าไปในช่องว่างของดาย และมีรูปร่างตามลักษณะของดาย
Backward Extrusion		เป็นการอัดโลหะโดยที่โลหะที่ถูกอัดจะไหลตัวเคลื่อนเข้าหาพั้นช์ และจะได้รูปร่างของชิ้นงานตามลักษณะของพั้นช์

ตารางที่ 2.4 สรุปกระบวนการขึ้นรูปโลหะในกลุ่มงานอัด (ต่อ)

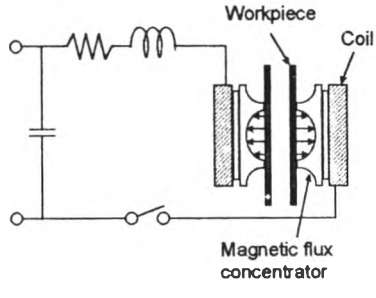
ชื่อกระบวนการ	ภาพร่าง	คำอธิบาย
Forward and Backward Extrusion		เป็นการอัดโลหะโดยโลหะจะไหลตัวเข้าไปในดาย และมีบางส่วนไหลตัวเข้าพั้นช์ ซึ่งจะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีรูปร่างตามลักษณะของพั้นช์และดาย
Impact Extrusion		เป็น backward extrusion ชนิดหนึ่งซึ่งความหนาของผนังมีความบางมาก ใช้ได้กับโลหะที่อ่อนมาก เช่น อลูมิเนียม, ตะกั่ว, ดีบุก และสังกะสี
Upsetting		เป็นการอัดโลหะเพื่อให้ความยาวลดลง โดยมีบางส่วนของชิ้นงานมีพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้น
Coining		เป็นการอัดโลหะโดยที่ทุกส่วนของชิ้นงานจะถูกอัดอยู่ระหว่างพั้นช์กับดาย และไม่มีส่วนใด ออกมานอกดาย
Sizing		เป็นการอัดครั้งที่สองเพื่อให้ได้ขนาดที่ถูกต้องแน่นอนตามต้องการ
Heading		เป็นการอัดเพื่อขึ้นรูปทางด้านปลายของชิ้นงาน เช่น งานอัดหัวโบลท์และรีเวท
Swaging		เป็นการอัดโลหะจนโลหะไหลเข้าไปจนเต็มช่องว่างของดาย และจะมีโลหะบางส่วนไหลออกมานอกดาย

2.1.5. กระบวนการขึ้นรูปโลหะอื่น ๆ

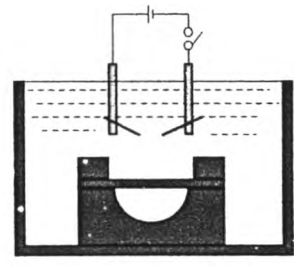
กระบวนการขึ้นรูปโลหะอื่นๆ แบ่งของเป็น 3 กระบวนการ ดังรูปที่ 2.6 โดยกระบวนการ Manetic Forming เป็นดังรูปที่ 2.7 และกระบวนการ Electrodischarge Forming เป็นดังรูปที่ 2.8



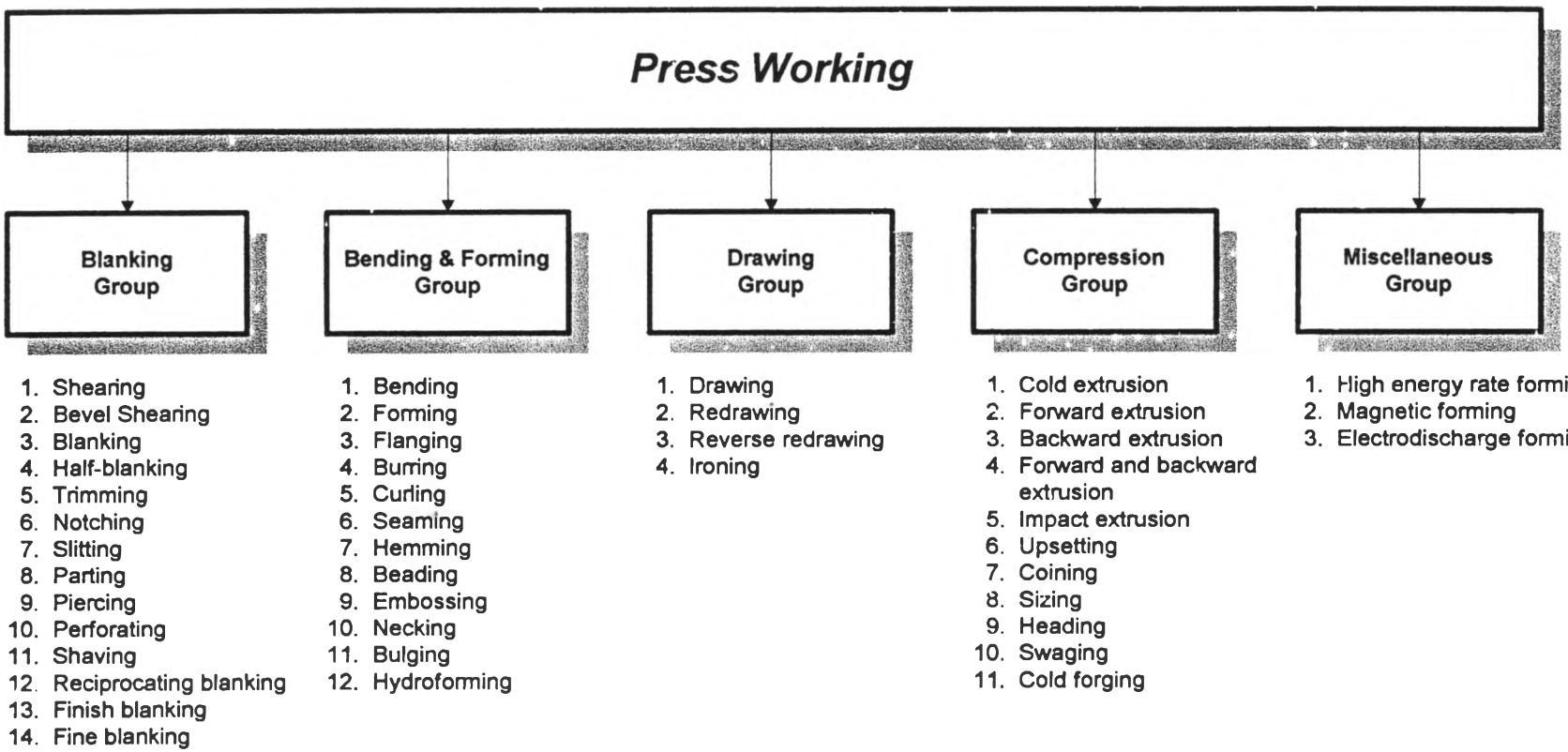
รูปที่ 2.6 กระบวนการขึ้นรูปโลหะอื่นๆ



รูปที่ 2.7 Manetic Forming



รูปที่ 2.8 Electrodischarge Forming



รูปที่ 2.9 ผังแสดงกระบวนการขึ้นรูปโลหะในกลุ่มต่างๆ ของงานอัดขึ้นรูปโลหะ

2.2. พื้นฐานการออกแบบแม่พิมพ์

ชาญ ถนัดงาน และคณะ (2539) ได้อธิบายว่า ถ้าทำดาย (die) จากเหล็กเครื่องมือชุบแข็ง จะมีความเค้นเกิดขึ้นมาก ดายอาจร้าวหรือแตก การร้าวหรือแตกของดายอาจเกิดขึ้นได้จากความเค้นภายในที่เกิดขึ้นระหว่างการแปรรูปกาะทำกรรมวิธีทางความร้อน (heat treatment) และจากแรงภายนอก เพื่อลดโอกาสในการเสียหายของดายลงให้เหลือน้อยที่สุด และเพื่อให้สามารถเลือกใช้เหล็กเครื่องมือที่มีราคาถูกลงได้ ในการออกแบบดายควรพยายามใช้ "กฎ" ต่อไปนี้ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ :

1. พยายามทำให้ภาคตัดสมดุล ถ้าเป็นไปได้ หลีกเลี่ยงการใช้ภาคตัดหนาใกล้กับภาคตัดบาง

2. ลบมุมในส่วนที่เป็นมุมแหลม การทำเช่นนี้ไม่เพียงแต่จะป้องกันความเค้นภายในเท่านั้น แต่ยังเป็นการเพิ่มความแข็งแรงทางกลให้กับดายด้วย

3. กำหนดตำแหน่งช่องเปิดของดายให้สมมาตร เพื่อให้ดายมีภาคตัดที่สม่ำเสมอ

4. ลบมุมที่รูทั้งสองด้านบนดายให้สมมาตร เพื่อให้ดายมีภาคตัดที่สม่ำเสมอ

5. ในการยึดแผ่นดาย ใช้สกรูร้อยผ่านรูเจาะบนแผ่นดาย โดยทำเกลียวไว้ที่ดายชู (die shoe) หรือดายเบส (die base) ข้อแนะนำในการยึดสตริปเปอร์ (stripper) ให้ยึดกับไกด์ (guide) และการยึดดายให้ยึดกับดายเบส

6. ให้มีเนื้อวัสดุเผื่อไว้รอบบริเวณช่องเปิดของดายตัด blank ในทางปฏิบัติสำหรับดายขนาดเล็ก ให้เผื่อไว้ 1.5 ถึง 2 เท่าของความหนาดาย และสำหรับดายขนาดใหญ่ ให้เผื่อไว้ 2 ถึง 3 เท่า

2.2.1. จุดประสงค์ของชิ้นส่วนมาตราฐานแม่พิมพ์

ชาญ ถนัดงาน และคณะ (2539) ได้อธิบายว่า จุดประสงค์ของชิ้นส่วนมาตราฐานแม่พิมพ์ คือการประกอบแม่พิมพ์เข้าเป็นหน่วยเดียวกัน ข้อดีบางประการที่ได้จากการเลือกใช้ชิ้นส่วนมาตรฐานแม่พิมพ์อย่างเหมาะสมมีดังต่อไปนี้

1. การติดตั้งแม่พิมพ์ทำได้อย่างแม่นยำ

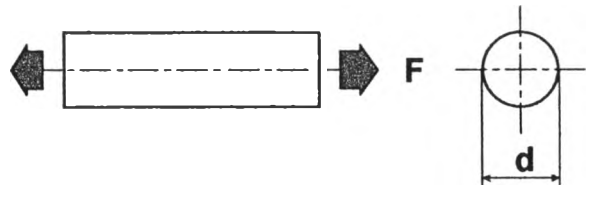
2. การติดตั้งแม่พิมพ์ใช้เวลาน้อยลง
3. คุณภาพของชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ดีขึ้น
4. พั้นช์และดายได้แนวกันเสมอ
5. อายุการใช้งานของแม่พิมพ์ยาวนานขึ้น
6. ใช้งานแม่พิมพ์ได้อย่างปลอดภัย
7. บำรุงรักษาแม่พิมพ์ได้ง่ายและสะดวก
8. เก็บรักษาแม่พิมพ์ได้สะดวก

2.2.2. ความเค้น (stress)

โดยมากแล้วช่างแม่พิมพ์ จะเกี่ยวกับความเค้น 2 ชนิด คือ

1. ความเค้นดึง (tensile stress)
2. ความเค้นเฉือน (shear stress)

ความเค้นดึง เป็นความเค้นที่พบมากที่สุด ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อวัสดุได้รับแรงกระทำในแนวแกน แล้วพยายามทำให้วัสดุยืดออกในแนวแกน ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.10 ความเค้นดึงเกิดจากแรงในแนวแกน

แท่งโลหะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง "d" มม. อยู่ภายใต้แรง F นิวตัน ที่กระทำในแนวแกนของแท่งโลหะ ความเค้นที่เกิดขึ้นเรียกว่า "ความเค้นดึง" ใช้สัญลักษณ์ว่า σ_t (ซิกม่า) ทั้งนี้เพราะ ความเค้นนี้พยายามทำให้แท่งโลหะยืดออกหรือมีความยาวเพิ่มขึ้น

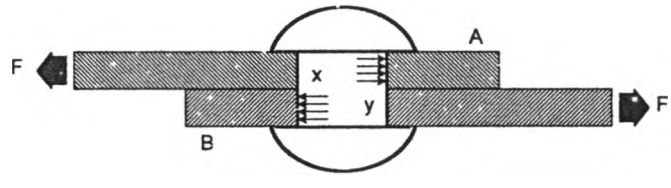
โปรดสังเกตว่า ในการที่จะทำให้เกิดความเค้นดึง แรง F ที่กระทำบนปลายด้านหนึ่งของแท่งโลหะจะสมดุลได้ก็ต่อเมื่อมีแรง F กระทำที่ปลายอีกด้านหนึ่งในทิศทางตรงกันข้าม เนื่องจากความเค้น คือ แรงต่อหน่วยพื้นที่ ดังนั้นความเค้นที่เกิดขึ้นจึงหาได้โดยใช้สมการ :

ความเค้นดึงในแท่งโลหะ σ_t = แรงที่กระทำ / พื้นที่ภาคตัดของแท่งโลหะ

ให้ σ_t แทน ความเค้นดึงในแท่งโลหะ และ A แทน พื้นที่ภาคตัดของแท่งโลหะ

ดังนั้น : $\sigma_t = F/A = [\ F\ \text{Newton}\ ] / [\ \pi\ d^2 / 4\ \text{mm}^2\ ]$

ความเค้นเฉือน เป็นความเค้นซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีแรงกระทำกับวัสดุในแนวตั้งฉากกับแนวแกนของวัสดุ แล้วพยายามทำให้ภาคตัดของวัสดุเลื่อนออกจากกัน ความเค้นชนิดนี้เรียกว่า "ความเค้นเฉือน" ใช้สัญลักษณ์ τ (ทาว) และแสดงให้เห็นได้โดยหมุดย้ำที่ยึดแผ่นวัสดุสองชิ้นให้ติดกัน



รูปที่ 2.11 ความเค้นในหมุดย้ำเกิดจากแรงที่กระทำตั้งฉากกับแนวแกนของหมุดย้ำ

แรง F นิวตัน กระทำที่ปลายแผ่นวัสดุทั้งสองชิ้น แรงที่กระทำกับแผ่น A พยายามทำให้แผ่นเคลื่อนที่ไปทางซ้าย และแรงที่กระทำกับแผ่น B พยายามทำให้แผ่นเคลื่อนที่ไปทางขวา หมุดย้ำทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่อย่างดีที่สุด และความสามารถในการต้านทานของหมุดย้ำนี้ ก็คือ การวัดความต้านทานต่อการเฉือนของหมุดย้ำ ในที่นี้ แรงดึงที่แผ่น A และ B พยายามที่จะทำให้ส่วนบนของหมุดย้ำเลื่อนไปทางซ้ายตามระนาบ xy และส่วนล่างของหมุดย้ำเลื่อนไปทางขวาตามระนาบ xy

พื้นที่ภาคตัดของหมุดย้ำ คือ $\pi d^2/4$ และเนื่องจาก ความเค้นเฉือน τ คือความหนาแน่นของแรง ดังนั้น

ความเค้นเฉือนในหมุดย้ำ τ = แรงที่กระทำ / พื้นที่ภาคตัดของหมุดย้ำ

ข้อสังเกต : สำหรับโลหะทั่วๆ ไปแล้ว ความต้านแรงเฉือนของวัสดุ มีค่าประมาณ 80% ของความต้านแรงดึงของวัสดุ

$$\tau \approx 0.8\,\sigma_t$$

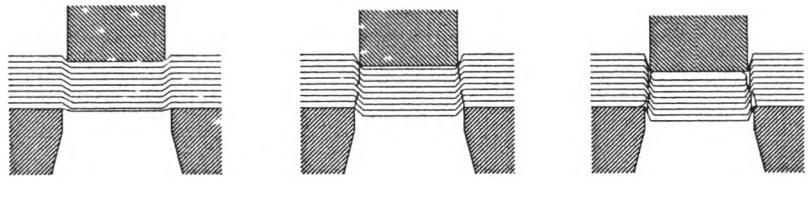
2.2.3. หลักการตัด

เพื่อที่จะออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ตัดที่มีสมรรถนะเป็นที่น่าพอใจ นักออกแบบและช่างทำแม่พิมพ์ต้องรู้เกี่ยวกับการตัดและพฤติกรรมของวัสดุ รูปแบบพื้นฐานของการตัดประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ อันต่อเนื่องที่เกิดกับวัสดุ เมื่อตัดวัสดุด้วยกรรไกรคู่หนึ่ง การตัดทั้งหลายที่คล้ายกับตัดด้วยกรรไกรเรียกกันว่า การตัดแบบเปิด ในทางตรงข้ามมีการตัดแบบปิดด้วย การตัดแบบเปิดที่พบได้คือ ตัดขาดจากกัน ตัดขาดเป็นบางส่วน และบางกรณีของการตัดส่วนที่ไม่ต้องการทิ้งหรือทริม

การตัดแบบปิดเกิดขึ้นเมื่อต้องเกี่ยวข้องกับเส้นปิด ในการตัดแบบปิดไม่มีการงอโค้งหรือดัดของชิ้นงาน การตัดแบบปิดที่เกิดในแม่พิมพ์ตัดเป็นการกระแทกที่ทำให้แผ่นงานที่ต้องการ ซึ่งเรียกว่า blank แยกออกจากวัสดุอยู่รอบด้วยขั้นตอนที่แน่นอน

hearing Process คือ การตัดโลหะออกจากกันโดยใช้คมตัดของ punch และ die กดโลหะจนเลยจุด ultimate strenth ซึ่งจะทำให้โลหะฉีกขาดออกจากกัน

ขั้นตอนในการตัดเฉือนที่สำคัญมีอยู่ 3 ขั้นตอนต่อเนื่องกัน คือ



1 2 3

รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการตัด

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. การเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (plastic deformation) : พั้นช์ค่อยๆ กดและดัดโลหะ; ความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำกว่าจุดคราก

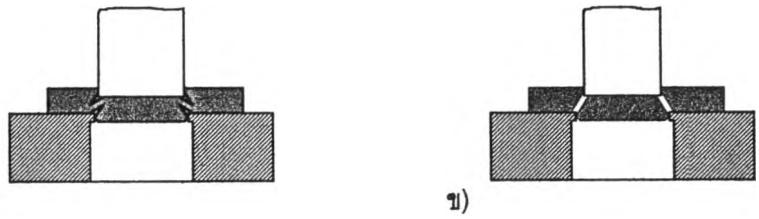
2. การกดเข้าไปในเนื้อวัสดุ (penetration) : ความเค้นในเนื้อโลหะเพิ่มขึ้นจนเกินจุดคราก และค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงค่าความต้านแรงเฉือน (ultimate shear strength)

3. การแตก (fracture) : รอยร้าวเกิดขึ้นตามแนวผิวที่เกิดการเลื่อนและวัตถุดิบจะแยกออกจากกัน

หลังการตัด ที่ขอบของวัตถุดิบจะแสดงให้เห็นบริเวณ 2 บริเวณอย่างชัดเจน บริเวณที่เป็นแถบแคบๆ มีผิวมันเป็นบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนรูปถาวร และบริเวณที่เป็นแถบกว้างว่ามีผิวหยาบ เป็นบริเวณที่เกิดการเฉือน

2.2.4. Clearance ระหว่างพั้นช์กับดาย

ชาญชัย ทรัพยากร, ประสิทธิ์ สวัสดิสรรพ์ และ วิรุฬ ประเสริฐวรนันท์ (2538) อธิบายว่า แรงที่ต้องการใช้ในการตัดจะมีค่าน้อยลง ถ้าเลือกใช้ขนาด clearance ระหว่างพั้นช์กับดายให้เหมาะสมที่สุดสำหรับวัสดุแต่ละชนิดและแต่ละความหนา เพื่อว่าเมื่อวัสดุขาดรอยร้าวที่เกิดขึ้นจากพั้นช์และดายจะไปพบกับพอดี ผิวที่ได้จากการตัดในลักษณะนี้เป็นผิวที่ดีที่สุด และไม่มีเสี้ยนหรือเบอร์ (burr) และยังช่วยให้แม่พิมพ์มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้นอีกด้วย

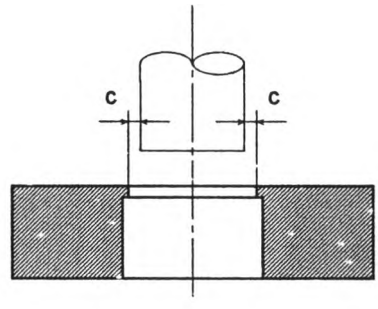


ก) ข)

รูปที่ 2.13 (ก) clearance ไม่พอรอยแตกไม่ตรงกัน (ข) clearance ถูกต้องรอยแตกตรงกัน

เมื่อขนาด clearance ระหว่างพั้นช์กับดายแคบเกินไป รอยร้าวที่เกิดขึ้นจะไม่พบกันพอดี ซึ่งเป็นผลให้ได้รอยตัดที่ไม่เรียบ และเกิดเป็นแถบขึ้นสองแถบ

เมื่อขนาด clearance ระหว่างพั้นช์กับดายกว้างเกินไป จะทำให้เกิดการฉีกขาดและมีเสี้ยนเกิดขึ้นตามแนวเส้นรอบรูปของชิ้นงาน



รูปที่ 2.14 clearance ระหว่างพั้นช์กับดาย

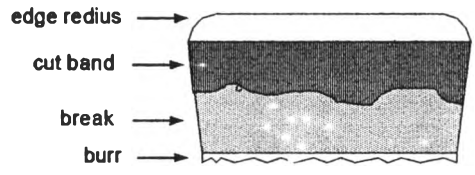
Clearance คือ ช่องหว่างระหว่าง punch กับ die ซึ่งจะบอกเป็นค่าของผลต่างของรัศมีของ punch กับ die

Clearance จะแตกต่างกันไปตามชนิดของโลหะ, ความหนา และรูปร่างของชิ้นงานก็มีส่วนสำคัญในการกำหนดขนาดของ clearance ด้วย โดยชิ้นงานยิ่งมีความหนามากเท่าไร clearance ก็ยิ่งมากขึ้นเท่านั้น

2.2.5. สภาพของ clearance

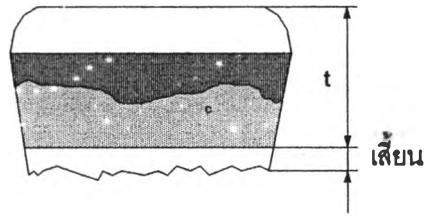
สามารถที่จะทราบว่า clearance ระหว่าง punch กับ die นั้นมีค่ามากไป น้อยไป หรือว่าเหมาะสมดีแล้ว โดยดูได้จากสภาพรอยตัดของชิ้นงาน ดังนี้

1. กรณีที่ clearance พอดีหรือเหมาะสมนั้น cut band จะมีความกว้างประมาณ 1/3 ของความหนาของโลหะ และ burr จะเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ



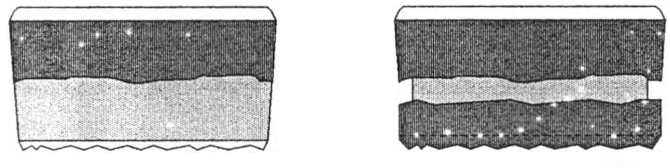
รูปที่ 2.15 สภาพของชิ้นงานเมื่อ clearance เหมาะสม

2. กรณีที่ clearance มากเกินไป ที่ edge radius จะมีความโค้งมาก cut band จะแคบ รอยฉีกจะไม่เป็นระเบียบ และมี burr มาก



รูปที่ 2.16 สภาพของชิ้นงานเมื่อ clearance มากเกินไป

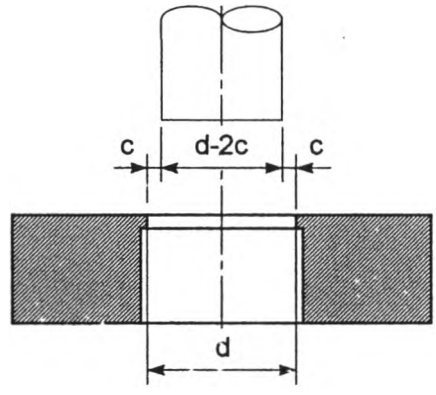
3. กรณีที่ clearance น้อย และน้อยไป ที่ cut band จะมีบริเวณกว้าง และอาจมีมากกว่า 2 แห่ง



รูปที่ 2.17 สภาพของชิ้นงานเมื่อ clearance น้อยและน้อยเกินไป

2.2.6. การกำหนดขนาดของพั้นช์และดาย

ในการตัดแผ่น blank ทำ clearance โดยการลดขนาดของพั้นช์ โดยให้ขนาดของดายเท่ากับขนาดของชิ้นงาน



รูปที่ 2.18 การกำหนดขนาดของพั้นช์และดาย

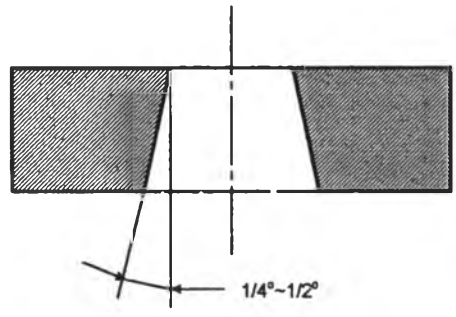
2.2.7. ช่องเปิดของดายสำหรับให้แผ่น blank ผ่านดายซู

หลังจากที่แผ่น blank ตกผ่านช่องเปิดของดายลงมาแล้ว จะตกผ่านช่องเปิดสำหรับคายเศษที่อยู่ในดายซู ช่างทำแม่พิมพ์จะต้องมีการตัดสินใจที่ดี ในการทำช่องเปิดนี้ ข้อกำหนดสำหรับการทำช่องเปิดนี้คือ

1. แผ่น blank หรือเศษเพียงจะต้องตกผ่านลงมาได้อย่างอิสระ โดยไม่เกิดการติดขัด
2. รูปทรงของช่องเปิดควรทำให้ง่ายที่สุดเท่าที่จะทำได้
3. ช่องเปิดไม่ควรทำให้ความแข็งแรงของดายซูลดลงมากเกินความจำเป็น
4. รูปทรงของช่องเปิดจะต้องมีขนาดเพียงพอที่จะรองรับดายบล็อกได้

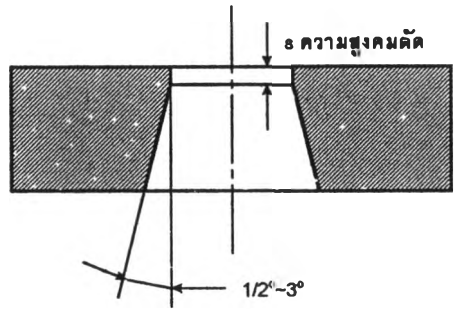
2.2.8. รูปทรงช่องเปิดของดาย

แบบที่ดีที่สุดสำหรับ blanking หรือ piercing วัตถุดิบที่มีความหนาไม่เกิน 1 มม. เป็นดังรูปที่ 2.19 โดยกรณีที่เป็นแผ่นวัสดุอ่อนใช้ ½ องศา และถ้าเป็นแผ่นวัสดุแข็งใช้ ¼ องศา



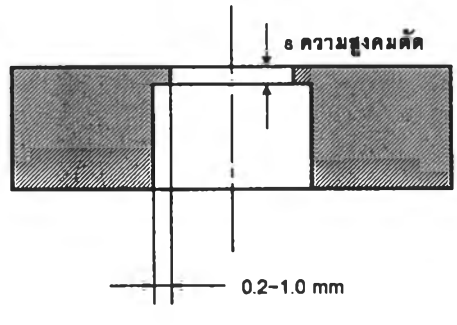
รูปที่ 2.19 รูปทรงช่องเปิดของดายสำหรับวัตถุดิบหนาไม่เกิน 1 มม.

แบบที่ดีที่สุดสำหรับการ blanking หรือ piercing วัตถุดิบที่มีความหนาตั้งแต่ 0.5 ถึง 10 มม. เป็นดังรูปที่ 2.20 โดยกรณีที่เป็นแผ่นวัสดุอ่อนใช้ 3 องศา และถ้าเป็นแผ่นวัสดุแข็งใช้ ½ องศา



รูปที่ 2.20 รูปทรงช่องเปิดของดายสำหรับวัตถุดิบหนา 0.5 - 10 มม.

แบบที่ดีที่สุดสำหรับ blanking หรือ piercing วัตถุดิบที่มีความหนาไม่เกิน 6 มม. เป็นดังรูปที่ 2.21 โดยกรณีที่เป็นแผ่นวัสดุอ่อนใช้ 1.0 มม. และถ้าเป็นแผ่นวัสดุแข็งใช้ 0.2 มม.



รูปที่ 2.21 รูปทรงช่องเปิดของดายสำหรับวัตถุดิบหนาไม่เกิน 6 มม.

ตารางที่ 2.5 ความสูงคมตัดที่เหมาะสมกับความหนาวัตถุดิบ

ความหนาวัตถุดิบ (มม.)	ความสูงคมตัด (มม.)
0.5 - 1.0	2
1.0 - 2.0	4
2.0 - 3.0	6
3.0 - 6.0	10

2.2.9. การคำนวณหาแรงตัด

แรงที่ต้องการใช้ในการตัด คือ ผลคูณของ ความต้านแรงเฉือนของวัตถุดิบ กับ พื้นที่ขอบตัด พื้นที่ขอบตัด คือ ผลคูณของ ความยาวรอยตัด กับ ความหนาของวัตถุดิบ ที่นำมาตัด สมการที่ใช้ในการคำนวณหาแรงตัดที่ต้องการใช้ในการตัด คือ

$$F_s = \tau\, l_s\, t \quad [N]\text{ , สำหรับการตัดรูปทรงใดๆ}$$

$$F_s = \tau\, \pi\, d\, t \quad [N]\text{ , สำหรับการตัดรูปวงกลม}$$

เมื่อ F_s = แรงที่ต้องการใช้ในการตัด, N

τ = ความต้านแรงเฉือนของวัสดุ, N/mm^2

l_s = ความยาวรอยตัด, mm

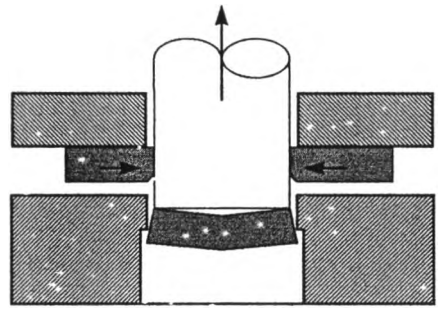
d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยตัด, mm

t = ความหนาของวัตถุดิบ, mm

2.2.10. แรงสตริปปิง (stripping force)

AIDA (1992) ในขณะที่ตัดชิ้นงาน ความเครียดที่เกิดขึ้น ทำให้เกิดความเค้นในแนวรัศมีระหว่างพั้นช์กับแผ่นวัตถุดิบและระหว่างแผ่น blank กับดาย แม้ว่าสิ้นสุดการทำงานแล้ว ความเค้นนี้ก็ยังไม่หมดไป

ผลที่เกิดขึ้นก็คือ ทำให้มีแรงเสียดทานในระหว่างที่พั้นช์ถอยกลับ (ทำให้พั้นช์ต้องออกแรงดึงกลับ) แรงนี้เรียกว่า แรงสตริปปิงชิ้นงาน



รูปที่ 2.22 แรงสตริปปิง

การคำนวณหาแรงสตริปปิงได้อย่างแม่นยำมีผลดีต่อการทำงานมาก แต่อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติมักทำไม่ได้เสมอไป เนื่องจากมีตัวประกอบมากมายที่มีผลต่อความแม่นยำในการคำนวณ และเมื่อคำนวณได้แล้ว ก็จะใช้ได้เฉพาะงานเท่านั้น ไม่สามารถนำเอาไปใช้กับงานอื่นได้

2.2.10.1. ตัวประกอบสำคัญที่มีผลต่อแรงสตริปปิง

1. วัตถุดิบ : วัตถุดิบที่มีความเสียดทานมาก และวัตถุดิบที่มีแนวโน้มจะติดกับวัตถุอื่นได้ง่าย จะทำการสตริปได้ยาก

2. สภาพของคมตัด : เมื่อคมตัดมีความคม จะใช้แรงสตริปปิงน้อยลง

3. ผิวด้านข้างของพั้นช์ : พั้นช์ที่มีผิวด้านข้างเรียบมากกว่า จะทำการสตริปได้ง่ายกว่าพั้นช์ที่มีผิวด้านข้างไม่เรียบ

4. ระยะห่างระหว่างพั้นช์ : เมื่อพั้นช์อยู่ใกล้กันต้องการใช้แรงในการสตริปปิงมากขึ้น

5. พื้นที่ของวัตถุดิบที่ต้องการสตริป : วัตถุดิบชนิดเดียวกันสองชิ้น ความหนาเท่ากัน แต่มีขนาดต่างกัน นำมาเจาะรูที่มีขนาดเท่ากัน ดังนั้นจึงสามารถใช้แม่พิมพ์ชุดเดียวกันได้ และแรงที่ต้องการใช้ในการตัดก็มีค่าเท่ากัน แต่อย่างไรก็ตาม วัตถุดิบชิ้นที่มีขนาดใหญ่กว่าต้องการใช้แรงสตริปปิงมากกว่า เนื่องจากมีพื้นที่ของวัตถุดิบอยู่รอบพั้นช์มากกว่า จึงมีแรงรัดรอบพั้นช์มากกว่า

นอกจากนั้นแล้วยังมี clearance ระหว่างพั้นช์กับดาย, ขนาดของพั้นช์, ความหนาของแผ่นวัตถุดิบ, และคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ ที่มีผลต่อแรงสตริปปิงอีกด้วย

จากตัวประกอบดังกล่าวจึงเห็นได้ว่า การคำนวณหาแรงสตริปปิงอย่างแม่นยำเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก

2.2.10.2 สมการที่ใช้คำนวณ

ผู้ผลิตวัตถุดิบได้ให้ข้อมูลไว้ว่า แรงสตริปปิง จะมีค่าอยู่ระหว่าง 5 ถึง 20% เปอร์เซ็นต์ของแรงที่ต้องการใช้ในการตัด ในที่นี้ขอเสนอให้ใช้สมการในการคำนวณหาแรงสตริปปิงดังนี้

แรงสตริปปิง $F_p = 0.2\ F_s$

ในกรณีที่มีพั้นช์หลายอัน แรงสตริปปิงก็คือ ผลรวมของแรงสตริปปิงสำหรับพั้นช์แต่ละอัน หลักการนี้จะเป็นจริงเสมอ แม้ว่าพั้นช์จะตัดเจาะพร้อมกันหรือไม่ก็ตาม

2.2.11. การเลือกขนาดกำลังของเครื่องเพรส

ชาญ ถนัดงาน และคณะ (2533) อธิบายว่า ในการเลือกขนาดของเครื่องเพรส จำเป็นที่จะต้องเลือกเครื่องเพรสที่สามารถสร้างแรงกด ได้มากกว่าค่าแรงที่ต้องการใช้ในการตัดที่คำนวณได้ประมาณ 30-50% ทั้งนี้ก็เพื่อช่วยให้สามารถตัดชิ้นงานได้ในกรณีที่

1. วัตถุดิบมีความหนาไม่สม่ำเสมอ
2. วัตถุดิบเกิดการทำให้แข็งด้วยความเครียด (strain hardening)
3. การเลือกใช้สารหล่อลื่นที่แตกต่างไปจากเดิม
4. ค่า clearance ระหว่างพั้นช์กับดายเปลี่ยนแปลง
5. คมตัดของดายที่อ

เมื่อใช้สตริปเปอร์ (stripper) หรือคูชั่น (cushion) ที่ทำงานโดยใช้แรงจาก สปริง, ยาง จะต้องรวมเอาแรงเหล่านี้เข้าไปกับแรงใน blanking หรือ piercing เพื่อเลือกแรงกดของเครื่องเพรสด้วย

ดังนั้น สมการที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดแรงกดของเครื่องเพรสคือ

$$F_{tot} = (1.3 \sim 1.5)F_s + (0.2)F_s$$

2.2.12. พั้นช์พเลต (punch plate)

พั้นช์พเลตมีหน้าที่ในการยึด และ/หรือ รักษาตำแหน่งของพั้นช์ ในการใช้งานส่วนมากนิยมยึดพั้นช์ติดกับพั้นช์พเลต เนื่องจากเป็นวิธีการยึดพั้นช์ที่ดีที่สุดในทางปฏิบัติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่พั้นช์มีขนาดเล็ก และการยึดพั้นช์ติดกับพั้นช์พเลตช่วยทำให้พั้นช์มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

ความหนาของพั้นช์พเลต ไม่มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอน แต่จะแปรผันไปตามความต้องการในการใช้งาน ตัวประกอบที่มีผลต่อการกำหนดความหนาของพั้นช์พเลตมีดังนี้ :

1. ความยาวพั้นช์ ความหนาของพั้นช์พเลตควรเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาวของพั้นช์ พั้นช์ที่มีความยาวมากขึ้น ก็ต้องการพั้นช์พเลตที่มีความหนาเพิ่มขึ้น

2. ความแข็งแรงของพั้นช์ ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปทรงของพั้นช์ สิ่งนี้เป็นตัวประกอบที่ค่อนข้างมีผลมากกว่าสัดส่วนของ พั้นช์ กับ พั้นช์พเลต โดยทั่วไป พั้นช์ที่มีความแข็งแรงน้อย จะต้องการให้ พั้นช์พเลต ช่วยรองรับค่อนข้างมาก

3. ความหนักหน่วงของงาน ซึ่งค่อนข้างจะมีผลมากต่อความแข็งแรงของพั้นช์ โดยปกติ งานหนักมากขึ้นต้องการใช้พั้นช์พเลตที่หนามากขึ้น

4. งานไม่สมดุล เมื่อมีแรงกระทำในแนวตั้งฉากกับแกนพั้นช์ ต้องใช้พั้นช์พเลตช่วยรองรับมากขึ้น

5. เมื่อใช้พั้นช์ไกด์ (punch guide) หรือชิ้นส่วนอื่นรองรับพั้นช์ ก็สามารถใช้พั้นช์พเลตช่วยรองรับน้อยลง

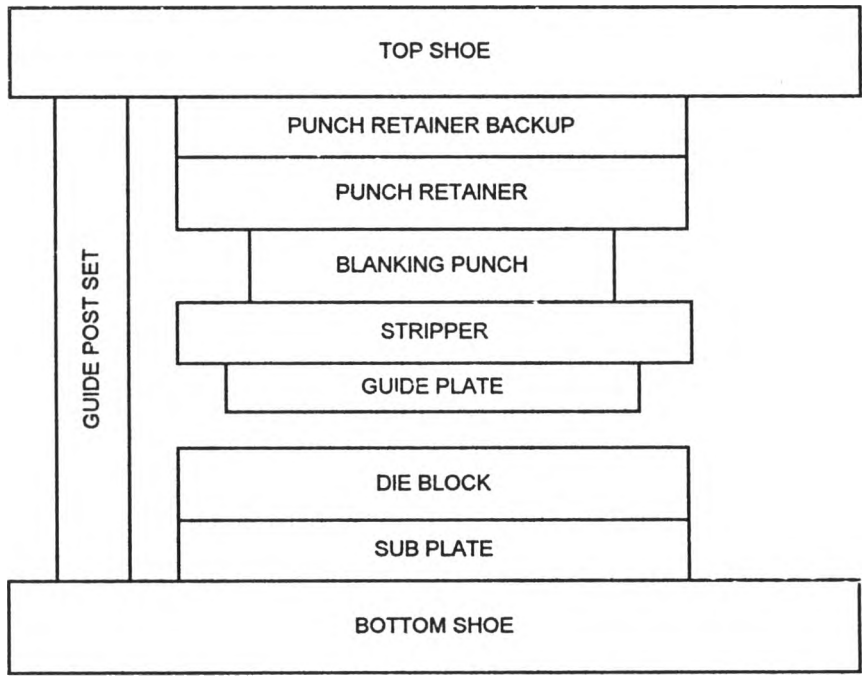
6. พั้นช์ที่มีหัว (step-head) มักต้องการใช้พั้นช์พเลตที่หนากว่าพั้นช์ไม่มีหัว ที่มีขนาดเท่ากัน โดยมากแล้วมักใช้

ความหนาของพั้นช์พเลตประมาณ 1/3 ของความยาวพั้นช์

สัดส่วนนี้ไม่ใช่กฎที่ตายตัว; แต่เป็นเพียงผลที่ได้จากการตรวจสอบแม่พิมพ์ที่ใช้งานอยู่ทั่วไป สัดส่วนที่กล่าวถึงนี้ ใช้เป็นแนวทางในการกำหนดความหนาของพั้นช์พเลต ซึ่งใช้ได้เมื่อไม่มีเกณฑ์อย่างอื่นมากำหนดไว้

2.3. ส่วนประกอบหลักของแม่พิมพ์ตัด

ส่วนประกอบหลักของแม่พิมพ์ตัด แสดงด้วยรูปที่ 2.23 โดยแต่ละส่วนมีหน้าที่ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.23 ส่วนประกอบหลักของแม่พิมพ์

1. Top Shoe ฐานพิมพ์บนเป็นส่วนที่ใช้ยึดพั้นช์และจะเคลื่อนที่ขึ้นลงด้วยข้อเหวี่ยงของเครื่องเพรส

2. Bottom shoe ฐานพิมพ์ล่างเป็นส่วนที่ใช้ยึดดายและจะยึดติดกับแผ่นที่ยึดติดกับฐานของเครื่องเพรส

3. Punch retainer เป็นแผ่นยึดและรองรับ Punch มีลักษณะเป็นก้อนเหล็กแผ่นรูปสี่เหลี่ยม สำหรับยึดส่วนบนของ punch ให้ติดกับ top shoe ด้วยสกรูและสลักกันเคลื่อน โดยตัว punch จะสวมอัดอยู่กับ punch retainer ซึ่งส่วนบนจะทำเป็นบ่าไว้พอดีกับหัว punch

4. Blanking Punch ใช้สำหรับตัดชิ้นงานให้ได้รูปร่างตามที่ต้องการ โดยการทำให้ส่วนล่างของ punch มีรูปร่างและขนาดตามชิ้นงานที่ต้องการ

5. Stripper pad ทำหน้าที่กันไม่ให้แผ่นสตริปติดพั้นช์ขึ้นไปในขณะที่เครื่องทำการตัดแล้ว

6. Stripper guide plate เพื่อกำหนดตำแหน่งของชิ้นงาน เป็นผลให้ในการทำงานมีความสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น

7. Guide Post Set สลักหรือแกน หรือเสาที่ยึดติดกับฐานพิมพ์ล่าง (bottom shoe) และมีปลอกนำยึดติดกับฐานพิมพ์บน (top shoe) ทำหน้าที่ในการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของแม่พิมพ์ชุดบน

8. Die ส่วนมากจะทำจากเหล็กกล้าทำเครื่องมือและเมื่อทำการไส เจาะ และเจียระไนตบแต่งได้ตามแบบแล้วจะทำการชุบแข็งตรงส่วนที่ต้องทำการเจาะหรือตัดชิ้นส่วน ส่วนรูอื่น ๆ คือ รูเกลียวสำหรับยึด die block ให้ติดกับ die holder และส่วนประกอบอื่น ๆ นอกจากนี้ก็มีรูที่คว้านสำหรับใส่สลัก (dowel pin) เพื่อป้องกันไม่ให้ die block เคลื่อนที่ไปจากตำแหน่งเดิม

9. Die block เป็นส่วนที่ยึดดายแยกส่วนไว้ด้วยกัน

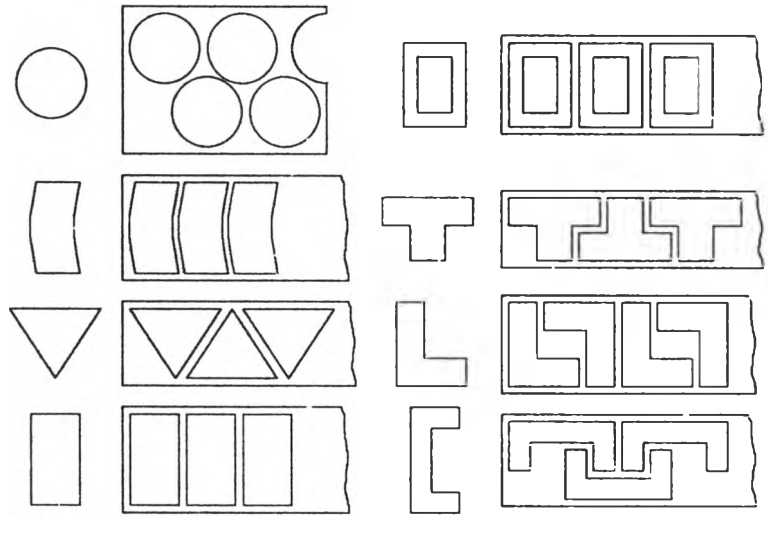
2.4. ขั้นตอนในการออกแบบแม่พิมพ์ตัด

ชาญชัย ทรัพยากร, ประสิทธิ์ สวัสดิสรรพ์ และ วิรุฬ ประเสริฐวรนันท์ (2538) ได้อธิบายขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์ตัดไว้ดังนี้

2.4.1. Lay Out Scrap Strip

ขั้นแรกในการออกแบบแม่พิมพ์คือ การเขียนรูปร่างลักษณะของแผ่น material strip ที่จะปรากฏเมื่อผ่านขั้นตอนการทำงานทุกขั้นตอนในแม่พิมพ์แล้ว ซึ่งจะทำให้กลายเป็น scrap strip และต้องจำไว้เสมอว่า การออกแบบ scrap strip จะต้องเรียงลำดับขั้นตอนในการปั๊มอย่างถูกต้อง โดยไม่ข้ามขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งไป

รูปร่างของ blank ส่วนใหญ่จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับแบบใดแบบหนึ่ง ในรูปที่ 2.24 ซึ่งในรูปนี้ยังแสดงให้เห็นหลักการออกแบบการ lay out material strip อย่างถูกต้อง ซึ่งสามารถดัดแปลงไปใช้กับชิ้นส่วนที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันได้



รูปที่ 2.24 รูปร่างทั่วๆ ไปของ blank

มีชิ้นส่วนหลายชนิดที่มีเส้นรอบรูปที่จัด lay out แล้วทำให้สิ้นเปลืองวัสดุมาก อาจรวมการปั๊มชิ้นส่วน 2 ชนิดหรือมากกว่าบนแผ่น strip เดียวกันได้ คือ ส่วนที่เป็นเศษของชิ้นงานชนิดหนึ่งอาจมีพื้นที่พอที่จะใช้ผลิตชิ้นส่วนอีกชนิดหนึ่งได้

2.4.2. การวางตำแหน่งของ blank

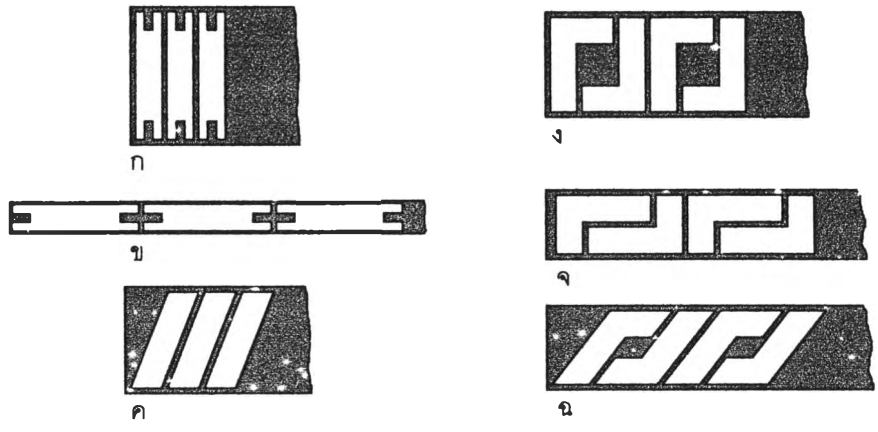
การจัดตำแหน่งของ blank บนแผ่น strip สามารถจัดให้แตกต่างกันได้ถึง 11 แบบ การเลือกวิธีการที่ถูกต้องจะต้องคำนึงถึงรูปร่างของชิ้นส่วน ปริมาณการผลิต และการพับหรือขึ้นรูป

2.4.2.1. แบบแถวเดียวป้อนผ่านครั้งด้วย และแบบแถวเดียวป้อนผ่านสองครั้ง

แบบแถวเดียวป้อนผ่านครั้งเดียว blank จะถูกเรียงเป็นแถวเดียวและแผ่น strip จะถูกป้อนผ่านแม่พิมพ์เพียงครั้งเดียวเพื่อตัด blank ออกทีละชิ้นจนหมดแผ่น strip ในรูปที่ 2.25 ก ตำแหน่ง blank จะเรียงกันในแนวตั้งเพราะว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุดที่จะทำให้ได้จำนวนชิ้นงานมากที่สุดในแผ่น strip แต่ละชิ้น ทำให้ไม่ต้องเปลี่ยนแผ่น strip บ่อยๆ แต่ถ้าต้องการความแข็งแรงในชิ้นส่วนเนื่องจากการเรียงตัวของเกรนในแผ่น strip ก็ควรใช้แบบตามรูปที่ 2.25 ข แต่วิธีนี้จะทำให้ต้องใช้แผ่น strip มากกว่าแบบ ก ในการผลิตจำนวนชิ้นส่วนที่เท่ากัน

ในบางครั้งรูปร่างของชิ้นส่วนอาจจะมีลักษณะเอียงเป็นมุมดังในรูปที่ 2.25 ค การจัดตำแหน่งตามรูปที่ 2.25 ค จำทำให้ประหยัดวัสดุได้มากกว่าเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ โดยที่ไม่แตกหักง่าย

เมื่อรูปร่างของชิ้นส่วนมีลักษณะดังในรูปที่ 2.25 ง, จ และ ฉ การจัดวางตำแหน่งให้เป็นแบบแถวเดียวป้อนผ่านสองครั้ง จะทำให้ประหยัดวัสดุได้มากกว่า ในกรณีนี้ blank จะถูกเรียงเป็นแบบแถวเดียว แต่จะมีการกลับหัวชิ้นส่วนสลับกันไป แผ่น strip จะถูกป้อนผ่านแม่พิมพ์สองครั้งจึงสามารถตัดชิ้นส่วนได้ทั้งหมด เมื่อแผ่น strip ผ่านแม่พิมพ์ครั้งแรก blank ที่มีลักษณะหัวตั้งจะถูกตัดออกจนหมด และเมื่อทำการกลับด้านแผ่น strip และป้อนผ่านแม่พิมพ์เป็นเที่ยวที่สอง blank ส่วนที่เหลือจะถูกตัดออกจนหมด



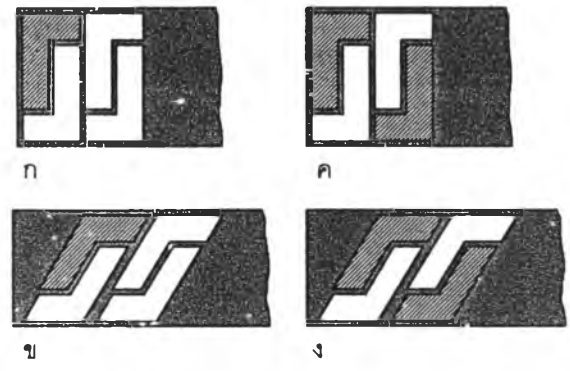
รูปที่ 2.25 การจัดตำแหน่ง blank แบบแถวเดียวในลักษณะต่างๆ

การใช้ lay out แบบป้อนผ่านสองครั้งจะทำให้ค่าแรงงานเพิ่มขึ้นประมาณ 10-15% และยังต้องคอยระวังเกี่ยวกับการตั้งระยะของเกจอีกด้วย ดังนั้นจะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมระหว่างค่าแรงที่เพิ่มขึ้นกับประโยชน์ที่ได้จากการประหยัดวัสดุว่าสิ่งใดจะได้รับประโยชน์มากกว่ากัน

2.4.2.2. แบบ 2 แถว

การจัดวางตำแหน่งแบบสองแถวผ่านสองครั้ง ดังในรูปที่ 2.26 ก และ ข แผ่น strip จะผ่านแม่พิมพ์สองครั้ง เช่นเดียวกับ แบบแถวเดียวผ่านสองครั้ง แต่ระยะห่างระหว่าง blank จะอยู่ใกล้เข้ามาทำให้สามารถทำงานได้รวดเร็วยิ่งขึ้น และประหยัดวัสดุได้มากยิ่งขึ้น

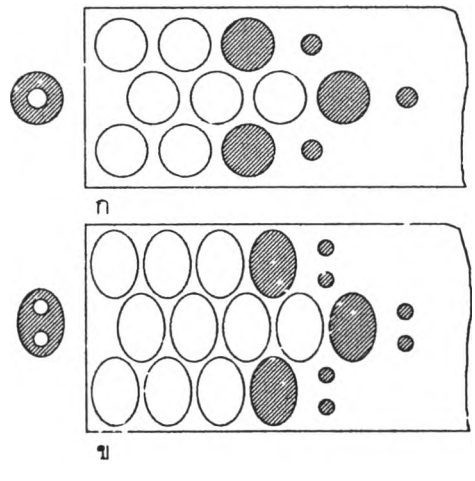
การจัดวางตำแหน่งแบบเดียวกันนี้สามารถใช้กับ double row gang die ซึ่งเป็นแม่พิมพ์ที่ใช้กับการจัดตำแหน่งแบบสองแถว ดังรูปที่ 2.26 ค และ ง แม่พิมพ์แบบนี้จะมีพั้นช์และดาย 2 ชุดในแม่พิมพ์เดียวกัน โดยมีพั้นช์และดายแถวละชุด และจะต้องให้ระยะห่างระหว่างพั้นช์ทั้งสองชุดนี้อย่างเหมาะสม แผ่น strip จะถูกป้อนผ่านแม่พิมพ์เพียงครั้งเดียวโดยจะได้ blank สองชิ้นในแต่ละครั้งที่เครื่องทำงานทำให้เพิ่มความรวดเร็วในการทำงานได้มาก แต่ก็ควรพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการติดตั้งพั้นช์และดายชุดพิเศษที่เพิ่มเข้าไปว่าคุ้มค่าหรือไม่



รูปที่ 2.26 การวางตำแหน่ง blank แบบสองแถวผ่านสองครั้งและสองแถวผ่านครั้งเดียว

2.4.2.3. แบบ 3 แถว

ในรูปที่ 2.27 แสดงชิ้นส่วนชนิดที่ใช้ triple-row gang die ที่ทำงานแบบต่อเนื่อง ในรูปที่ 2.27 ก ใช้สำหรับผลิตวงแหวน (washer) ด้วยความเร็วสูง ในขณะที่รูปที่ 2.27 ข จะทำเป็นรูปวงรีและมีรูกลมอยู่ภายในสองรู ในแม่พิมพ์แต่ละตัวควรจะมีมากกว่า 3 แถว ซึ่งจำนวนของแถวจะถูกกำหนดโดยขนาดของเครื่องและจำนวนผลิต



รูปที่ 2.27 การวางตำแหน่ง blank แบบสามแถว

i 17873603

2.4.3. การออกแบบ DIE BLOCK

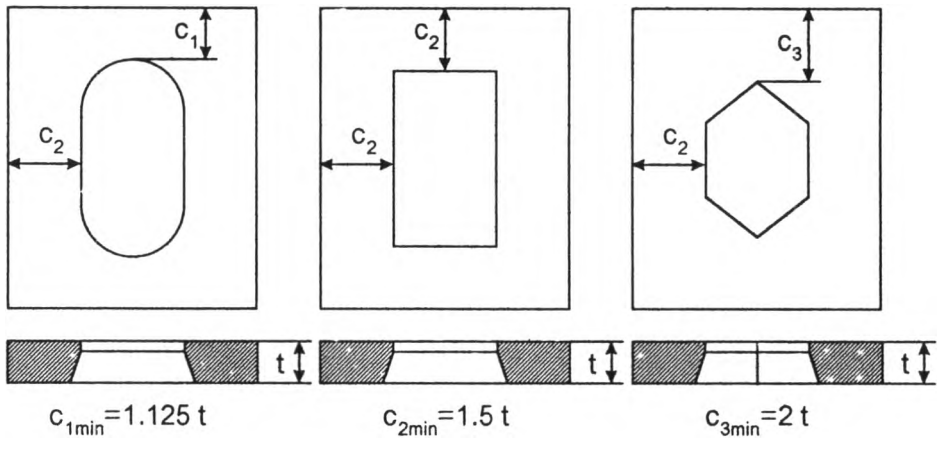
มีปัจจัย 4 ประการ ที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบดาย คือ

1. ขนาดของชิ้นส่วน
2. ความหนาของชิ้นส่วน
3. ความซับซ้อนของเส้นรอบรูป
4. ชนิดของแม่พิมพ์

ในแม่พิมพ์ขนาดเล็กที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนอะไหล่ของเครื่องจักรโดยปกติจะเป็น die block ตันชิ้นเดียวกันทั้งตัว นอกจากในชิ้นส่วนที่มีเส้นรอบรูปที่ซับซ้อนจึงจะแยก die block ออกเป็นส่วน ๆ เพื่อให้ง่ายแก่การตบแต่งด้วยเครื่องจักร แล้วจึงนำมาประกอบรวมกันเป็นชุด ในแม่พิมพ์ที่มีขนาดใหญ่นิยมแบ่ง die block เป็นส่วน ๆ เพื่อให้สะดวกแก่การกลึกและไส ชุบแข็งและเจียรไน

2.4.3.1. สัดส่วนระยะจากขอบช่อง die ถึง ขอบ die block

สัดส่วนของ die block ระยะจากขอบช่อง die ถึง ขอบของ die block โดยปกติจะเป็น 1.125 เท่าของความหนาของ die block แต่ค่านี้ควรจะเพิ่มขึ้นเป็น 1.5 เท่า สำหรับแม่พิมพ์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น หรือในชิ้นงานที่มีมุมแหลม สำหรับแม่พิมพ์ที่มีขนาดใหญ่มากและแผ่น strip ที่หนามาก ระยะนี้ควรเพิ่มเป็น 2 เท่าของความหนาของ die block ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 ระยะน้อยที่สุดจากขอบช่อง die ถึงขอบ die block

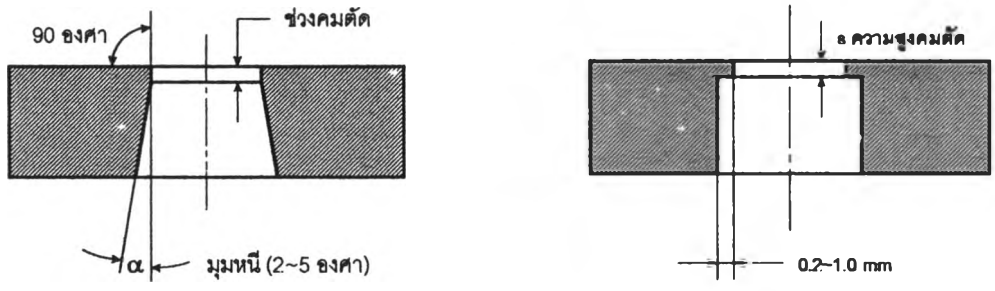
2.4.3.2. ความหนาของ block

Klaus Schukz (2535) ได้อธิบายว่า ความหนาของแผ่นดายอาจมีหลายขนาดตั้งแต่ 16 ถึง 60 ขึ้นกับขนาดและความหนาของแผ่นวัสดุที่จะตัดและคุณภาพของเหล็กที่ใช้ทำแผ่นดาย สำหรับแม่พิมพ์อัตราการผลิตสูง และแม่พิมพ์เหล็กเครื่องมือที่ต้องตัดแผ่นวัสดุหนาและเปราะมาก เช่น พวกเหล็กกล้าที่ใช้ทำหม้อแปลงไฟฟ้า มักใช้แผ่นดายที่มีความหนา 60 มม.

ขนาดแผ่นดายจะต้องต้านทานแรงในการตัด และขึ้นอยู่กับชนิดและความหนาของแผ่นวัสดุที่ตัด ถ้าแผ่นวัสดุบางมาก ความหนาแผ่นดาย 12 มม. เผื่อสำหรับทำรูเกลียวเจาะไม่ทะลุและการลับคม โดยปกติจะใช้แผ่นดายที่มีความหนาตั้งแต่ 16-50 มม. ความหนาและความต้านแรงเฉือนของแผ่นวัสดุตารางที่ 2.6 เป็นขนาดของแผ่นดายที่แนะนำให้ใช้

ตารางที่ 2.6 พื้นภาคตัดขวางของช่องเปิดของดาย

ความหนาแผ่นวัสดุ (มม.)	ความหนาแผ่นดาย (มม.)
ไม่เกิน 1.5	18 - 20
1.5 - 3.0	20 - 25
3.0 - 4.5	25 - 30
4.5 - 6.0	30 - 40
มากกว่า 6.0	40 - 50

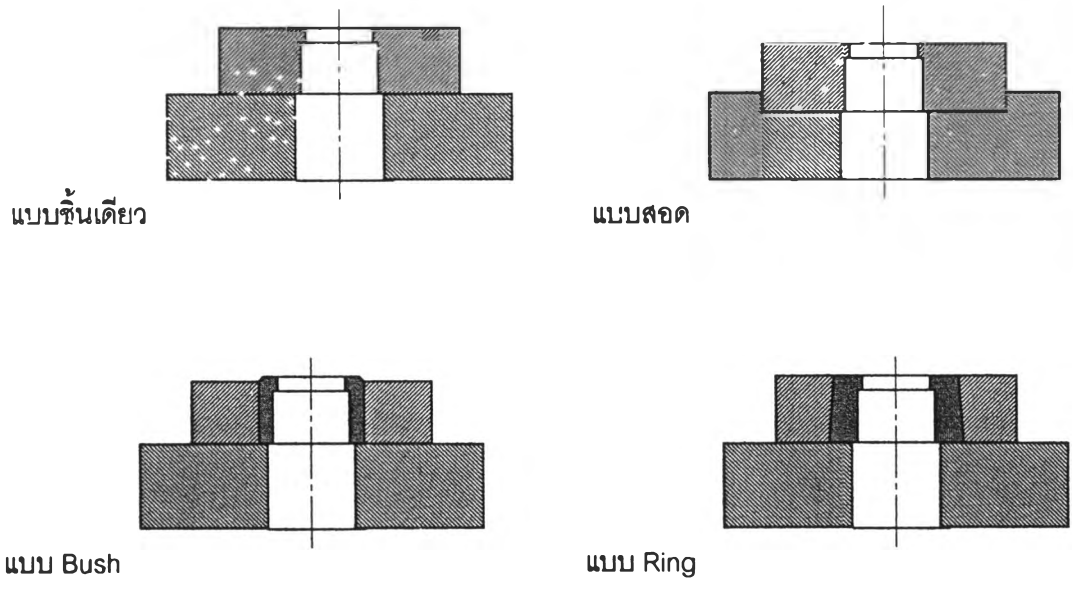


รูปที่ 2.29 พื้นที่ภาคตัดขวางของช่องเปิดของดาย

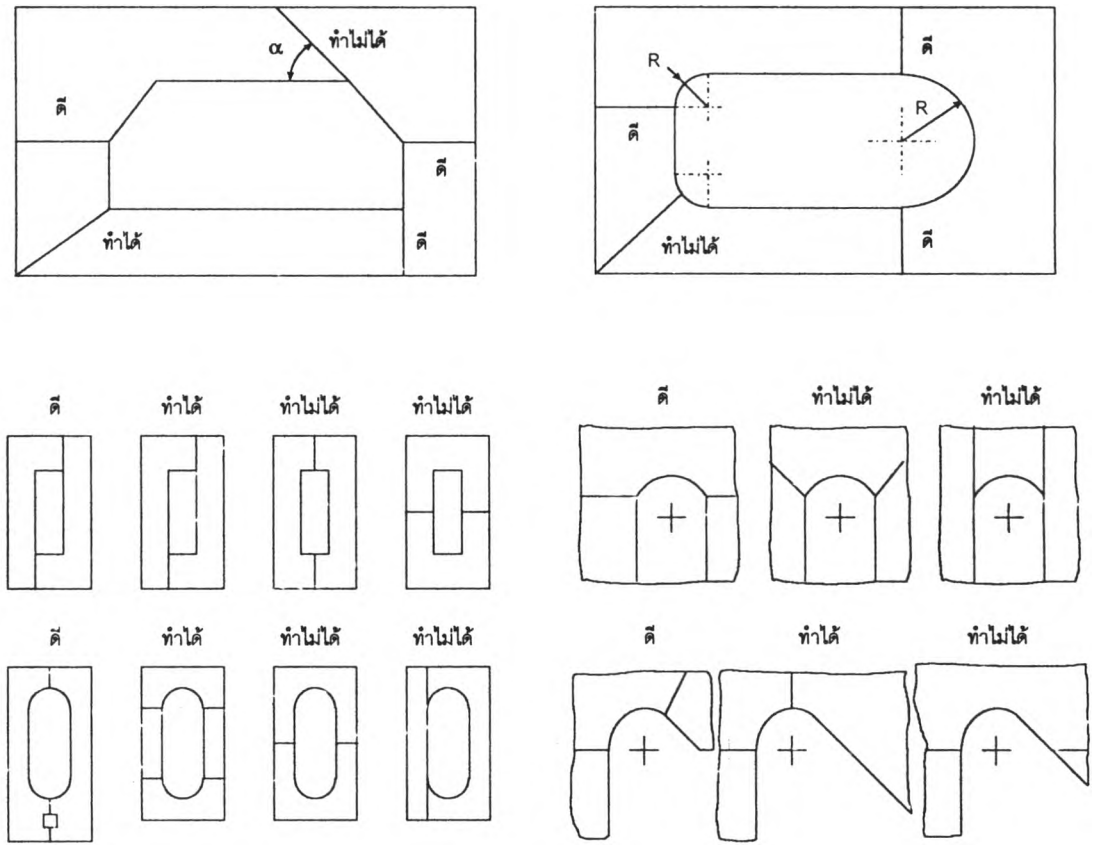
2.4.3.3. โครงสร้างของดาย

เทคโนโลยีแม่พิมพ์สำหรับชิ้นส่วนยานยนต์ (2534) ได้อธิบายไว้ว่า โครงสร้างของดาย แบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 4 แบบ และแสดงด้วยรูปที่ 2.30 และ รูปที่ 2.31 ดังนี้

1. แม่พิมพ์ชิ้นเดียว เป็นแม่พิมพ์ที่ส่วนบนของคมตัดและแผ่นยึดเป็นชิ้นเดียว
2. แบบลูกเสียบหรือแบบสอดชิ้นส่วน
3. แบบ Bush Die หรือ Die Ring
4. แบบแยกส่วน



รูปที่ 2.30 โครงสร้างดายแบบต่างๆ



รูปที่ 2.31 โครงสร้างดายแบบแยกส่วน

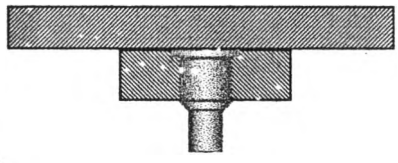
2.4.4. การออกแบบ BLACKING PUNCH

เทคโนโลยีแม่พิมพ์สำหรับชิ้นส่วนยานยนต์ (2534) ได้อธิบายไว้ว่า Blanking Punch อยู่เหนือ die block ขึ้นไปในตำแหน่งที่ตรงกับรูที่จะทำการตัด ขอบข่ายงานของ blanking punches สามารถทำได้ตั้งแต่ชิ้นส่วนขนาดเล็กๆ เช่น ขบวนการผลิตชิ้นส่วนนาฬิกาข้อมือ จนถึงชิ้นส่วนขนาดใหญ่ เช่น ส่วนประกอบของรถยนต์ กันชน ประตู และหลังคา เป็นต้น ขนาดของ biank ที่ทำการผลิตจะเป็นตัวกำหนดชนิดของพั้นช์ ข้อพิจารณาในการออกแบบมีดังนี้

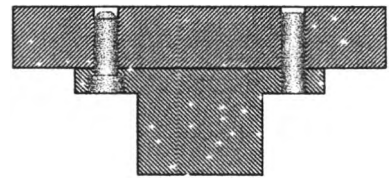
1. ความมั่นคงของพั้นช์ เพื่อป้องกันการโก่งงอ
2. สกรูที่ใช้ต้องสามารถรับแรงได้มากพอ
3. สลัก (dowel) ต้องใส่อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง เพื่อความแม่นยำในขณะทำงาน
4. แบ่งเป็นส่วนย่อยๆ ถ้าจำเป็นตามความเหมาะสมในการชุบแข็ง

2.4.1.4. โครงสร้างของพั้นช์แบบต่างๆ

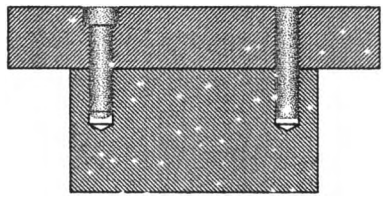
แบบโครงสร้างของพั้นช์เป็นดังรูปที่ 2.32 ถึง 2.36



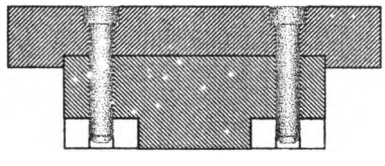
รูปที่ 2.32 Blanking punch ขนาดเล็ก



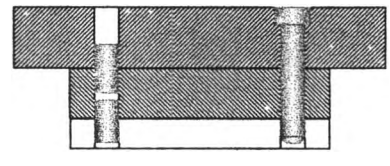
รูปที่ 2.33 Flanged punches



รูปที่ 2.34 พั้นช์ขนาดใหญ่สามารถยึดสกรูโดยไม่จำเป็นต้องต่อปีก



รูปที่ 2.35 การแบ่งพั้นช์เป็น 2 ส่วนเพื่อประหยัดเหล็กแข็ง



รูปที่ 2.36 ใช้แผ่นรองเพื่อประหยัดเหล็กแข็ง

2.4.5. การออกแบบแผ่นยึดพั้นช์ (Punch Plate)

แผ่นยึดพั้นช์ทำหน้าที่ยึดและรองรับพั้นช์ ส่วนมากทำจากเหล็กเหนียวธรรมดา แต่บางครั้งก็อาจทำด้วยเหล็กแข็งเมื่อต้องการความมั่นคงและถาวรสูง

แผ่นยึดพั้นช์สามารถออกแบบให้มีขนาดเล็กๆ สำหรับจับยึดพั้นช์เพียงตัวเดียวหรือให้มีขนาดใหญ่เพื่อจับยึดพั้นช์หลายๆ ตัวก็ได้ ข้อพิจารณาในการออกแบบพั้นช์ คือ

1. ต้องมีความหนาเพียงพอที่จะรองรับพั้นช์ได้อย่างมั่นคง

2. ต้องใส่สลักให้เที่ยงตรง

3. ยึดสกรูให้แน่นและมากพอที่จะรับแรงกระแทกได้

2.4.6. การออกแบบแผ่นกดชิ้นงาน (Stripper)

แผ่นกดชิ้นงาน เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบเข้ากับแม่พิมพ์ปั๊มโลหะ เพื่อจุดประสงค์ในการเอาชิ้นงานออกจากพั้นช์ เพราะในการปั๊มตัดโลหะในกรณีของการปั๊มตัดรูกลมหรืออื่นๆ เมื่อโลหะถูกตัดขาด เนื้อโลหะโดยรอบพั้นช์จะมีทิศทางการไหลตัวเข้าหาพั้นช์ มีผลให้ scrap strip พยายามที่จะบีบรัดพั้นช์ เมื่อแม่พิมพ์ชุดบนเคลื่อนตัวขึ้นในกรณีที่ไม่มีแผ่นกดชิ้นงาน scrap strip ก็จะติดพั้นช์ขึ้นไป ด้วยเหตุผลนี้เองการออกแบบแม่พิมพ์จึงมักจะออกแบบให้มีแผ่นกดชิ้นงาน เพื่อกันให้ scrap strip หลุดจากพั้นช์

ในการจัดสร้างแผ่นกดชิ้นงานนั้นอาจจะทำแบบแผ่นกดชิ้นงานอยู่กับที่ (solid striper plate) ดังรูปที่ 2.37 โดยการยึดแผ่นกดชิ้นงานติดกับ die block ซึ่งสามารถจัดสร้างได้ง่ายและราคาถูก หรืออาจทำเป็นแผ่นกดชิ้นงานแบบเคลื่อนที่ได้ (spring strippers) ดังรูปที่ 2.38 ประกอบกับแม่พิมพ์ชุดบน เมื่อมีความจำเป็นดังนี้

1. ในกรณีของชิ้นงานที่ต้องการความเรียบเป็นสำคัญ เพราะการใช้แผ่นกดชิ้นงานแบบเคลื่อนที่ได้นั้นก่อนที่แม่พิมพ์จะทำการตัดโลหะแผ่นกดชิ้นงานจะกดชิ้นงานให้แนบกับผิวหน้าของ die block ให้เรียบ

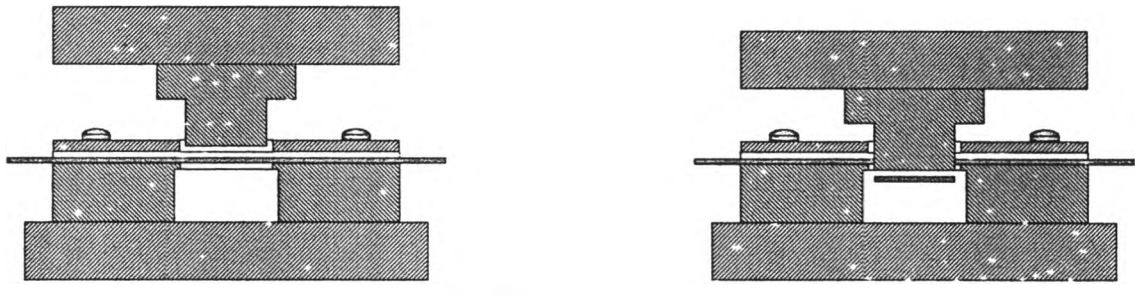
2. ในกรณีที่ทำการตัดโลหะที่บางมาก การใช้แผ่นกดชิ้นงานแบบเคลื่อนที่ได้จะช่วยให้การตัดมีประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีของใช้แผ่นกดชิ้นงานแบบอยู่กับที่

3. ในกรณีของการนำ strip ที่เหลือจากการทำงานในขั้นตอนอื่นๆ มาใช้งานต่อในกรณีนี้ การใช้แผ่นกดชิ้นงานแบบเคลื่อนที่ได้จะช่วยให้การวางตำแหน่งของ strip ทำได้สะดวกกว่า

4. ในกรณีของพั้นช์ที่ใช้มีขนาดเล็ก การใช้แผ่นกดชิ้นงานแบบเคลื่อนที่ได้กดชิ้นงานก่อนการตัดจะช่วยให้ป้องกันการแตกร้าวของพั้นช์ได้

5. เมื่อต้องการความรวดเร็วในการป้อนชิ้นงานใน progressive die การใช้แผ่นกดชิ้นงานแบบเคลื่อนที่ได้จะช่วยให้การป้อนชิ้นงานทำได้สะดวกและรวดเร็วกว่า

ในการจัดสร้างแผ่นกดชิ้นงานอาจจะใช้วัสดุจำพวก cold-rolled steel หรือพวก machine steel ก็ได้



รูปที่ 2.37 การติดตั้ง Solid stripper กับ die block

รูปที่ 2.38 Spring Stripper

2.4.7. การออกแบบการยึดส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์

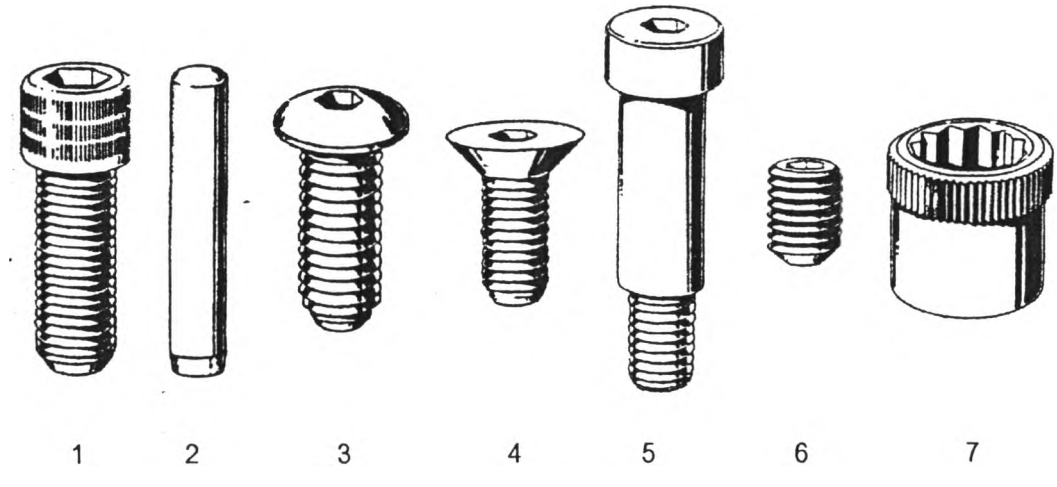
ชาญ ถนัดงาน และคณะ (2533) อธิบายว่า สกรูเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญมากอันหนึ่งในชุดของแม่พิมพ์ ไม่ว่าจะเป็นแม่พิมพ์ขึ้นรูป, แม่พิมพ์ตัด หรือแม่พิมพ์เจาะรูก็ตาม อุปกรณ์ที่จะขาดเสียมิได้ในการยึดส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์เข้าด้วยกันก็คือ สกรู

การยึดแม่พิมพ์นิยมใช้สกรูและสลักเป็นส่วนใหญ่ สกรูที่ใช้จะเป็นสกรูแบบ socket head cap screw เพราะสามารถคว้านรูเพื่อฝังหัวสกรูไม่ให้โผล่ขึ้นมาบนผิวหน้าของส่วนต่างๆ ได้

การเลือกใช้ชนิด, ขนาดของสกรูรวมทั้งการกำหนดจำนวนที่ใช้หรือการวางระยะห่างสกรูในการยึดส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์เป็นสิ่งสำคัญประการหนึ่ง เพราะว่าจุดนี้อาจเป็นจุดอ่อน หรือจุดอาจทำให้แม่พิมพ์เสียหายได้ง่าย ถ้าการเลือกใช้ชนิดและขนาดของสกรูไม่เหมาะสม หรือ ระยะระหว่างสกรูไม่เหมาะสม เช่น วางระยะห่างเกินไปหรือใกล้กันเกินไป เป็นต้น

อุปกรณ์ในการยึดโครงสร้างของแม่พิมพ์ ที่นิยมใช้กันมีดังนี้

1. สกรูหัวฝัง (socket cap screws)
2. สลัก (dewels)
3. socket button-head screws
4. socket flat-head screws
5. stripper bolts หรือ shoulder bolts
6. สกรูตัวหนอน หรือสกรูปรับระยะ (socket set screws)
7. allenuts



รูปที่ 2.39 อุปกรณ์ที่ใช้ยึดโครงสร้างแม่พิมพ์

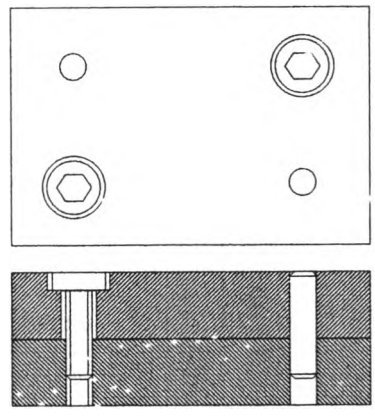
นอกจากนี้ยังมีตัวยึดที่ใช้ยึดโครงสร้างแม่พิมพ์อีก แต่ใช้ไม่มากเท่าใดนัก เช่น สกรูหัวหกเหลี่ยม (hexagon nuts), washers, stud, หมุดย้ำ (rivet) เป็นต้น

สกรูที่มีประสิทธิภาพและนิยมใช้ในการยึดโครงสร้างของแม่พิมพ์คือ สกรูหัวฝัง (socket cap screw) และ dowel pins

การเผื่อช่องว่างของรูที่จะใส่สกรูนั้น รูที่เจาะจะต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 มม. หรือ 1/64 นิ้ว เพื่อผลในด้านของการประกอบโครงสร้างของแม่พิมพ์ ให้สามารถปรับตัวได้เล็กน้อย และต้องทำ counterbored ที่จะฝังหัวสกรูให้ใหญ่กว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวสกรูประมาณ 1 มม. หรือ 1/32 นิ้ว มีความลึกกว่าความสูงของหัวสกรูประมาณ 3 มม.

ไม่ว่าในกรณีใดก็ตามการยึดโครงสร้างของแม่พิมพ์เข้าด้วยกัน อาจใช้สกรูในการยึด 2 ตัวหรือมากกว่าก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าขนาดของแม่พิมพ์มีขนาดใหญ่หรือเล็ก แต่จะใช้ dowel pins ในการยึดโครงสร้างของแม่พิมพ์ เพื่อเป็นตัวกำหนดตำแหน่งของแม่พิมพ์เพียง 2 ตัวเท่านั้นจะไม่ใช้มากหรือน้อยกว่านี้ ดังรูปที่ 2.40

เหตุที่ต้องใช้ dowel pins ในการยึดโครงสร้างของแม่พิมพ์ควบคู่ไปกับสกรูก็เพราะเหตุว่า ถ้าใช้สกรูยึดโครงสร้างของแม่พิมพ์เพียงอย่างเดียว เมื่อมีการถอดประกอบโครงสร้างของแม่พิมพ์เพื่อนำไปซ่อมแซม เมื่อนำมาประกอบใหม่ช่องว่างที่เผื่อไว้ที่รูของสกรูจะยังผลให้ความสัมพันธ์ของระยะต่างๆ ของแม่พิมพ์เปลี่ยนแปลงหรือคลาดเคลื่อนได้ ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้ dowel pins จะช่วยป้องกันการเคลื่อนตัวของส่วนประกอบของแม่พิมพ์

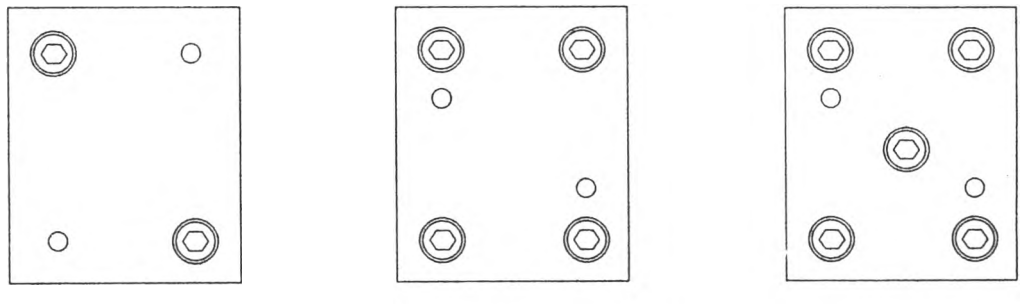


รูปที่ 2.40 การใช้สกรู และ dowel pins ในการยึดโครงสร้างของแม่พิมพ์

2.4.7.1. วิธีการยึดโครงสร้างของแม่พิมพ์

วิธีการยึดโครงสร้างของแม่พิมพ์มีดังต่อไปนี้และแสดงด้วยรูปที่ 2.41

1. ใช้สกรู 2 ตัวยึดที่มุมตรงข้ามกันหรือยึดทแยงมุมกัน อีก 2 มุมที่เหลือจะยึดด้วย dowel pins วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้ยึดโครงสร้างของแม่พิมพ์ในแม่พิมพ์ขนาดเล็กและปานกลาง
2. ใช้สกรูยึดที่มุมทั้ง 4 และใช้ dowel pins 2 ตัว วางอยู่ในตำแหน่งเยื้องจากสกรูเล็กน้อย (offset) ที่มุมตรงกันข้าม วิธีนี้จะใช้กับแม่พิมพ์ที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่หรือแม่พิมพ์ที่ต้องรับแรงมากกว่าวิธีที่ 1
3. ใช้สกรูยึด 5 ตัวและ dowel pins 2 ตัว โดยการยึดสกรูที่มุมทั้ง 4 และที่ตำแหน่งกึ่งกลาง ส่วนตำแหน่งของ dowel pins คงอยู่ในตำแหน่งเดียวกับวิธีที่ 2 วิธีนี้เหมาะที่จะใช้กับแม่พิมพ์ขนาดใหญ่ที่ต้องรับแรงมากๆ



รูปที่ 2.41 วิธีการยึดโครงสร้างของแม่พิมพ์

2.4.8. การเลือกใช้ชุดแม่พิมพ์ (DIE SET)

ชุดแม่พิมพ์ (Die Set) มีหน้าที่ช่วยให้การทำงานของแม่พิมพ์เที่ยงตรงและติดกับเครื่องเพรสง่าย die set มีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ กันซึ่งจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสภาพการปฏิบัติงาน

ในการเลือกใช้ชุดแม่พิมพ์ให้เหมาะกับส่วนประกอบหรือโครงสร้างของแม่พิมพ์ อันดับแรกในการเลือกใช้ชุดแม่พิมพ์คือ การเลือกขนาดหรือการเลือกพื้นที่ของชุดแม่พิมพ์ ขั้นตอนที่สองคือ เลือกขนาดความหนาของฐานพิมพ์บนและฐานพิมพ์ล่างให้เหมาะสมกับขนาดของแม่พิมพ์

องค์ประกอบ 10 ประการที่ควรต้องทราบก่อนการเลือกใช้ die set

1. บริษัทหรือโรงงานผู้ผลิต (make or manufacturer)
2. ชนิดของ die set (type)
3. ขนาดของ die set (size)
4. วัสดุ (material)
5. ความหนาของ die holder
6. ความหนาของ punch holder
7. ชนิดและขนาดความยาวของ bushing
8. ขนาดความยาวของ guide post
9. ขนาดของ shank
10. ขนาดความเที่ยงตรงของ die set

2.4.8.1. ชนิดของ die set (type)

2.4.8.1.1. แบบ 2 เสา (back post die sets)

Die Set แบบมี guide post อยู่ด้านหลัง (back post die sets) มี 3 ชนิด คือ

1. Die Set ธรรมดา (regular) มีสัดส่วนบริเวณในการทำงาน (กว้าง x ยาว) เท่ากัน
2. Die Set แบบมีความยาวแต่แคบ
3. Die Set แบบมีความแคบทางด้านข้าง แต่มีความยาวทางด้านหน้า

2.4.8.1.2. แบบ 3 เสา (Three post die set)

การออกแบบ die set เพื่อให้สมดุลกับแรงตัดและเป็นการเพิ่มความเที่ยงตรงโดยการเพิ่ม guide post ทางด้านหน้าของ back post die sets อีกตัวหนึ่ง เพิ่ม guide post ทางมุมด้านซ้าย สำหรับในกรณีการป้อนอัตโนมัติ เพิ่ม guide post ทางด้านหน้าตรงจุดกึ่งกลางพอดีสำหรับในกรณีการป้อนด้วยมือ

2.4.8.1.3. แบบ 4 เสา (four post die set)

สำหรับแม่พิมพ์ขนาดใหญ่มักจะใช้ die set ที่มี guide post 4 ตัว เพื่อช่วยให้มีความเที่ยงตรงและแข็งแรง เหมาะสมกับแม่พิมพ์ที่ใช้การป้อนแบบอัตโนมัติ โดยมากมักจะใช้กับพวก progressive die และใช้กับแม่พิมพ์ที่ทำด้วย carbide เพื่อช่วยให้แม่พิมพ์มีความมั่นคงแข็งแรง

2.4.8.1.4. แบบเสาอยู่ที่จุดกึ่งกลาง (center post die set)

มักจะใช้กับแม่พิมพ์พวก secondary operation เช่น แม่พิมพ์เจาะรู (piercing) coining โดยการป้อน material strip เข้าด้านหน้าของ die set หรือจะป้อนทางด้านข้างก็ได้โดยการหมุน die set ไป 180 องศา

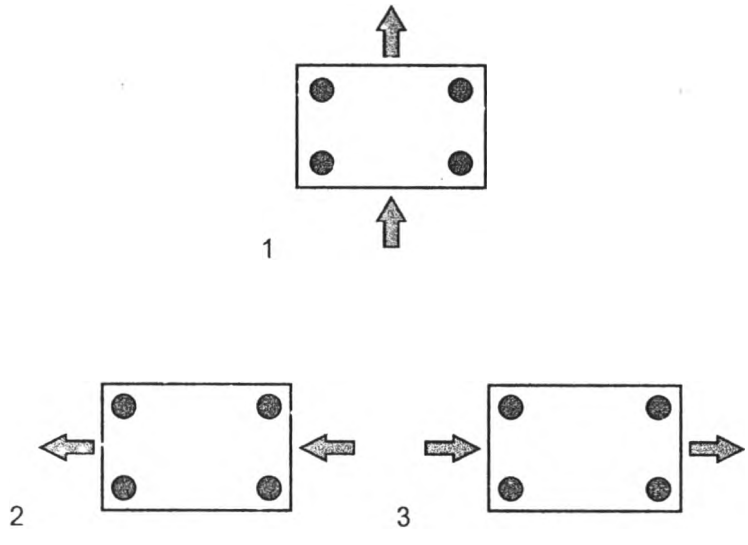
2.4.9. ทิศทางการป้อนชิ้นงาน

ปัจจัยอีกประการหนึ่งที่มีอิทธิพลต้อการเลือกใช้ชุดแม่พิมพ์ คือ ทิศทางของการป้อน material strip ซึ่งสามารถจะป้อน material strip เข้าสู่แม่พิมพ์ ได้ 3 ทิศทางดังนี้และแสดงด้วยรูปที่ 2.42

1. ป้อนจากด้านหน้าสู่ด้านหลัง ซึ่งวิธีนี้สามารถใช้การป้อนแบบอัตโนมัติได้สะดวกและรวดเร็วมาก

2. ป้อนจากขวาไปซ้าย วิธีนี้เหมาะที่จะใช้กับการป้อนด้วยมือ

3. ป้อนจากซ้ายไปขวา วิธีนี้เหมาะที่จะใช้กับการป้อนแบบอัตโนมัติ



รูปที่ 2.42 ทิศทางการป้อน material strip

ในการออกแบบแม่พิมพ์นั้น ผู้ออกแบบจะต้องรู้ทิศทางการป้อนของ material strip เพื่อที่จะสามารถกำหนดโครงสร้างต่างๆ ของแม่พิมพ์ได้ เช่น พวก gage pin, location pin, และ stops ต่างๆ เป็นต้น

2.4.10. การวาง Guide Post

การวางตำแหน่งของ guide post สามารถวางได้ 6 แบบ ดังนี้

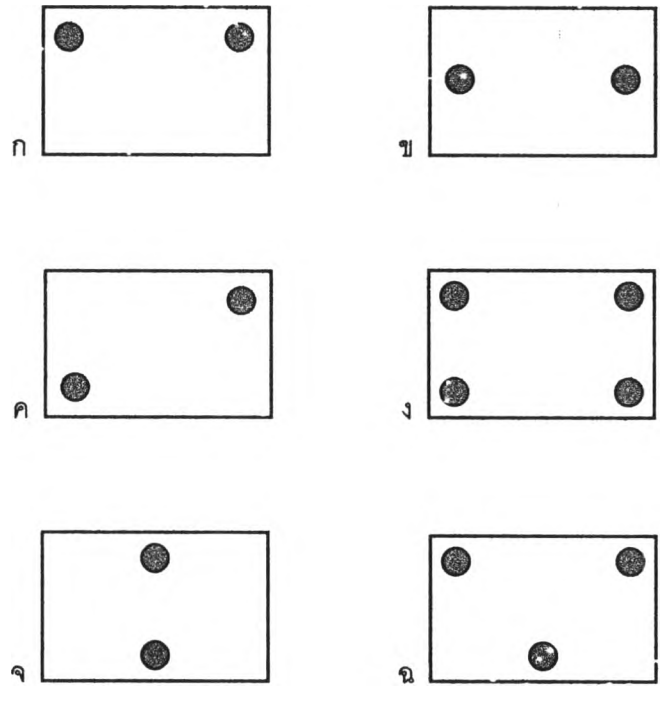
ก. วาง guide post ทางด้านหลังของแม่พิมพ์ 2 ตัว มักใช้กับแม่พิมพ์ทั่วๆ ไป

ข. วาง guide post ในตำแหน่งกึ่งกลางด้านข้าง เหมาะสำหรับแม่พิมพ์ที่มีทิศทางการป้อนจากด้านหน้าสู่ด้านหลัง

ค. วาง guide post ในตำแหน่งทแยงมุม

ง. วาง guide post ทั้ง 4 มุม

โดยทั้ง 4 แบบ เป็นการวาง guide post แบบมาตรฐานสำหรับแม่พิมพ์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังรูปที่ 2.43 ก ข ค และ ง นอกจากนี้ยังมีการวาง guide post แบบพิเศษ อีก 2 แบบ ดังรูปที่ 2.43 จ และ ฉ สำหรับกรณีการป้อน material strip จากด้านข้าง



รูปที่ 2.43 แบบของการวางตำแหน่ง guide post

2.5. หลักการของเทคโนโลยีการจัดกลุ่ม (Group Technology Foundation)

Ben-Arieh และ Trianphyllou (1992) ได้กล่าวว่า เทคโนโลยีการจัดกลุ่มเป็นเทคนิคของการจำแนกชิ้นงานออกเป็นกลุ่มๆ ซึ่งประโยชน์ของการจัดกลุ่มนี้ได้แก่ ผลผลิตเพิ่มขึ้น ลดต้นทุน ลดความยุ่งยากในการวางแผนขบวนการผลิต สร้างส่วนประกอบมาตรฐาน ปรับปรุงการประเมินต้นทุน ลดการขนถ่ายวัสดุ ลดเวลาตั้งเครื่อง การจัดส่งรวดเร็วขึ้น

คำที่มีความหมายเหมือนกับ Group Technology ได้แก่ Cellular manufacture, Group Production Methods

ปัจจุบันมีวิธีการจำแนกชนิดของชิ้นส่วนหลักๆ อยู่ 2 วิธี คือ การจำแนกโดยใช้รหัส และการจำแนกโดยการวิเคราะห์การไหลของการผลิต (production flow analysis)

ลักษณะ 3 ประเภทที่ใช้ในการจัดกลุ่ม

1. ลักษณะเชิงปริมาณ เป็นลักษณะที่แสดงคุณสมบัติของชิ้นงานได้ด้วยตัวเลข เช่น ความยาว เส้นผ่านศูนย์กลาง ซึ่งสามารถได้มาจากข้อมูลในคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ หรือวัดจากชิ้นงานโดยตรง

2. ลักษณะเชิงคุณภาพ เป็นการอธิบายชิ้นงานด้วยคำที่คลุมเครือ "ใหญ่" "กลาง" "เล็ก" ตัวอย่างเช่น ลักษณะความหยาบผิว แทนด้วย "type A", "type B" เป็นต้น

3. ลักษณะเชิงคุณภาพทางจิตวิสัย เป็นลักษณะที่มีค่าเป็นตัวเลขซึ่งไม่ได้เป็นปริมาณจริงๆ ของลักษณะนั้น ดังนั้นลักษณะนี้ยังคลุมเครือ ลักษณะประเภทนี้อาจเป็นพิกัดความเผื่อความยาวของชิ้นงาน

Snead (1989) ได้สรุปไว้ว่า เทคโนโลยีการจัดกลุ่มที่ประโยชน์หลัก 3 ประการ

1. ให้โครงสร้างการจัดเก็บและเรียกใช้ข้อมูลที่ต้องการเพื่อสนับสนุนการควบคุมและการปฏิบัติงาน

2. ทำให้เกิดมาตรฐาน

3. ปรับปรุงการติดต่อสื่อสาร

การพัฒนาเทคโนโลยีการจัดกลุ่มเพื่อให้เกิดประโยชน์หลักข้างต้น ได้นำไปใช้กับการดำเนินงานหรือหน้าที่หลักบางอย่างที่อยู่ในกระบวนการผลิต ดังนี้

1. สร้างมาตรฐานการออกแบบ : เทคโนโลยีการจัดกลุ่มได้นำไปใช้ในการออกแบบ โดยวิศวกรทำการออกแบบการจำแนกชนิดและรหัสของแบบที่ออก โดยอิงลักษณะเฉพาะของหน้าที่และลักษณะทางกายภาพ เมื่อต้องออกแบบใหม่ วิศวกรสามารถเรียกดูข้อมูลสิ่งได้ออกแบบก่อนหน้านี้ เพื่อดูและเลือกแบบที่มีลักษณะต่างๆ คล้ายคลึงกัน เพื่อไม่ต้องออกแบบใหม่ทั้งหมด ทำให้จำนวนของแบบใหม่ๆ ลดลง ชิ้นส่วนที่ใช้สร้างจะเป็นมาตรฐาน และการออกแบบจะพัฒนาแบบที่ออกให้เหมาะสมที่สุดด้วยแบบที่เคยออกแบบไว้ก่อน

2. การวางผังการผลิตแบบเซล : เทคโนโลยีการจัดกลุ่มความจริงเกิดจากการผลิตแบบเซลที่ต้องการทำให้การผลิตแบบแบทช์ที่สภาพเหมือนการผลิตแบบสายการผลิต

3. การวางแผนกระบวนการผลิต : แผนกระบวนการผลิตสามารถสร้างจากสิ่งที่อยู่ในกลุ่มของสิ่งที่คล้ายคลึงกัน

4. การจัดซื้อ : แนวคิดนี้มาจากความคล้ายคลึงกันของสิ่งที่จัดซื้อโดยอิงจากผลิตภัณฑ์ที่ผลิต

5. การออกแบบระบบเทคนิคการผลิต : เทคโนโลยีการจัดกลุ่มเป็นระบบเทคนิคการผลิตแต่สิ่งที่น่าสนใจคือเทคนิคนี้ช่วยในการออกแบบกระบวนการสำหรับระบบเทคนิคการผลิตใหม่

2.6. การจำแนกชนิดและให้รหัส (Classification and Coding)

Snead (1989) ได้อธิบายว่า การจำแนกชนิดและให้รหัสเป็นหัวใจของระบบเทคนิคการจัดกลุ่ม โดยการจำแนกชนิด (Classification) เป็นกระบวนการจัดสิ่งที่คล้ายคลึงกันเข้าเป็นกลุ่มเดียวกัน ส่วนการให้รหัส (Coding) เป็นเทคนิคในการกำหนดสัญลักษณ์เพื่อสื่อความหมายในการแยกแยะสิ่งต่างๆ โดยในการจำแนกชนิดและให้รหัสของเทคโนโลยีการจัดกลุ่มนั้น รหัสเป็นสิ่งที่ใช้ระบุกลุ่มที่ได้จำแนกชนิดไว้

การให้รหัสเป็นวิธีเปลี่ยนข้อมูลให้เป็นชวเลขเพื่อง่ายสำหรับคอมพิวเตอร์ในการเก็บ นำออกมาใช้ และประมวลผล

การจำแนกชนิดและให้รหัสมีหน้าที่หลัก 3 ประการ คือ (1) ระบุและกรองข้อมูล (2) ทำรูปแบบพื้นฐานสำหรับสรุปและทำนายสมาชิกกลุ่ม และ (3) อธิบายข้อสนเทศเกี่ยวกับกลุ่ม

หน้าที่แรกของระบบการจำแนกชนิดและให้รหัส คือ การระบุและกลั่นกรองข้อมูล โดยทำให้สามารถจัดเก็บและการนำข้อมูลออกมาใช้ได้ในเวลาที่ต้องการ

คุณสมบัติที่ใช้จำแนกนั้นอาจใช้คุณสมบัติธรรมชาติ "natural" ของสิ่งเหล่านั้น เช่น โครงสร้างระดับอะตอมของวัสดุ, โครงสร้างเซลของพืชและสัตว์ หรือ การปลดปล่อยพลังงานของอิเลคตรอนในสสาร ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงและเชื่อถือได้ แต่ยากมากในการระบุ

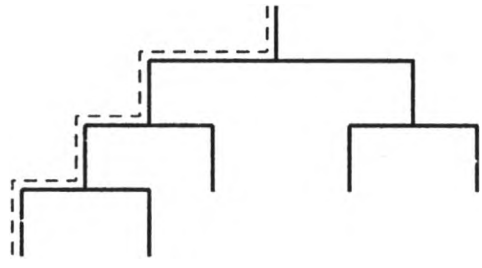
การจำแนกชนิดที่อิงการขึ้นต่อกันหรือคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเห็นได้ชัดเจนและง่ายในการระบุ ที่เรียกว่า "artificial" เช่น ลักษณะรูปร่าง หรือ พื้นผิวภายนอกที่เห็น, หน้าที่การทำงาน เป็นต้น ข้อเสียของการใช้คุณสมบัตินี้ในการจำแนกชนิดคือ คุณสมบัติที่เลือกอาจเปลี่ยนแปลงได้

ขอบเขตของระบบจำแนกชนิดสามารถทำแบบทั่วๆ ไป หรือแบบเฉพาะ ระบบจำแนกชนิดแบบทั่วๆ ไป ที่เกี่ยวกับการผลิต ก็อย่างเช่น พนักงาน เครื่องจักร การปฏิบัติงาน เครื่องมือ ผลิตภัณฑ์ วัตถุดิบ ชิ้นส่วนที่ซื้อ เป็นต้น ส่วนระบบจำแนกชนิดแบบเฉพาะจะเจาะจงและแคบลง เช่น โลหะที่ใช้ผลิตชิ้นส่วน อุปกรณ์ในการตัดปาดผิว หรือชนิดของการเชื่อม เป็นต้น

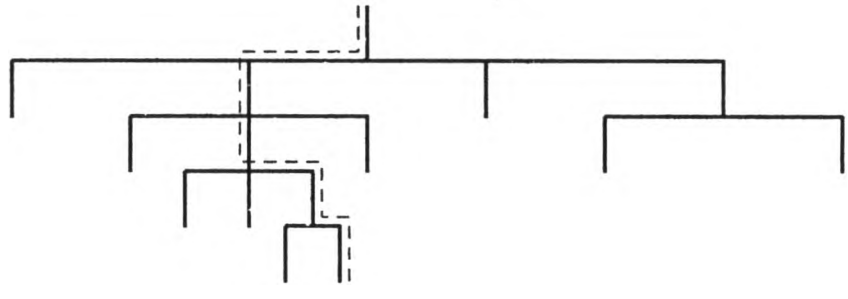
เป็นพื้นฐานในการสรุปและทำนาย หน้าที่ที่สองของระบบการจำแนกชนิดและให้รหัส คือ ทำนายโดยอิงความเหมือนหรือแตกต่างกันของคุณสมบัติที่ให้ใช้จำแนกชนิด ตัวอย่างเช่น ทำนายหรือบอกได้ว่าวัสดุที่อยู่ในกลุ่ม stainless steel มีความต้านทานการกัดกร่อน (จากข้อสรุปของกลุ่ม)

การอธิบายข่าวสารของระบบเอง เป็นหน้าที่ที่สามของระบบ ให้ความกระจ่างเรื่องความสัมพันธ์ของคุณลักษณะของสิ่งต่างๆ ในกลุ่ม, ข่าวสารกลุ่ม และลำดับชั้นของคุณลักษณะที่ใช้จำแนก ซึ่งความสามารถนี้สำคัญต่อใช้ เพราะช่วยให้เข้าใจหลักการและเหตุผลของระบบและการประยุกต์ใช้

เทคนิคการจำแนกประเภท (taxonomy) เป็นการสร้างทางเลือกที่จุดตัดสินใจเหมือนต้นไม้การตัดสินใจ (decision tree) ตัวอย่างหนึ่งคือ binary logic tree ง่ายในการใช้การจำแนกชนิด เพราะผู้ใช้มีทางเลือกที่โหนด เพียงสองทาง แต่ต้นไม้จะยาวมากที่เดียวที่จะคลุมทางเลือกทั้งหมด Poly tree จะสั้นกว่า binary tree ดังรูปที่ 2.44 เพราะแต่ละโหนดมีทางเลือกได้หลายทาง ทั้ง binary tree และ poly tree เป็น "E-trees" ดังรูปที่ 2.45



รูปที่ 2.44 Binary tree



รูปที่ 2.45 Poly tree

2.6.1. ชนิดของรหัสที่ใช้กับระบบการจำแนกชนิดและให้รหัส

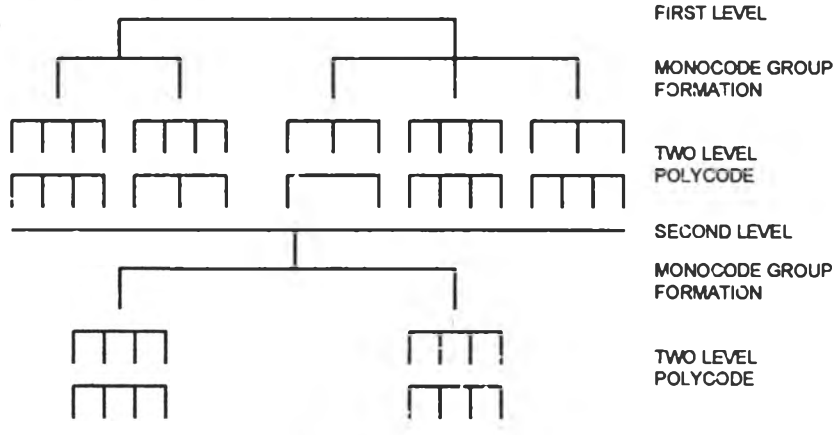
รหัส มีอยู่ 3 ชนิด ดังนี้

1. Monocode หรือ Hierachical Structure เป็นรหัสชนิดที่ได้มาจาก E-tree ซึ่งแต่ละโหนดในลำดับชั้นขึ้นอยู่กับโหนดที่ถูกเลือกในลำดับก่อนหน้า

2. Polycode หรือ Chain Structure ตำแหน่งทั้งหมดแต่ละตำแหน่งจะเป็นอิสระจากตำแหน่งอื่น หรือก็คือ แต่ละตำแหน่งจะใช้จำแนกลักษณะบางลักษณะอย่างสมบูรณ์ polycode มีโครงสร้างไม่เหมือน

กับ logic tree ที่จริงก็ใช้ logic เล็กน้อยในการสร้างรหัส คือ รายการลักษณะจะเรียงลำดับตามความสำคัญจากมากไปหาน้อย

3. Hybrids รหัสที่ใช้ไม่ได้เป็น monocode หรือ polycode แต่เป็นรหัสทั้งสองชนิดผสมกัน รูปทั่วไปของรหัสผสมจะแบ่งเป็นกลุ่มย่อยโดยใช้ monocode หนึ่งหรือสองตำแหน่ง และแต่ละกลุ่มจะตามด้วยชุด polycode ดังรูปที่ 2.46



รูปที่ 2.46 Hybrid code

2.6.2. จำนวนสัญลักษณ์ของรหัส

จำนวนสัญลักษณ์ที่ใช้แสดงในรหัสเป็นดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 จำนวนสัญลักษณ์ที่ใช้ในการแสดงรหัส

Code digits	จำนวน	แสดงด้วย
Binary	2	(0, 1)
Octal	8	(0, 1, ..., 7)
Decimal	10	(0, 1, ..., 9)
Hexadecimal	16	(0, 1, ..., 9, A, ..., F)
Alphanumberic	26+10	(0, 1, ..., 9, A, ..., Z)

2.6.3. การเลือกเกณฑ์

Snead (1989) ได้กล่าวถึง หลักการที่ Dr. Dell Allen ใช้ในการเลือกเกณฑ์ไว้ 10 ประการ ดังนี้

1. Principle of Utility หลักการใช้ประโยชน์ : ระบบการจำแนกชนิดต้องสามารถจัดเก็บและเรียกใช้ข้อมูลข่าวสารได้อย่างรวดเร็วและเชื่อถือได้ ซึ่งต้องสอดคล้องกับการประยุกต์ใช้ในอนาคตด้วย

2. Principle of Efficiency หลักการประสิทธิภาพ : ต้องมีความสมดุลระหว่างประสิทธิภาพในการให้รหัสกับการเรียกใช้ ระบบจำแนกชนิดง่ายๆ จะให้รหัสได้เร็วแต่เรียกใช้ได้ช้า ขณะที่ระบบจำแนกที่ซับซ้อนจะให้รหัสได้ช้าแต่เรียกใช้ได้เร็ว

3. Principle of Attribute Selection หลักการเลือกลักษณะและคุณสมบัติ : สิ่งต่างๆ แม้จะมีคุณสมบัติมากมาย แต่คุณสมบัติที่จะใช้จำแนกควรจะเป็นคุณสมบัติที่สามารถระบุ (identification), เป็นคุณสมบัติที่สำคัญ (significance) และเป็นคุณสมบัติที่ถาวร (permanace)

4. Principle of Relationships หลักการความสัมพันธ์ : ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะสมบัติกับลำดับชั้นในการจำแนกชนิดควรเริ่มจากลักษณะทั่วๆ ไป ไปสู่ลักษณะเฉพาะ และจากย่อหรือสรุปไปสู่รายละเอียด

5. Principle of Inclusiveness หลักการครอบคลุมทั้งหมด : ลำดับชั้นในการจำแนกชนิดต้องมีการจัดกลุ่มของสิ่งที่คล้ายคลึงกันของสิ่งที่อยู่ในระบบทั้งหมด

6. Principle of Discrimination หลักการแยกแยะ : ระบบการจำแนกชนิดต้องให้ผู้ใช้รู้ถึงคุณสมบัติและสัมพันธ์ที่สำคัญ เพื่อช่วยให้เลือกได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว

7. Principle of Flexibility หลักการความยืดหยุ่น : ระบบการจำแนกชนิดจะต้องเหมาะสมกับสิ่งที่มีอยู่และการเพิ่มสิ่งที่คล้ายคลึงกันต้องทำให้มีการเปลี่ยนโครงสร้างระบบน้อยที่สุด

8. Principle of Standardization หลักการสร้างมาตรฐาน : เป็นที่รู้จักและยอมรับ ในเรื่องศัพท์ทางอุตสาหกรรม การติดต่อ และการจัดกลุ่มต้องใช้ได้นานโดยไม่ขัดแย้งกับกฎและหลักการที่ระบุ

9. Principle of Citation Order หลักการอิงลำดับ : การอิงลำดับกระบวนการทางวิศวกรรมโดยไหลจากกระบวนการทั่วไปสู่กระบวนการเฉพาะ

10. Principle of Conversion หลักการแปลี่ยนแปลงได้ : การเปลี่ยนรูปแบบการจำแนกชนิดเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในการพัฒนาการจำแนกชนิด

2.6.4. สิ่งที่อยู่ในรหัส

Chang, Wysk และ Wang (1991) ได้อธิบายว่า การใช้รหัสเพื่อบรรยายการออกแบบทางวิศวกรรมนั้น การพรรณนาลักษณะพื้นฐานในการออกแบบเป็นสิ่งสำคัญเช่นเดียวกันกับการพรรณนามนุษย์ด้วย ความสูง น้ำหนัก สีผิว ผม สีตา และเพศ โดยชิ้นส่วนทางวิศวกรรมก็สามารถพรรณนาได้ด้วย รูปทรงพื้นฐาน รูปทรงรอง ขนาด พิกัดความเผื่อ มิติที่สำคัญ วัสดุ และอื่นๆ เช่นกัน

โดยทั่วไปชิ้นส่วนที่รูปร่างคล้ายกันจะผลิตด้วยกระบวนเดียวกัน แต่ก็ไม่จริงเสมอไป เช่น วิธีการผลิตเสื้อสูบเครื่องยนต์เครื่องบินขนาด 2 ซ.ม.^{3} จะแตกต่างกับวิธีการผลิตเสื้อสูบของเครื่องยนต์ V 8 ความจะ 6 ลิตร ซึ่งแม้ว่าจะมีกระบวนการผลิตเหมือนกันแต่การใช้เครื่องจักร เครื่องมือ และการขนถ่ายวัสดุจะแตกต่างกันมาก

มิติ พิกัดความเผื่อ และผิวสำเร็จนั้นมีผลต่อกระบวนการผลิต ซึ่งโดยปกติแล้วชิ้นส่วนที่ต้องการความละเอียดต้องผ่านกระบวนการผลิตมากกว่าชิ้นส่วนที่มีพิกัดความเผื่อมาตรฐาน ตัวอย่างเช่น ถ้าชิ้นงานกัดต้องการผิวสำเร็จที่มีความหยาบผิว 4 ไมโครนิ้ว หลังจากทำการกัดแล้วต้องทำการเจียรไน ขัดผิว ชิ้นงานกัด แต่ถ้าชิ้นงานมีข้อกำหนดความหยาบผิวสำเร็จเท่ากับ 125 ไมโครนิ้ว หรือมากกว่า ก็ไม่ต้องผ่านกระบวนการเจียรไน ขัดผิว

วัสดุชิ้นงานเป็นปัจจัยที่ต้องพิจารณา เช่น เครื่องมือที่ใช้ตัดปาดผิวอลูมิเนียมจะไม่เหมาะในการตัดปาดผิวเหล็กกล้าผสม รวมทั้งความเร็วป้อนและความเร็วตัดที่ใช้ในการตัดปาดผิวก็ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุอีกด้วย

ความยาวของรหัสจะขึ้นอยู่กับรายละเอียดที่ต้องการ โดยทั่วไปรหัสที่ยาวจะให้รายละเอียดมากกว่า ความยาวและรายละเอียดของรหัสขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรม และผลิตภัณฑ์ โดยช่วงของรหัสมี

ตั้งแต่ไม่กี่หลักไปจนถึง 50 หลักหรือมากกว่า ซึ่งในการจำแนกชิ้นงานทั่วๆ ไปนั้น รหัสเพียงไม่กี่หลักก็เพียงพอ แต่สำหรับการวางแผนกระบวนการผลิตต้องการจำนวนหลักที่มากกว่า

2.6.5. ระบบรหัส Opiz

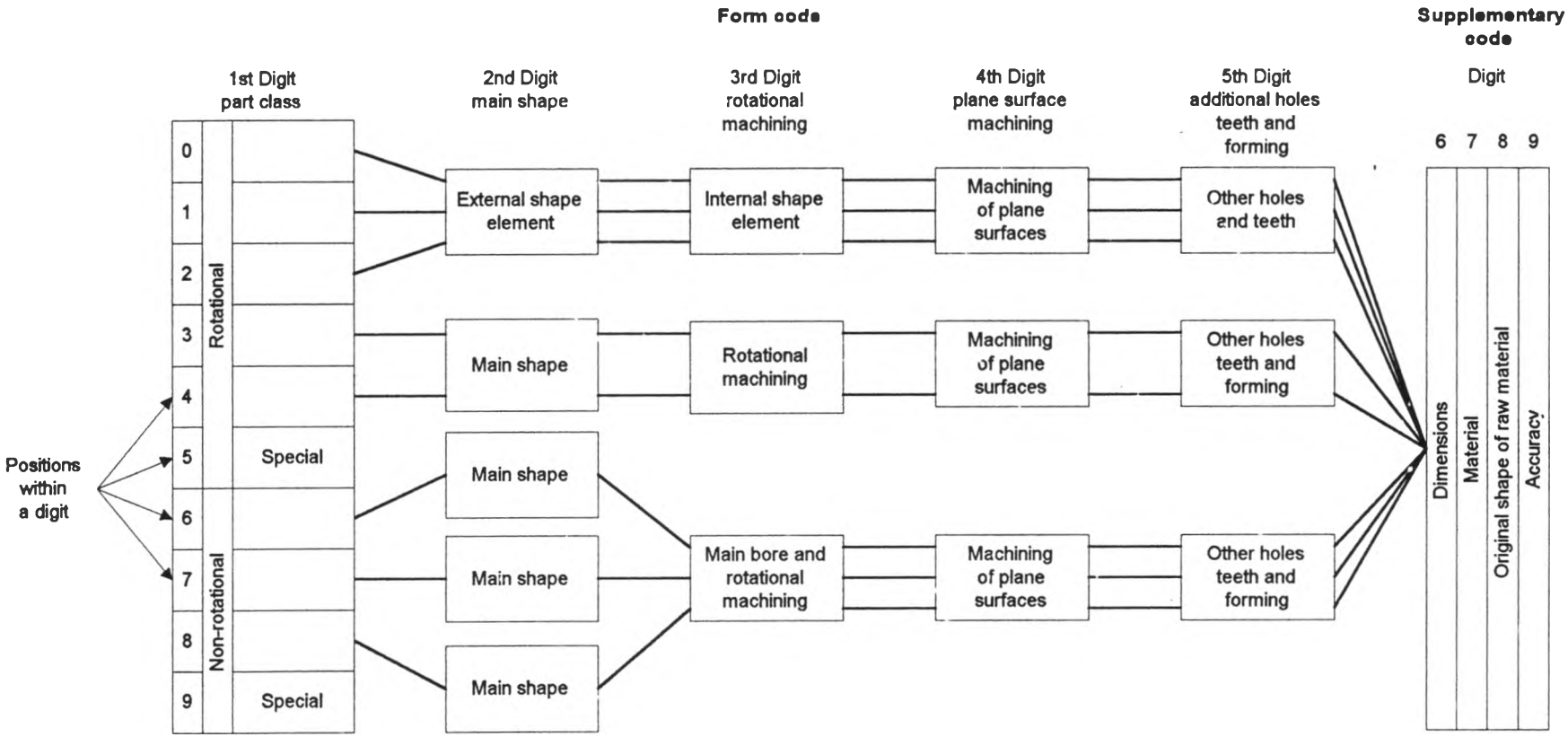
ระบบรหัส Opiz พัฒนาขึ้นโดย H. Opiz แห่ง Aachen Tech University ประเทศเยอรมันตะวันตก ใช้โครงสร้างแบบผสม เว้นแต่หลักแรกจะเป็นเหมือนโครงสร้างลูกโซ่

รหัส Opiz ประกอบด้วยรหัสเรขาคณิตและรหัสเพิ่มเติม โดยรหัสเรขาคณิตจะพรรณนาชิ้นงานด้วย งานหมุน แบนราบ ยาว และลูกบาศก์ อีกทั้งใช้อัตราส่วนของมิติในการจำแนกทางเรขาคณิต ได้แก่ อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง ใช้ในการจำแนกชิ้นส่วนหมุน และอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างและความยาวต่อความสูงใช้ในการจำแนกชิ้นส่วนไม่หมุน

รหัสเรขาคณิตของ Opiz ใช้ 5 หลักดังนี้ (1) ประเภทชิ้นส่วน (2) รูปทรงพื้นฐาน (3) การตัดปาดผิวแบบหมุน (4) การตัดปาดผิวบนระนาบ (5) รู ฟันเฟืองและการขึ้นรูป รูปทรงหลัก รูปทรงรอง และรูปทรงช่วย

รหัสเสริมมี 4 หลัก โดยหลักแรกพรรณนามิติหลัก เช่น เส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาว เป็นต้น ประมาณขนาดคร่าวๆ โดยใช้อัตราส่วนทางเรขาคณิต กำหนดช่วงของขนาดจาก 0.8 ถึง 80 นิ้ว น้อยกว่า 0.8 นิ้ว และ มากกว่า 80 นิ้ว หลักที่ 2 3 และ 4 พรรณนา ชนิดวัสดุ รูปทรงวัตถุดิบ และความแม่นยำ

รูปแบบของระบบรหัส Opiz แสดงดังรูปที่ 2.47 และตารางที่ 2.8



รูปที่ 2.47 ระบบการจำแนกชนิดและให้รหัส Opiz

ตารางที่ 2.8 รูปแบบระบบรหัส Opiz หลักที่ 1 ถึง 5

Digit 1		Part class
0	Rotational parts	L/D ≤ 0.5
1		0.5 < L/D < 3
2		L/D ≥ 3
3		
4		
5		
6	Nonrotational parts	
7		
8		
9		

Digit 2		External shape, external shape elements
0		Smooth, no shape elements
1	Stepped to one end or smooth	No shape elements
2		Thread
3		Functional groove
4	Stepped to both ends	No shape elements
5		Thread
6		Functional groove
7		Functional cone
8		Operating thread
9		All others

Digit 3		Internal shape, internal shape elements
0		No hole, no break through
1	Smooth or stepped to one end	No shape elements
2		Thread
3		Functional groove
4	Stepped to both ends	No shape elements
5		Thread
6		Functional groove
7		Functional cone
8		Operating thread
9		All others

Digit 4		Plane-surface machining
0		No surface machining
1		Surface plane and/or curved in one direction, external
2		External plane surface related by graduation around a circle
3		External groove and/or slot
4		External spline (polygon)
5		External plane surface and/or slot, external spline
6		Internal plane surface and/or slot
7		Internal spline (polygon)
8		Internal and external polygon, groove and/or slot
9		All others

Digit 5		Auxiliary holes and gear teeth
0	No gear teeth	No auxiliary hole
1		Axial, not on pitch circle diameter
2		Axial on pitch circle diameter
3		Radial, not on pitch circle diameter
4		Axial and/or radial and/or other direction
5		Axial and/or radial on PCD and/or other directions
6	With gear teeth	Spur gear teeth
7		Bevel gear teeth
8		Other gear teeth
9		All others

ตารางที่ 2.8 รูปแบบระบบรหัส Opiz หลักที่ 1 ถึง 5 (ต่อ)

Digit 1 — Component class

	Rotational components	
3		L/D ≤ 2 with deviation
4		L/D < 2 with deviation

Digit 2 — Overall shape

0	Around one axis, no segments	Hexagonal bar
1		Square or other regular polygonal section
2		Symmetrical cross section producting no unbalance
3		Cross sections other than 0 to 2
4		Segments after rotational machining
5		Segments before rotational machining
6	Around more than one axis	Rotationanl components with corved axis
7		Rotationanl components with two or more parallel axes
8		Rotationanl components with intersecting axes
9		Others

Digit 3 — Rotational machining

0		No rotational machining
1	External shape	Machined
2		With screw thread(s)
3	Stepped to both ends	Smooth
4		Stepped toward one or both ends (multiple increases)
5		With screw threads
6	External and internal shape	Machined
7		Screw thread(s)
8		External shape elements
9		Other shape elements

Digit 4 — Plane surface machining

0	No surface machining
1	External plane surface and/or surface curved in one direction
2	External plane surfaces related to one another by graduation around a circle
3	External groove and/or slot
4	External spline and/or Polygon
5	External plane surface and/or slot and/or groove, spline
6	Internal plane surface and/or groove
7	Internal spline and/or Polygon
8	External and internal spline and/or slot and/or groove
9	Other

Digit 5 — Auxiliary hole(s), gear teeth, forming

0			No auxiliary holes, gear teeth and forming
1	No forming, no gear teeth		Axial hole(s) not related by drilling pattern
2			Holes axial and/or radial and/or in other directions, not related
3		Related by a drilling pattern	Axial holes
4			Holes axial and/or radial and/or in other directionals
5	Forming, no gear teeth		Formed, no auxiliary holes
6			Formed, with auxiliary holes
7			Gear teeth, no auxiliary holes
8			Gear teeth, with auxiliary hole(s)
9			Other

ตารางที่ 2.8 รูปแบบระบบรหัส Opiz หลักที่ 1 ถึง 5 (ต่อ)

Digit 1			Digit 2		Digit 3		Digit 4	
Dimeter D or edge length A			Material		Internal form		Dimeter D or edge length A	
	mm	Inches						
0	≤ 20	≤ 0.8	0	Cast iron	0	Round bar, blank	0	No accuracy specified
1	> 20 ≤ 50	> 0.8 ≤ 2.0	1	Modular graphitic cast iron and malleable cast iron	1	Round bar, bright drawn	1	2
2	> 50 ≤ 100	> 2.0 ≤ 4.0	2	Mild steel 26.5 tonf/in.^{2}	2	Bar: triangular, square, hexagonal, others	2	3
3	> 100 ≤ 160	> 4.0 ≤ 6.5	3	Hard steel > 26.5 tonf/in.^{2} heat-treatable low-carbon and case-hardening steel, not heat treated	3	Tubing	3	4
4	> 160 ≤ 250	> 6.5 ≤ 10.0	4	Steel 2 and 3 heat treated	4	Angle, U-, T-, and similar sections	4	5
5	> 250 ≤ 400	> 10.0 ≤ 16.0	5	Alloy steel (not heat treated)	5	Sheet	5	2 and 3
6	> 400 ≤ 600	> 16.0 ≤ 25.0	6	Alloy steel heat treated	6	Plate and slabs	6	2 and 4
7	> 600 ≤ 1000	> 25.0 ≤ 40.0	7	Nonferrous metal	7	Cast or forged components	7	2 and 5
8	> 1000 ≤ 2000	> 40.0 ≤ 80.0	8	Light alloy	8	Welded assembly	8	3 and 4
9	> 2000	> 80.0	9	Other meterials	9	Premachined components	9	2 + 3 + 4 + 5

2.6.6. ระบบรหัส KK-3

ระบบรหัส KK-3 เป็นระบบที่ใช้ในการจำแนกและให้รหัสชิ้นส่วนเครื่องจักรกลทั่วๆ ไป ระบบรหัส KK-3 พัฒนาขึ้นโดย The Janpan Society for the Promotion of Machine Industry (JSPMI) ชิ้นส่วนถูกจำแนกด้วยการตัดปาดผิวโลหะและการเจียรไนชิ้นส่วน

ระบบรหัสนี้ใช้ 2 หลักในการจำแนกชื่อชิ้นส่วน โดยหลักแรกจำแนกหน้าที่ทั่วๆ ไป เช่น เกียร์ เพลา ชิ้นส่วนขับและชิ้นส่วนเคลื่อนที่ ชิ้นส่วนอยู่กับที่ หลักที่ 2 อธิบายรายละเอียดของหน้าที่ ด้วยการใช้รหัส 2 หลัก KK-3 สามารถจำแนกได้ 100 ชื่อตามหน้าที่สำหรับชิ้นส่วนหมุนและชิ้นส่วนไม่หมุน

จำแนกวัสดุโดยใช้รหัส 2 หลัก หลักแรกจำแนกชนิดวัสดุและหลักที่ 2 จำแนกรูปทรงของวัตถุดิบ มิติและอัตราส่วนของมิติ

รายละเอียดของรูปทรงและชนิดของกระบวนการผลิตจำแนกโดยใช้รหัส 13 หลัก รูปแบบของระบบรหัส KK-3 แสดงตารางที่ 2.9 และ 2.10

ตารางที่ 2.9 โครงสร้างรหัส KK-3

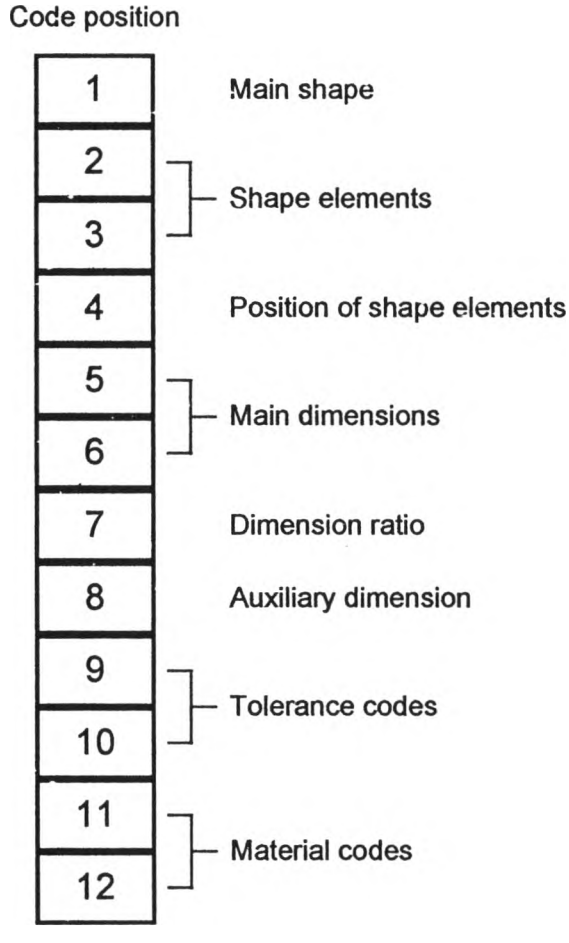
Digit	Items (Rotational components)		
1	Parts name		General classification
2			Detail classification
3	Materials		General classification
4			Detail classification
5	Chief dimensions		Length
6			Diameter
7	Primary shapes and ratio of major dimensions		
8	Shape details and kinds of processes	External surface	External surface and outer primary shape
9			Concentric screw threaded parts
10			Functional cut-off parts
11			Extraordinary shaped parts
12			Forming
13			Cylindrical surface
14		Internal surface	Internal primary shape
15			Internal curved surface
16			Internal flat surface and cylindrical surface
17		End surface	
18		Nonconcentric holes	Regularly located holes
19			Special holes
20		Noncutting process	
21	Accuracy		

ตารางที่ 2.10 ระบบรหัส KK-3 หลักที่ 1, 2

I \ II		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II / I
0	Rotational components	Gears	Spur, helical gear(s)	Internal gear(s)	Bevel gear(s)	Hypoid gear(s)	Worm gear(s)	Screw gear(s)	Sprocket wheel	Special gear	Round vessel	Other(s)	Gears
1		Shafts, spindles	Spindle, arbor, main drive	Counter shaft	Lead screw(s)	Screwed shaft	Round rod(s)	Eccentric shaft	Splined shaft	Cross shaft	Round column	Round casting	Shafts, spindles
2		Main drive	Pulley(s)	Clutch	Braket(s)	Impeller(s)	Piston(s)	Round tables	Other(s)	Flange	Chuck(s)	Labyrinth seal(s)	Main drive
3		Guiding parts	Sleeves, bushing	Bearing metal	Bearing(s)	Roller(s)	Cylinder	Other(s)	Dial plate(s)	Index plate(s)	Cam(s)	Others	Guiding parts
4		Fixing part	Collar(s)	Socket, spacer	Pin(s)	Fastening screws	Other(s)	Handles	Spool(s)	Round links	Screw(s)	Others	Fixing parts
5	Nonrotational												
6													
. . .													
9													

2.6.7. ระบบรหัส MICLASS

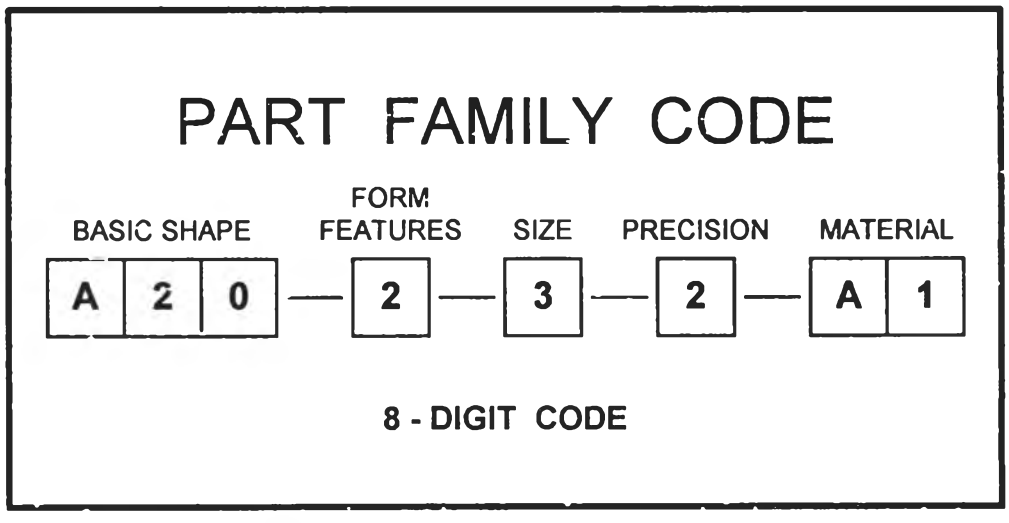
ระบบรหัส MICLASS มีโครงสร้างแบบลูกโซ่ 12 หลัก เป็นระบบรหัสที่ออกแบบสำหรับงานทั่วไป ให้ข้อมูลในการออกแบบและการผลิต



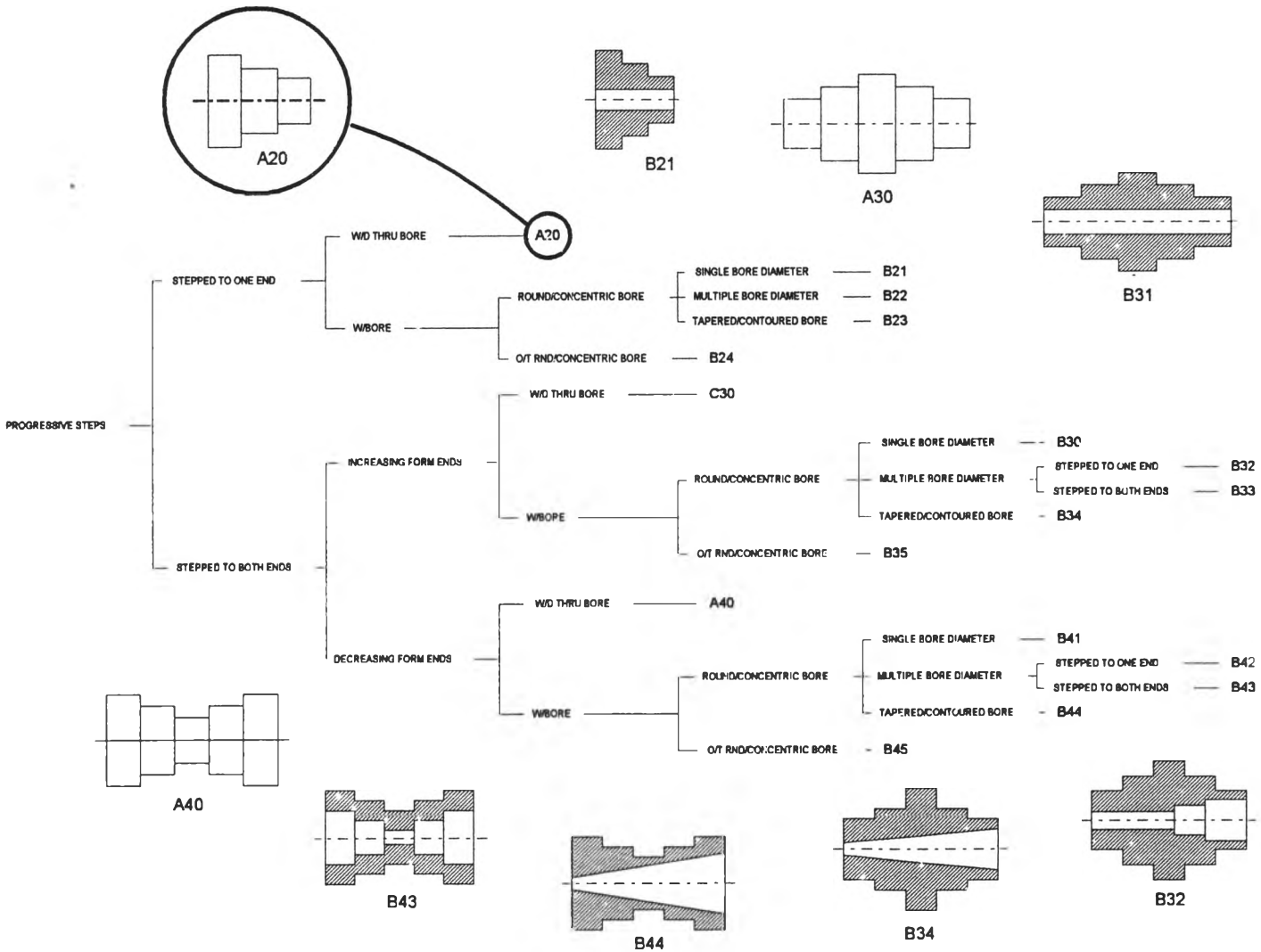
2.6.8. ระบบรหัส DCLASS

ระบบรหัส DCLASS มุ่งใช้ระบบการตัดสินใจ ซึ่งเป็นระบบโครงสร้างต้นไม้ โดยใช้สำหรับชิ้นส่วนต่างๆ กระบวนการผลิต เครื่องจักร และเครื่องมือ

ระบบรหัส DCLASS ไม่ได้เป็นแค่ระบบรหัสเท่านั้น แต่เป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้วย รูปแบบของระบบรหัส DCLASS เป็นดังรูปที่ 2.48



รูปที่ 2.48 โครงสร้างระบบรหัส DCLASS



รูปที่ 2.49 โครงสร้างระบบรหัส DCLASS

2.7. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการจัดกลุ่ม (Group Technology Applications)

Snead (1989) ได้อธิบายว่า มีการประยุกต์ใช้ group technology อยู่ 2 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 The family formation and retrieval ซึ่งประกอบด้วย design retrieval, cellular manufacturing, variant process planning และ tooling standardization

ประเภทที่ 2 Structured analysis and decision making ซึ่งประกอบด้วย generative process planning, parametic or generative design และ generative software selection

2.7.1. การประยุกต์ใช้ที่สำคัญ (Major Applications)

1. การสร้างมาตรฐานการออกแบบ (design standardization) : เทคนิคการระบุชิ้นส่วนภายในบริษัทด้วยชื่อชิ้นส่วน (part name) และเลขที่ชิ้นส่วน (part number) การสร้างชิ้นส่วนมาตรฐานในการออกแบบ (part design standardization) ทำได้ยาก เพราะชิ้นส่วนชื่อไม่ต่างกันถูกใช้กับชิ้นส่วนชนิดเดียวกันและเลขที่ชิ้นส่วนไม่ฉลาดพอกับการระบุความเหมือนกันของชิ้นส่วน เนื่องจากเลขที่ชิ้นส่วนมีการซ้ำกัน เพราะวิศวกรออกแบบไม่มีประสิทธิภาพพอที่จะเรียกแบบที่ออกแบบแล้วและใช้อีกได้ ปัญหานี้แก้ด้วยการพัฒนาฐานข้อมูลการออกแบบชิ้นส่วนซึ่งได้มีการจำแนกชนิดและให้รหัสด้วยคุณสมบัติที่สำคัญของชิ้นส่วน ผู้ออกแบบให้รหัสชิ้นส่วนที่กำลังจะออกแบบเปรียบเทียบกับข้อมูลในฐานข้อมูลและนำแบบที่มีอยู่นั้นมาทำการออกแบบแก้ไขบางส่วน

2. การวางแผนกระบวนการผลิต (process planning) : การออกแบบขั้นตอน, กระบวน, อุปกรณ์, เวลา และข้อมูลที่ต้องใช้ในการผลิตชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ โดยที่ผ่านมาการวางแผนกระบวนการผลิตต้องใช้คนที่มีประสบการณ์ด้านการผลิต ซึ่งเข้าใจอย่างท่องแท้ในเรื่องความสามารถ (capacity) ของโรงงานและรู้ว่าปัจจัยต่างๆ ของชิ้นส่วนสามารถสร้างได้ด้วยกระบวนการที่มีอยู่ แม้ว่าจะมีประสบการณ์ การวางแผนกระบวนการผลิตก็เป็นงานที่ลำบากและไม่สอดคล้องกันได้ ความไม่สอดคล้องนี้แก้ได้โดยการพัฒนาระบบการวางแผนกระบวนการผลิตด้วยหลักการของเทคโนโลยีการจัดกลุ่ม

3. การผลิตแบบเซล (cellular manufacturing) : หลักการคือจัดกลุ่มของเครื่องจักรที่ต้องใช้ในการสร้างชิ้นส่วนที่คล้ายคลึงกันของวิธีที่ใช้ในการผลิตบางอย่างจำนวนหนึ่ง ซึ่งชิ้นส่วนเหล่านั้นจัดกลุ่มให้สอดคล้องกับความคล้ายกันของเครื่องจักรที่ใช้ผลิต เพราะชนิดและรูปร่างของชิ้นส่วนมีจำนวนจำกัดและเห็นได้ง่าย การผลิตแบบเซลจึงนำไปสู่การประยุกต์เทคโนโลยีการจัดกลุ่มด้านอื่นๆ เช่น การสร้างมาตรฐานการวางแผนกระบวนการผลิต, เครื่องมือ, การป้อนและความเร็ว และการปรับตั้งเครื่องจักร การประยุกต์เหล่านี้เกี่ยวพันธ์กับการผลิตแบบเซลได้นำไปสู่การประยุกต์ใช้อย่างอิสระ

2.7.2. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการจัดกลุ่มกับการออกแบบ

ในโลกยุคแห่งการแข่งขันทำให้เกิดการแข่งกันปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต ผู้บริหารปรารถนาและทำให้เพียงพอหรือสมดุลกับความต้องการ มากกว่าที่จะให้ได้ output มากขึ้นต่อหน่วยของ input ซึ่งความต้องการนี้เองที่ทำให้เกิดการปรับปรุงกระบวนการ อุปกรณ์ และ วิธีการบริหารในการผลิต สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตต่ำก็คือ ขาดมาตรฐาน เมื่อของชิ้นส่วนและขบวนการเพิ่มขึ้น การขาดมาตรฐานทำให้เกิดความเหมาะสมในการดำเนินงานเพียงบางส่วนของการใช้อุปกรณ์ทั้งหมดในโรงงาน

การสร้างมาตรฐานในอุตสาหกรรมขึ้นอยู่กับความพยายามของวิศวกรรมการออกแบบ โดยพยายามออกแบบด้วยการใช้ชิ้นส่วนมาตรฐานและลดจำนวนชิ้นส่วนที่แตกต่างกัน

group technology รู้กันได้เริ่มต้นจากที่จะลดการออกแบบที่ซ้ำกัน การประยุกต์ใช้ให้ได้แบบที่รวดเร็วเป็นระบบที่ผู้ออกแบบใช้คู่มือที่แสดงลักษณะของการออกแบบต่างๆ และรหัสของแบบนั้นๆ เมื่อจะออกแบบใหม่ผู้ออกแบบจะให้รหัสของแบบจากรหัสของคู่มือและเรียกแบบที่คล้ายกันจากแฟ้มของแบบ

ระบบที่ให้ประโยชน์ในการลดจำนวนของชิ้นส่วนที่ออกแบบ แต่มีข้อจำกัดที่เมื่อลูกค้าระบุข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ที่เขาต้องการจะทำให้จำนวนของรหัสชิ้นส่วนเพิ่มขึ้น

2.7.2.1. การตั้งมาตรฐานการออกแบบ (Design Standardization)

การตั้งมาตรฐานในการออกแบบ หมายถึง การใช้แบบเก่าที่ได้ออกแบบไว้มาใช้ในการออกแบบใหม่ ตัวอย่างเช่น ผู้ออกแบบหรือนักเขียนแบบ "จำได้" ว่ามีแบบเก่าที่เคยออกแบบแล้ว จึงค้นหานำมาใช้อีก วิธีนี้ขึ้นอยู่กับความจำซึ่งไม่ดีที่ระบบนี้ขึ้นอยู่กับความจำที่มีจำกัดจากประสบการณ์ของแต่ละคน เป็นไปได้น้อยมากที่แบบที่เคยออกแบบโดยผู้ออกแบบทุกคนจะถูกนำมาพิจารณาเพื่อออกแบบงานชิ้นใหม่

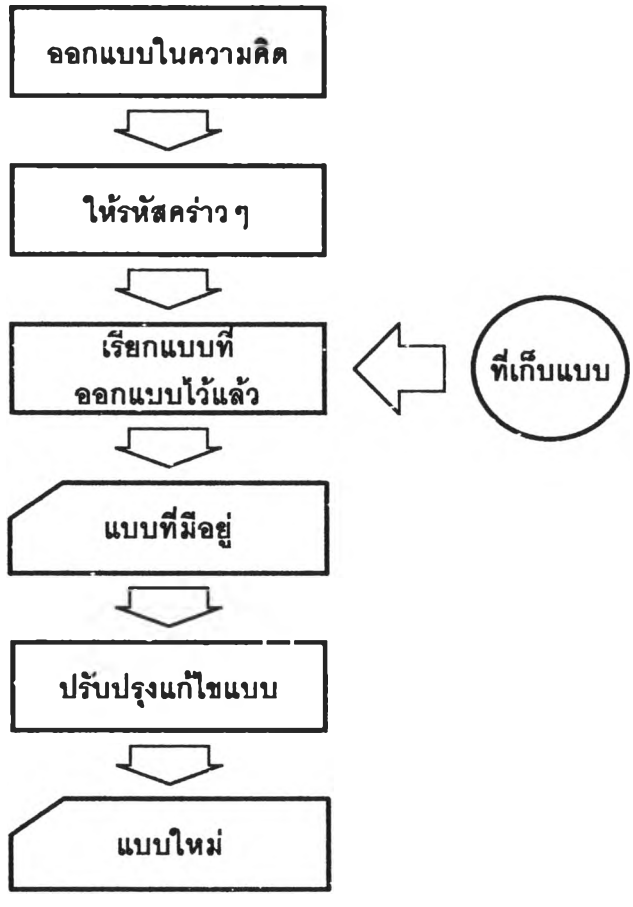
การออกแบบการเรียกใช้ : ข้อจำกัดของระบบความจำเพื่อตั้งมาตรฐานลดลงโดยเทคโนโลยีการจัดกลุ่มได้เป็นความจริงและการออกแบบระบบการเรียกใช้ได้พัฒนาขึ้น การจำแนกชนิดความคิดการออกแบบการเรียกใช้โดยวิศวกรผู้ทำการออกแบบชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกัน ทำให้กำหนดรหัสให้กับชิ้นส่วนที่เขาต้องการแล้วค้นหาข้อมูลจากฐานข้อมูลด้วยรหัสที่เขากำหนดซึ่งจะแสดงชิ้นส่วนที่คล้ายคลึงกันให้เลือก

2.7.2.2. หลักการ (Concept)

เริ่มด้วยการทำโครงสร้างการจำแนกชนิดและให้รหัสที่เหมาะสม ด้วยการพิจารณาลักษณะสมบัติของชิ้นส่วนที่จำเป็นในการออกแบบของวิศวกรเพื่อการเรียกใช้แบบ

ออกแบบฐานข้อมูลของรหัสชิ้นส่วนที่ออกแบบจากโครงสร้างนี้ แต่ละชิ้นส่วนจะระบุด้วยเลขประจำตัวซึ่งโยงไม่ถึงแบบ (drawing) และรหัสกลุ่ม (group technology code) ที่กำหนดไว้

เมื่อต้องออกแบบชิ้นส่วนใหม่ วิศวกรคิดสร้างความต้องการพื้นฐานของชิ้นส่วนใช้ความต้องการนี้กำหนดรหัสและชนิดของชิ้นงานที่คิดถึง เลขรหัสกลุ่มนี้ใช้ระบุกลุ่มของชิ้นส่วนที่คล้ายคลึงกันในฐานข้อมูล วิศวกรระบุกลุ่มแล้วเรียกใช้ ก็จะได้แบบของชิ้นส่วนในกลุ่มที่ต้องการมาใช้ในการออกแบบ ซึ่งถ้าพบชิ้นส่วนที่ต้องแปลงเล็กน้อยหรือไม่ต้องเปลี่ยนเลย เขาได้ข้อมูลที่เรียก "hit" ถ้าชิ้นส่วนที่มีสามารถใช้ได้และต้องการเปลี่ยนสิ่งที่สำคัญ เรียกว่า "partial hit" ถ้าไม่มีแบบที่สามารถใช้ได้ เรียกว่า "miss" ซึ่งหลักการดังกล่าวแสดงได้ด้วยรูปที่ 2.50



รูปที่ 2.50 ผังแสดงหลักการประยุกต์ใช้ GT กับงานออกแบบ

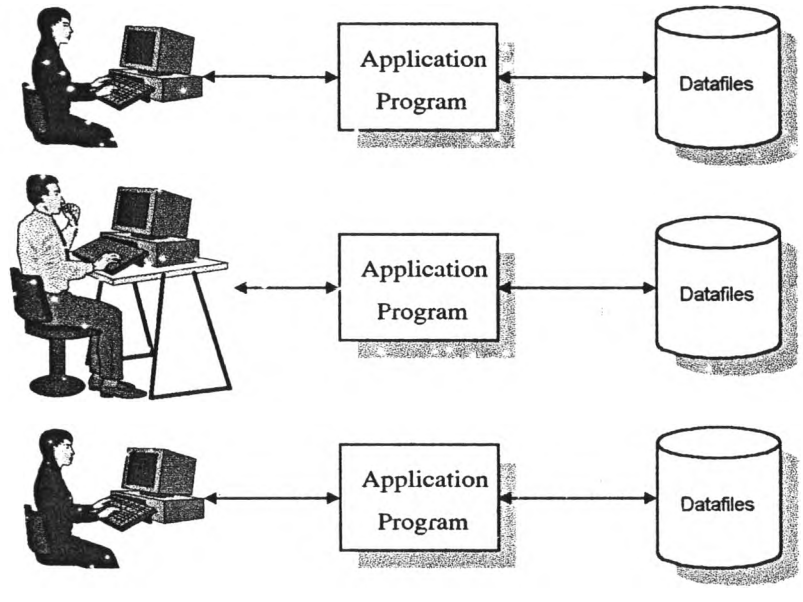
2.8. ระบบฐานข้อมูล (Database System)

ดวงแก้ว สวามิภักดิ์ (2534) ได้อธิบายว่า ข้อมูล คือ ข้อมูลดิบที่จะใช้ผลิตเป็นสารสนเทศ

ฐานข้อมูล คือ ข้อมูลที่ได้มีการจัดเก็บไว้เป็นหมวดหมู่เพื่อใช้ในการประมวลผล "เป็นที่เก็บข้อมูลที่ผู้ใช้ใดๆ สามารถเรียกใช้ร่วมกันได้ตามต้องการ" สารสนเทศที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมที่กำลังดำเนินการอยู่จะถูกดึงออกมาปรับปรุงและเก็บไว้ในฐานข้อมูล

ระบบการจัดการข้อมูล ทำหน้าที่ในการควบคุมดูแล การสร้าง และเรียกใช้ฐานข้อมูล โดยผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องรับรู้เกี่ยวกับรายละเอียดภายในโครงสร้างของฐานข้อมูล "เป็นซอฟแวร์ที่เปรียบเสมือนสื่อกลางระหว่างผู้ใช้ และโปรแกรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ฐานข้อมูล

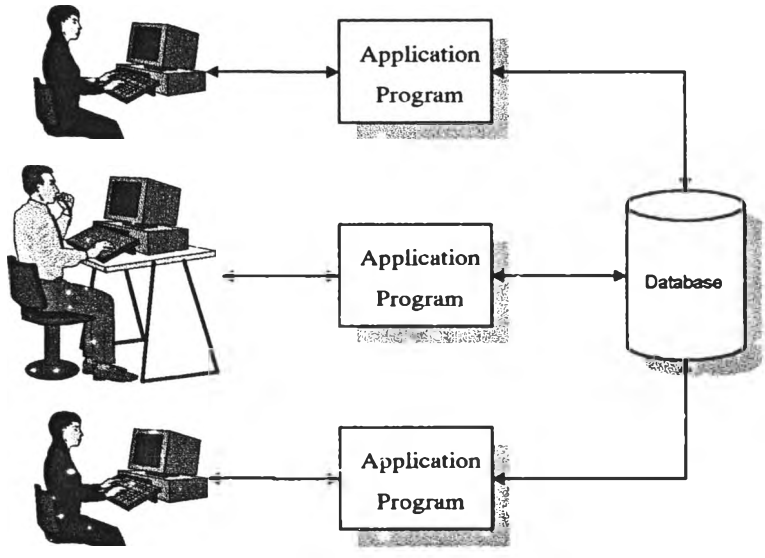
ในการประมวลไฟล์ทั่วๆไปนั้น ผู้ใช้แต่ละคนจะมีไฟล์เฉพาะงานและโปรแกรมที่เขียนขึ้นมา ดังรูปที่ 2.51 เพื่อดึงเอาข้อมูลจากไฟล์ส่วนตัวมาใช้งานตามต้องการ การที่ผู้ใช้แต่ละกลุ่มต่างก็เก็บข้อมูลไว้ในไฟล์เช่นนี้ ก่อให้เกิดปัญหาเด่นชัด คือ ความซ้ำซ้อนของข้อมูล เกิดความสิ้นเปลืองเนื้อที่ในการจัดเก็บข้อมูล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าข้อมูลอาจหลงลืมเปลี่ยนข้อมูลในบางไฟล์ ทำให้ค่าของข้อมูลเดียวกันที่เก็บในแต่ละไฟล์มีค่าไม่ตรงกัน



รูปที่ 2.51 การใช้ระบบไฟล์

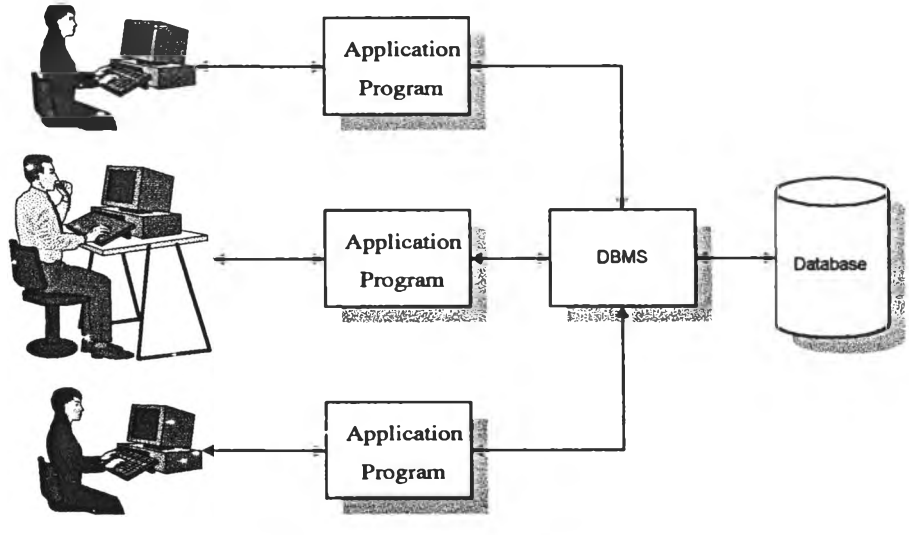
ทำให้เกิดความคิดที่จะนำข้อมูลมาเก็บรวมไว้ในที่เดียวกัน คือ เก็บไว้ในฐานข้อมูลแทนที่จะเก็บไว้ในไฟล์

การควบคุมดูแลการใช้ฐานข้อมูลเป็นเรื่องที่ยุ่งยากกว่าการใช้ไฟล์มาก เพราะต้องตัดสินใจว่าโครงสร้างในการเก็บข้อมูลควรจะเป็นเช่นไร และการเขียนโปรแกรมเพื่อสร้างและเรียกใช้ข้อมูลจากโครงสร้างนั้นก็ยุ่งยาก และถ้าโปรแกรมเกิดทำงานผิดพลาด อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างของข้อมูลทั้งหมดได้ ดังรูปที่ 2.52



รูปที่ 2.52 การใช้ระบบฐานข้อมูล

เพื่อเป็นการลดภาระการทำงานของผู้ใช้ จึงมีซอฟต์แวร์มีชื่อเรียกว่า ระบบการจัดการฐานข้อมูล หรือ DBMS ซึ่งทำหน้าที่ในการควบคุมดูแลการสร้างและเรียกใช้ฐานข้อมูล โดยผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องรับรู้เกี่ยวกับรายละเอียดภายในโครงสร้างของฐานข้อมูล เปรียบเสมือนสื่อกลางระหว่างผู้ใช้ และโปรแกรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ฐานข้อมูล ดังรูปที่ 2.53



รูปที่ 2.53 การใช้ระบบฐานข้อมูลด้วย DBMS

2.8.1. ระบบการจัดการฐานข้อมูล (DBMS)

1. ทำหน้าที่ติดต่อ ประสานงานกับตัวจัดการระบบไฟล์ ในการจัดเก็บ เรียกใช้ และแก้ไขข้อมูล การควบคุมความคงสภาพ คือ ควบคุมค่าของข้อมูลในระบบให้อยู่ในกรอบที่ถูกต้องตามที่กำหนด

2. การควบคุมระบบความปลอดภัย ได้แก้ การป้องกันไม่ให้ผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาติเข้ามาเห็นหรือแก้ไขข้อมูลในส่วนที่ต้องการปกป้อง

3. การสร้างระบบสำรองและการฟื้นสภาพ ได้แก่ หน้าที่ในการจัดทำข้อมูลสำรอง เมื่อใดก็ตามที่มีปัญหาเกิดขึ้นไม่ว่าจะเป็นการขัดข้องของระบบไฟล์หรือเครื่องเกิดการเสียหาย DBMS จะต้องใช้ระบบข้อมูลสำรองในการฟื้นสภาพ ให้ระบบข้อมูลกลับเข้าสู่สภาพที่ถูกต้องสมบูรณ์ได้

4. การควบคุมภาวะพร้อมกัน คือ การควบคุมการใช้ข้อมูลในสภาพที่มีผู้ใช้พร้อมๆ กันหลายคน

2.8.2. โมเดลของระบบจัดการฐานข้อมูล

โมเดลของระบบจัดการฐานข้อมูล 3 ชนิด ได้แก่ โมเดลเชิงสัมพันธ์ โมเดลแบบเน็ตเวิร์ค และโมเดลแบบแตกสาขา โดยโมเดลเชิงสัมพันธ์มีความแพร่หลายและมีข้อได้เปรียบกว่าอีก 2 โมเดล ดังนี้

1. เป็นโมเดลที่สร้างความเข้าใจได้ง่ายกว่า โดยภาพพจน์ของข้อมูลในแง่การมองของผู้ใช้ไม่มีความสลับซับซ้อนนัก

2. ระบบส่วนใหญ่ที่ใช้โมเดลแบบนี้มีเครื่องมือที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถปฏิบัติการยากๆ กับข้อมูลได้ด้วยคำสั่งง่ายๆ

3. โมเดลแบบนี้มีเครื่องมือที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถค้นพบปัญหาที่เกิดขึ้นในการออกแบบระบบฐานข้อมูลได้โดยง่ายและยังง่ายในการแก้ไขการออกแบบที่ผิดพลาดนั้นด้วย

4. ส่วนของการจัดเก็บข้อมูลแบบกายภาพหรือการเก็บจริง นับว่ามีความแตกต่างจากข้อมูลแบบตรรก (ส่วนที่ผู้ใช้รับรู้) โดยสิ้นเชิง นับเป็นโมเดลที่มีความสอดคล้องกับหลักการของฐานข้อมูลในข้อที่จะให้ผู้ใช้ไม่ต้องพะวงกับรายละเอียดของการจัดเก็บ

นิยาม รีเลชัน คือ ตาราง 2 มิติที่

1. แต่ละช่องของตารางจะบรรจุข้อมูลเพียงค่าเดียว
2. ชื่อหัวข้อในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกัน คือ ชื่อของ attribute
3. ค่าข้อมูลที่อยู่ในแต่ละคอลัมน์ คือ ค่าของ attribute ที่ระบุไว้ในหัวข้อคอลัมน์นั้นๆ
4. การเรียงลำดับคอลัมน์ไม่ถือว่ามีความสำคัญ
5. ข้อมูลแต่ละแถวจะต้องแตกต่างกัน
6. การเรียงลำดับแถวไม่ถือว่ามีความสำคัญ

นิยาม ฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ ได้แก่ การรวบรวมรีเลชันต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างกัน

2.8.3. ประโยชน์ของการประมวลผลด้วยฐานข้อมูล

1. ลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล การประมวลผลโดยใช้ไฟล์ธรรมดานั้นจำเป็นที่ผู้ใช้แต่ละกลุ่มจะต้องมีส่วนตัวเอาไว้ ดังนั้นจึงเกิดเหตุการณ์ที่ข้อมูลชนิดเดียวกันถูกเก็บไว้หลายๆ แห่ง หรือที่เรียกกันว่า ความซ้ำซ้อน การนำข้อมูลทั้งหมดมาเก็บไว้ที่เดียวกันในฐานข้อมูลนี้เป็นการลดความซ้ำซ้อนลงไปได้

2. สามารถหลีกเลี่ยงความขัดแย้งของข้อมูลได้ในระดับหนึ่ง ประโยชน์ข้อนี้สืบเนื่องมาจากข้อที่ 1 เนื่องจากว่าการเก็บข้อมูลไว้หลายๆ แห่งอาจก่อให้เกิดปัญหาว่า การแก้ไขข้อมูลเดียวกันนี้ทำไม่เหมือนกันในทุกๆ แห่ง ทำให้เกิดปัญหาว่า ข้อมูลชุดเดียวกันอาจมีค่าในแต่ละแห่งไม่ตรงกัน โดยมี DBMS เป็นตัวควบคุมดูแลว่า เมื่อเกิดการแก้ไขข้อมูลขึ้นเมื่อใด จะต้องแก้ไขให้เหมือนกันครบทุกแห่ง

3. สามารถใช้ข้อมูลร่วมกันได้ การใช้ข้อมูลร่วมกันได้ ไม่ได้จำกัดอยู่เฉพาะโปรแกรมที่ใช้ข้อมูลอยู่ในปัจจุบันเท่านั้น แต่กินความถึงโปรแกรมประยุกต์ที่จะพัฒนาขึ้นมาใหม่ด้วย ที่สามารถจะใช้ข้อมูลที่มีอยู่ได้เลย โดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มเติมข้อมูลเข้าไปในระบบอีก

4. สามารถควบคุมความเป็นมาตราฐานได้ จากการที่นำข้อมูลมาเก็บรวมกันไว้ในฐานข้อมูลเช่นนี้ ทำให้ผู้ที่มีหน้าที่ควบคุมดูแลการใช้ระบบฐานข้อมูลสามารถกำหนดมาตรฐานของข้อมูลขึ้นมาได้ เช่น ให้ใช้หน่วยมาตราการวัดที่เหมือนกัน รูปแบบในการเขียนวันที่เหมือนกัน เป็นต้น

5. สามารถจัดหาระบบความปลอดภัยที่รัดกุมได้ คำว่า ระบบความปลอดภัยในที่นี้หมายถึง การป้องกันไม่ให้ผู้ใช้ที่ไม่มีสิทธิ์มาใช้ข้อมูลในระบบได้ เนื่องจากผู้บริหารฐานข้อมูล เป็นผู้ควบคุมการใช้ข้อมูล เข้าจึงสามารถกำหนดสิทธิการใช้ข้อมูลได้ในระดับที่ต่างกัน

6. สามารถควบคุมความคงสภาพของข้อมูลได้ ตัวอย่างอันหนึ่งของความไม่คงสภาพของข้อมูลก็คือ การที่เกิดความขัดแย้งของข้อมูล ซึ่งความขัดแย้งนี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อข้อมูลมีความซ้ำซ้อนเท่านั้น แต่ในอีกแง่หนึ่งของความคงสภาพที่อาจเกิดขึ้นได้แม้ว่าจะไม่มีความซ้ำซ้อน ตัวอย่างเช่น ข้อมูลเกี่ยวกับอายุของพนักงานในบริษัทอาจจะมีค่า 300 แทนที่จะเป็น 30 ซึ่งความผิดพลาดแบบนี้เกิดขึ้นง่ายๆ จากความสะเพร่าในการพิมพ์ข้อมูล ในลักษณะของความไม่ถูกต้องเช่นนี้ ผู้ที่ออกแบบระบบฐานข้อมูลสามารถใส่กฎเกณฑ์เพื่อควบคุมความคงสภาพไว้ เช่น ค่าของอายุจะต้องเป็นตัวเลขระหว่าง 16 ถึง 60 เป็นต้น

7. สามารถสร้างสมดุลในความขัดแย้งของความต้องการได้ การที่ผู้ใช้ทั้งหมดขององค์กรใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลร่วมกันเช่นนี้ ทำให้ผู้บริหารฐานข้อมูลทราบถึง ความต้องการและความสำคัญของผู้ใช้งานทั้งหมด จึงสามารถกำหนดโครงสร้างฐานข้อมูลเพื่อให้บริการที่ดีที่สุดได้ เช่น เลือกเก็บข้อมูลที่ต้องใช้บ่อยๆ ไว้ในสื่อข้อมูลที่มีความเร็วเป็นพิเศษ เป็นต้น เป็นการสร้างสมดุลของความต้องการไม่ให้เกิดความขัดแย้งในหมู่ผู้ใช้ เพราะการออกแบบนั้นกระทำบนแนวทางที่มุ่งจะให้ประโยชน์ส่วนรวมดีที่สุด

8. เกิดความเป็นอิสระของข้อมูล ลักษณะของข้อมูลที่ไม่เป็นอิสระ คือ ข้อมูลที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ยังมีความผูกพันอยู่กับวิธีการจัดเก็บและเรียกใช้ข้อมูล ซึ่งในลักษณะการเขียนโปรแกรมประยุกต์บางประเภทอาจจำเป็นต้องใส่เทคนิคการจัดเก็บและเรียกใช้ข้อมูลไว้ในโปรแกรมด้วย นั้นหมายความว่า ถ้าเกิดต้องมีการเปลี่ยนแปลงวิธีการจัดเก็บหรือการเรียกใช้ข้อมูลแล้ว ผู้ใช้ก็จำเป็นจะต้องสร้างวิธีการประยุกต์ใช้ขึ้นมาใหม่ ซึ่งเป็นความไม่สะดวกอย่างยิ่ง และทำให้หมดโอกาสที่จะปรับปรุงโครงสร้างข้อมูล เพื่อให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยสรุปแล้วการใช้ระบบฐานข้อมูล จะทำให้เกิดความเป็นอิสระระหว่างการจัดเก็บข้อมูลและการประยุกต์ใช้ ทั้งนี้ก็เพราะส่วนของการจัดเก็บข้อมูลจริงๆ ถูก "ซ่อน" ออกจากวิวของการใช้งาน

2.8.4. ฟังก์ชันการขึ้นต่อกัน คีย์ และการนอร์มัลไลซ์

เป้าหมายของการใช้ระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์คือ การออกแบบรีเลชั่นเพื่อที่จะสามารถเรียกใช้ข้อมูลในระบบได้อย่างสะดวก และมีประสิทธิภาพ โดยพยายามให้เกิดความซ้ำซ้อนของการเก็บข้อมูลน้อยที่สุด ศาสตร์แขนงหนึ่งที่ถือเป็นพื้นฐานในการออกแบบฐานข้อมูล ได้แก่ การออกแบบระบบให้อยู่ในรูปแบบนอร์มัล (normal form) โดยอาศัยความรู้เกี่ยวกับ ฟังก์ชันการขึ้นต่อกัน

นิยาม สมมุติให้ B เป็น attribute ตัวหนึ่ง และ A เป็น attribute อีกตัวหนึ่ง (ซึ่ง A อาจจะประกอบด้วย attribute มากกว่า 1 ตัวก็ได้) กล่าวว่า B มีฟังก์ชันขึ้นอยู่กับ A ก็ต่อเมื่อ ค่าของ A สามารถใช้ในการเลือกค่าของ B ได้ 1 ค่าเสมอ

นิยาม กล่าวว่า attribute A เป็นคีย์หลักของรีเลชัน R ถ้า

1. attribute ทั้งหมดใน R มีฟังก์ชันขึ้นอยู่กับ A

2. ในกรณีที่ A ประกอบด้วย attribute หลายๆ ตัว จะต้องไม่มี attribute ที่เป็นส่วนหนึ่งของ A ที่มีคุณสมบัติดังระบุในข้อ 1

นิยาม คีย์คู่แข่ง ได้แก่ attribute ที่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับคีย์หลักแต่ไม่ได้รับเลือกเป็นคีย์หลัก บางครั้งนิยาม คีย์หลักคือ คีย์คู่แข่งที่ได้รับเลือก

นิยาม attribute ที่ไม่ใช่ส่วนใดส่วนหนึ่งของคีย์หลัก เรียกว่า นันคีย์ (nonkey attribute)

รูปแบบนอร์มัล 3 แบบ

1. รูปแบบนอร์มัลระดับที่ 1 (1NF) คือ รีเลชันที่ไม่มีกลุ่มที่ซ้ำกัน

2. รูปแบบนอร์มัลระดับที่ 2 (2NF) คือ รีเลชันที่เป็น 1NF และไม่มีนันคีย์ตัวใดขึ้นกับส่วนส่วนใดส่วนหนึ่งของคีย์

3. รูปแบบนอร์มัลระดับที่ 3 (3NF) คือ รีเลชันที่เป็น 2NF และตัวเลือกทุกตัวจะต้องเป็นคีย์คู่แข่ง

2.8.5. องค์ประกอบของโปรแกรมประยุกต์ระบบฐานข้อมูลส่วนบุคคล

1. ฐานข้อมูล(database) : ตารางข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กัน
2. แบบฟอร์มสำหรับใส่ข้อมูล (Data-Entry Forms) : ใช้เพิ่มเติม แก้ไข และลบข้อมูล
3. รายงาน(Reports) : รูปแบบในการนำเสนอข้อมูล
4. ภาษาเรียกค้นข้อมูล (Query Language) : ภาษาที่ใช้ในการเข้าถึงข้อมูล
5. เมนู(Menu) : รายการของกิจกรรมควบคุมการปฏิบัติงาน
6. โปรแกรมประยุกต์ (Application Programs) : ใช้สนับสนุนความต้องการเฉพาะ

2.8.6. การออกแบบฐานข้อมูล

การออกแบบฐานข้อมูล ความหมายของการออกแบบในที่นี้คือ การที่ผู้พัฒนาระบบพิจารณาว่าเรคอร์ดแต่ละตัวควรประกอบด้วยฟิลด์อะไรบ้าง แต่ละฟิลด์ควรจะเป็นชนิดอะไร ขนาดเท่าไร เรคอร์ดแต่ละชนิดควรมีความสัมพันธ์กันอย่างไร

โดยทั่วๆ ไป การออกแบบระบบฐานข้อมูลสามารถแบ่งได้เป็น 2 ระดับ ระดับแรกเรียกว่า การออกแบบระดับสารสนเทศ คือ ส่วนของการศึกษาวิเคราะห์รวบรวมความต้องการของผู้ใช้ โดยที่การออกแบบในระดับนี้มีเป้าหมาย เพื่อให้การใช้งานเป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้มากที่สุด โดยยังไม่ให้ความสำคัญกับชนิดและยี่ห้อของระบบจัดการฐานข้อมูลที่จะใช้ โดยจะเริ่มศึกษาเกี่ยวกับระบบการจัดการฐานข้อมูลที่จะใช้ในระดับที่ 2 ซึ่งเรียกว่า การออกแบบระดับกายภาพ อันเป็นระดับที่ให้ความสำคัญต่อประสิทธิภาพของระบบ

ขั้นตอนแรกของการออกแบบฐานข้อมูล คือ การศึกษา วิเคราะห์และรวบรวมเอาความต้องการของผู้ใช้ให้สมบูรณ์ที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ทั้งนี้ออกจากความต้องการแล้ว ผู้ออกแบบจะต้องรวบรวมเอากฎเกณฑ์และข้อบังคับต่างๆ เอาไว้ด้วย ซึ่งสามารถสรุปรายละเอียดต่างๆ ที่จำเป็นต้องทราบในส่วนนี้ได้ดังนี้

1. ลักษณะของรายงานทั้งหมด

2. การค้นหาข้อมูลในทุกลักษณ์

3. เอาต์พุตที่ต้องส่งไปให้แผนกอื่น หรือระบบอื่น

4. การประมวลและแก้ไขข้อมูลทั้งหมด

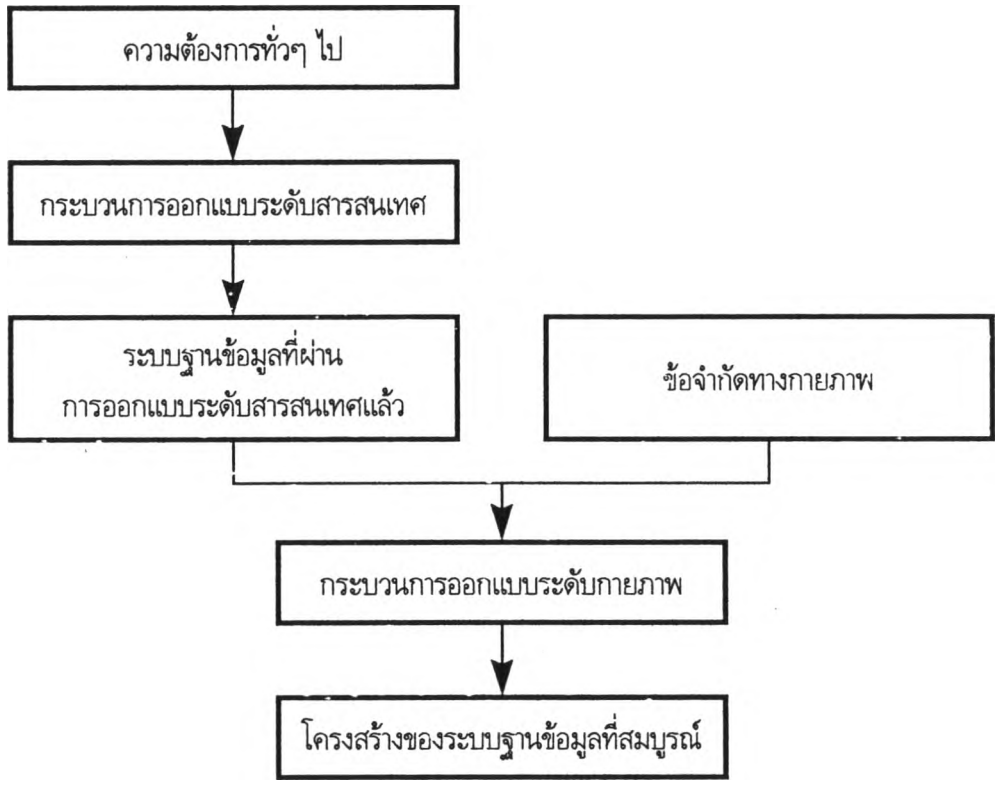
5. การคำนวณทุกอย่าง

6. กฎเกณฑ์ข้อบังคับต่างๆ

7. การตั้งชื่อพ้องต่างๆ

ข้อมูลเหล่านี้ จะถูกนำมาประมวลในการออกแบบฐานข้อมูลในระดับสารสนเทศ และเมื่อถึงการออกแบบในระดับกายภาพ ยังต้องอาศัยข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบในระดับกายภาพอีก เช่น จำนวนของแต่ละ attribute, ความถี่ในการพิมพ์รายงาน, ความยาวของรายงานแต่ละชิ้น และ กฎเกณฑ์ในการควบคุมความปลอดภัยในการใช้ข้อมูล

ข้อมูลต่างๆ เหล่านี้จะถูกนำมาวิเคราะห์พร้อมกับระบบฐานข้อมูลที่ออกแบบในระดับสารสนเทศไว้แล้ว เพื่อการออกแบบในระดับกายภาพ โดยในระดับนี้จะเริ่มคำนึงถึงความสามารถของระบบจัดการฐานข้อมูลที่กำลังใช้อยู่ด้วย เพื่อให้ผลการทำงานของระบบที่ออกแบบมานี้สมบูรณ์แบบ และมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยสรุปแล้วขั้นตอนของการออกแบบระบบฐานข้อมูลจะเป็นไปตามรูปที่ 2.54



รูปที่ 2.54 ขั้นตอนการออกแบบฐานข้อมูล

2.9. คอมพิวเตอร์ช่วยการออกแบบ (Computer Aided Design : CAD)

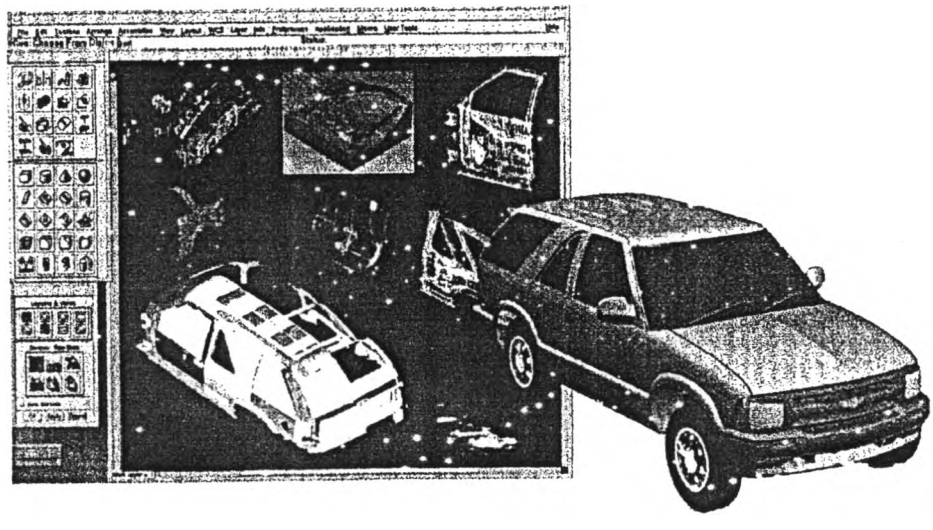
พลรัตน์ กุลพรศิริกุล และสุรพนธ์ ตุ้มนาค (2539) ได้ อธิบายไว้ว่า CAD คือ "การใช้คอมพิวเตอร์ในขบวนการออกแบบ" ซึ่งในขบวนการออกแบบจะใช้คอมพิวเตอร์ในการสร้างภาพและทำการวิเคราะห์

ซอฟต์แวร์ช่วยออกแบบ CAD (Computer Aided Design) เป็นเครื่องมือทุ่นแรงของนักเขียนแบบและนักออกแบบ CAD เริ่มต้นจากความต้องการที่จะแสดงภาพขึ้นบนจอคอมพิวเตอร์ หรือที่เรียกว่าคอมพิวเตอร์กราฟิก มีการพัฒนาแล้วนำมาประยุกต์ใช้ช่วยเขียนแบบและออกแบบ เทคนิคและวิธีการเขียนแบบและออกแบบโดยใช้ CAD มีการพัฒนาปรับปรุงเพื่อให้เกิดความสะดวกสบายต่อผู้ใช้ ขีดความสามารถในการพัฒนาขึ้นจะอยู่กับทั้งเทคโนโลยีของการทำโปรแกรม และเทคโนโลยีของฮาร์ดแวร์ประกอบกัน

เทคนิคการสร้างภาพทั้งในลักษณะ 2 มิติ และ 3 มิติ เป็นเรื่องพื้นฐานของ CAD ที่พึงจะมีอยู่ รวมทั้งการนำเสนอภาพออกแบบที่ทั้งเลียนแบบของจริง เช่น รูปทรงโครงลวด (Wire Frame Model) และ

เหมือนของจริง เช่น รูปทรงตัน (Solid Model) ที่ยังคงต้องพัฒนากันเพื่อลดทั้งข้อจำกัดและจุดอ่อนต่างๆ แล้วสร้างเทคนิคพิเศษอื่นๆ เพื่อให้กระบวนการออกแบบรวดเร็วและถูกต้องที่สุด

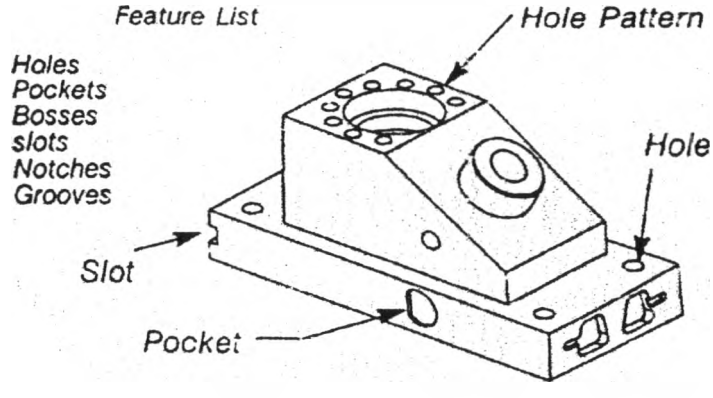
พาราเมตริกโมเดลลิ่ง เป็นวิธีการสร้างรูปทรง 3 มิติ ที่สามารถเก็บขั้นตอนของการสร้างของรูปทรง และสามารถเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ที่ประกอบด้วยตำแหน่งการวางตัว ขนาด และจำนวน เป็นต้นได้อย่างรวดเร็ว โดยสามารถระบุความสัมพันธ์ในแง่ของสมการหรือเงื่อนไขระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆได้ ทั้งยังสร้างโมเดลผสมผสานระหว่างรูปทรงโครงลวด รูปทรงผิว และรูปทรงตันได้ การเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์บางตัวจะส่งผลไปยังพารามิเตอร์ตัวอื่นๆ ที่มีการผูกความสัมพันธ์ได้



รูปที่ 2.55 โปรแกรมออกแบบด้วยพาราเมตริกโมเดลลิ่ง (ภาพจาก Interface ของ EDS, 1997)

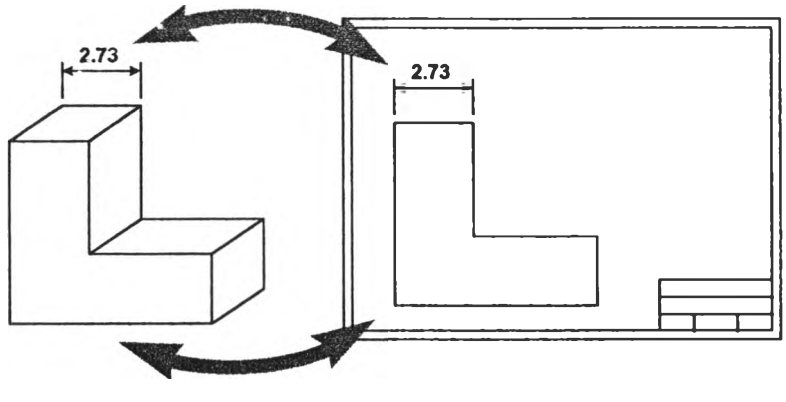
Variational Geometry การออกแบบงานหรือรูปทรงโดยใช้ CAD นั้น โดยทั่วไปจะเริ่มการสร้างโดยการระบุขนาดที่ต้องการแน่นอนในขั้นตอนของการสร้างเลย แต่ Variational Geometry จะเป็นวิธีการสร้างรูปทรงที่ใช้หลักการเดียวกันกับนักออกแบบใช้ คือ ร่างภาพก่อน แล้วจึงค่อยให้ขนาดทีหลัง (Sketch - first / Dimension - after) โดยการร่างเส้นหรือส่วนโค้งใดๆที่ต้องการก่อน เมื่อได้โครงร่างทั้งหมด แล้วจึงค่อยระบุหรือเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของขนาดได้ตามความต้องการ อีกทั้งยังสามารถระบุข้อกำหนดหรือข้อจำกัดของพารามิเตอร์ต่างๆ ได้โดยใช้เงื่อนไข หรือสมการโยงความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ได้ง่าย โดยส่วนใหญ่จะเป็นการสร้างภาพ 2 มิติก่อน เพื่อช่วยสร้างภาพ 3 มิติต่อไป

Feature-Based Modeling เป็นการออกแบบงานหรือรูปทรงโดยใช้การประกอบกันของรูปทรงมาตรฐานทางวิศวกรรมหรือการผลิต เช่น รู ร่อง และรอยบาก เป็นต้น ที่โดยปกติแล้วการออกแบบโดยทั่วไปจะใช้รูปของพื้นฐานทางเรขาคณิต เช่น ทรงกลม ทรงกระบอก หรือลูกบาศก์ เป็นต้น ดังนั้นจะทำให้การออกแบบโดยวิธีนี้สะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น นอกจากนี้ผู้ใช้ยังสามารถสร้างรูปทรงมาตรฐานขึ้นเอง เพื่อใช้ในการออกแบบคราวต่อไป



รูปที่ 2.56 การออกแบบลักษณะ Feature-Based Modeling (ภาพจากวารสารส่งเสริมเทคโนโลยี, 2539)

Bidirectional Associativity คือความสัมพันธ์สองทิศทางระหว่างค่าพารามิเตอร์ของรูปทรง 3 มิติที่ออกแบบโดย CAD กับขนาดของรูปทรงในแบบ 2 มิติ เช่น เมื่อมีการแก้ไขค่าพารามิเตอร์ของรูปทรง 3 มิติ ขนาดของรูปทรงที่เปลี่ยนไปส่งผลให้ขนาดของแบบเป็น 2 มิติ จะเปลี่ยนตามไป และในทางกลับกัน การเปลี่ยนแปลงขนาดของแบบใน 2 มิติ จะมีผลต่อขนาดของรูป 3 มิติเช่นกัน



รูปที่ 2.57 ลักษณะของ Bidirectional Associativity

2.9.1. ระบบอิงพาราเมตริก (Parametric-base System)

MacKrell (1993) ได้กล่าวถึงพาราเมตริกเทคโนโลยี (Parametric-Technology) ได้ทำให้เกิดโปรแกรมแบบจำลองพาราเมตริกทรงตัน (Paramatric solids modeling program) ขึ้นในปี 1987 นั้น ทำให้เกิดยุคใหม่ของ CAD/CAM ซึ่งเป็นยุคของเทคโนโลยีใหม่ที่เรียกว่า แบบจำลองอิงข้อบังคับทรงตัน (Constraint-based solids modeling) ทำให้การออกแบบง่ายขึ้น เช่น การร่างและปรับปรุงแก้ไข การพัฒนาแบบ เป็นต้น

แบบจำลองทรงตันเกิดขึ้นประมาณปี 1970 แต่เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ยากในการใช้ จึงมีใช้กันในหมู่ของนักออกแบบ ปัญหาหลักๆในการออกแบบโดยระบบ CAD แบบเก่า คือ การปรับปรุงแก้ไขแบบทำได้ไม่ง่ายนัก ผู้ออกแบบต้องจดจำความสัมพันธ์ระหว่างส่วนต่างๆ ที่ออกแบบ เมื่อจะทำการปรับปรุงแก้ไขแบบ จะต้องตามแก้ส่วนที่มีความสัมพันธ์นั้นเอง ซึ่งอาจลืมหรือผิดพลาดได้

นักออกแบบต้องการระบบที่ทำให้การร่าง (sketch) หรือทำโครงร่าง (layout) จากความคิดทำได้อย่างรวดเร็ว และทำการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงแบบที่ได้ออกแบบไว้ได้ง่าย

แบบจำลองอิงพาราเมตริกทำให้ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยการออกแบบมีความสามารถในการรู้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนต่างๆ โดยอัตโนมัติทำให้ประหยัดเวลาและลดความผิดพลาดในการออกแบบ โดยในระบบอิงพาราเมตริก จะให้กำหนดความสัมพันธ์ของขนาดและมิติต่างๆ เป็นสมการ เช่น ให้ความยาวเป็น 2 เท่าของความกว้าง เป็นต้น

การนิยามปัจจัยในงานออกแบบจะเป็นผลดีที่สุดสำหรับชิ้นงานและการประกอบ ที่มีความชัดเจนในการกำหนดลำดับขั้นและปัจจัยที่สำคัญที่ควบคุมรูปแบบทั้งหมด

ระบบพาราเมตริกจะมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานที่คล้ายคลึงกันในด้านขนาดและการควบคุมด้วยมิติบางมิติ เช่น ความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลาง เป็นต้น