รายการอ้างอิง

1. ชาญชัย ทรัพยากร, ประสิทธิ์ สวัสดิสรรพ, วิรุฬ ประเสริฐวรนันท์. การออกแบบแม่พิมพ์ . กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2540.
2. ชวลิต เชียงกูล โลหะวิทยา . สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2542.
3. พูลพร แสงบางปลา การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการบำรุงรักษา . สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์วิทยาลัย, 2538.
4. วันชัย ริจิรวนิช การเพิ่มผลผลิตในอุตสาหกรรมเทคนิคและกรณีศึกษา . สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์วิทยาลัย, 2539.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ประเภทของงานปั๊ม

ประเภทของงานปั๊ม มีอยู่ด้วยกันหลายประเภท ซึ่งพอจะแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ได้ 5 ประเภท ดังนี้

1. **งานตัด (Shearing)**

เป็นงานขั้นพื้นฐานของงานปั๊ม แบ่งออกเป็น

1. Shearing เป็นงานตัดทั่วๆ ไป ที่ใช้คมตัด เฉือนโลหะให้ขาดออกจากกัน
2. Bevel shearing เป็นงานตัดริมขอบของชิ้นงานโดยมีคมตัดด้านบนเอียงทำมุมกับแนวดิ่ง
3. Blanking เป็นงานตัดที่ต้องการเอาส่วนที่ถูกตัดไปแปรสภาพเป็นชิ้นงานต่อไป โดยส่วนที่ถูกตัดจะมีรูปต่างตามที่ได้ออกแบบไว้แล้ว
4. Trimming เป็นงานตัดขอบส่วนที่ไม่ต้องการออกจากชิ้นงานที่ขึ้นรูปมาแล้ว
5. Notching เป็นงานตัดเฉพาะบางส่วนทางด้านริมของชิ้นงานออก
6. Slitting เป็นการตัดในแนวตรง ใช้ในการตัดแยกโลหะแผ่นเล็กออกจากแผ่นใหญ่
7. Parting or Separating เป็นการตัดแยกชิ้นงานที่สมมาตรกันออกเป็น 2 ส่วน
8. Piercing เป็นการตัดเจาะรู เพื่อนำรูไปใช้ ต่างกับ blanking ที่นำเศษของรูไปใช้งาน
9. Perforating เป็นการตัดเจาะรูหลายๆรูพร้อมกัน ซึ่งส่วนใหญ่รูเหล่านี้จะมีรูปร่างและขนาดเท่ากันหมด
10. Shaving เป็นการตัดครั้งที่สองหลังจากที่ Shearing หรือ Cutting มาแล้วเพื่อทำให้ขอบของชิ้นงานเรียบ

2. **งานพับและงานปั๊มเข้ารูป (Bending and Forming)**

1. Bending เป็นการพับโลหะซึ่งอาจเป็นรูปตัว V หรือตัว U ก็ได้
2. Forming เป็นการปั๊มเข้ารูปโลหะแผ่นเรียบให้มีรูปร่างตามต้องการโดยที่ชิ้นงานจะมีรูปร่างและขนาดตามรูปต่างและขนาดของ punch และ die

3. Flanging เป็นการพับขอบของชิ้นงานซึ่งอาจมีทั้งพับตรง โค้งออก หรือเว้าเข้า
4. Burring เป็นการพับบริเวณขอบของรูหรือบานรูออก
5. Curling เป็นการม้วนที่ปลายขอบชิ้นงานรูปถ้วย ท่อ หรือโลหะแผ่นเรียบ
6. Seaming เป็นการต่อปลายของโลหะเข้าด้วยกันโดยวิธีการพับติดกัน
7. Beading เป็นการขึ้นรูปสันเนิน เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับชิ้นงาน
8. Embossing เป็นการปั๊มโลหะเพื่อทำให้เกิดเป็นรอยกดตื้นๆ ซึ่งตามทฤษฎีแล้วจะไม่ทำให้ความหนาของโลหะเปลี่ยนไป
9. Necking เป็นการลดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของภาชนะรูปทรงกระบอกลงให้รูปร่างเหมือนกับบริเวณคอของขวด

3. งานขึ้นรูป (Drawing)

1. Drawing เป็นการขึ้นรูปโดยที่ punch จะกดโลหะแผ่นเรียบเข้าไปในช่องว่างของ die เพื่อทำให้เกิดเป็นภาชนะรูปถ้วยกลวงและไม่มีตะเข็บ
2. Redrawing เป็นการขึ้นรูปต่อจากการขึ้นรูปครั้งแรก ซึ่งภาชนะรูปถ้วยจะมีความลึกเพิ่มขึ้นและพื้นที่หน้าตัดจะลดลง
3. Reverse Redrawing เป็นการขึ้นรูปต่อจากการขึ้นรูปครั้งแรก แต่ทิศทางของการขึ้นรูปตรงข้ามกับการขึ้นรูปครั้งแรก
4. Ironing เป็นการลดความหนาของผนังด้านข้างของรูปถ้วยและจะทำให้ผิวหน้าเรียบตลอด

4. งาน Extrusion, coining

1. Cold Extrusion เป็นการขึ้นรูปชนิดหนึ่งโดยที่ punch จะอัดโลหะเข้าไปใน die orifice ซึ่งจะทำให้ได้ชิ้นงานตามรูปพื้นที่หน้าตัดของ orifice
2. Forward Extrusion เป็นการอัดโลหะโดยโลหะที่ถูกอัดจะไหลตัวเข้าไปในช่องว่างของ die และมีรูปร่างตามลักษณะของ die
3. Backward Extrusion เป็นการอัดโลหะโดยที่โลหะที่ถูกอัดจะไหลตัวเคลื่อนเข้าหา punch และจะได้รูปร่างของชิ้นงานตามลักษณะของ punch
4. Forward and Backward Extrusion เป็นการอัดโลหะโดยโลหะจะไหลตัวเข้าไปใน die และมีบางส่วนจะไหลตัวเคลื่อนเข้าหา punch ซึ่งจะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีรูปร่างตามลักษณะของ punch และ die

5. Impact Extrusion เป็น Backward Extrusion ชนิดหนึ่งซึ่งความหนาของผนังมีความบางมาก ใช้ได้กับโลหะที่อ่อนมากเช่น อะลูมีเนียม ตะกั่ว ดีบุก และสังกะสี
6. Upseting เป็นการอัดโลหะเพื่อให้ความยาวลดลง โดยมีบางส่วนของชิ้นงานมีพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้น
7. Coining เป็นการอัดโลหะโดยที่ทุกส่วนของชิ้นงานจะถูกอัดอยู่ระหว่าง punch และ die และไม่มีส่วนใดออกมานอก die
8. Sizing เป็นการปั๊มครั้งที่สองเพื่อให้ได้ขนาดที่ถูกต้องแน่นอนตามต้องการ
9. Heading เป็นการปั๊มเพื่อขึ้นรูปด้านปลายของชิ้นงาน เช่น งานปั๊มหัวโบลท์และรีเวท
10. Swaging เป็นการอัดโลหะจนโลหะไหลตัวเข้าไปจนเต็มช่องว่างใน die

5. งานปั๊มประเภทอื่น ๆ

1. Bulging เป็นการขยายผนังของรูปถ้วย รูปทรงกระบอก หรือท่อต่างๆ โดยใช้แรงดันจากด้านในออกมา แรงนี้ได้จากการอัดตัวของ punch ซึ่งกระทำต่อตัวกลางเช่น อากาศ ของเหลว หรือสารพวกขี้ผึ้ง ไข หรือยาง
2. Stretch Draw Forming เป็นการขึ้นรูปที่มี clamp ยึดปลายทั้งสองข้างของโลหะไว้ หลักการของการขึ้นรูปแบบนี้ก็คือ การทำให้โลหะยืดตัวออกจนอยู่ในช่วงของ plastic range ในขณะเดียวกับที่โลหะจะถูกขึ้นรูปโดย punch และด้วยวิธีนี้ก็สามารถป้องกันการเกิด spring back ได้
3. Hydro Forming เป็นการขึ้นรูปที่มีแต่ punch เท่านั้น ที่จะเป็นตัวกำหนดรูปร่างของชิ้นงาน ส่วนที่ die จะเป็นของเหลว ซึ่งมีหน้าที่ในการอัดโลหะให้มีรูปร่างตามลักษณะของ punch การขึ้นรูปชนิดนี้ นิยมใช้กับการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรูปร่างยุ่งยาก

ทฤษฎีเกี่ยวกับงานตัด

Shearing Process คือการตัดโลหะออกจากกันโดยใช้คมตัดของ punch และ die กดโลหะจนเลยจุด ultimate strength ซึ่งจะทำให้โลหะฉีกขาดออกจากกัน ขั้นตอนการตัดเริ่มจาก การที่ punch กดลงบนโลหะ และพาเนื้อโลหะเข้าไปในช่องว่างของ die จนเลยจุด elastic limit ของโลหะ ช่วงนี้ทางผิวด้านล่างของโลหะจะเริ่มย้อยเข้าไปใน die และทางผิวด้านบนก็จะถูก punch กดลง เมื่อแรงกดเพิ่มขึ้น punch จะเจาะเข้าไปในเนื้อโลหะ

โดยความลึกของส่วนที่ถูกกดทางผิวด้านบนจะเท่ากับส่วนที่ถูกกดลงใน die ทางผิวด้านล่าง เมื่อแรงกดเพิ่มขึ้นจนเลยจุด ultimate strength ของโลหะแล้ว โลหะจะฉีกขาดออกจากกัน

การฉีกของโลหะจะดีหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับ clearance ระหว่าง punch กับ die ถ้า clearance มากไป หรือน้อยไป จะทำให้เพิ่มแรงที่มากระทำต่อ punch และ die ทำให้สึกเร็ว นอกจากนั้น ยังทำให้รอยฉีกไม่เรียบอีกด้วย

Stripping Force

คือแรงที่ใช้ในการดันชิ้นงานให้หลุดออกจาก punch ตามปกติจะมีค่าตั้งแต่ 2.5 – 20% ของแรงตัดหรือแรงเจาะ

สูตร

Ps = 2.5 lt 1/1000

Ps = Stripping Force (ตัน)

l = ความยาวของการตัด (ม.ม.)

t = ความหนาของชิ้นงาน (ม.ม.)

ค่าที่ได้ตามสูตรข้างบนนี้เป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น เพราะค่าของ Stripping force ยังขึ้นอยู่กับค่าของตัวแปรอีกหลายค่าซึ่งไม่สามารถประเมินค่าได้ ตัวแปรเหล่านี้ได้แก่

1. ความหยาบและมุมของรอยฉีกขาด
2. อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของ blank
3. สภาพคมตัดของ punch และ die
4. ความห่างของคมตัด (die clearance)
5. การหล่อลื่นของ punch
6. ระยะห่างระหว่างรู หรือระยะห่างจากรูถึงขอบของชิ้นงาน
7. สภาพผิวหน้าของ punch เช่น แต่งคมตัดเพื่อลดแรงตัดหรือไม่แต่ง
8. จำนวนรู
9. เนื้อที่ที่เหลือบนชิ้นงานหลังจากการเจาะรู หรือตัด blank ออกไปแล้ว
10. ชนิดของโลหะ

ทฤษฎีเกี่ยวกับงานพับ

การพับ (Bending) เป็นกรออกแรงเพื่อทำให้โลหะ ซึ่งส่วนมากจะเป็นแผ่นเรียบ หมุนรอบแนวแกนซึ่งอยู่ในระนาบที่ขนานกับแผ่นโลหะ โลหะจะเกิดการไหลตัวจนอยู่ในช่วงของ plastic range และคงสภาพอยู่เช่นนั้น แม้จะเอาแรงที่มากระทำออกไปแล้วก็ตาม

ในการพับผิวด้านในจะได้รับแรงกด (compression) จึงหดตัว ส่วนผิวด้านนอกได้รับแรงดึง (tension) จึงยืดตัวออก

Spring Back ปรากฏการณ์อย่างหนึ่งที่จะเกิดขึ้นเสมอในงานพับ ก็คือการที่โลหะดีดตัวกลับหลังจากที่ punch ถอนตัวออกจากชิ้นงานแล้ว โดยที่มุมของการพับจะลดลง และรัศมีด้านในของส่วนโค้งของโลหะจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโลหะยังมีความยืดหยุ่นเหลืออยู่

วิธีป้องกันไม่ให้เกิด Spring Back

1. ในการพับแบบ V มีวิธีป้องกันไม่ให้เกิด spring back ได้ดังนี้ คือ
   1. เพิ่ม rib ที่ส่วนโค้งของชิ้นงาน ในการเพิ่ม rib ที่ส่วนโค้งของชิ้นงานนี้จะทำให้บริเวณส่วนโค้งมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และโอกาสที่จะเกิด spring back มีน้อยมาก เช่น ที่ H = 2t จะเกิดการ spring back ไม่เกิน $\pm$ 20'
   2. การแต่งมุมของ punch เพื่อให้เกิดแรงกดบริเวณ R มากๆ

      (a) ลดมุมของ punch

      $B = 90^{\circ}$

      $\alpha = 2 - 5^{\circ}$

      $R_2 = R_1 + t$

      $r_d = (2 - 4)\, t$

      (b) ให้ die มีส่วนโค้งรับชิ้นงาน

      $$A = 90^{\circ}$$

      $R_2 = R_1 + t + a$

      $a = (2 - 5\%)\, t$

      $r_d = (2 - 4)\, t$

      (c) ออกแบบ punch ให้กดเฉพาะปลาย

      $$A = 90^{\circ}$$

      $R_2 = R_1 + t + a$

a = (5 – 10%) t

b = (5 – 8%) t

r_d = (2 – 4) t

3. ลดมุมของ die เพื่อให้เกิดแรงกดตรงบริเวณไหล่ของ die

2. การป้องกันการเกิด spring back ในการพับแบบ U มีดังนี้

1. ใช้ pad เป็นตัวรับทางด้านล่าง (backing plate)

2. ออกแบบ pad ให้มีส่วนกลางนูนขึ้น

3. ออกแบบ Die ให้มีส่วนยื่นออกมาเพื่อเพิ่มแรงกด ตรงบริเวณ R ของชิ้นงาน ออกแบบ punch ให้มี clearance

3. ในการพับแบบ V มีวิธีป้องกันไม่ให้เกิด spring back

4. เพิ่ม rib ที่ส่วนโค้งของชิ้นงาน ในการเพิ่ม rib ที่ส่วนโค้งของชิ้นงาน

5. การแต่งมุมของ punch เพื่อให้เกิดแรงกดบริเวณ R มากๆ

6. ลดมุมของ die เพื่อให้เกิดแรงกดตรงบริเวณไหล่ของ die

4. การป้องกันการเกิด spring back ในการพับแบบ U มีดังนี้

4. ใช้ pad เป็นตัวรับทางด้านล่าง (backing plate)

5. ออกแบบ pad ให้มีส่วนกลางนูนขึ้น

6. ออกแบบ Die ให้มีส่วนยื่นออกมาเพื่อเพิ่มแรงกด ตรงบริเวณ R ของชิ้นงาน

7. ออกแบบ punch ให้มี clearance

WORK STANDARD

(มาตราฐานในการทำงาน)

PART NUMBER : 897900 – 9000

(หมายเลขชิ้นงาน)

PART NAME : BRACKET FRT SEAT BELT

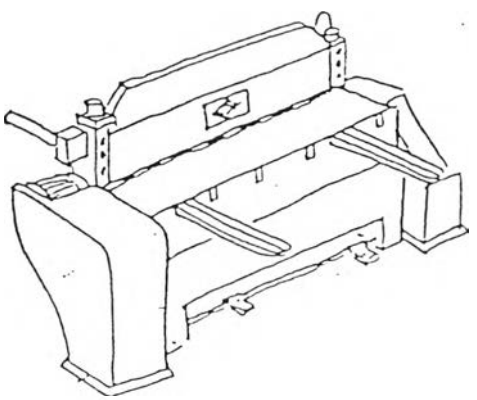
(ชื่อชิ้นงาน)

PROCESS (ขั้นตอนการทำงาน)

I.) SHEAR

➢ MACHINE CONDITION

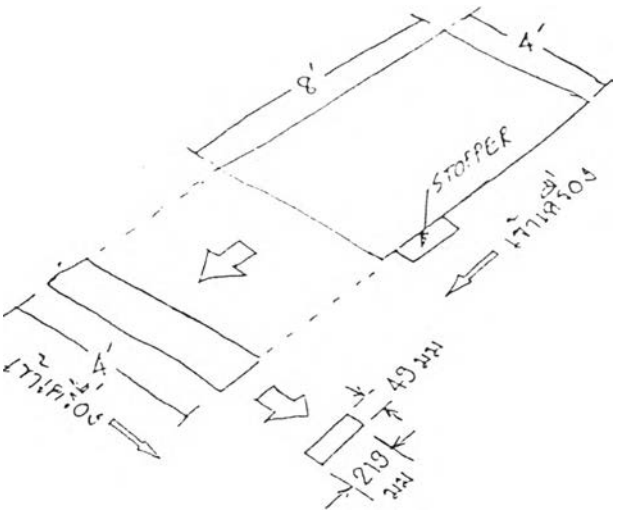
2. ประเภทเครื่องจักร / อุปกรณ์
   - เครื่องตัดเหล็ก SHEAR MACHINE ดังรูป



รูปที่ ก-1 เครื่องตัดเหล็ก SHEAR MACHINE

➢ OPERATION STANDARD

3. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน
   - ใช้เหล็ก SPHC - P ความหนา 2.3 มิลลิเมตร
   - ใส่เหล็กแผ่นเข้าเครื่องตัด (ครั้งที่ 1) ด้าน 1220 มิลลิเมตร หรือ 4 ฟุต ตามรูปโดยให้ชนกับ STOPPER และตั้งค่าความยาวในการตัดที่ขนาด 219 มิลลิเมตร
   - ใส่เหล็กแผ่นเข้าเครื่องตัด (ครั้งที่ 2) ที่ตัดครั้งที่ 1 แล้วมาตัดอีกตามรูป และตั้งค่าความยาวในการตัดที่ขนาด 49 มิลลิเมตร



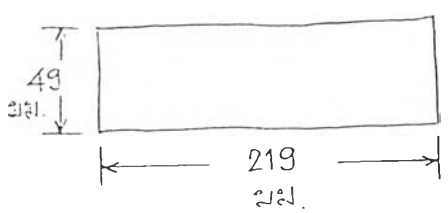
รูปที่ ก-2 แสดงการ วิธีการตัดเหล็ก

4. จุดปลอดภัย

สวิตช์	ถุงมือ	หยอดน้ำมัน	แว่นตา	คีมจับเหล็ก
เท้า	หนัง	-	-	-

➢ QUALITY CONTROL

3. จุดควบคุมคุณภาพ
   - ชิ้นงานได้ตามขนาด (ตามรูป)
   - ขอบของชิ้นงานไม่เป็นเสี้ยน



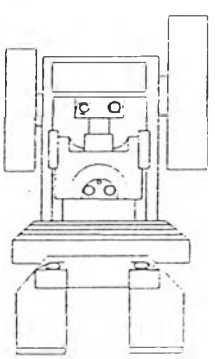
รูปที่ ก-3 แสดงขนาดของชิ้นงาน

4. การตรวจสอบคุณภาพ
   - ใช้มือลูบคูตามขอบ

II.) PIERCE

➢ MACHINE CONDITION

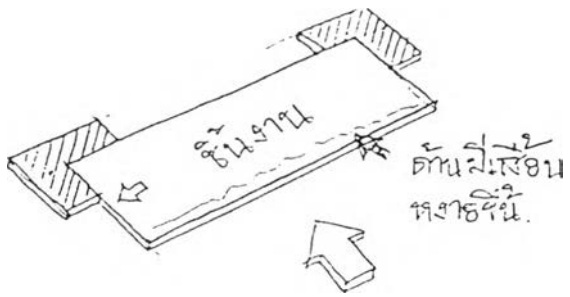
2. ประเภทเครื่องจักร / อุปกรณ์
   - เครื่องปั้มโลหะขนาด 25 - 35 ตัน
   - ใช้ระยะช่วงชักอย่างน้อย 101 มิลลิเมตร
   - เครื่องที่สามารถขึ้นได้ คือ เครื่องที่ 1 , เครื่องที่ 2 , เครื่องที่3 , เครื่องที่ 4 , เครื่องที่6 , เครื่องที่ 7 และ เครื่องที่ 18



รูปที่ ก-4 แสดงเครื่องปั้มโลหะ

➢ OPERATION STANDARD

3. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน
   - ใส่ชิ้นงานตามรูป
   - ใส่ชิ้นงานให้ชิด STOPPER ด้านซ้ายมือ โดยชิ้นงานด้านที่มีเสี้ยน ให้เอาเข้าด้านใน ตามรูป



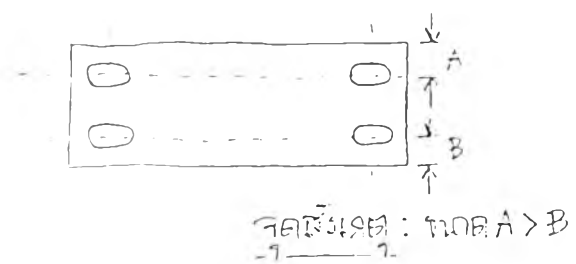
รูป ก-5 แสดงการใส่ชิ้นงานในขั้นตอนการปฏิบัติงาน PIERCE

4. จุดปลอดภัย

สวิตซ์	ถุงมือ	หยอดน้ำมัน	แว่นตา	คีมจับเหล็ก
เท้า	ผ้า	เสมอ	-	-

➢ QUALITY CONTROL

1. จุดควบคุมคุณภาพ
   - ขอบของรูที่เจาะทั้ง 4 รู
   - ขอบของชิ้นงานไม่เป็นเสี้ยน
   - ขนาด A มากกว่า B ดังรูป



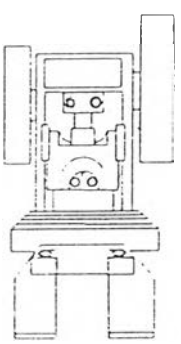
รูปที่ ก-6 แสดงจุดควบคุมการของขั้นตอนการผลิต PIERCE

2. การตรวจสอบคุณภาพ
   - ใช้มือลูบคูตามขอบ
   - ใช้เวอร์เนียร์

III.) FORM I

➢ MACHINE CONDITION

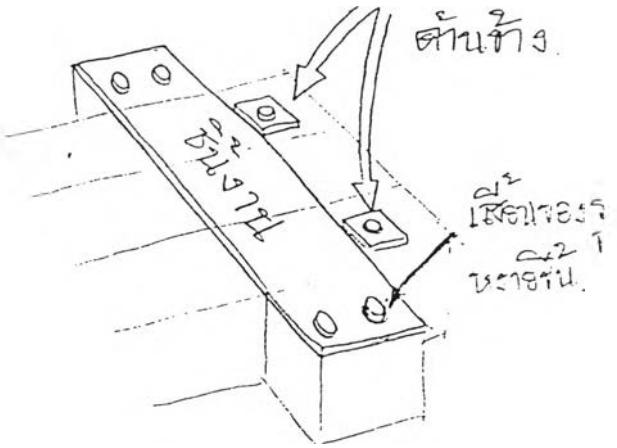
2. ประเภทเครื่องจักร / อุปกรณ์
   - เครื่องปั้มโลหะขนาด 80 - 150 ตัน
   - ใช้ระยะช่วงชักอย่างน้อย 152 มิลลิเมตร
   - เครื่องที่สามารถขึ้นได้ คือ เครื่องที่ 10 , เครื่องที่ 11 และ เครื่องที่ 12



รูปที่ ก-7 แสดงเครื่องปั้มโลหะ

➢ OPERATION STANDARD

3. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน
   - วางชิ้นงานลักษณะตามรูป โดย
     - 3.1 วางให้เสี้ยนของรูหงายขึ้น
     - 3.2 วางชิ้นงานให้ชิดกับ STOPPER ด้านข้าง



รูปที่ ก-8 แสดงขั้นตอนการปฏิบัติงาน FORM I

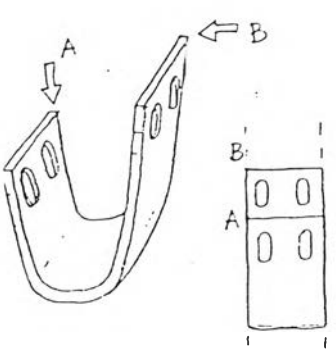
4. จุดปลอดภัย

สวิตซ์	ถุงมือ	หยอดน้ำมัน	แว่นตา	คีมจับเหล็ก
มือ	ผ้า	เสมอ	-	-

➢ QUALITY CONTROL

3. จุดควบคุมคุณภาพ

- จุด A และ B อยู่ในแนวเดียวกัน ดังรูป



รูปที่ ก-9 แสดงจุดควบคุมคุณภาพ ขั้นตอนการผลิต FORM I

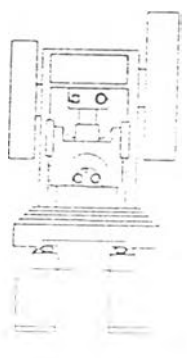
4. การตรวจสอบคุณภาพ

- ใช้สายตา

IV.) FORM II

➢ MACHINE CONDITION

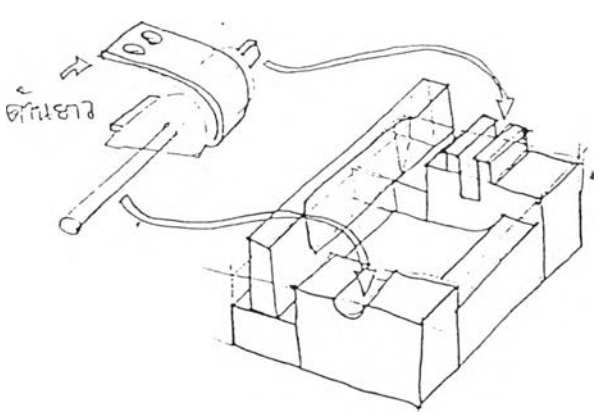
2. ประเภทเครื่องจักร / อุปกรณ์
   - เครื่องปั้มโลหะขนาด 45 - 60 ตัน
   - ใช้ระยะช่วงชักอย่างน้อย 110 มิลลิเมตร
   - เครื่องที่สามารถขึ้นได้ คือ เครื่องที่ 8 , เครื่องที่ 9 และ เครื่องที่ 17



รูปที่ ก-10 แสดงเครื่องปั้มโลหะ

➢ OPERATION STANDARD

3. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน
   - ใส่ชิ้นงานกับด้ามจับตามรูป
   - จับทั้งชิ้นงานและ ด้ามจับ ใส่เข้าในแม่พิมพ์ โดยให้เข้าร่องที่มีให้ไว้ตามรูป



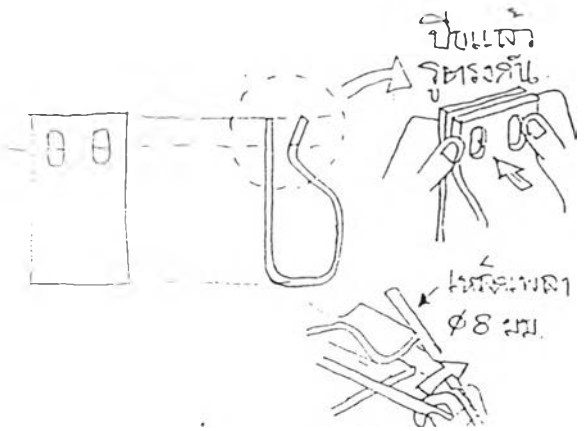
รูปที่ ก-11 แสดงขั้นตอนการปฏิบัติงาน FORM I

4. จุดปลอดภัย

สวิตซ์	ถุงมือ	หยอดน้ำมัน	แว่นตา	คีมจับเหล็ก
มือ	ผ้า	เสมอ	-	-

➢ QUALITY CONTROL

3. จุดควบคุมคุณภาพ
   - บีบชิ้นงานแล้วรูของทั้งสองคู่ตรงกัน ดังรูป
   - เหล็กเพลาขนาด 8 มิลลิเมตร สามารถลอดได้



รูปที่ ก-12 แสดงจุดควบคุมคุณภาพ ขั้นตอนการผลิต FORM II

4. การตรวจสอบคุณภาพ

   - ใช้มือ หรือ คีม ในการบีบชิ้นงาน
   - ใช้เหล็กเพลาขนาด 8 มิลลิเมตร

V.) ชุบ EDP (SUPPLIER)

ภาคผนวก ข.

การแผนการสุ่มตัวอย่าง

แผนการสุ่มตัวอย่าง (Sampling plan) คือ แผนที่กำหนดไว้ถึงขนาดสิ่งตัวอย่างหรืออนุกรมของขนาดสิ่งตัวอย่าง พร้อมทั้งกฎเกณฑ์ของการพิจารณาการยอมรับในรูปของตัวเลขแห่งการยอมรับและตัวเลขแห่งการปฏิเสธ

ตามความต้องการของมาตรฐาน MIL – STD – 105E นี้ได้แบ่งแผนการชักสิ่งตัวอย่างออกเป็น 3 แบบ คือ

1. แผนการชักสิ่งตัวอย่างเชิงเดี่ยว(Single Sampling Plan)
2. แผนการชักสิ่งตัวอย่างเชิงคู่ (Double Sampling Plan)
3. แผนการชักสิ่งตัวอย่างหลายเชิง (Multiple Sampling Plan)

ในการตัดสินใจว่าแผนการชักสิ่งตัวอย่างแบบใดนั้น จะพิจารณาโดยขึ้นอยู่กับการเปรียบเทียบกันระหว่างความยากง่ายในการจัดการ (Administrative Difficulty) และขนาดสิ่งตัวอย่างโดยเฉลี่ย (Average Sample Size) ของแต่ละแผนการ

โดยทั่วไปแล้วแผนการชักสิ่งตัวอย่างเชิงเดี่ยวจะมีความง่ายในการบริหารมากกว่าแผนการชักสิ่งตัวอย่างเชิงคู่และหลายเชิง รวมทั้งต้นทุนในการตรวจสอบต่อหน่วยจะต่ำกว่าด้วย

สำหรับขนาดสิ่งตัวอย่างโดยเฉลี่ยนั้น ในแผนการชักสิ่งตัวอย่างแบบหลายเชิงจะมีขนาดต่ำกว่าแบบเชิงคู่ (ยกเว้นในกรณีที่ใช้แผนการที่สอดคล้องกับแผนการชักสิ่งตัวอย่างเชิงเดี่ยว) แต่อย่างไรก็ดี ทั้งแผนการสิ่งตัวอย่างเชิงคู่และแบบหลายเชิงจะมีขนาดสิ่งตัวอย่างโดยเฉลี่ยต่ำกว่าตัวอย่างในแผนการชักสิ่งตัวอย่างเชิงเดี่ยวเสมอ

แผนการชักสิ่งตัวอย่างเชิงเดี่ยว

หมายถึง กฎเกณฑ์ที่กำหนดให้จำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการตรวจสอบเท่ากับขนาดของสิ่งตัวอย่างที่ระบุไว้ในแผนการ ให้ทำการยอมรับลอดหรือแบชนั้น และ

ถ้าหากจำนวนของข้อบกพร่องหรือจำนวนของผลิตภัณฑ์บกพร่องไม่ต่ำกว่าค่าของตัวเลขแห่งการปฏิเสธที่ระบุไว้ในแผนการให้ทำการปฏิเสธลอตหรือแบชนั้น

แผนการชักสิ่งตัวอย่างเชิงคู่

หมายถึง กฎเกณฑ์ที่กำหนดให้จำนวนผลิตภัณฑ์ที่จะได้รับการตรวจสอบเท่ากับขนาดสิ่งตัวอย่างครั้งที่ 1 (n 1) ถ้าหากจำนวนข้อบกพร่องหรือจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องจากจำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการตรวจครั้งแรกนี้ไม่เกินตัวเลขแห่งการยอมรับครั้งที่ 1 (AC1) ให้ทำการยอมรับลอตหรือแบชนั้น แต่ถ้าหากจำนวนข้อบกพร่องหรือจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องจากจำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการตรวจครั้งแรกไม่ต่ำกว่าตัวเลขแห่งการปฏิเสธครั้งที่ 1 (Re1) ให้ทำการปฏิเสธลอตหรือแบชนั้น และถ้าหากจำนวนข้อกบพร่องหรือจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องจากจำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการตรวจครั้งแรกอยู่ระหว่างตัวเลขแห่งการยอมรับครั้งที่ 1 และ ตัวเลขแห่งการปฏิเสธครั้งที่ 1 ให้ทำการชักสิ่งตัวอย่างครั้งที่ 2 โดยมีจำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการตรวจสอบทำกับครั้งแรก และให้ทำการนับจำนวนข้อบกพร่องหรือจำนวนสะสมผลิตภัณฑ์บกพร่องไม่เกินตัวเลขแห่งการยอมรับครั้งที่ 2 (AC1) ให้ทำการยอมรับลอตหรือแบชนั้น แต่ถ้าหากจำนวนสะสมข้อบกพร่องหรือจำนวนและสะสมผลิตภัณฑ์บกพร่องไม่ต่ำกว่าตัวเลขแห่งการปฏิเสธครั้งที่ 2 (RE2) ให้ทำการปฏิเสธลอตหรือแบชนั้น

พารามิเตอร์ของแผนการ: n1 = ขนาดสิ่งตัวอย่างในการชักสิ่งตัวอย่างครั้งที่ 1

n2 = ขนาดสิ่งตัวอย่างในการชักสิ่งตัวอย่างครั้งที่ 2

Ac1. Ac2 = ตัวเลขแห่งการยอมรับการชักสิ่งตัวอย่างครั้งที่ 1,2 โดยลำดับ

Re1. Re2 = ตัวเลขแห่งการปฏิเสธสำหรับการชักสิ่งตัวอย่างครั้งที่ 1,2 โดยลำดับวิธีการ:

ตัวอย่าง : n1 = 8, n2 = 8, Ac1 = O, Ac2 = 1, Re1 = 2, Re2 = 2

หมายถึงให้ชักสิ่งตัวอย่างขนาดดลอตละ 8 หน่วย ถ้าพบข้อบกพร่องหรือผลิตภัณฑ์บกพร่อง 0 ให้ทำการยอมรับลอต แต่ถ้าพบข้อบกพร่องหรือผลิตภัณฑ์บกพร่องตั้งแต่ 2 ขึ้นไปให้ปฏิเสธลอต และถ้าหากพบข้อบกพร่องหรือผลิตภัณฑ์บกพร่อง 1 ให้ทำการชักสิ่งตัวอย่างจากลอตเดิมอีก 8 หน่วย และถ้าพบข้อบกพร่องหรือผลิตภัณฑ์บกพร่องอีก 1 ให้ยอมรับลอตแต่ถ้าพบข้อบกพร่องหรือผลิตภัณฑ์บกพร่องตั้งแต่ 2 ขึ้นไปให้ปฏิเสธลอตนั้น

แผนการชักตัวอย่างหลายเชิง

แผนการชักตัวอย่างเชิงจะมีวิธีการเหมือนกับแผนการชักสิ่งตัวอย่างเชิงคู่ทุกประการนอกจากจำนวนของหน่วยผลิตภัณฑ์ที่จะได้รับการตรวจสอบเพื่อการตัดสินใจเท่านั้นที่อาจจะมีอย่างต่อเนื่องจนถึงครั้งที่ 7

ตาราง เปรียบเทียบปัจจัยด้านการจัดการการสำหรับแผนการชักสิ่งตัวอย่างทั้ง 3 แบบ

ปัจจัยด้านการจัดการ	เชิงเดี่ยว	เชิงคู่	หลายเชิง
1.ขนาดตัวอย่างโดยเฉลี่ย	มากที่สุด	น้อย	ค่อนข้างน้อย
2.จำนวนครั้งของการสุ่ม	1 ครั้ง	2 ครั้ง	หลายครั้ง
3.จำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์สูงที่สุดที่อาจได้รับการตรวจสอบ	น้อยที่สุด	มาก	ค่อนข้างมาก
4.ความไม่แน่นอนของจำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการตรวจสอบ	ไม่มี	มีมาก	มีค่อนข้างมาก

ระดับคุณภาพที่ยอมรับ (Acceptable Quality Level: AQL)

ระดับคุณภาพที่ยอมรับ (Acceptable Quality Level: AQL) หมายถึง ระดับของคุณภาพที่ใช้เป็นจุดประสงค์ของการตรวจสอบแบบชักสิ่งตัวอย่าง ซึ่งถือให้เป็นค่าเฉลี่ยมากกว่าความบกพร่อง ที่ยอมให้เกิดในผลิตภัณฑ์ เมื่อมีการตรวจสอบลอตอย่างต่อเนื่อง

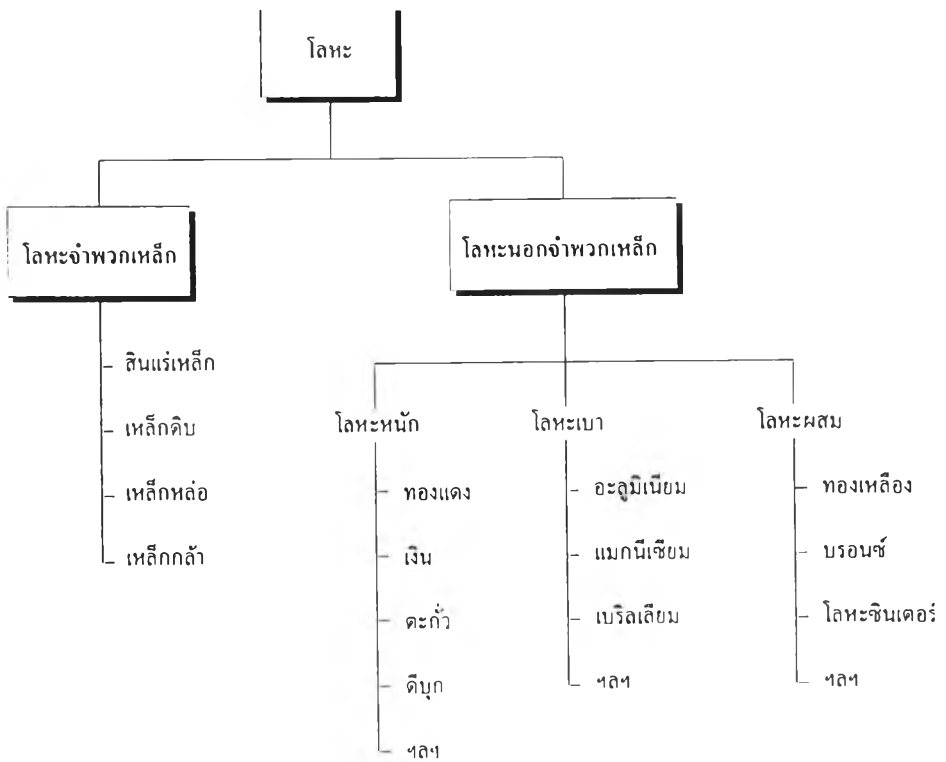
ในการกำหนดค่า AQL จะกำหนดภายใต้ค่าความเสี่ยง (Risk) ที่ยอมให้เกิดจากการชักสิ่งตัวอย่างโดยค่า AQL จะหมายถึงข้อบกพร่องต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ หรือจำนวนร้อยละของผลิตภัณฑ์บกพร่องที่มีในลอต ซึ่งจะทำให้มีโอกาสมากที่สุดในการยอมรับลอต

ในการตรวจสอบเกี่ยวกับข้อบกพร่องนั้น การกำหนดว่า AQL จะขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของข้อบกพร่องที่ตรวจ โดยถ้าเป็นข้อบกพร่องวิกฤตแล้วควรจะกำหนดค่า AQL ให้น้อยกว่าข้อบกพร่องทั่ว ๆ ไป

ความสูญเสียเนื่องจากการตรวจสอบ คือตรวจไม่พบของเสียในระบวนการผลิต ทำให้งานระหว่างทำที่ไม่มีคุณภาพถูกส่งไปยังหน่วยงานถัดไป ที่สำคัญคือชิ้นงานที่ไม่มีคุณภาพเหล่านั้นถูกผลิตเป็นสินค้าที่ไม่มีคุณภาพส่งไปยังลูกค้า ทำให้ภาพพจน์โดยรวมของสินค้าของบริษัทเสียหาย

วัตถุดิบ

วัสดุในงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปนั้นมีอยู่หลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือโลหะทั้งนี้เนื่องจากโลหะนั้นหาได้ง่าย ราคาไม่แพง แข็งแรง ทนทาน และแปรสภาพเพื่อนำกลับมาใช้ได้อีก โลหะดังกล่าวนี้สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ โลหะจำพวกเหล็ก (Ferrous Metals) และโลหะนอกจำพวกเหล็ก (Nonferrous Metals)



รูป ข-1 การจำแนกชนิดของโลหะ

เมื่อได้ศึกษาแผนภูมินี้โดยละเอียดแล้วจะพบว่าทั้งโลหะจำพวกเหล็กและโลหะนอกจำพวกเหล็กซึ่งประกอบด้วยโลหะหลายชนิด แต่ละชนิดมีกระบวนการผลิตและคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจในคุณสมบัติต่างๆ เหล่านั้น ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกล

1.1 โลหะจำพวกเหล็ก (Ferrous Metals)

1.1.1 สินแร่เหล็ก (Iron Ore)

สินแร่นี้สามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิด แต่ละชนิดจะอยู่ในสภาพที่รวมตัวอยู่กับออกซิเจนทั้งสิ้นซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ฮีมาไทต์ (Fe 2 O3) เป็นแร่เหล็กสีแดง ซึ่งจะมีเนื้อเหล็กอยู่ประมาณร้อยละ 70 และมีสภาพเป็นแม่เหล็ก (Magnetic Iron) แหล่งที่พบคือประเทศสวีเดน สหรัฐอเมริกา และประเทศไทย
2. แมกนีไทต์ (Fe3 O4) เป็นแร่เหล็กสีดำ ซึ่งจะมีเนื้อเหล็กผสมอยู่ประมาณร้อยละ 72.4 และมีสภาพเป็นแม่เหล็กเช่นเดียวกับสินแร่ฮีมาไทต์ แหล่งที่พบคือ ประเทศสหรัฐอเมริกา สวีเดน และประเทศไทย
3. ซิเดอไรต์ (FeCo3) เป็นแร่เหล็กสีน้ำตาล ซึ่งจะมีเนื้อเหล็กผสมอยู่ไม่มากนักคือ มีประมาณร้อยละ 48.3 แหล่งที่พบคือ ประเทศสหรัฐอเมริกา เยอรมนี และอังกฤษ
4. ไลมอไนต์ (Fe2 O3 3H2 O) เป็นแร่เหล็กสีน้ำตาล ซึ่งมีเนื้อเหล็กผสมอยู่ประมาณร้อยละ 60 – 65 แหล่งที่พบมากคือ รัฐเท็กซัส มิสซูรี และโคโลราโดในประเทศสหรัฐอเมริกา และฝั่งเศส

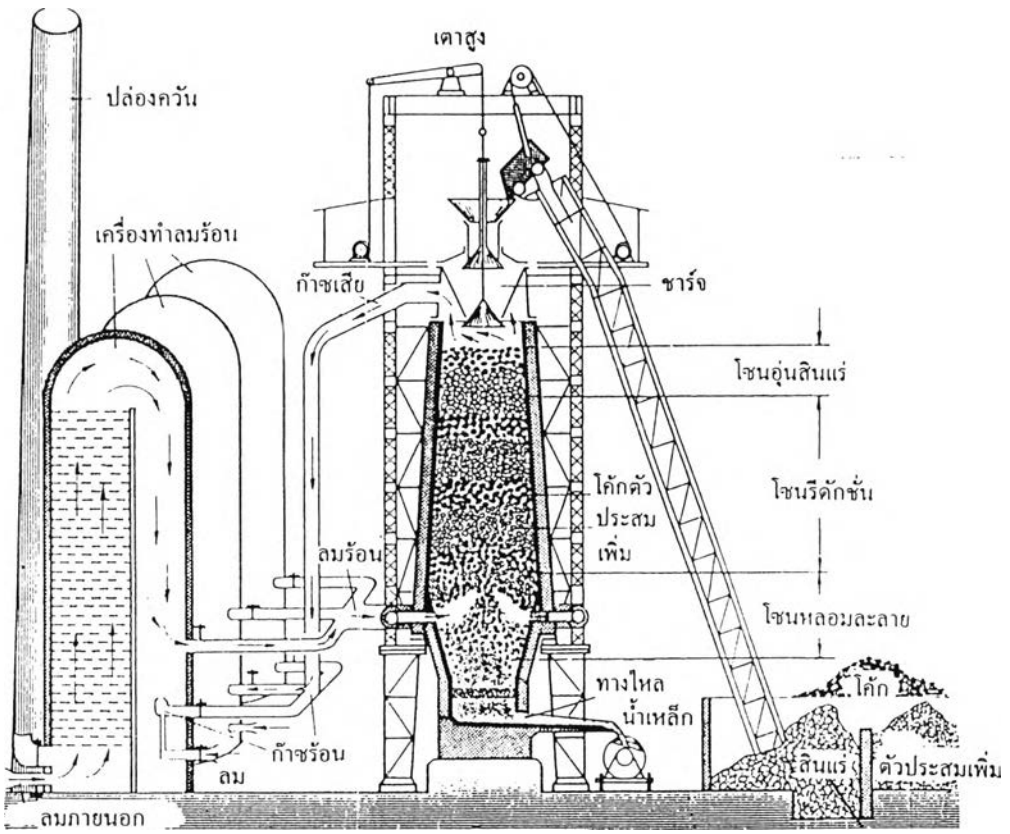
สินแร่เหล็กทุกชนิดที่พบในทุก ๆ แหล่ง นอกจากจะมีสภาพเป็นออกไซด์แล้ว ยังจะมีธาตุอื่น ๆ ผสมอยู่ด้วย เช่น ซิลิคอน คาร์บอน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ และแมงกานีส เป็นต้น

1.1.2 เหล็กดิบ (Pig Lron)

เหล็กดิบเป็นผลผลิตที่ได้มาจากเตาสูงหรือเรียกว่า เตาบลาสต์เฟอร์เนซ (Blast Furnace) โดยการถลุงสินแร่เหล็ก ความร้อนที่ใช้ในการถลุงนั้นได้มาจากการเผาไหม้ของถ่านโค้ก (Coke) โดยมีลมร้อนเป็นสิ่งที่ช่วยในการเผาไหม้ ทั้งนี้เพื่อให้ได้อุณหภูมิสูงยิ่งขึ้น โดยให้ความร้อนได้สูงถึง 3,000 องศาฟาเรนไฮต์หรือประมาณ 1,649 องศาเซลเซียส ซึ่งในระดับอุณหภูมิดังกล่าวนี้สามารถหลอมละลายสินแร่ต่างๆ ได้และสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งก็คือสิ่งสกปรกซึ่งในกระบวนการหลอมละลายสินแร่ด้วยเตาสูงนั้น

จะมีสิ่งสกปรกเกิดขึ้นซึ่งเราเรียกว่า สแลก (Slag) ซึ่งต้องกำจัดออกจากน้ำโลหะ ก่อนนำน้ำโลหะไปเทลงสู่แบบหล่อ

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ถลุงเหล็กดิบนั้น ได้แก่ สินแร่เหล็ก หินปูน ถ่านโค้ก และเหล็กใช้ซ้ำ ซึ่งจะถูกบรรจุลงในเตาสูงตามลำดับ ดังรูปที่ 1.2 เพื่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนการทำงานของเตาสูงดียิ่งขึ้นจึงได้เสนอขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้



รูป ข-2 ส่วนประกอบของเตาสูง

(มานพ ตันตระบัณฑิตย์ และ สำลี แสงห้าว 2537 : 16)

- เตรียมวัตถุดิบ
- นำวัตถุดิบบรรจุเข้าเตาทางปากปล่องเตา
- เป่าลมร้อนเข้าเตาเพื่อช่วยในการเผาไหม้
- ถ่านโค้กที่ลุกไหม้จะเกิดปฏิกิริยาดึงออกซิเจนจากสินแร่เหล็กมารวมตัวกับคาร์บอนในถ่านโค้กทำให้สินแร่เหล็กกลายเป็นเหล็กดิบหลอมเหลวไหลรวมตัวลงสู่ส่วนล่างของเตา

- หินปูนที่ใส่เข้าไปจะหลอมรวมตัวกับสารมลทิน กลายเป็นสแลก (Slag) ลอยอยู่ส่วนบนของน้ำเหล็กดิบ
- ในขณะหลอมละลายสินแร่เหล็กนั้นจะเกิดแก๊สเตาสูง นำแก๊สนี้ไปเข้าเตาเผาลมร้อนเพื่อนำลมร้อนกลับมาช่วยในการเผาไหม้ได้อีก
- นำเหล็กดิบที่หลอมละลายออกจากเตาเพื่อเทลงสู่แบบที่เตรียมไว้ ผลผลิตที่ได้จะเป็นเหล็กดิบซึ่งพร้อมที่จะนำไปใช้ผลิตเหล็กชนิดอื่นๆ ต่อไป

1.1.3 เหล็กหล่อ (Cast Iron)

เหล็กหล่อเป็นเหล็กที่รู้จักกันและใช้กันอย่างแพร่หลายมาเป็นระยะเวลานาน เหล็กหล่อคล้ายกับเหล็กกล้า (Steel) ก็ตรงที่เหล็กหล่อนั้นเป็นเหล็กที่มีธาตุคาร์บอนผสมอยู่เดียวกัน และสามารถศึกษาโครงสร้างจากแผนภาพสมดุล (Equilibrium Diagram) ในรูปที่ 1.3 ได้เช่นเดียวกัน เพียงแต่เป็นปริมาณของคาร์บอนในเหล็กหล่อจะมีมากกว่าในเหล็กกล้า คือมีคาร์บอนตั้งแต่ร้อยละ 2 – 6.67

ในอุตสาหกรรมเหล็กหล่อโดยทั่วไปแล้วจะมีคาร์บอนอยู่ร้อยละ 2.5 – 4 ถ้าปริมาณคาร์บอนมากกว่านี้เหล็กจะสูญเสียคุณสมบัติทางด้านความเหนียว (Ductility) คือเปราะและแตกหักได้ง่ายเมื่อถูกแรงกระแทกปกติเหล็กหล่อส่วนมากจะขาดคุณสมบัติทางด้านความเหนียวเมื่อเทียบกับเหล็กกล้า จึงไม่สามารถขึ้นรูปโดยการรีดหรือการดึงขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูงได้

การขึ้นรูปเหล็กหล่อที่อุณหภูมิสูงนั้นทำได้ยาก แต่วิธีที่ใช้ในการขึ้นรูป ถึงแม้ว่ารูปร่างจะซับซ้อนก็สามารถทำได้ โดยการหลอมเหล็กให้ละลายแล้วเทลงแบบหล่อที่ทำด้วยทรายหรือวัสดุทนความร้อน จึงได้ชื่อตามกรรมวิธีการขึ้นรูปว่า เหล็กหล่อ หลังจากหล่อรูปร่างได้ใกล้เคียงกับขนาดที่ต้องการแล้ว จึงนำมาทำการกลึง ไส ตัด และเจาะ แม้ว่าเหล็กหล่อส่วนใหญ่จะให้คุณสมบัติความเค้นแรงดึงสูงสุดต่ำและขาดคุณสมบัติทางด้านความเหนียว แต่เหล็กหล่อมีราคาถูกกว่า มีจุดหลอมตัวต่ำสามารถหล่อขึ้นรูปได้รูปร่างง่ายกว่าเหล็กกล้าและยังสามารถปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ โดยการเติมธาตุผสมที่เหมาะสม และการอบชุบที่ดีจะทำให้คุณสมบัติของเหล็กหล่อเปลี่ยนแปลงได้อย่างกว้างขวาง จนเหล็กหล่อบางชนิดมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเหล็กกล้าทำให้การพัฒนาอุตสาหกรรมเหล็กหล่อเป็นไปอย่างกว้างขวาง รวมทั้งปริมาณการผลิตเหล็กหล่อก็เพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็ว

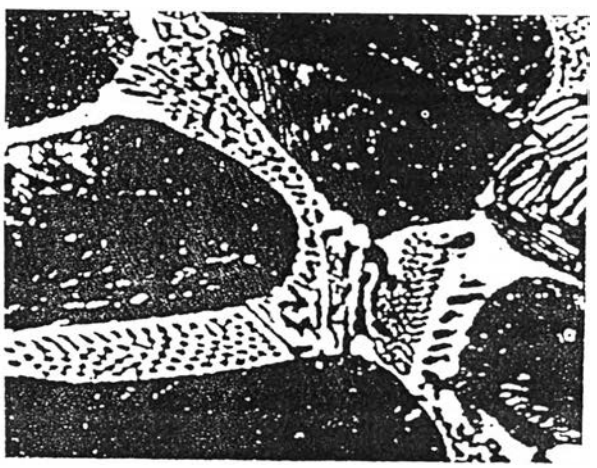
ชนิดของเหล็กหล่อ สามารถจำแนกประเภทได้หลายลักษณะ มีทั้งจำแนกโดยกำหนดส่วนผสม,การอบชุบภายหลังการหล่อ อัตราการเย็นตัวของเหล็กภายในแบบหล่อ

และธาตุผสมตลอดจนสิ่งเจือปน แต่ที่แพร่หลายเป็นที่ยอมรับกันนั้น อาศัยลักษณะโครงสร้างพื้นฐานและลักษณะการรวมตัวของคาร์บอนเป็นหลักในการจำแนกประเภทซึ่งจัดไว้ 4 กลุ่มใหญ่ คือ

1. เหล็กหล่อสีขาว (White Cast Iron) เป็นเหล็กหล่อที่มีคาร์บอนผสมอยู่ตั้งแต่ร้อยละ 1.7 – 2 ซึ่งคาร์บอนจะรวมตัวกับเหล็กอยู่ในรูปคาร์ไบด์หรือซีเมนไทต์ (Fe3C) ทำให้เหล็กมีความแข็งเปราะแตกหักได้ง่าย เนื้อเหล็กจะมีสีขาว เหล็กหล่อขาวนี้จะมีความแข็งอยู่ระหว่าง 380 – 550 HB ความแข็งนี้จะแปรเปลี่ยนไปตามธาตุผสมอื่นๆ อีกด้วย เช่น โครเมียม หรือโมลิบดีนัม

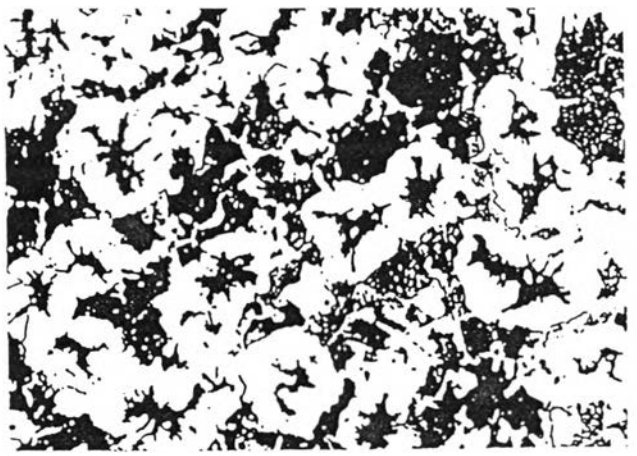
รูป ข–3 โครงสร้างเหล็กหล่อสีขาวประเภทยูเทกติก
(มนัส สถิรจินดา. 2527 : 4)

2. เหล็กหล่อสีเทาหรือเหล็กหล่อดำ (Gray Cast Iron) เหล็กหล่อชนิดนี้จะมีโครงสร้างคล้ายกับเหล็กดิบ ซึ่งในบางครั้งสามารถผลิตเหล็กหล่อสีเทาได้จากเหล็กดิบ เหล็กหล่อสีเทาจะมีราคาถูกเมื่อเทียบกับโลหะชนิดอื่น ทั้งยังแตกแต่งขึ้นรูปได้ง่าย มีจุดหลอมเหลวต่ำ อัตราการขยายตัวมีน้อย ทนต่อแรงอัดและรับแรงสั่น (Damping Capacity) ได้ดี



รูป ข-4 โครงสร้างเหล็กหล่อสีเทา

(มนัส สถิรจินดา. 2527 : 11)



รูป ข-5 โครงสร้างเหล็กหล่อเหนียว
(มนัส สถิรจินดา. 2527 : 40)

3. เหล็กหล่อเหนียว (Ducthle and Malleable Cast Iron) เหล็กหล่อชนิดนี้จะมีความแค้นแรงดึงสูงทั้งยังมีความเหนียวและทนต่อแรงกระแทกได้ดี ในการทดสอบแรงดึงเหล็กหล่อเหนียวจะพบว่าคล้ายคลึงกับเหล็กกล้าคือ จะมีความยืดหยุ่น (Elastic) แต่จะไม่ปรากฏจุดคราก (Yield Point) นอกจากนั้นยังสามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางกลโดยวิธีทางความร้อนได้ดีอีกด้วย
4. เหล็กหล่อผสมหรือเหล็กหล่อพิเศษ (Alloys or Special Cast Iron) เหล็กหล่อชนิดนี้นอกจากมีคาร์บอนผสมอยู่แล้วยังมีธาตุอื่นๆ ผสมเพิ่มเติมด้วย เช่น โครเมียม นิกเกิล และโมลิบดีนัม เป็นต้นทั้งนี้เพื่อให้เหล็กหล่อชนิดนี้มีความแรงแข็งขึ้น ทนทานต่อการเสียดสี ต้านทานแรงดึงและแรงกระแทกได้เป็นอย่างดี

รูป ข-6 โครงสร้างเหล็กหล่อผสมหรือเหล็กหล่อพิเศษ

(มนัส สถิรจิรดา. 2527 : 56)

การที่เหล็กหล่อทั้ง 4 ชนิด ซึ่งได้แก่ เหล็กหล่อสีขาว เหล็กหล่อสีเทา เหล็กหล่อเหนียว และเหล็กหล่อผสม หรือเหล็กหล่อพิเศษนี้มีความแข็งแรงเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานแต่ละประเภทนั้น ย่อมขึ้นอยู่กับธาตุต่างๆ ที่ผสมอยู่ในเหล็กหล่อเหล่านั้น เช่น คาร์บอน โครเมียม นิกเกิล และโมลิบดีนัม เป็นต้น แต่มีธาตุบางชนิดที่มีให้คุณสมบัติทางกลของเหล็กหล่อลดลง ซึ่งได้แก่ พลวง ตะกั่ว และเทลลูเรียม จึงไม่ควรให้มีธาตุดังกล่าวนี้ผสมอยู่ในเหล็กหล่อ

1.1.4 เหล็กกล้า (Steel)

เหล็กกล้าเป็นเหล็กที่ถูกนำไปใช้ในงานต่างๆ มากมาย ทั้งนี้เนื่องจากเหล็กกล้านั้นมีคุณสมบัติในการรับแรงต่างๆ ได้ดี เช่น แรงกระแทก (Impact Strength) แรงดึง (Tensile Strength) แรงอัด (Compressive Strength) และแรงเฉือน (Shear Strength) ซึ่งธาตุผสมส่วนใหญ่จะเป็นทั้งโลหะและอโลหะ เช่น โมลิบดีนัม ทังสเตน วาเนเดียม และ ซิลิคอน เป็นต้น สำหรับกรรมวิธีทางความร้อนที่ทำต่อ

เหล็กกล้านั้น จะทำให้โครงสร้างเล็กๆ (Microstructure) ของเหล็กเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะได้กล่าวโดยละเอียดในลำดับต่อไป

เราทราบอยู่แล้วว่าเหล็กทุกชนิดมีคาร์บอนผสมอยู่ไม่มากก็น้อย เหล็กกล้าก็เช่นเดียวกัน มีคาร์บอนผสมอยู่ประมาณไม่เกินร้อยละ 2 และเหล็กกล้ายังแบ่งได้ตามปริมาณของคาร์บอนที่ผสมอยู่ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel) ประกอบด้วยเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) และเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel) และเหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel) ซึ่งเหล็กกล้าคาร์บอนทั้ง 3 ประเภทนี้อาจเรียกว่า เหล็กละมุน (Mild Steel) ก็ได้ แต่ถ้ามีคาร์บอนผสมอยู่มากเราจะเรียกว่า เหล็กกล้าเครื่องมือคาร์บอน (Carbon Tool Steel)

(1) โมลิบดีนัม ช่วยให้เกิดการจับตัวของคาร์ไบต์อย่างแน่นหนาและเป็นธาตุที่ช่วยไม่ให้เกิดการแตกร้าวได้ง่ายและยังป้องกันไม่ให้เกิดการขยายตัวของเกรนอีกด้วย โมลิบดีนัมนี้มักจะใช้ผสมร่วมกับธาตุชนิดอื่นๆ ในเหล็กกล้า และโมลิบดีนัมจะช่วยทำให้คุณสมบัติทางกลต่างๆ ขอเหล็กกล้าที่อุณหภูมิสูงมีคุณสมบัติดีขึ้น โมลิบดีนัมจำนวนร้อยละ 5 ช่วยทำให้เหล็กกล้าผสมนั้นมีความต้านทานต่อการเกิดครีป (Creep) เมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูงๆ เหล็กกล้าผสมโมลิบดีนัมนี้ใช้ในการทำเครื่องมือต่างๆ ที่มีรอบหมุนด้วยความเร็วสูง และใช้ทำชิ้นงานอื่นๆ ที่ต้องต้านทานความร้อน และต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี

(2) วาเนเดียม เป็นธาตุที่ช่วยให้เกิดการจับตัวของคาร์ไบด์อย่างแน่นหนา เหล็กกล้าที่ผสมวาเนเดียมจะนำไปใช้ทำเครื่องมือต่างๆที่มีรอบหมุนด้วยความเร็วสูง นอกจากนี้ยังเป็นธาตุที่ช่วยให้เหล็กกล้ามีขนาดเกรนละเอียด และเป็นตัวกำจัดออกซิเจนที่ดีมาก ช่วยขจัดการเกิดสนิมและสิ่งเจือปนอื่นๆ ในเนื้อเหล็ก

(3) ทังสเตน เป็นธาตุที่ช่วยให้เกิดการจับตัวของคาร์ไบด์อย่างแน่นหนา และคาร์ไบด์เหล่านี้จะไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกับเหล็กทั้งหมดถึงแม้จะที่อุณหภูมิสูง ๆ ก็ตาม ดังนั้น เหล็กชนิดนี้จึงใช้ทำเครื่องมือพวกที่มีรอบหมุนด้วยความเร็วสูง อีกทั้งทังสเตนยังจะช่วยให้เหล็กกล้าผสมมีขนาดเกรนละเอียด นอกจากนั้นทังสเตนที่มีผสมอยู่เล็กน้อยยังช่วยให้เหล็กกล้าผสมนั้นมีความต้านทานต่อความร้อนและการกัดร่อนทำลายต่างๆ ได้ดี

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางสาว วชิราภรณ์ เศรษฐนันท์ จบการศึกษาชั้นมัธยมจากโรงเรียนสตรีประเทืองวิทย์ และจบการศึกษาในระดับปริญญาตรีด้านวิศวกรรมอุตสาหการจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน เมื่อปี พ.ศ. 2537 เข้ารับการศึกษาด้านวิศวกรรมอุตสาหการในระดับปริญญาโท ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี พ.ศ.2539

หลังจากสำเร็จการศึกษาได้เข้าทำงานกับบริษัท บี กรีม เอ็ม อี เอ็ม จำกัดในตำแหน่งวิศวกรประเมินราคา และ ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งวิศวกรควบคุมการผลิต ของบริษัทอินเตอร์เนชั่นแนล แคพซูล จำกัด