บทที่ 3

การออกแบบแม่พิมพ์ กรณีโรงงานผลิตภาชนะเครื่องครัว

3.1 กระบวนการผลิตภาชนะเครื่องครัวโดยสังเขป

ในปัจจุบันโรงงานตัวอย่าง ทำการผลิตภาชนะเครื่องครัว โดยใช้วัสดุอลูมิเนียมผสม (Aluminum Alloy) เป็นวัตถุดิบ ได้ผลิตสินค้าออกจำหน่ายในท้องตลาดหลายชนิด ตัวอย่างเช่น

- หม้ออินเดีย (Indian Pan)
- หม้อหุงต้ม (Aluminum Pot)
- หม้อตุ๋น (Double Boiler)
- หม้อนึ่ง (Steamer)
- กระทะ (Frying Pan)
- กาต้มน้ำ (Kettle)
- และอื่น ๆ

เนื่องจากโรงงานตัวอย่าง มีผลิตภัณฑ์หลายชนิด และบางชนิดมีหลายขนาดที่แตกต่างกันออกไป ในการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ จะมีชิ้นส่วนบางชนิดผลิตภายนอกโรงงานตัวอย่าง ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จะขอกล่าวถึงกระบวนการผลิตเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้เท่านั้น ได้แก่ หม้อหุงต้ม (Aluminum Pot) ดังแสดงในรูปที่ 3.1

ขั้นตอนการผลิต ผลิตภัณฑ์ หม้อหุงต้ม จะทำการผลิตชิ้นส่วนหลักต่าง ๆ ดังนี้ คือ ตัวภาชนะ ฝาภาชนะ และหูภาชนะ

3.1.1 การผลิตตัวภาชนะ

วัตถุดิบที่เข้าโรงงานจะเป็นแผ่นอลูมิเนียมกลม วางซ้อนกันบน Pallet แล้วขนย้ายโดยรถยก โดยมีขั้นตอนการผลิต ดังนี้

1. Stamping - เป็นขั้นตอนการประทับตรา หรือเครื่องหมายการค้าของโรงงานลงบนแผ่นอลูมิเนียมกลม (ขนาดของแผ่นอลูมิเนียมกลม ขึ้นอยู่กับขนาดของตัวภาชนะที่ จะทำการผลิต) แผ่นอลูมิเนียมกลมที่ Stamping เรียบร้อยแล้วจะถูกวางซ้อนกันบน Pallet เพื่อขนย้ายไปยังขั้นตอน Deep Drawing โดยรถยก

2. Deep Drawing - เป็นขั้นตอนการดึงขึ้นรูปอลูมิเนียมแผ่น ให้ได้รูปทรงของตัวภาชนะ โดยก่อนทำการ Deep Drawing จะต้องใช้น้ำมันมะพร้าวทาลงบนแผ่น อลูมิเนียมก่อน เพื่อช่วยหล่อลื่นในการขึ้นรูปตัว ภาชนะที่ผ่านการ Deep Drawing จะถูกวางลงบนรถเข็น เพื่อขนย้ายไปยังขั้นตอน Spinning

3. Spinning - ในการทำ Spinning นี้ เครื่องจักรมีการทำงานหลายขั้นตอนในตัวเดียวกัน ดังนี้

1. รีดผิวภาชนะ เป็นการรีดผิวของภาชนะให้ได้รูปทรงตามที่กำหนดอีกครั้งภายหลังการทำ Deep Drawing และเป็นการทำให้ผิวเรียบสม่ำเสมอกัน
2. ตัดขอบ เป็นการตัดเนื้ออลูมิเนียมบริเวณปาก ให้ได้ขนาดที่จะทำการม้วนขอบต่อไป
3. ม้วนขอบ เป็นการม้วนขอบบริเวณปาก เพื่อความแข็งแรง สวยงาม และลบคมของขอบอลูมิเนียม
4. อัดขอบ เป็นการอัดขอบหลังจากม้วนขอบให้แบนเล็กน้อย เพื่อความสวยงาม ซึ่งเครื่อง Spinning นี้ เป็นเครื่องจักรอัตโนมัติ โดยจะทำงานเองทุกขั้นตอน เพียงแต่ใช้คนป้อนงานเข้า และหยิบงานออกเท่านั้น หลังจากการทำ Spinning แล้ว ภาชนะก็จะถูกเช็ดคราบน้ำมันออก แล้ววางบนรถเข็น เพื่อขนย้ายไปยังขั้นตอน Piercing ต่อไป

4. Piercing - เป็นขั้นตอนการเจาะรูด้านข้างของตัวภาชนะ เพื่อใช้ในการประกอบยึดติดกับหูภาชนะ โดยใช้หมุดย้ำ หลังจาก Piercing แล้ว ภาชนะจะถูกวางบนรถเข็น เพื่อขนย้ายไปยังขั้นตอน Polishing

5. Polishing (ภายใน) - เป็นขั้นตอนการขัดผิวภายในให้สวยงาม เรียบสม่ำเสมอกัน โดยใช้กระดาษทรายขัดภายในภาชนะ ขณะหมุนอยู่ด้วยความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที แล้วใช้ผ้าทำความสะอาด หลังจาก Polishing (ภายใน) แล้วภาชนะจะถูกขนย้ายไปยังขั้นตอน Polishing (ภายนอก) โดยรถเข็นต่อไป

6. Polishing (ภายนอก) - เป็นขั้นตอนการขัดผิวภายนอกให้สวยเงางาม โดยการใช้เครื่องจักรอัตโนมัติในการทำงาน หลังจาก Polishing (ภายนอก) แล้วภาชนะจะถูกขนย้ายไปยังขั้นตอน Assembly โดยรถเข็น

7. Assembly - เป็นขั้นตอนการประกอบหูภาชนะกับ ตัวภาชนะเข้าด้วยกัน โดยใช้หมุดย้ำ หลังจาก Assembly แล้ว จะใช้คนในการยกภาชนะที่เสร็จเรียบร้อยแล้ว ไปยังขั้นตอน Packing

8. Packing - เป็นขั้นตอนของการบรรจุตัวภาชนะที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว ลงไปในถุงพลาสติก

3.1.2 การผลิตฝาภาชนะ

วัตถุดิบที่เข้าโรงงานจะเป็นแผ่นอลูมิเนียมกลม วางซ้อนกันบน Pallet แล้วขนย้ายโดยรถยก โดยมีขั้นตอนการผลิต ดังนี้

1. Stamping - เป็นขั้นตอนการประทับตรา หรือเครื่องหมายการค้าของโรงงานลงบนแผ่นอลูมิเนียมกลม (ขนาดของแผ่นอลูมิเนียมกลมขึ้นอยู่กับขนาดของฝาภาชนะ ที่จะทำการผลิต) แผ่นอลูมิเนียมกลมที่ Stamping เรียบร้อยแล้ว จะถูกวางซ้อนกัน บน Pallet เพื่อขนย้ายไปยังขั้นตอน Forming โดยรถยก

2. Forming - เป็นขั้นตอน การขึ้นรูปอลูมิเนียมแผ่นกลมให้ได้รูปทรง และขนาดของฝาภาชนะ โดยใช้แม่พิมพ์ โดยก่อนทำการขึ้นรูปจะทาน้ำมันมะพร้าวลงบนแผ่น อลูมิเนียมก่อน เพื่อช่วยหล่อลื่นในการขึ้นรูป ฝาที่ผ่านการ Forming จะถูกวาง ซ้อนกันบน Pallet เพื่อใช้รถยกขนย้ายไปยังขั้นตอน Trimming

3. Trimming - เป็นการตัดขอบชิ้นงานให้กลม และได้ขนาดก่อนที่จะนำไปทำการ Curling ต่อไป

4. Curling - เป็นขั้นตอนของการม้วนขอบชิ้น เพื่อเป็นการลบคม สวยงาม และแข็งแรง โดยพับขอบเข้าไปอยู่ด้านในของฝาภาชนะ เสร็จแล้วส่งต่อไปยังขั้นตอน Piercing

5. Piercing - เป็นการเจาะรูด้านบนของฝาภาชนะ เพื่อใช้ในการร้อยผ่านเกลียวในการประกอบกับหูจับ เมื่อผ่านการเจาะรูแล้ว ฝาหม้อจะถูกวางซ้อนกันบนรถเข็น เ พื่อขนย้ายไปยังขั้นตอน Polishing (ภายใน)

6. Polishing (ภายใน) - ขั้นตอนนี้จะทำเช่นเดียวกับ การขัดผิวด้านในของตัวภาชนะ หลังจาก Polishing (ภายใน) แล้วฝาภาชนะจะถูกขนย้ายไปยังขั้นตอน Polishing (ภายนอก) โดยรถเข็น

7. Ploishing (ภายนอก) - เป็นขั้นตอนการขัดผิวภายนอกให้สวยเงางาม โดยใช้ล้อผ้าขัดด้วยความเร็วรอบ 15(X) รอบ/นาที เมื่อทำการขัดผิวภายนอกเสร็จเรียบร้อย แล้วก็จะทำความสะอาด แล้วขนย้ายไปยังขั้นตอน Assembly โดยรถเข็น

8. Assembly - เป็นขั้นตอนการประกอบหูจับของภาชนะติดกับตัวฝาภาชนะ โดยใช้สกูรยึด (หูจับของฝาภาชนะจะสั่งทำจากภายนอกโรงงาน) หลังจาก Assembly แล้ว จะใช้คนในการยกภาชนะที่เสร็จเรียบร้อยแล้วไปยังขั้นตอน Packing ต่อไป

9. Packing - เป็นขั้นตอนการบรรจุฝาภาชนะที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว ลงในถุงพลาสติก

3.1.3 การผลิตหูภาชนะ

วัตถุดิบที่เข้าโรงงานจะเป็นอลูมิเนียมแผ่นสี่เหลี่ยมวางซ้อนกันบน Pallet แล้วขนย้ายโดยรถยก โดยมีขั้นตอนการผลิต ดังนี้

1. Blanking - เป็นขั้นตอนการตัดอลูมิเนียมแผ่นให้ได้รูปทรง และขนาดตามภาพแผ่นคลี่ของหูภาชนะ โดยรูปทรง และขนาดจะขึ้นอยู่กับแม่พิมพ์ แผ่น Blank ที่ได้จากการ Blanking จะถูกใส่ลงในลังไม้ ขนาด 1x1x1 m เพื่อใช้รถยกขนย้ายไป ยังขั้นตอน Piercing

2. Piercing - เป็นการเจาะรูลงบนแผ่น Blank เพื่อใช้รูในการประกอบยึดติดกับตัวภาชนะ และยึดติดกับส่วนมือจับที่เป็น Bakelite โดยใช้หมุดย้ำ เมื่อเจาะรูเสร็จเรียบร้อย แผ่น Blank จะถูกวางลงในกะละมัง แล้วใช้คนงานยกไปยัง ขั้นตอน First Bending

3. First Bending - เป็นขั้นตอนการพับฉากขั้นตอนแรกของแผ่น Blank ในส่วนที่ใช้ยึดติดกับ Bakelite เมื่อพับฉากเสร็จชิ้นงานจะถูกวางลงในกะละมังแล้ว ใช้คนงานยกไปยังขั้นตอน Second Bending And Forming

4. Second Bending And Forming - เป็นขั้นตอนการพับฉากให้ได้รูปทรง ตามที่กำหนด และทำการขึ้นรูปโค้งบริเวณที่ยึดติดกับตัวภาชนะ ในขั้นตอนเดียวกัน โดยใช้แม่พิมพ์ตัวเดียวกัน เมื่อขึ้นรูปหูภาชนะได้รูปทรง และขนาดตามที่กำหนดชิ้นงานจะถูกใส่ลงในกล่องเพื่อขนย้ายไปยังขั้นตอน Cheamical Polishing

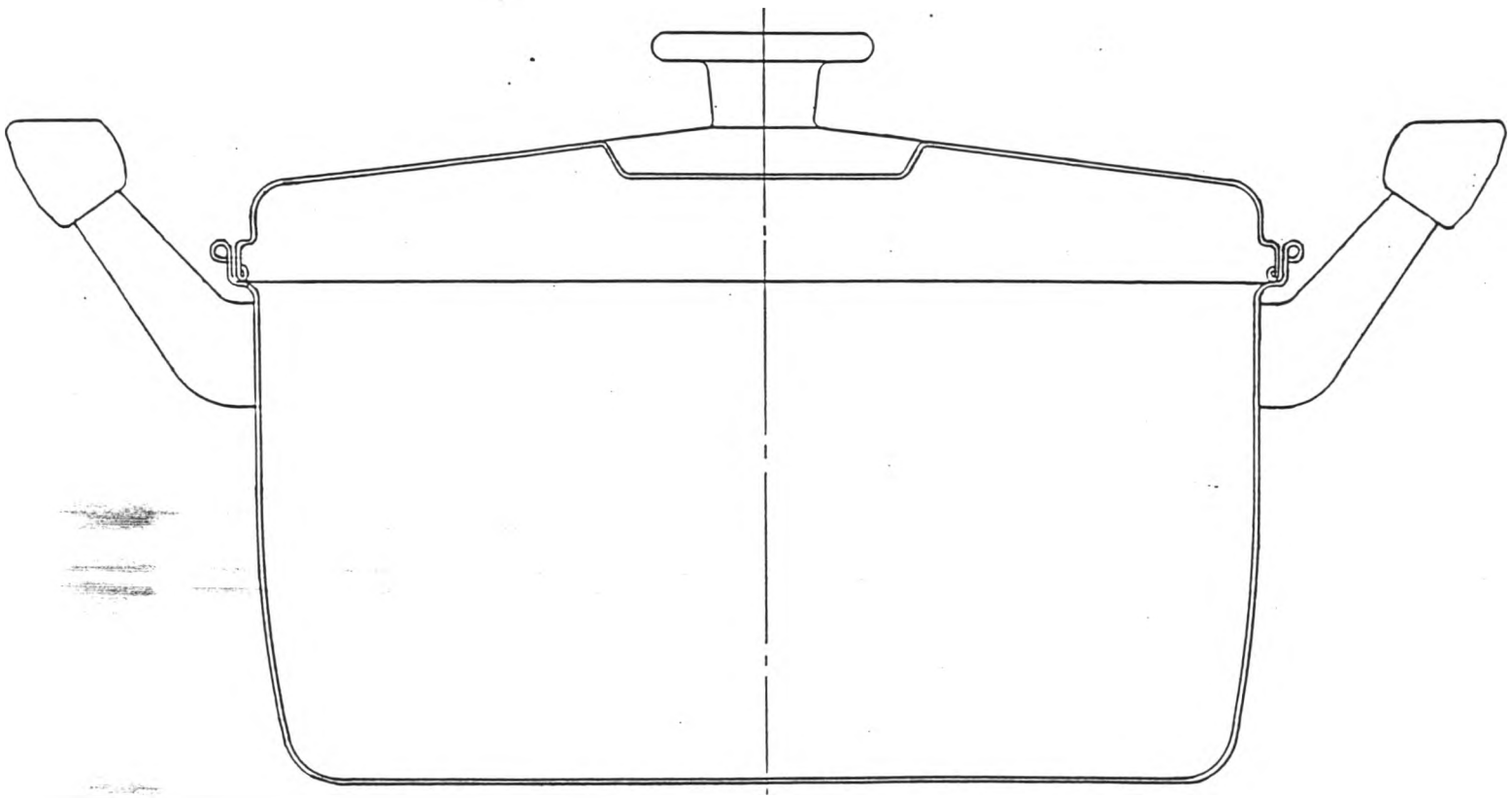
5. Chemical Polishing - เป็นขั้นตอนการตกแต่งผิวสำเร็จ โดยใช้กรรมวิธีทางเคมี โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. นำชิ้นงานใส่ลงในกระบวย (มีลักษณะคล้ายกระบวยลวกเส้นก๋วยเตี๋ยว แต่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 cm ลึก 30cm) ให้เต็ม
2. จุ่มชิ้นงานลงในน้ำยาเคมีที่มีอุณหภูมิ 110-115 C (Phosbrite 159 ประกอบด้วย กรดซัลฟูริค, กรดไนตริค และฟอสฟอริก) แช่ไว้นาน 3-5 นาที
3. จุ่มลงในน้ำธรรมดา เพื่อล้างกรดออก ในถังน้ำซึ่งล้นอยู่ตลอดเวลา โดยวิธีจุ่มแล้วยก ประมาณ 2-3 รอบ

4. ล้างน้ำเหมือนข้อ 3 ในถังน้ำธรรมดา ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง ในถังถัดไป
5. ล้างในถังกรดไนตริก 50 % เพื่อกำจัดคราบ หรือรอยหมอง
6. ล้างในถังน้ำธรรมดา
7. แช่ไว้ในถังน้ำธรรมดาเพื่อป้องกันการเกิด Oxide Film ระหว่างรอดำเนินการขั้นต่อไป
8. ใช้ลมร้อนไล่ความชื้น โดยนำชิ้นงานมาใส่ลงในตะแกรงขนาด 1.2x1x0.2 m โดยก้นจะเจาะรูเป็นตะแกรงด้านข้างจะเป็นลักษณะซี่ลูกกรงห่าง ๆ แล้วส่งผ่านเข้าไปในตู้อบ โดยสายพานลำเลียง ภายในตู้อบจะมีอุณหภูมิ 125-130 C ซึ่งความร้อนได้ จากการเป่าลมผ่าน Gas ที่กำลังลุกไหม้อยู่ ทำให้ได้ลมร้อนในการอบ โดยใช้เวลาในการอบ ประมาณ 3 นาที
9. รอจนชิ้นงานเย็น ใช้รถเข็นขนย้ายหูภาชนะจากขั้นตอน Cheamical Polishing ไปยังขั้นตอน Bakelite Assembly

6. Bakelite Assembly - เป็นขั้นตอนการประกอบ Bakelite (สั่งทำมาจากภายนอกโรงงาน) กับชิ้นงานหูภาชนะในบริเวณมือจับโดยใช้หมุดย้ำหูภาชนะที่เสร็จเรียบร้อยแล้ว จะถูกใส่ลงในกะละมัง เพื่อขนย้ายไปประกอบติดกับตัวภาชนะต่อไป

กระบวนการผลิต ตัวภาชนะ ฝาภาชนะ และหูภาชนะ จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น ได้ถูกสรุปเป็นแบบภูมิกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 , 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ



รูปที่ 3.1 แสดงภาพประกอบหม้อหุงต้ม (Aluminum Pot)

รูปที่ 3.2 แผนภูมิกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง : การผลิตตัวภาชนะ

DESCRIPTION (original method)	DISTANCE (m)	TIME (sec)	SYMBOL					NO. OF OPERATORS
			O	⇨	D	□	∇	
Materials transported	10			•				1
Stamping		4	•					1
Transport	20			•				1
Deep Drawing		8	•					2
Transport	15			•				1
Spinning		60	•					2
Transport	35			•				1
Piercing		4	•					2
Transport	80			•				1
Polishing (inside)		30	•					1
Transport	250			•				1
Polishing (outside)		30	•					2
Transport	230			•				1
Assembly (handle)		10	•					1
Transport	15			•				1
Packing		10	•					1
Stored							•	1
TOTAL	655	-	8	8	-	-	1	

ACTIVITY : O OPERATION D DELAY ∇ STORAGE

⇨ TRANSPORT □ INSPECTION

รูปที่ 3.3 แผนภูมิกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง : การผลิตฝาภาชนะ

DESCRIPTION (original method)	DISTANCE (m)	TIME (sec)	SYMBOL					NO. OF OPERATORS
			O	⇨	D	□	∇	
Materials transported	10							1
Stamping		4						1
Transport	20							1
Forming		9						2
Transport	15							1
Trimming		20						1
Curling	3	18						1
Piercing	3	4						1
Transport	80							1
Polishing (inside)		20						1
Transport	10							1
Polishing (outside)		20						1
Transport	30							1
Assembly (handle)		30						1
Transport	15							1
Packing		10						1
Stored								1
TOTAL	186	-	9	7	-	-	1	

ACTIVITY : O OPERATION D DELAY ∇ STORAGE

⇨ TRANSPORT □ INSPECTION

รูปที่ 3.4 แผนภูมิกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง : การผลิตหูภาชนะ

DESCRIPTION (original method)	DISTANCE (m)	TIME (sec)	SYMBOL					NO. OF OPERATORS
			O	⇨	D	□	∇	
Materials transported	15							1
Blanking		3						1
Transport	170							1
Piercing		5						1
Transport	6							1
First bending		3						1
Transport	3							1
Second bending & forn		15						1
Transport	60							1
Cheamical polishing	20							6
Transport	50							1
Bakelite assembly		5						1
Delay								
TOTAL	329	-	6	6	1	-	-	

ACTIVITY : O OPERATION D DELAY ∇ STORAGE

⇨ TRANSPORT □ INSPECTION

3.2 ขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์ Progressive Die

ในการออกแบบแม่พิมพ์ควรจะดำเนินการตามขั้นตอน เพื่อความถูกต้องและป้องกันการสับสนในขณะออกแบบ เนื่องจากแม่พิมพ์ Progressive Die เป็นแม่พิมพ์ที่ซับซ้อน และประกอบด้วยขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน จึงจำเป็นที่จะต้องมีความระมัดระวังเป็นอย่างยิ่งในการออกแบบ ซึ่งในการออกแบบแม่พิมพ์ Progressive Die ควรจะดำเนินการ ดังนี้

1. ศึกษารูปแบบชิ้นงาน เพื่อพิจารณาว่าสามารถขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ Progressive Die ได้หรือไม่ โดยพิจารณาที่รูปทรงของชิ้นงาน และขั้นตอนที่จะออกแบบแม่พิมพ์ว่าสามารถทำงานได้หรือไม่

2. วางขั้นตอนการทำงานของแม่พิมพ์ โดยพิจารณาว่า แผ่น Strip จะไม่ถูกตัดขาดจนกว่าจะถึงขั้นตอนสุดท้าย (Cut Off) และการเคลื่อนที่ของแผ่น Strip ภายในพิมพ์จะต้องไม่ติดขัด รวมทั้งพิจารณาถึงระยะห่างระหว่างชิ้นงาน เพราะจะมีผลต่อความแข็งแรงของแม่พิมพ์ และจุด Center of Fravity ของแม่พิมพ์

3. คำนวณค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ เพื่อใช้ในการกำหนดชิ้นส่วนต่าง ๆ ของพิมพ์ ขณะทำการออกแบบ

4. ทำการออกแบบแม่พิมพ์ จากข้อมูลข้างต้นพร้อมทั้งเขียนแบบ และลงขนาดต่าง ๆ ให้เรียบร้อย

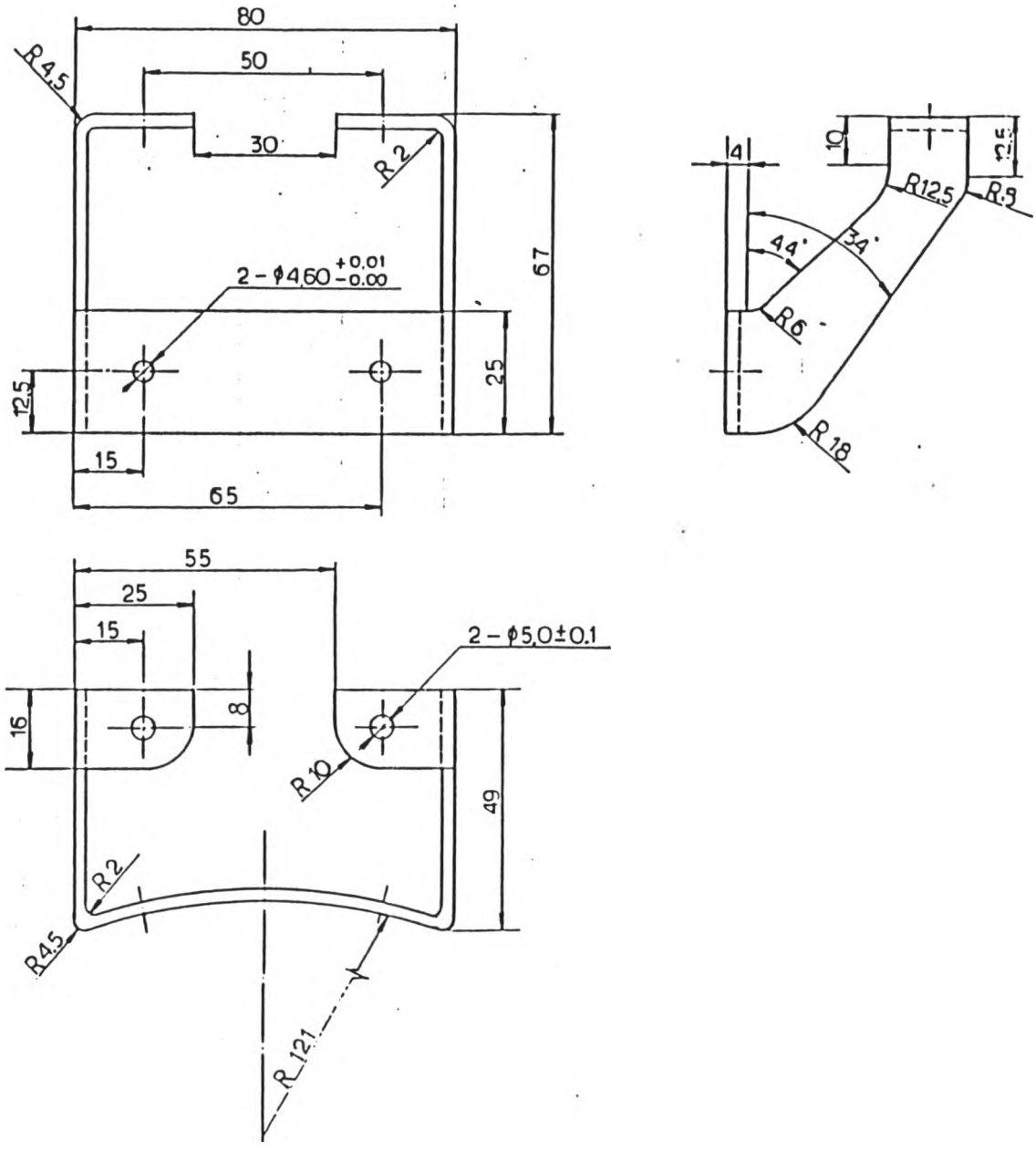
5. ตรวจสอบความถูกต้องของแม่พิมพ์ที่ทำการออกแบบเสร็จเรียบร้อย

การปฏิบัติตามขั้นตอนดังกล่าว เพื่อป้องกันการสับสน และจะทำให้ได้แบบแม่พิมพ์ Progressive Die ที่มีความถูกต้อง และพร้อมที่จะนำไปสร้างต่อไป

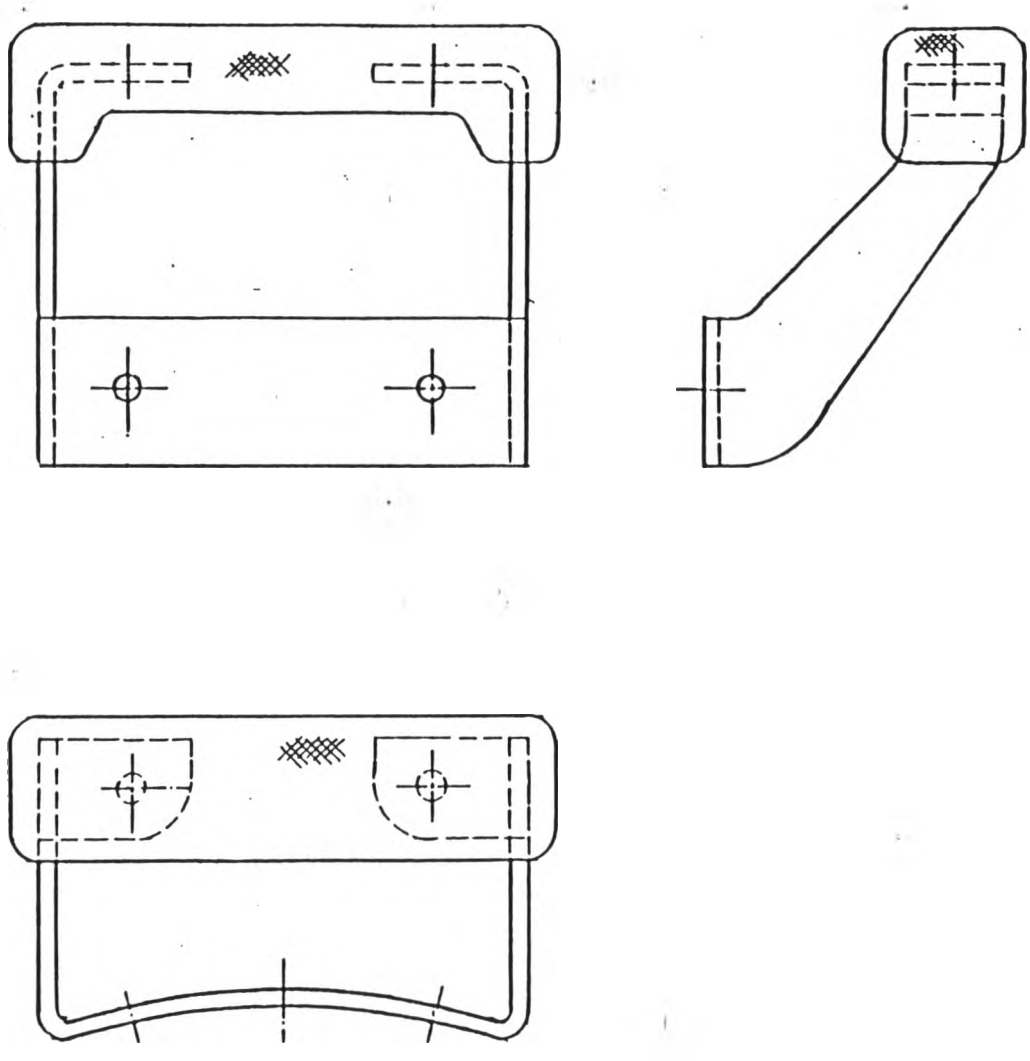
3.3 รูปแบบชิ้นงานที่ทำการออกแบบ

ชิ้นงานที่นำมาทำการออกแบบแม่พิมพ์ Progressive Die เป็นหูภาชนะที่ใช้ยึดติดกับตัวภาชนะ ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 แสดงภาพประกอบของหูภาชนะ กับ Bakelite

I 15009335



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของหูภาชนะที่ทำการออกแบบแม่พิมพ์



รูปที่ 3.6 แสดงภาพประกอบของหูภาชนะกับ Bakelite

3.4 ขั้นตอนการทำงานของแม่พิมพ์ Progressive Die ที่ทำการออกแบบ

ลักษณะการทำงานของแม่พิมพ์ Progressive Die ที่ทำการออกแบบจะมีการทำงานอยู่ 6 ขั้นตอน เรียงต่อเนื่องกัน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 Piercing เป็นการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 2 Notching เป็นการตัดเนื้อโลหะด้านข้างออก เพื่อให้ได้รูปทรงของหูภาชนะ

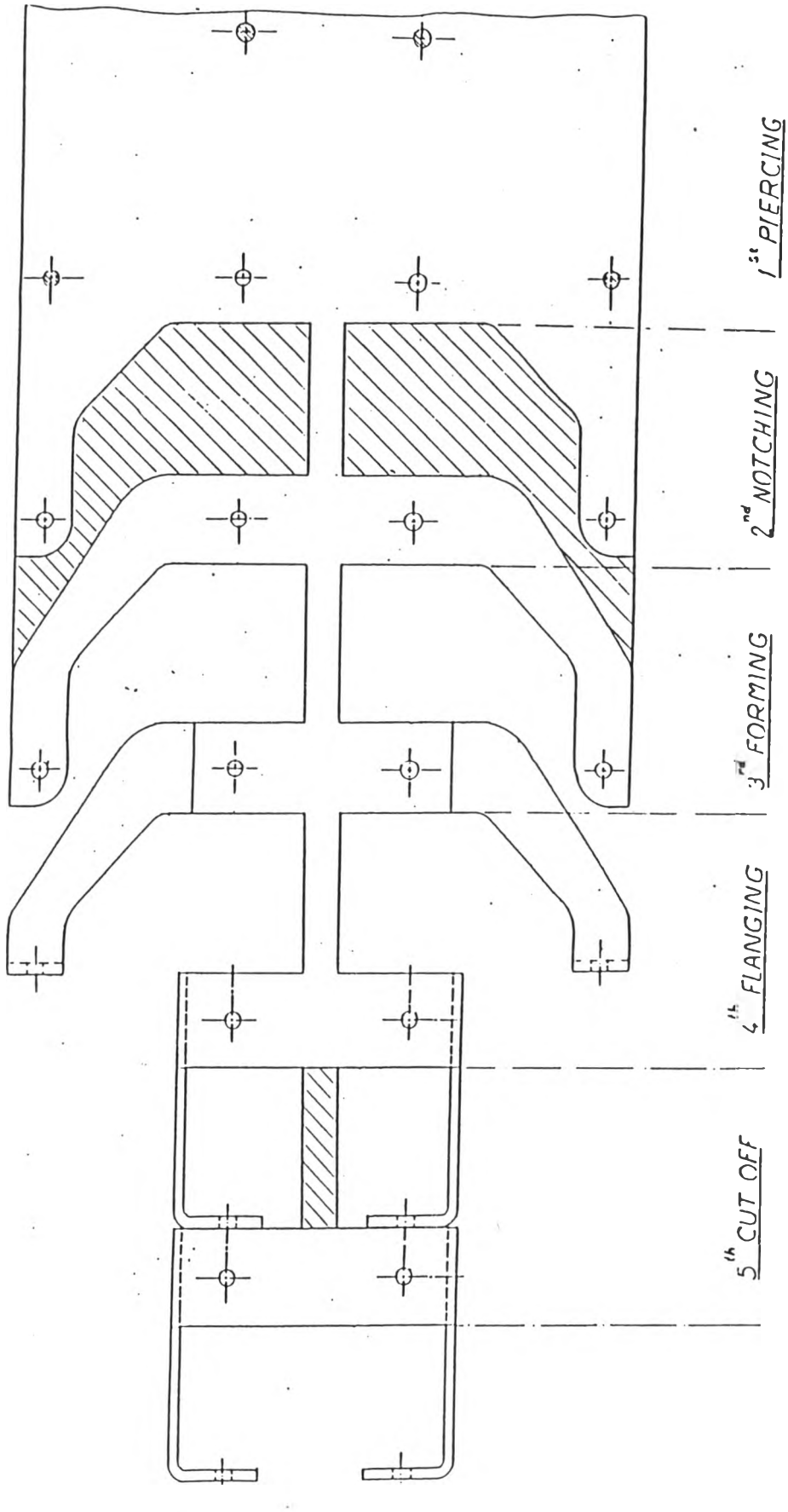
ขั้นตอนที่ 3 Forming เป็นการขึ้นรูปโค้งของหูภาชนะบริเวณที่จะใช้ติดกับตัวภาชนะ

ขั้นตอนที่ 4 Flanging เป็นการพับฉากบริเวณปลายของหูภาชนะ บริเวณที่จะใช้ยึดติดกับ Bakelite

ขั้นตอนที่ 5 Flanging เป็นการพับฉากอีกครั้ง หลังจากขั้นตอนที่ 4 เพื่อให้ได้รูปทรงครั้งสุดท้ายของหูภาชนะ

ขั้นตอนที่ 6 Cut Off เป็นการตัดชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์แล้วออกจากแผ่น Strip เพื่อให้ได้ชิ้นงานออกมาเป็นชิ้น ๆ

ขั้นตอนทั้ง 6 แสดงในรูปที่ 3.7 เนื่องจากในการออกแบบแม่พิมพ์ชุดนี้ถูกจำกัดในเรื่องรูปแบบชิ้นงาน จึงเป็นการยากที่จะวางขั้นตอนการทำงานในรูปแบบอื่น



รูปที่ 3.7 แผ่น Strip แสดงขั้นตอนการทำงานของแม่พิมพ์

3.5 การคำนวณเกี่ยวกับการออกแบบแม่พิมพ์

ในการคำนวณค่าต่างๆ ในการออกแบบแม่พิมพ์ จะต้องทราบข้อมูลมาตราฐานต่าง ๆ เกี่ยวกับวัสดุชิ้นงาน และ แม่พิมพ์ ซึ่งข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณสำหรับงานวิจัยฉบับนี้ได้จากการรวบรวมของ ชาญชัย ทรัพยากร และคณะ ดังนี้

แผ่นวัสดุอลูมิเนียมที่ใช้ผลิตชิ้นงาน	A 1100	
ความหนาของวัสดุ (t)	2.5	มม.
ความเค้นแรงดึง (δb)	22	กก./มม^2
ความเค้นแรงเฉือน (Ks)	16	กก/มม^2
% Penetration	60%	
สัมประสิทธิ์ (K)	0.2	
ค่าคงที่ (Kc)	0.2 - .04	
ช่องว่างระหว่างพิมพ์ (ต่อด้าน) (c)	0.125	มม.

ในการออกแบบแม่พิมพ์ จำเป็นที่จะต้องคำนวณค่าต่างๆ เช่น Working Force , Stripping Force , Side Force และอื่นๆ เป็นต้น เพื่อความเหมาะสมในการเลือกใช้เครื่อง Press และ เพื่อความแข็งแรงของแม่พิมพ์ ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงได้คำนวณค่าต่างๆ ไว้ดังนี้

3.5.1 Working Force การทำงานของแม่พิมพ์ Progressive Die ที่ออกแบบ มีแรงเกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนที่ต่างกัน ดังนั้น จะทำการคำนวณแรงแยกกันในแต่ละขั้นตอน ดังนี้

1. แรงที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 1 Piercing เป็นแรงที่เกิดจากการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 มม และ 5 มม. ขนาดละ 2 รู ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นมีด้วยกัน 2 กรณี คือ

   1. กรณีไม่มีคมเฉือน สามารถคำนวณได้จากสมาการที่ 2.1

   2. กรณีมีคมเฉือน สามารถคำนวณได้จากสมาการที่ 2.2

- กรณีไม่มีคมเฉือน

Piercing Force $= 2 (P(\varnothing 4.6) + P(\varnothing 5))$

$= 2 (1.t.Ks/1000 + 1.t.Ks/1000)$

$= 2 ((\pi (4.6)(2.5)(16)/1000) + (\pi (5)(2.5)(16)/1000))$

$= 2.413$ Tons

- กรณีมีคมเฉือน

Piercing Force = 2 (P(∅4.6) + P(∅5))

= 2 (l.t.Ks K/1000 + l.t.Ks K/1000)

= 2 ((π (4.6)(2.5)(16)(0.2)/1000 + (π (5)(2.5)(16)(0.2)/1000))

= 0.483 Tons

Piercing Force ทั้งหมด = 2.413 + 0.483

= 2.896 Tons

2. แรงที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 2 Notching เป็นการตัดชิ้นงานให้ได้ขนาดรูปทรงของชิ้นงานทั้งด้านบนและล่างพร้อม ๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ซึ่งในการตัดในขั้นตอนนี้มีความยาวของเส้นรอบรูปที่ถูกตัด (l) ทั้งหมดประมาณ 571 มม. เราสามารถคำนวณหาแรงในการ Notching ได้จากสมาการที่ 2.1 และ 2.2

Notching force = P (มีคมเฉือน) + P (ไม่มีคมเฉือน)

= (l.t.Ks/1000) + (l.t.Ks.K/1000)

= (571)(2.5)(16)/1000 + (571)(2.5)(16)(0.2)/1000

= 27.408 Tons

Notching Force = 27.408 Tons

3. แรงที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 3 Forming เป็นแรงที่ใช้กดชิ้นงานให้ขึ้นรูปตามแม่พิมพ์ โดยมีความยาวของการกดขึ้นรูป 90 มม. สามารถหาแรงในการขึ้นรูปได้จากสมาการที่ 2.6 ดังนี้

Forming Force = (Kc . δb . t . w)/1000

= (0.4)(22)(2.5)(90)/1000

= 1.98 Tons

Forming Force = 1.98 Tons

4. แรงที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 4 Flanging เป็นแรงในการพับฉากชิ้นงาน โดยแนวในการพับฉากมีความยาว 16 มม. จำนวน 2 แนว สามารถหาแรงในการพับฉากได้จากสมาการที่ 2.6 ดังนี้

Flanging Force = 2 (Kc . δb . t . w)/1000

= 2 (0.4)(22)(2.5)(16)/1000

= 0.704 Tons

Flanging Force = 0.704 Tons

5. แรงที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 5 Flanging เป็นแรงในการพับฉากชิ้นงาน ครั้งที่ 2 ให้ได้รูปทรงหูภาชนะที่สมบูรณ์ โดยมีแนวในการพับฉากยาว 25 มม. จำนวน 2 แนว สามารถหาแรงได้จากสมาการที่ 2.6

Flanging Force = 2 (Kc . δb . t . w)/1000

= 2 (0.4)(22)(2.5)(25)/1000

= 1.100 Tons

Flanging Force = 1.100 Tons

6. แรงที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 6 Cut Off เป็นแรงในการตัดชิ้นงานออกจากแผ่น Strip โดยมีแนวในการตัด 2 แนว ยาวแนวละ 10 มม. เราสามารถหาแรง Cut Off ได้จากสมาการที่ 2.1 และ 2.2

Cut Off Force = 2 (P(มีคมเฉือน) + P(ไม่มีคมเฉือน))

= 2 ((l.t.Ks)/1000 + (l.t.Ks.K)/1000)

= 2 ((10)(2.5)(16)/1000 + (10)(2.5)(16)(0.2)/1000)

= 0.96 Tons

Cut Off Force = 0.96 Tons

ดังนั้นแรงในการขึ้นรูปชิ้นงาน (Working force) จึงหาได้จาก การรวมแรงในแต่ละขั้นตอนเข้าด้วยกัน ดังนี้

Working Force = (Piercing Force)+(Notching Force)+(Forming Force)+
(Flanging Force)+(Flanging Force)+(Cut Off)

= (2.896)+(27.408)+(1.98)+(0.704)+(1.100)+(0.96)

= 35.048 Tons

Working Force = 35.048 Tons

3.5.2 Stripping Force ในการตัดโลหะแผ่นวัสดุจะรัดติดกับตัวพันซ์เจาะดังนั้นเราต้องมีแรงในการกดแผ่นวัสดุ ให้รูดออกจากพันซ์ ซึ่งเรียกแรงนั้นว่า Stripping Force และแรงดังกล่าวยังช่วยในการทำให้การขึ้นรูปโลหะเสร็จสมบูรณ์ โดยทั่วไปจะคิดที่ 15 % ของ Working Force ดังนั้น จะได้ว่า

Stripping Force = (0.15)(Working Force)

= (0.15)(35.048)

= 5.257 Tons

Stripping Force = 5.257 Tons

3.5.3 Power Press หรือCutting Forceเป็นการหาขนาดของเครื่องปั๊มที่สามารถใช้กับแม่พิมพ์ชุดนี้ได้ หรือ แรงสูงสุดที่ต้องใช้ในการทำงาน สำหรับพิมพ์ชุดนี้ การหา Power Press หาโดยการนำ Working Force รวมกับ Stripping Force และเผื่อความปลอดภัยอีก 20% ดังนี้

Power Press = ((Working Force) + (Stripping Force)) x 1.2

= ((35.048) + (5.257)) x 1.2

= 48.366 Tons

Power Press = 48.366 Tons

3.5.4 Side Force เป็นแรงรุนที่เกิดขึ้นด้านข้างหรือแนวตั้งฉากกับWorking Forceคำนวณหาแรงนี้เพื่อใช้การกำหนดขนาดสกรู และสลัก ซึ่งแรงนี้หาได้จากสมาการที่ 2.5 ดังนี้

$$\text{Side Force} = \frac{\text{Cutting force x Clearance}}{\text{t - \% Penetration}}$$

$$= \frac{(40.305)x(0.125)}{(2.5)-(0.6)}$$

= 2.65 kg

Side Force = 2.65 kg

3.5.5 Thickness of Die เป็นค่าความหนาต่ำสุดของ Die ที่จะสามารถทนต่อแรงกดได้ การหาค่านี้เพื่อความแข็งแรงของแม่พิมพ์ ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จาก

Thickness Of Die = $\sqrt[3]{\text{Cutting Force (kg)}}$

= $\sqrt[3]{40305}$

= 34.286 มม.

Die ต้องมีความหนาต่ำสุด 34.286 มม.

3.5.6 Center of Gravity คือจุดรวมแรงของแม่พิมพ์ เพื่อใช้กำหนดตำแหน่งยึด Shank ให้ใกล้เคียงจุด C.G.มากที่สุด ในการคำนวณเราไม่สามารถใช้สูตรสำเร็จได้ เนื่องจากขั้นตอนการทำงานของพิมพ์ที่ออกแบบมีหลายขั้นตอนที่แตกต่างกัน จึงทำให้แรง ณ จุดต่าง ๆ ไม่เหมือนกัน ดังนั้น เราจะคำนวณโดยวิธี เทคโมเมนต์ โดยให้จุด X = 0 , Y = 0 เป็นจุดหมุน ดังรูปที่ 3.8

จากรูปที่ 3.8 สามารถคำนวณโมเมนต์ ณ ตำแหน่งต่างๆได้ดังตารางที่ 3.1 โดยค่า X คือ ระยะทางจากจุด Xo ถึงจุดที่ต้องการเทคโมเมนต์ P คือ แรงที่กระทำ ณ จุดนั้น ๆ และ ตำแหน่ง Center of Gravity ในแนวแกน X สามารถคำนวณได้ดังนี้

$(35.048)(X) = 6863.881$

$X = 195.84$

ตำแหน่ง Center Of Gravity ในแนวแกน X จะอยู่ห่างจากจุด X=0, Y=0 ให้แนวแกน X ประมาณ 195.84 มม.

ตำแหน่ง Center Of Gravity ในแกน Y จะอยู่ที่ Y = 0 เนื่องจากขั้นตอนการทำงานของพิมพ์ ที่อยู่เหนือ Y = 0 และอยู่ใต้ Y = 0 มีการทำงานที่สมมาตรกัน

สรุปได้ว่าตำแหน่ง Center of Gravity ของพิมพ์ Progressive ชุดนี้ อยู่ที่ X = 195.84, Y = 0

3.6 การกำหนดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ (Die Life)

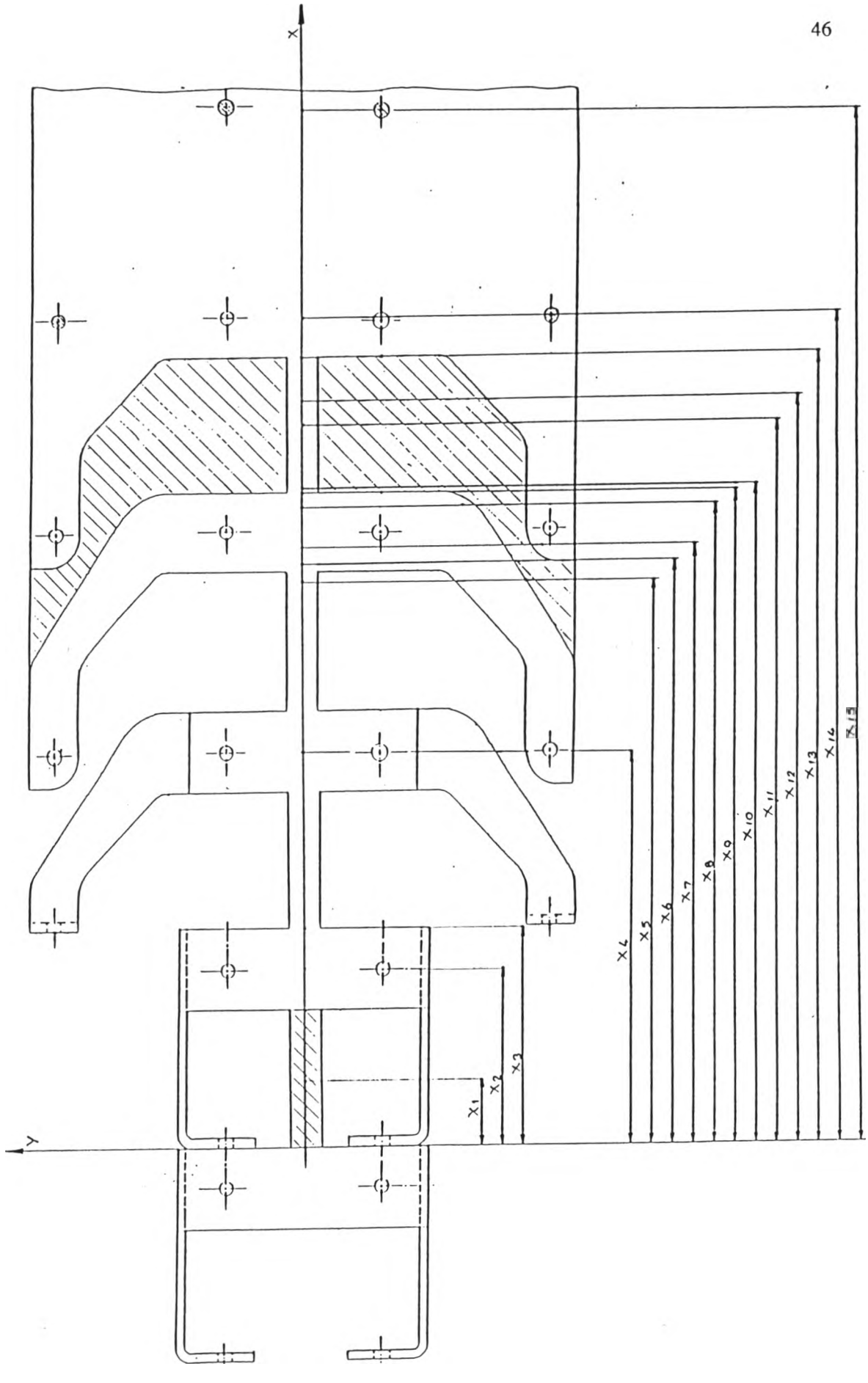
การกำหนดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ เพื่อเป็นการกำหนดระยะเวลา ในการซ่อมบำรุงแม่พิมพ์ เมื่อผ่านการใช้งานไประยะหนึ่ง ซึ่งในการกำหนดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ จะกำหนดเป็นจำนวนชิ้นงานหรือจำนวนครั้งในการทำงาน ที่แม่พิมพ์สามารถทำงานได้อย่างปกติ ในการ

กำหนดอายุใช้งานของแม่พิมพ์ จะประมาณการจากประวัติการใช้งานของแม่พิมพ์ตัดอลูมิเนียมที่ความหนาชิ้นงานต่าง ๆ เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีวิธีการที่แน่นอนในการคำนวณหาอายุการใช้งาน จึงจำเป็นที่จะต้องใช้ข้อมูลที่รวบรวมมาได้มาประมาณการ และในแต่ละขั้นตอนการทำงานของแม่พิมพ์ Progressive จะมีลักษณะการทำงานที่แตกต่างกัน แต่จุดที่อ่อนแอแล้วจะเสียหาย และต้องการ การซ่อมบำรุงบ่อยกว่าจุดอื่น คือจุดที่มีการตัดของชิ้นงานเนื่องจากบริเวณคมตัดจะมีการเสียดสีและสึกหรอ ทำให้ปากแม่พิมพ์ไม่คม เป็นผลทำให้ชิ้นงานที่ออกมาไม่เรียบร้อย จึงจำเป็นที่จะต้องทำการซ่อมบำรุง โดยนำคมตัดไปลับใหม่ จากเหตุผลดังกล่าว จึงพิจารณากำหนดอายุการใช้งานของพิมพ์ที่ขั้นตอนการตัด

การกำหนดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ Progressive Die ที่ทำการออกแบบ จากประวัติการใช้งานของแม่พิมพ์ตัด สามารถกำหนดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ Progressive Die ที่ทำการออกแบบ ได้ประมาณ 1,000,000 ชิ้น ซึ่งหมายความว่า เมื่อแม่พิมพ์ชุดนี้ผ่านการใช้งานประมาณ 1,000,000 ครั้ง ที่ความหนาชิ้นงาน 2.5 มม. จะต้องทำการซ่อมบำรุงครั้งหนึ่ง ประวัติการใช้งานของแม่พิมพ์ตัดอลูมิเนียมที่ความหนาของชิ้นงานต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 3.2

3.7 รูปแบบแม่พิมพ์ Progressive Die ที่ได้จากการออกแบบ

จากการคำนวณการออกแบบแม่พิมพ์ และการออกแบบขั้นตอนการทำงานของแม่พิมพ์ Progressive Die กับ แผ่น Strip ดังกล่าว สามารถออกแบบแม่พิมพ์ Progressive Die ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ถึง 3.34 โดยรูปที่ 3.9 แสดงภาพประกอบแม่พิมพ์ Progressive Die และรูปที่ 3.10 ถึง 3.34 แสดงภาพชิ้นส่วนต่าง ๆ ของแม่พิมพ์ Progressive Die



รูปที่ 3.8 แสดงตำแหน่งจุดศูนย์รวมแรงย่อย สำหรับแม่พิมพ์

จุดศูนย์รวมแรง	X (mm.)	P (Tons)	Pn *Xn
1	21	0.96	20.16
2	54.5	1.1	59.95
3	67	0.704	47.168
4	121.5	1.98	240.57
5	171.8	5.28	907.104
6	178.5	0.768	137.088
7	182.64	1.21	220.994
8	197.88	1.805	357.173
9	201	3.84	771.84
10	201.5	2.688	541.632
11	222	4.032	895.104
12	228.5	3.936	899.376
13	243	3.84	933.12
14	255.5	1.508	385.294
15	322.5	1.387	447.308
		$\sum$n.Xn	6863.881

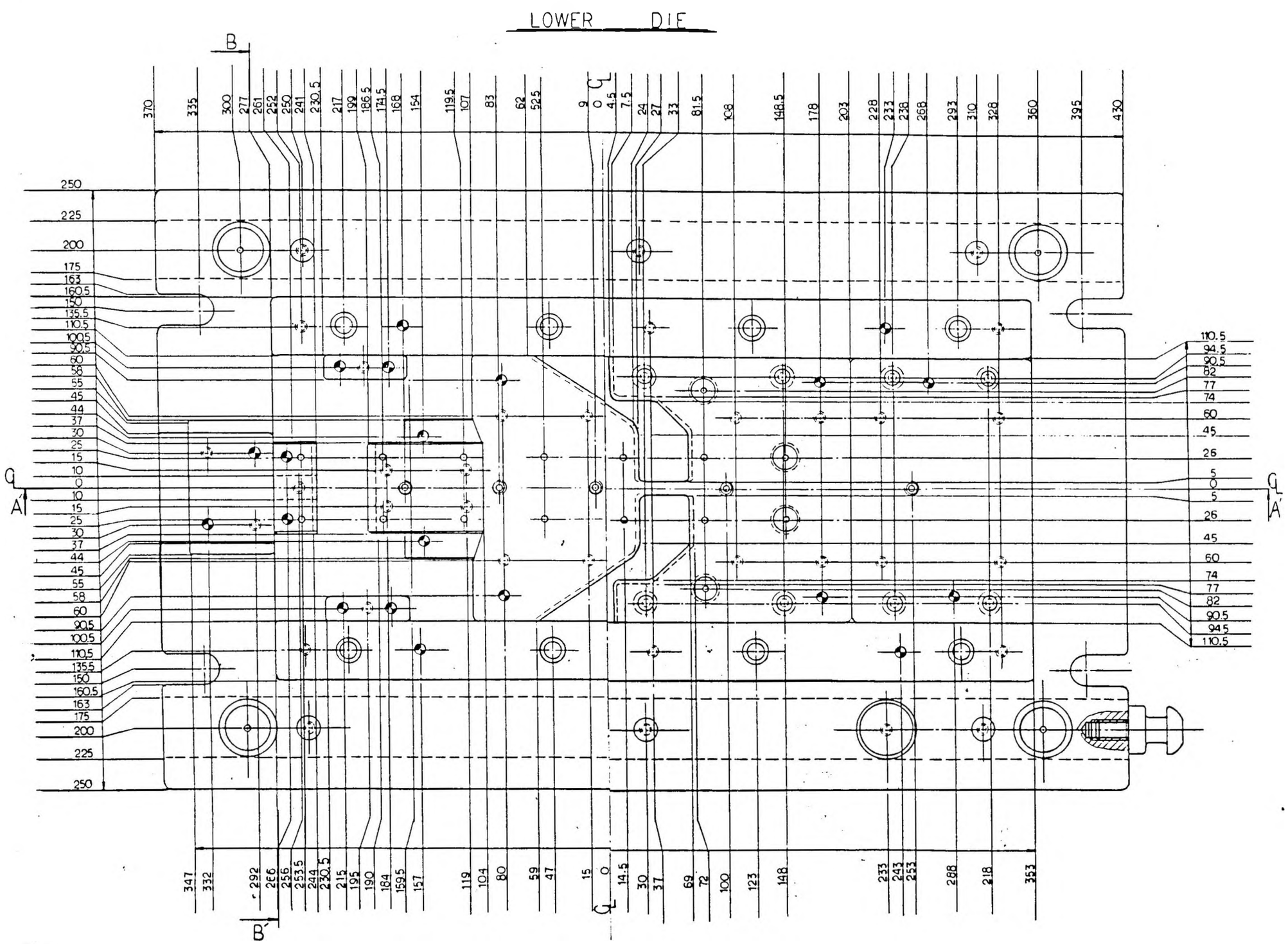
ตารางที่ 3.1 แสดงการคำนวณหาจุดศูนย์รวมแรง

ตารางที่ 3.2 แสดงข้อมูลการใช้งานของแม่พิมพ์ตามความหนาของชิ้นงาน

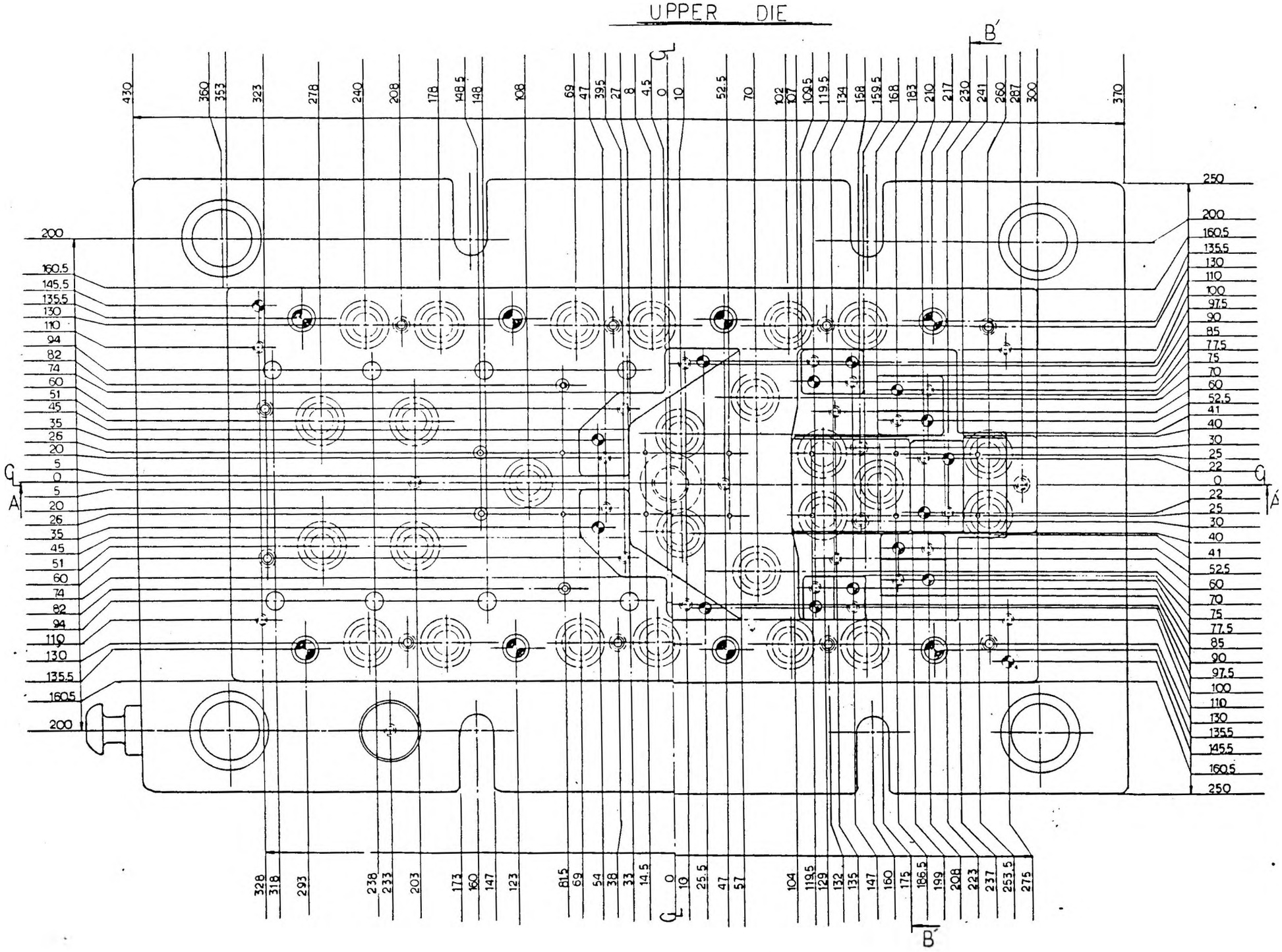
ความหนาชิ้นงานที่ตัด (mm)	น้ำหนักรวมของชิ้นงานที่ตัดได้ (kg)	น้ำหนักเฉลี่ยของชิ้นงาน (กรัม/ชิ้นงาน)	จำนวนชิ้นงานเฉลี่ยที่ตัดได้ (ชิ้น)
0.25	-	-	1,200,000 [*1]
0.4	-	-	1,100,000 [*1]
0.45	-	-	1,100,000 [*1]
1.19	8400	7.825	1,073,482
1.30	-	-	1,000,000 [*2]
2.5	13524	13.35	1,013,034

[1] จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญโรงงาน หจก. ทีปกรณ์โลหะการ

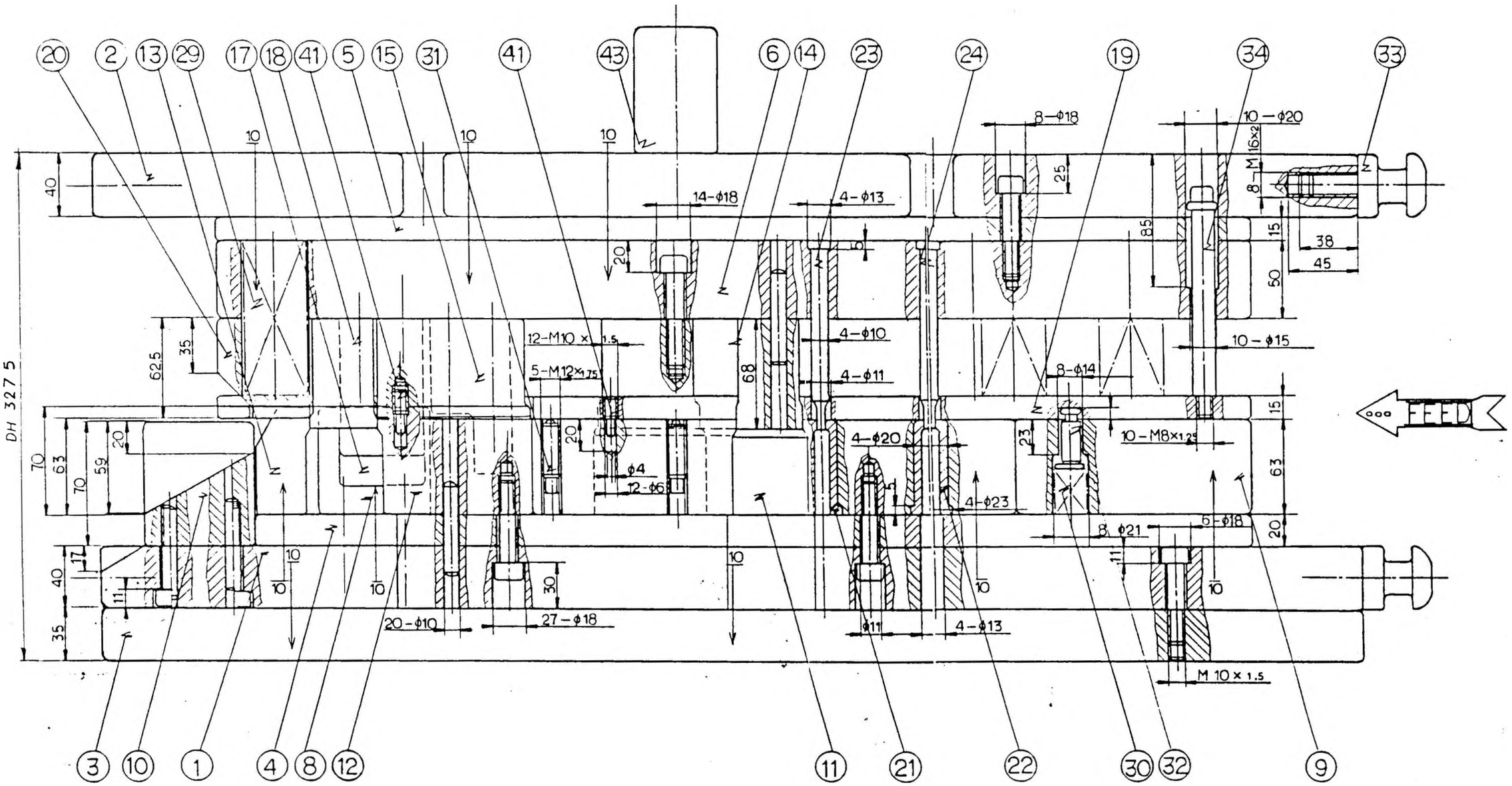
[2] " METALS HANDBOOK NINTH EDITION VOLUME 3 PROPERTIES AND SELECTION ", AMERICAN SOCIETY FOR METAL, METALS PARK OHIO 44073



รูปที่ 3.9 แสดงภาพประกอบแม่พิมพ์ Progressive Die

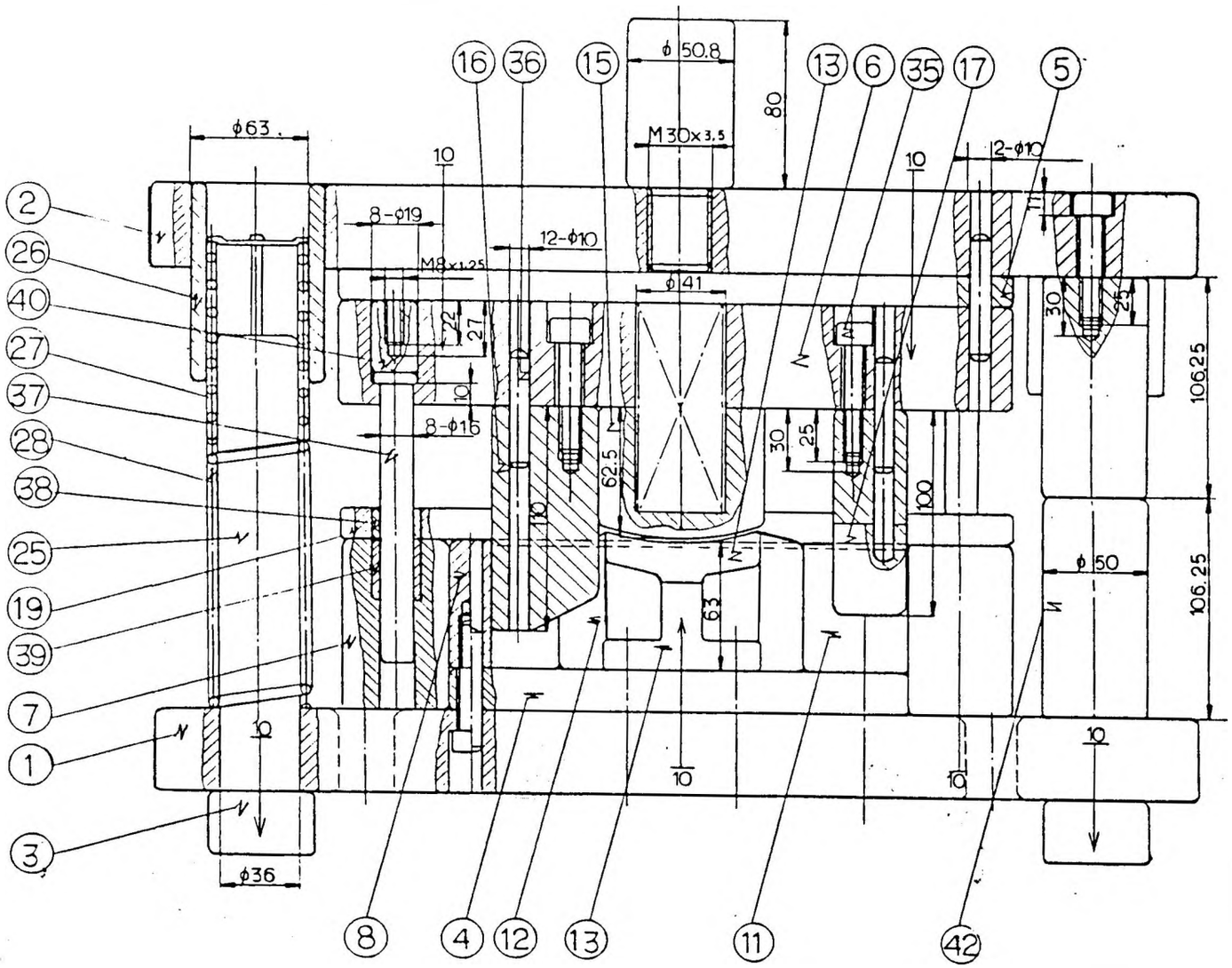


รูปที่ 3.9(ต่อ) แสดงภาพประกอบแม่พิมพ์ Progressive Die



SECTION A - A

รูปที่ 3.9(ต่อ) แสดงภาพประกอบแม่พิมพ์ Progressive Die



SECTION B - B´

รูปที่ 3.9(ต่อ) แสดงภาพประกอบแม่พิมพ์ Progressive Die

ITEM	DESCRIPTION	DIMENSION	Q'TY	MAT'L / CODE	STD / REMARK
43	SHANK	ϕ50.8×120	1	SS 41	
42	STOPPER PIN	ϕ50 × 106.25	2	S45C	
41	PILOT PUNCH	ϕ10 × 20 (ϕ4)	12	S45C	
40	SUPPORT GUIDE PIN	ϕ18.5 × 35	8	S45C	
39	BUSH		8	STBA16-30	
38	BUSH		8	STBA16-16	
37	GUIDE PIN		8	STGH16-140	
36	PIN		32	DPT 10-60	
35	BOLT		57	M10×1,5-65	
34	STRIPPER BOLT		10	SRE 13-120	
33	HOOK		8	HOB20	
32	GUIDE LIFTER PIN		10	GLF 13-30-3,5	INTER TOOLS
31	SPRING PLUNGER		5	SPL 12-10	
30	SPRING		10	DF 20×40=10	
29	SPRING		26	DM40×150=26	
28	SPRING		4	SPR38-160	
27	BALL BEARING		4	PBR38-95	
26	GUIDE BUSH		4	BBGB 38	
25	GUIDE POST		4	BGR 38-220	
24	PIERCE PUNCH		2	SPSA10-120-P4,5	
23	PIERCE PUNCH		2	SPSA10-120-P4,9	
22	PIERCE DIE		2	FHAS20-63-P4,7-S6-G10	
21	PIERCE DIE		2	FHAS20-63-P5,1-S6-G10	
20	PAD	59 × 80 × 62.5	1	S45C	
19	PAD	321 × 653 × 15	1	SS 41	
18	PUNCH	42 × 75 × 68	1	SKD11	
17	PUNCH	35 × 50 × 100	2	SKD11	
16	PUNCH	48 × 50 × 110	2	SKD11	
15	PUNCH	80 × 95 × 62.5	1	SKD11	
14	PUNCH R/L	105 × 126 × 68	1/1	SKD11	
13	DIE	36 × 74 × 70	1	SKD11	
12	DIE	95 × 116 × 70	1	SKD11	
11	DIE	221 × 310 × 63	1	SKD11	
10	FOLLOW PLATE	70 × 116 × 70	1	SS 41	
9	DIE PLATE	150 × 221 × 63	1	SS 41	
8	PUNCH LOCATER	20 × 71 × 70	2	SS 41	
7	BUSH PLATE	50 × 630 × 63	2	SS 41	
6	PUNCH PLATE	321 × 653 × 50	1	SS 41	
5	PUNCH PLATE	321 × 653 × 15	1	S45C	
4	DIE PLATE	321 × 630 × 20	1	S45C	
3	SUPPORT	50 × 800 × 35	2	S45C	
2	UPPER PLATE	500 × 800 × 40	1	SS 41	
1	LOWER PLATE	500 × 800 × 40	1	SS 41	

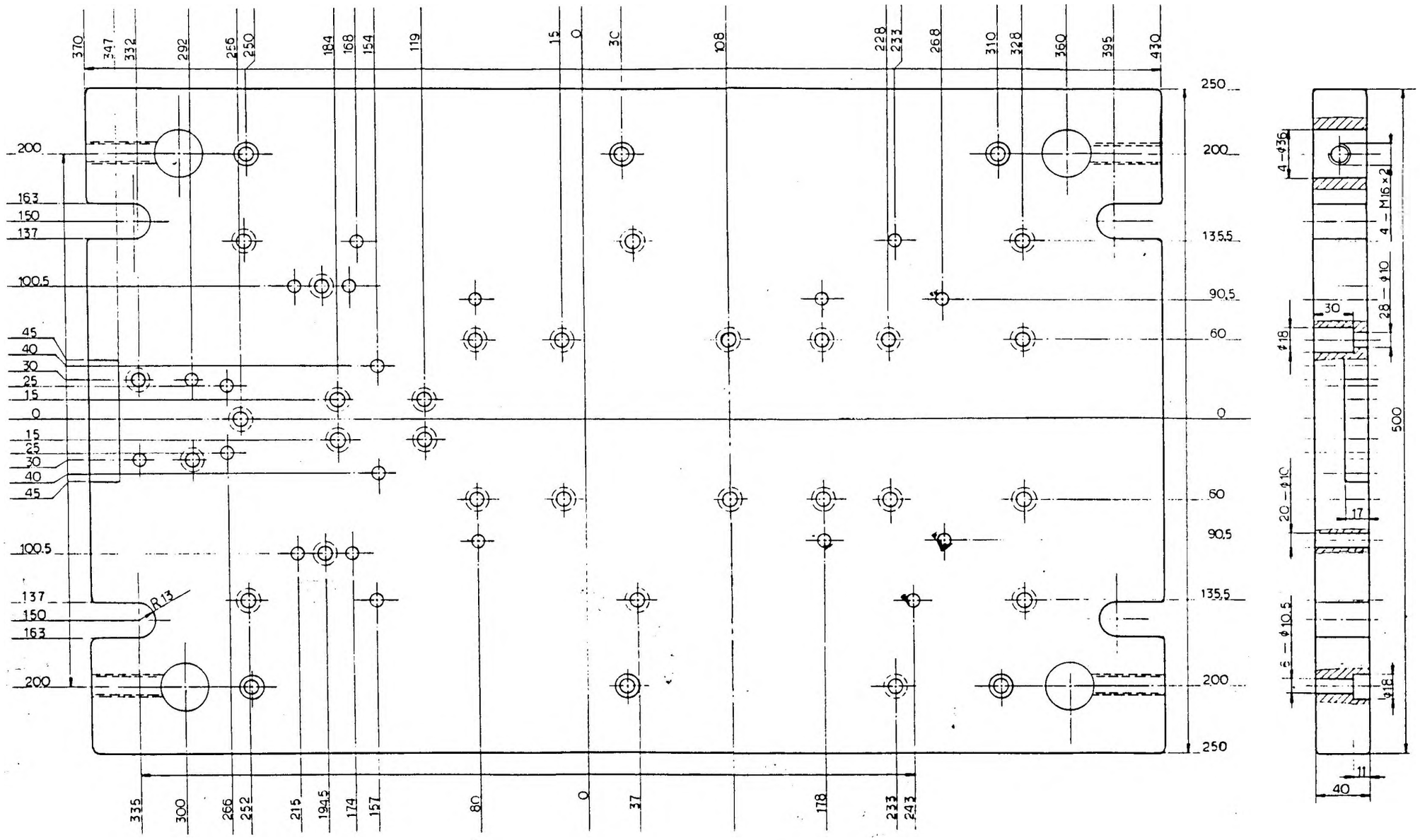
	NAME	DATE
DRAWN		/ /
DESIGN		/ /
CHECKED		/ /
APPROVED		/ /

CHUE CHIN HUA LTD. PART
6 Mu 4 Suksawad Rd., Bangkru,
Phrapradaeng, Samutprakarn 10130,
THAILAND Tel (662) 462 5115-6

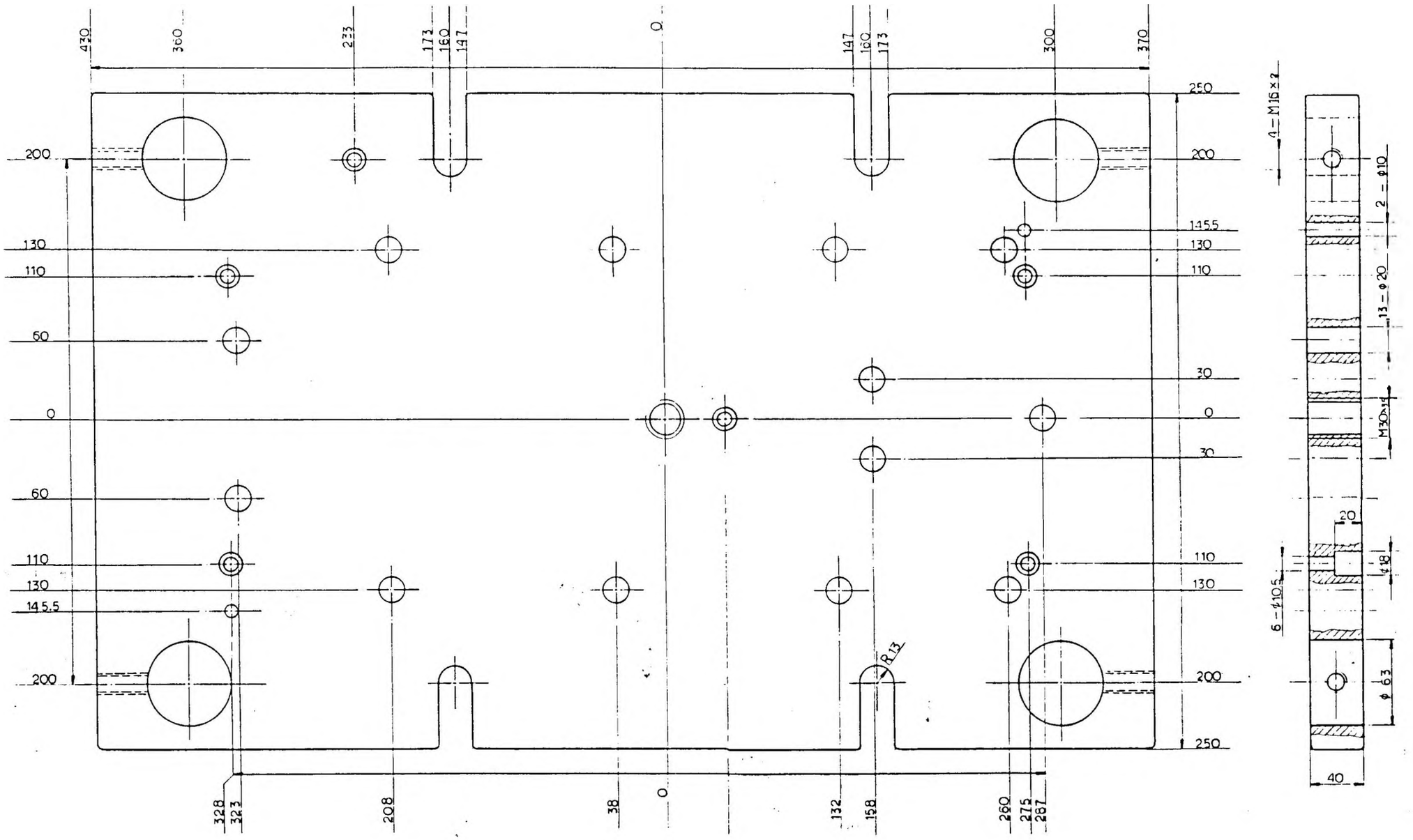
THICKNESS: At 2.5 mm
TOLERANCE: 0.0 mm
P (TONS): 60 Ts.

SCALE	TITLE	PROJECTION	DWG No	
1 : 2	PROGRASSIVE DIE		DG-001	A 0

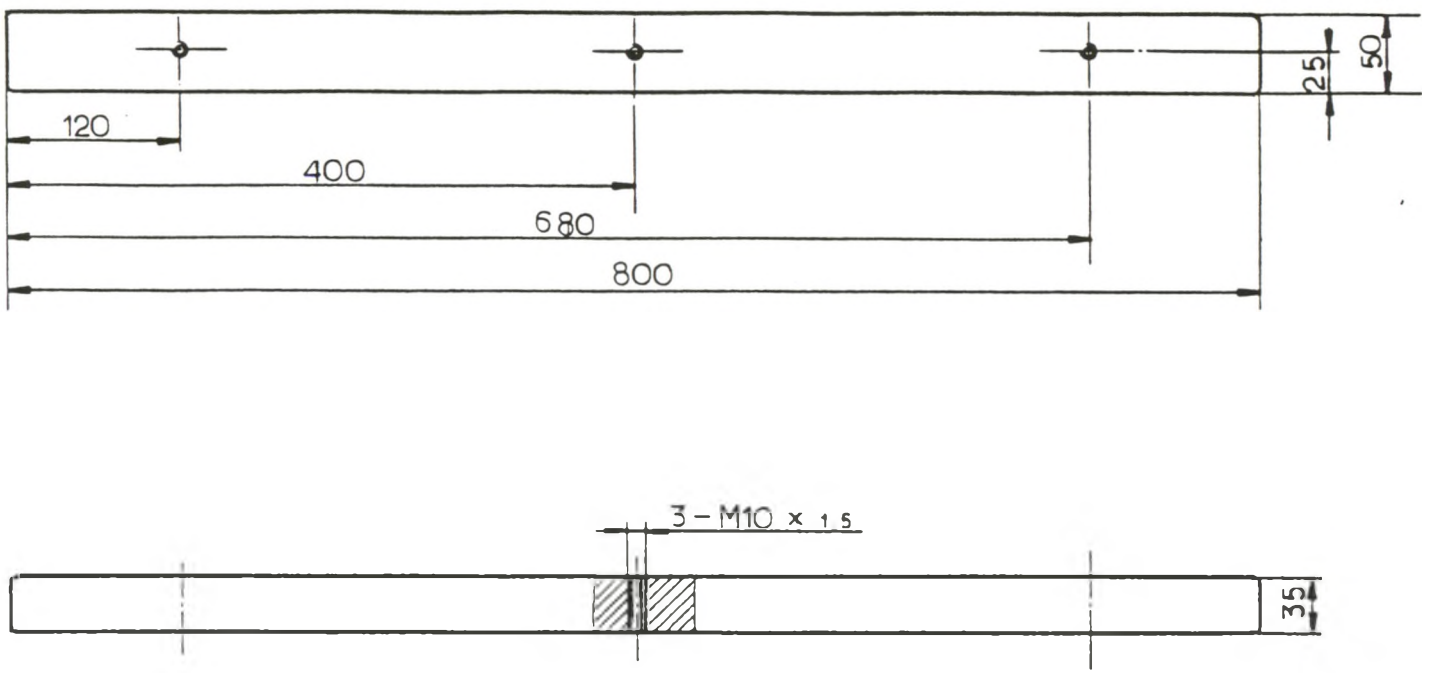
รูปที่ 3.9(ต่อ) แสดงภาพประกอบแม่พิมพ์ Progressive Die



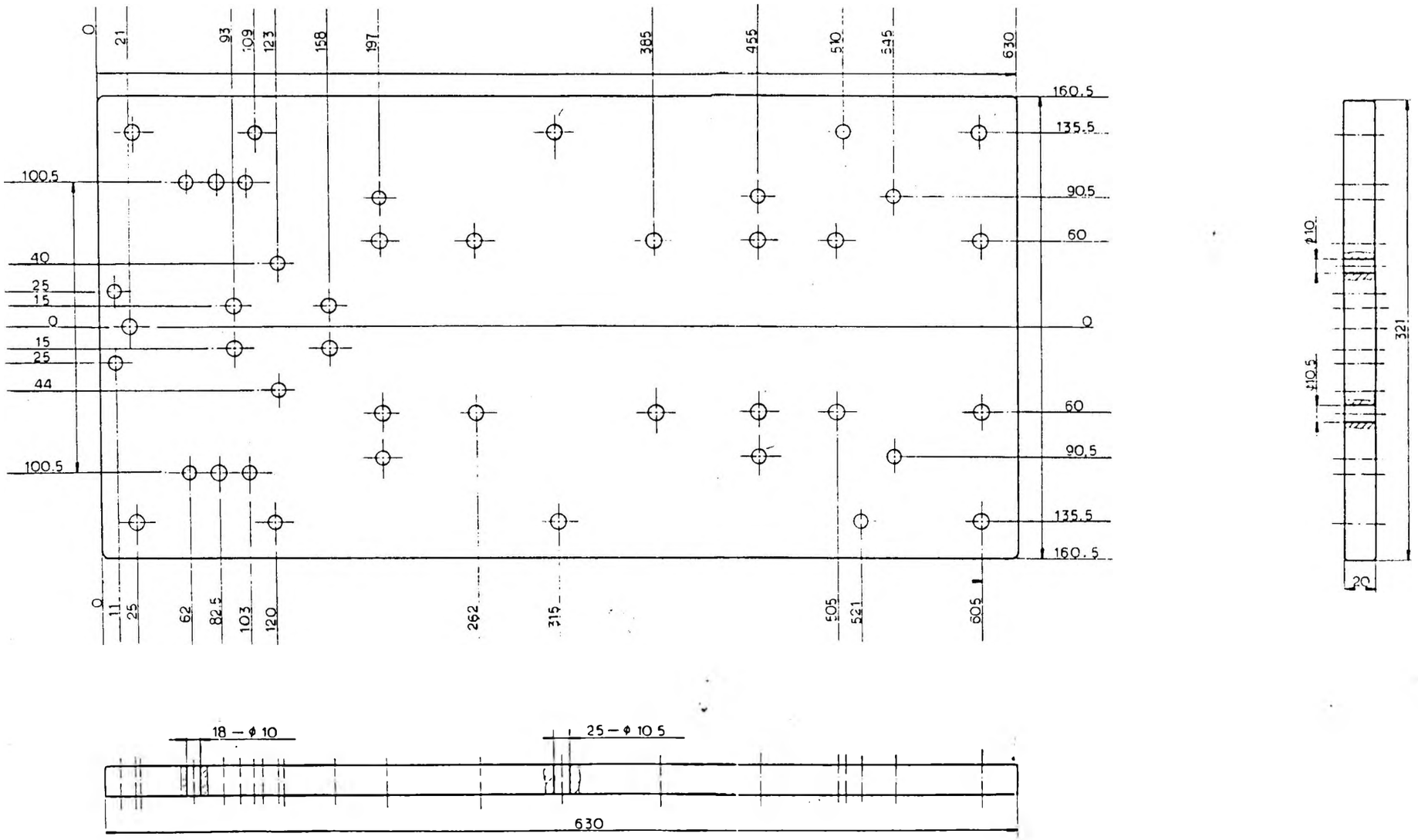
รูปที่ 3.10 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 1 lower plate



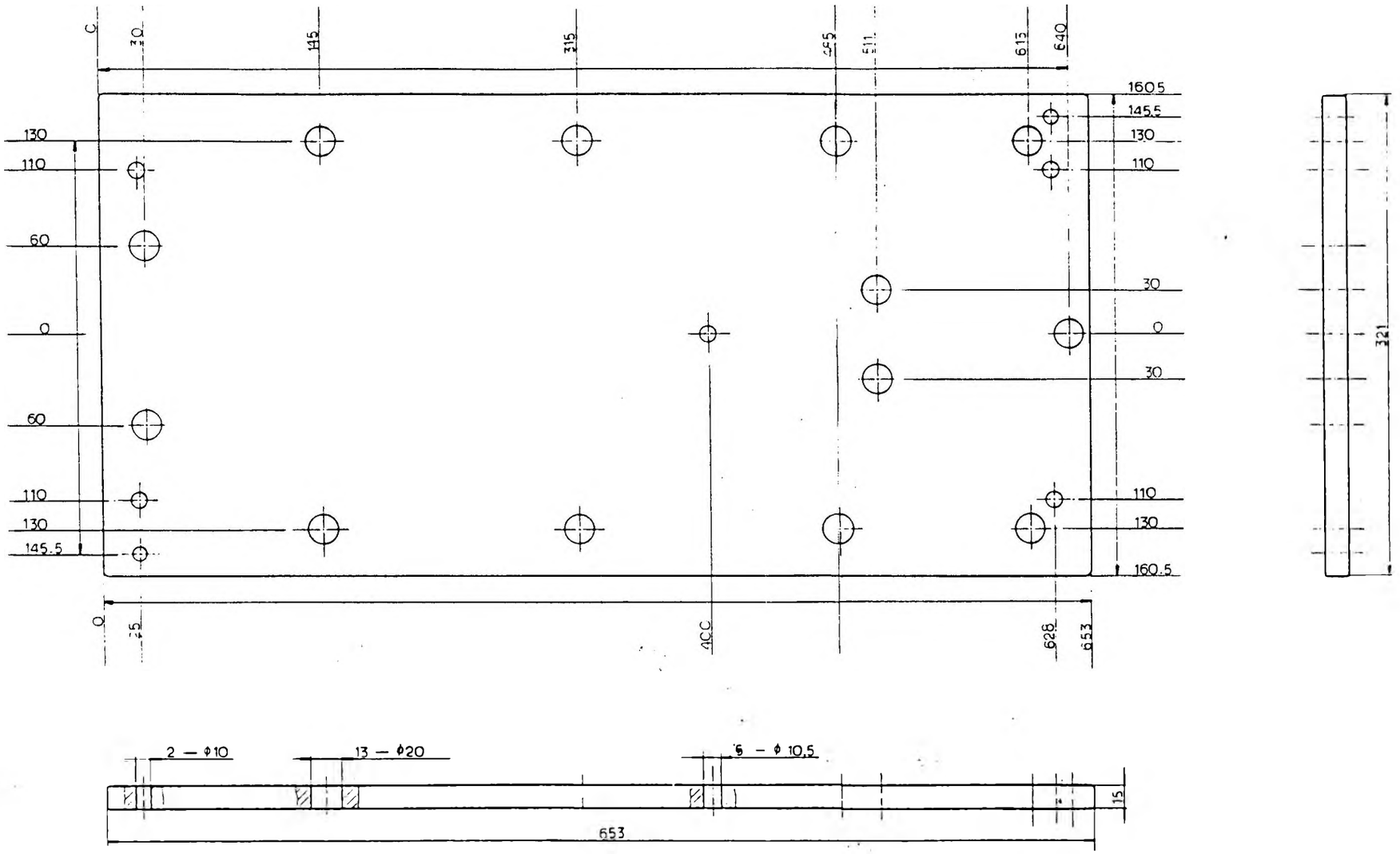
รูปที่ 3.11 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 2 upper plate



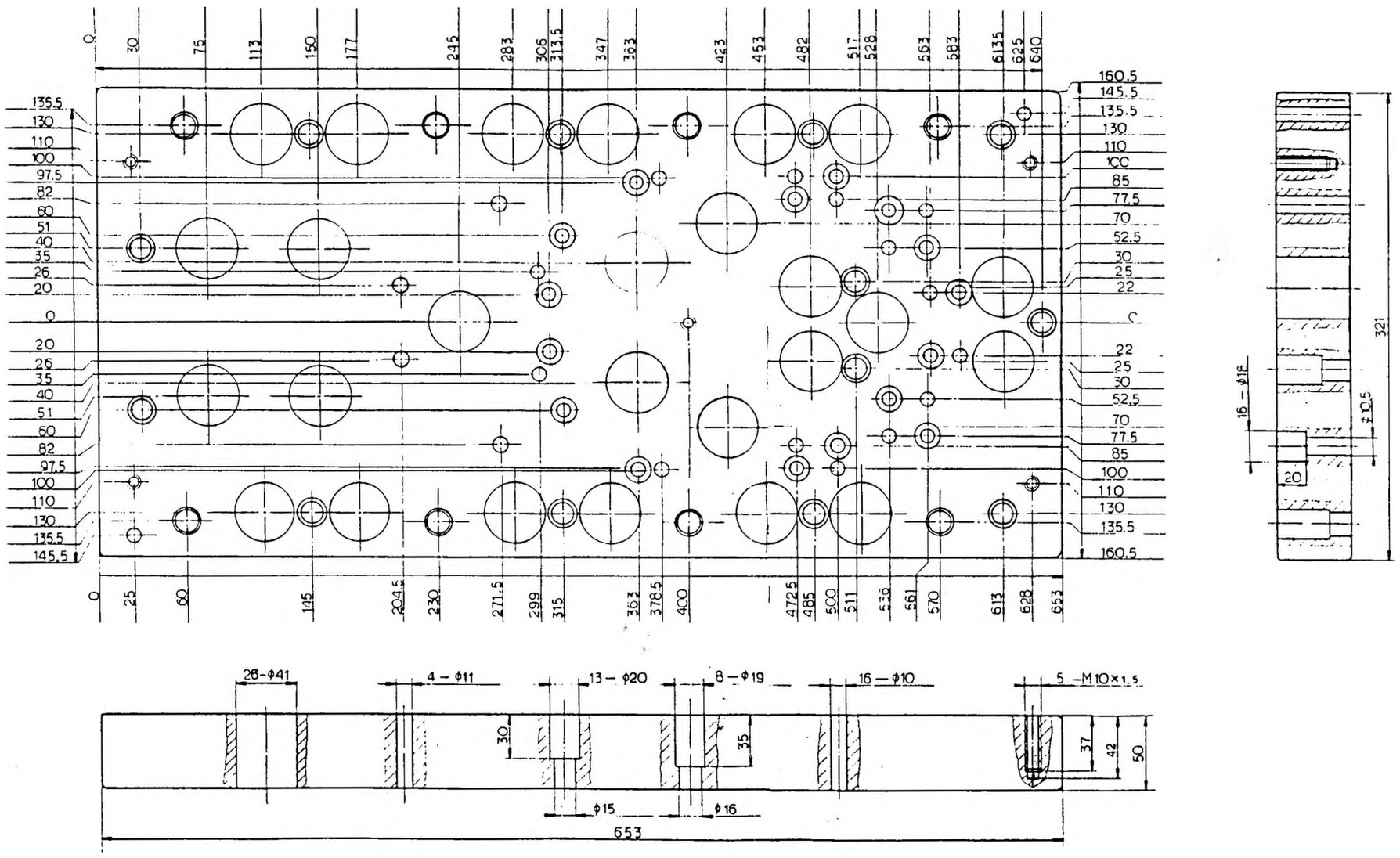
รูปที่ 3.12 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 3 support



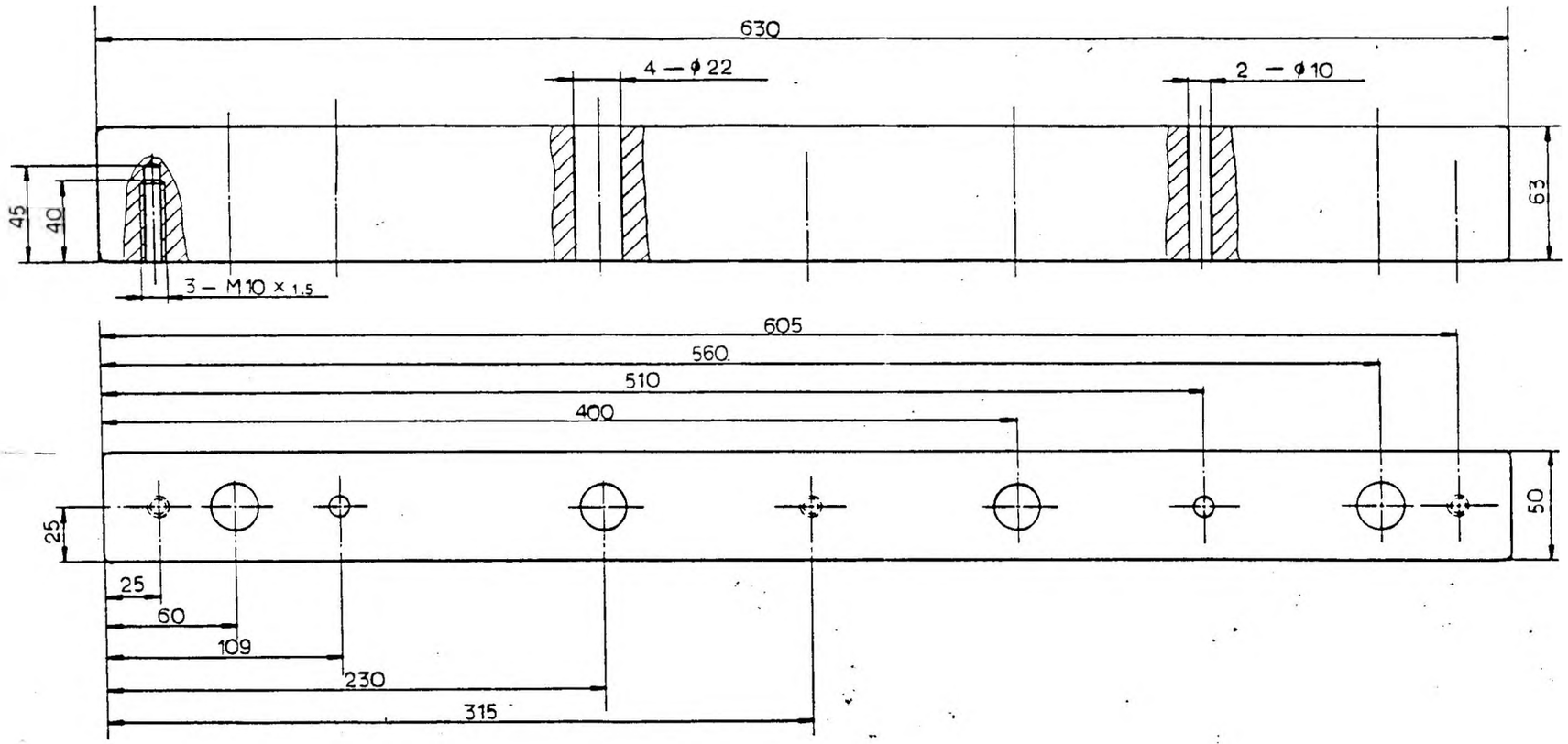
รูปที่ 3.13 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 4 die plate



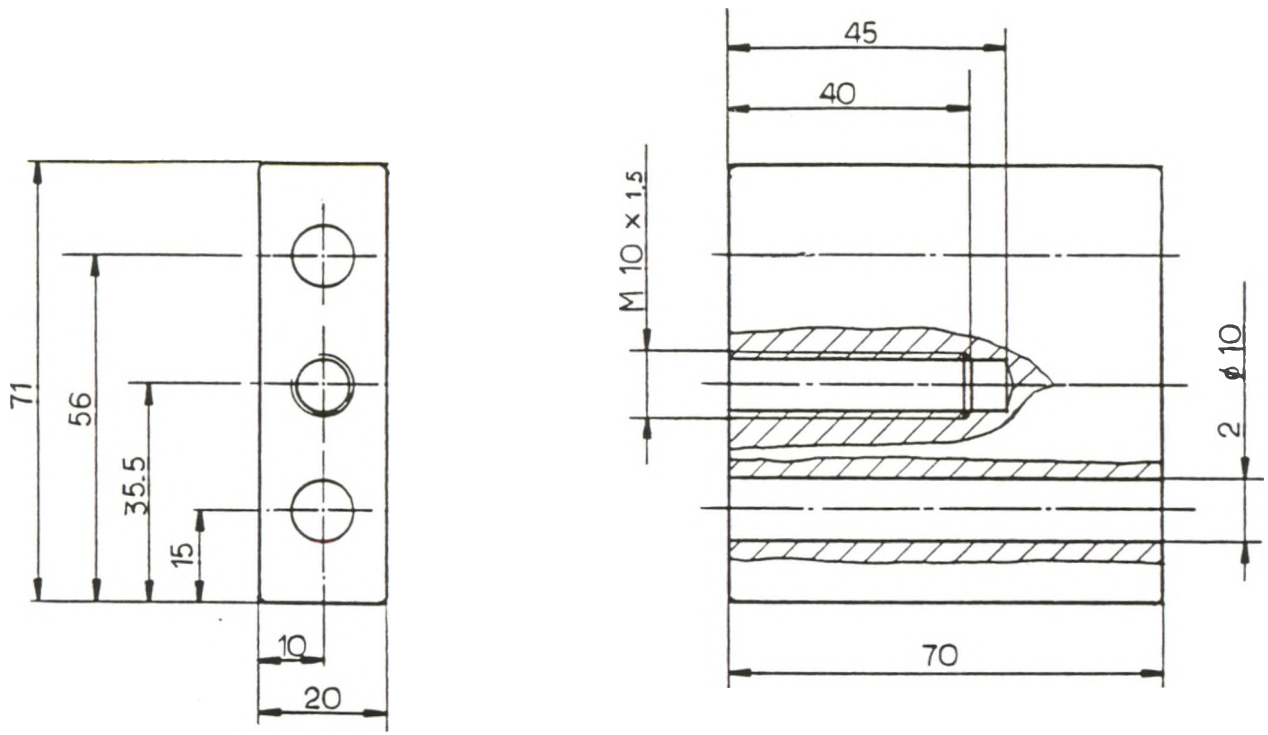
รูปที่ 3.14 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 5 punch plate.



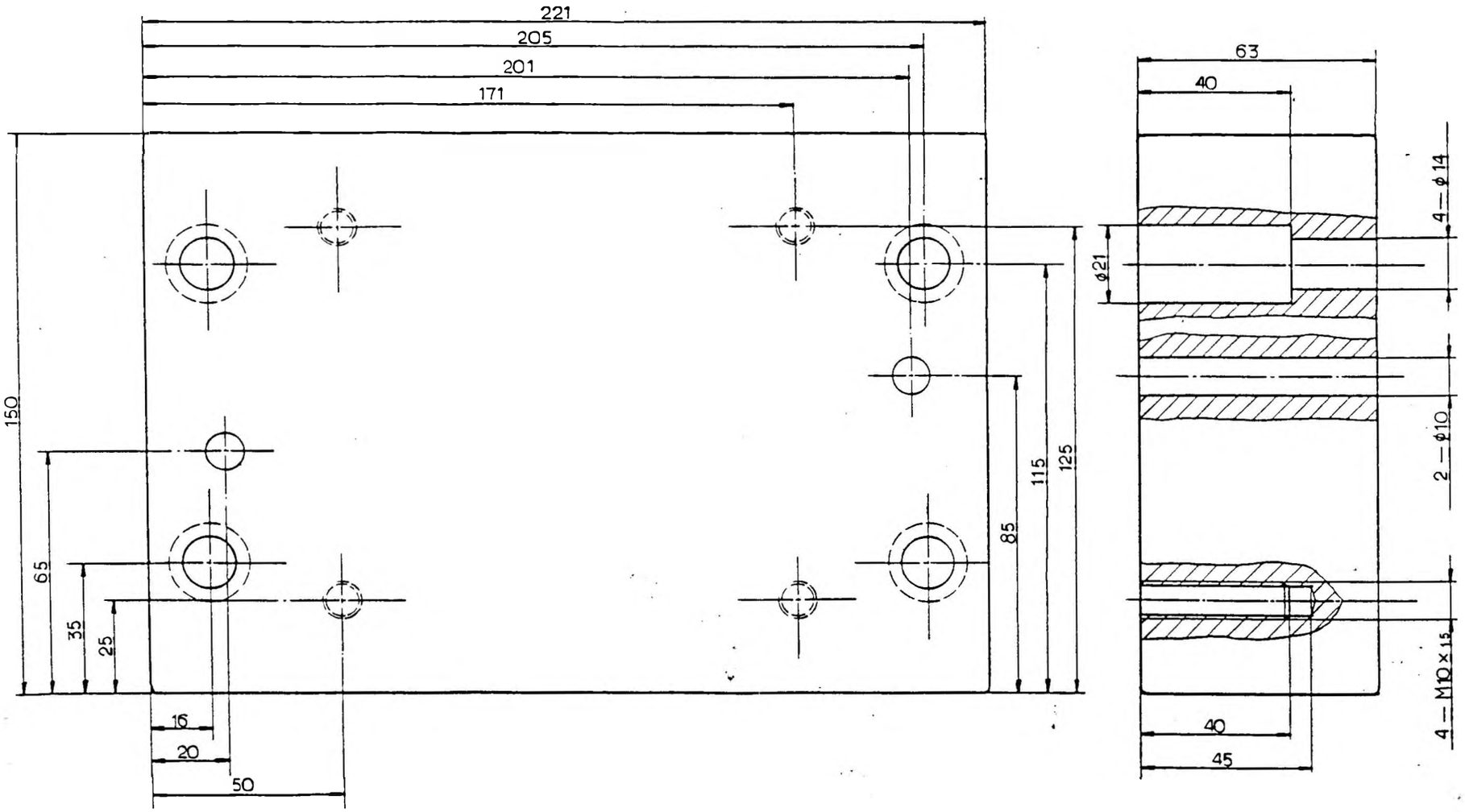
รูปที่ 3.15 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 6 punch plate



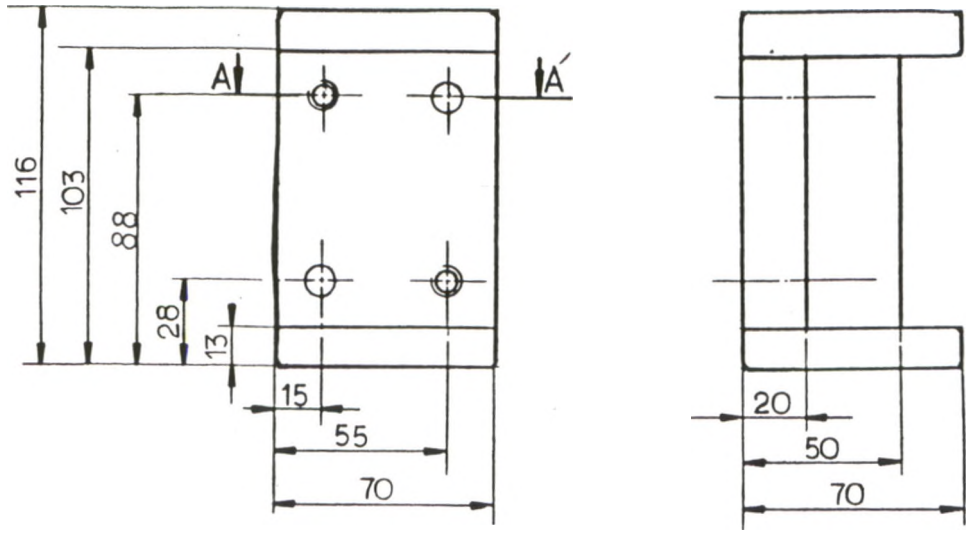
รูปที่ 3.16 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 7 bush plate

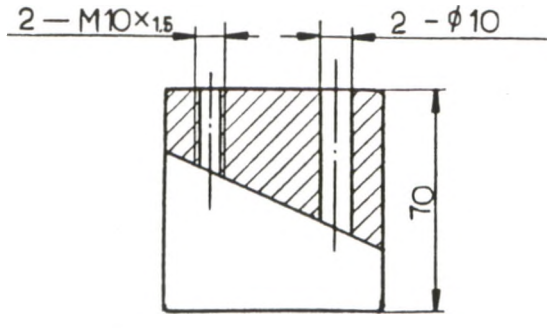


รูปที่ 3.17 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 8 punch locater



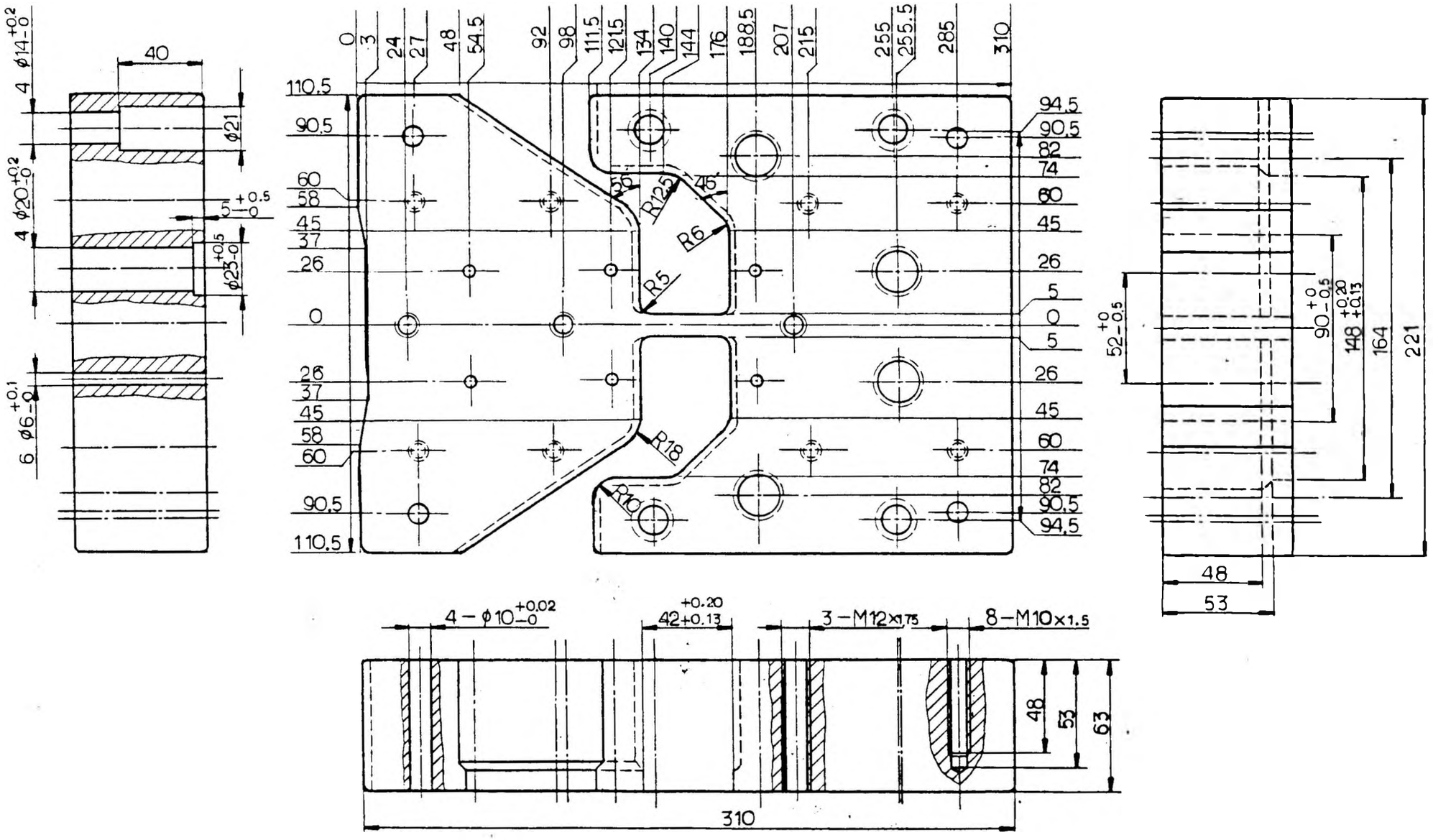
รูปที่ 3.18 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 9 die plate



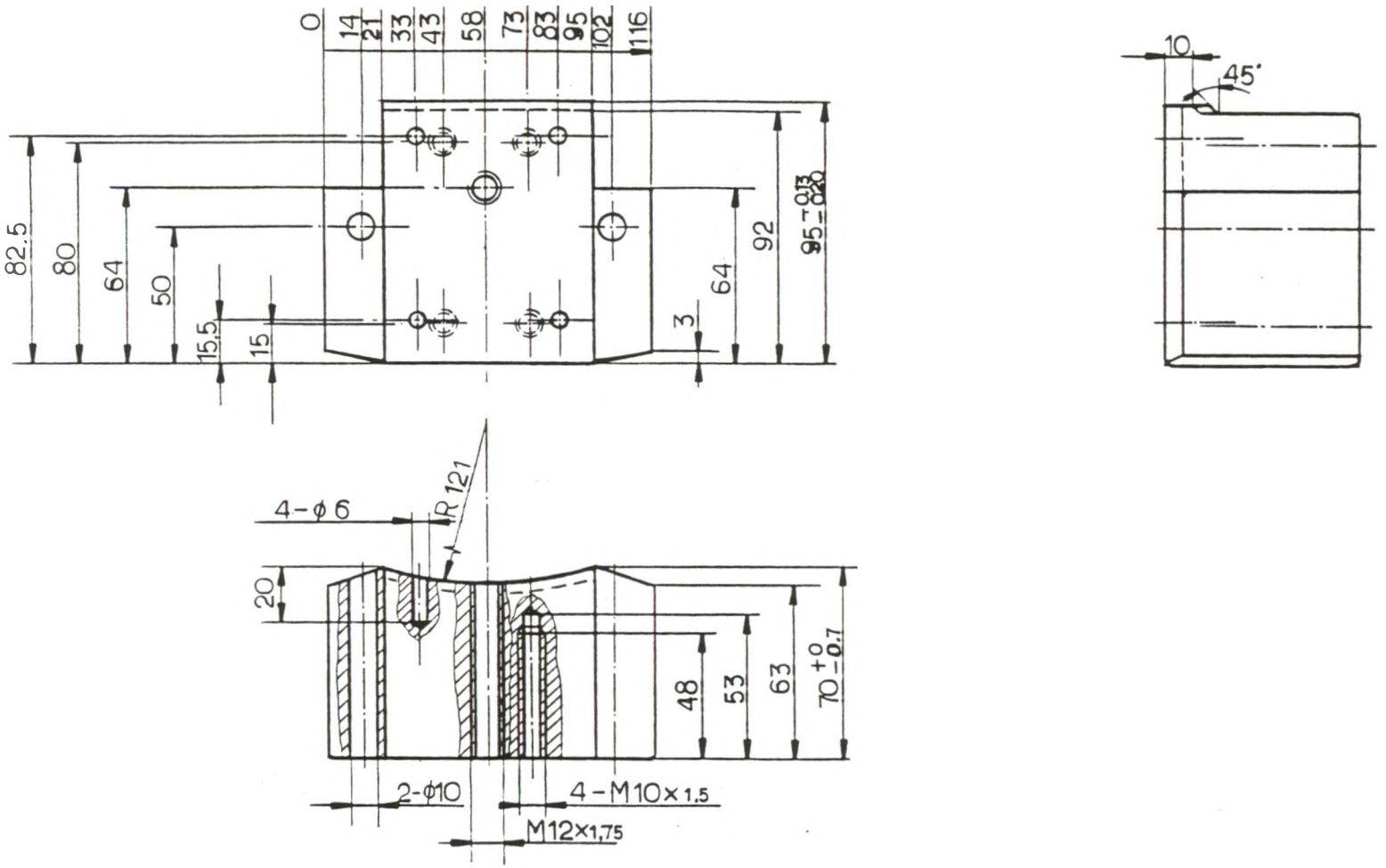


SECTION A - A´

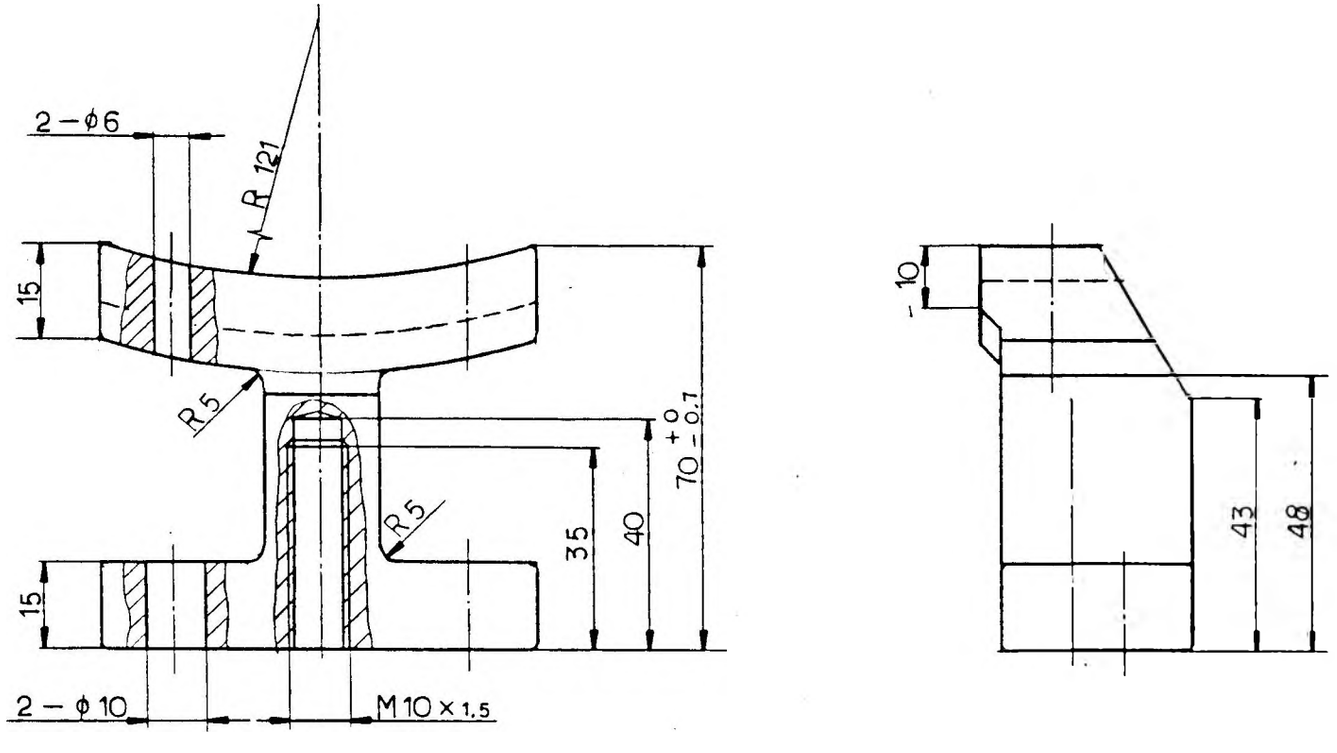
รูปที่ 3.19 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 10 follow plate

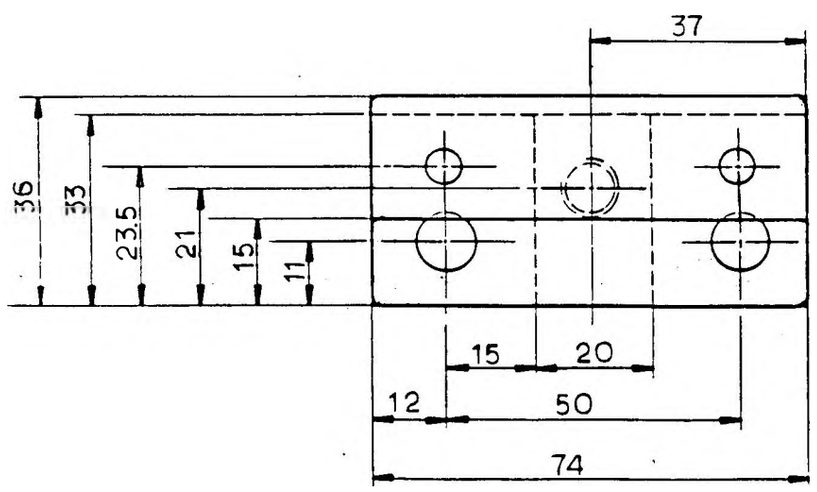


รูปที่ 3.20 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 11 die

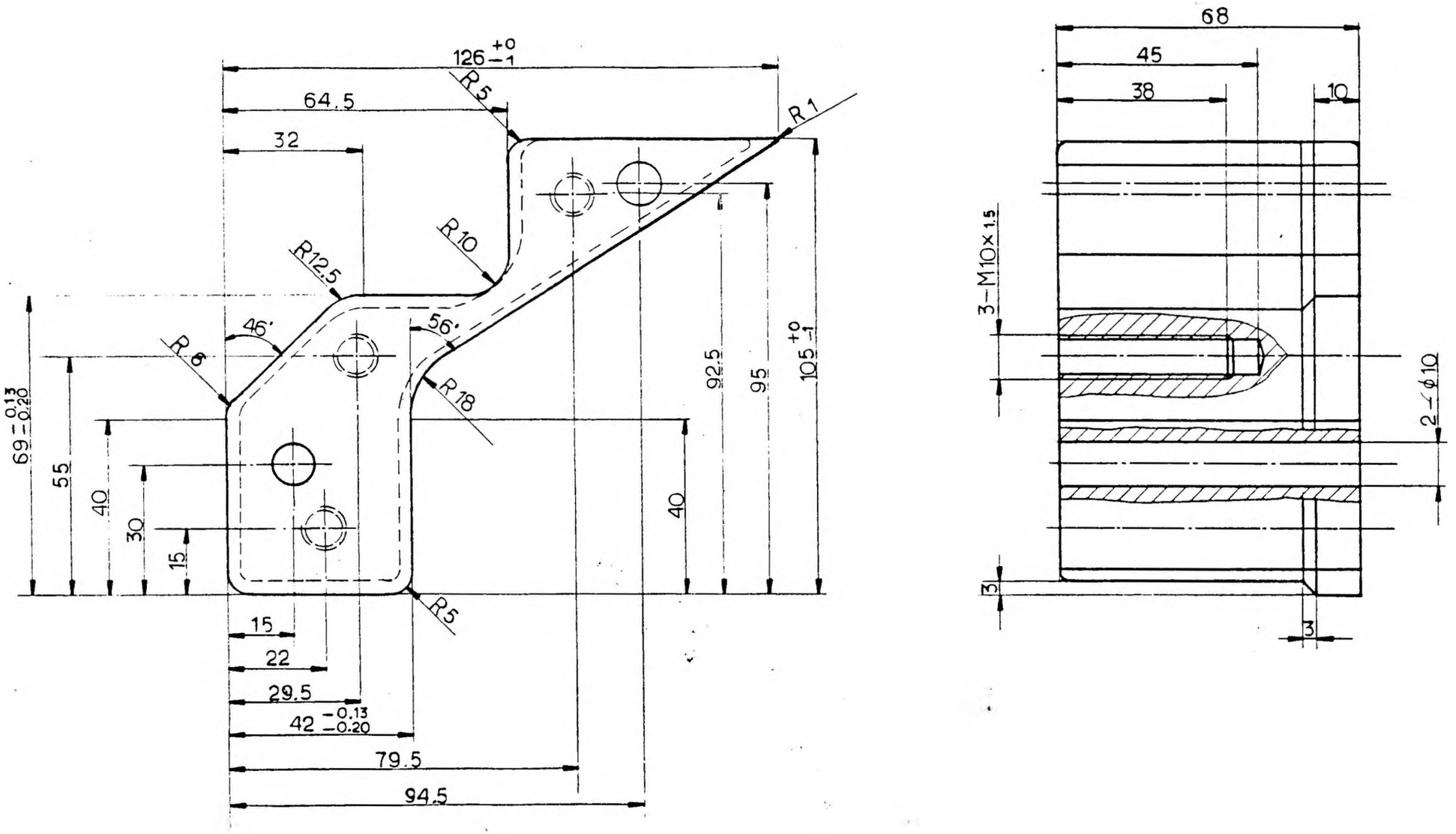


รูปที่ 3.21 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 12 die

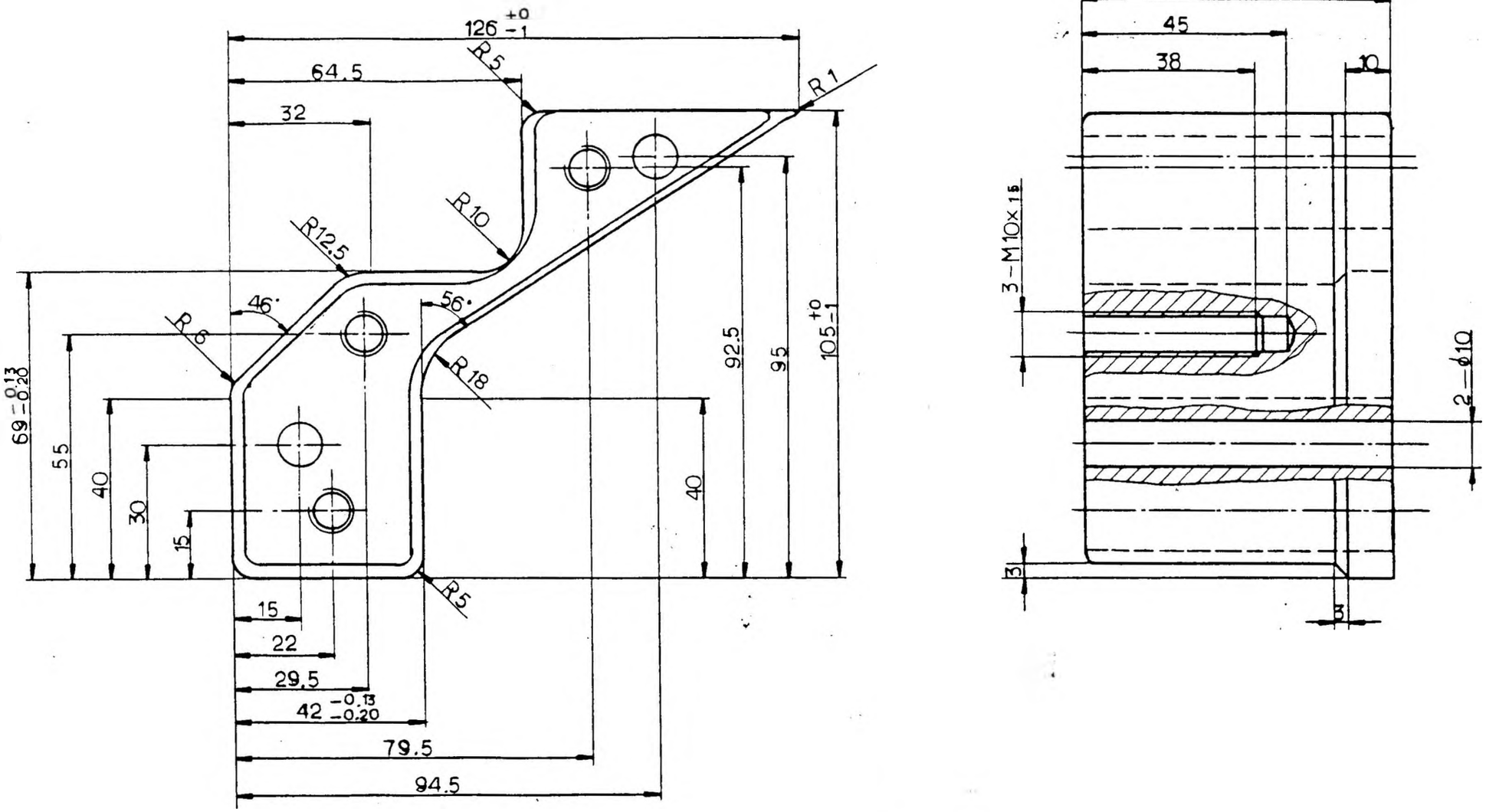




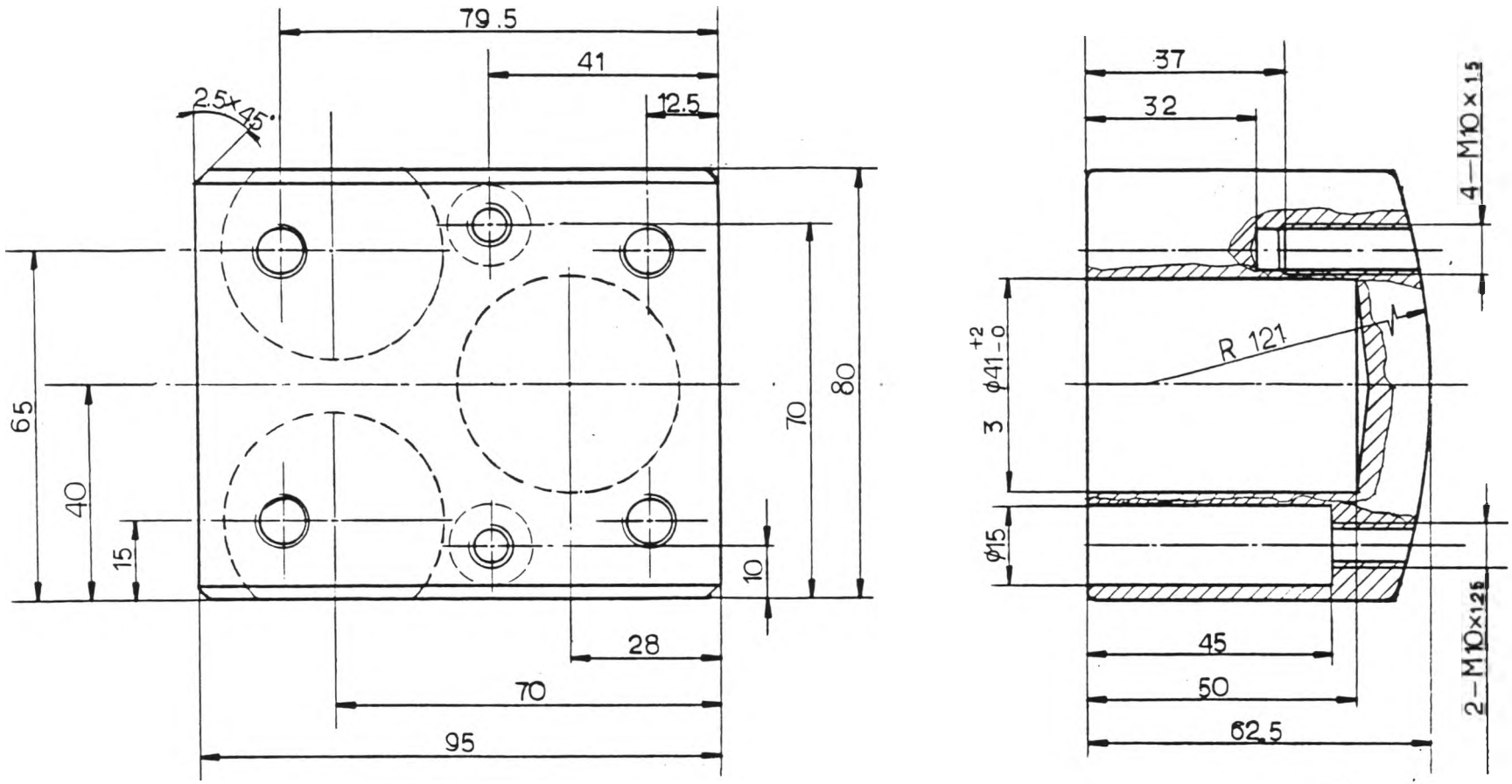
รูปที่ 3.22 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 13 die



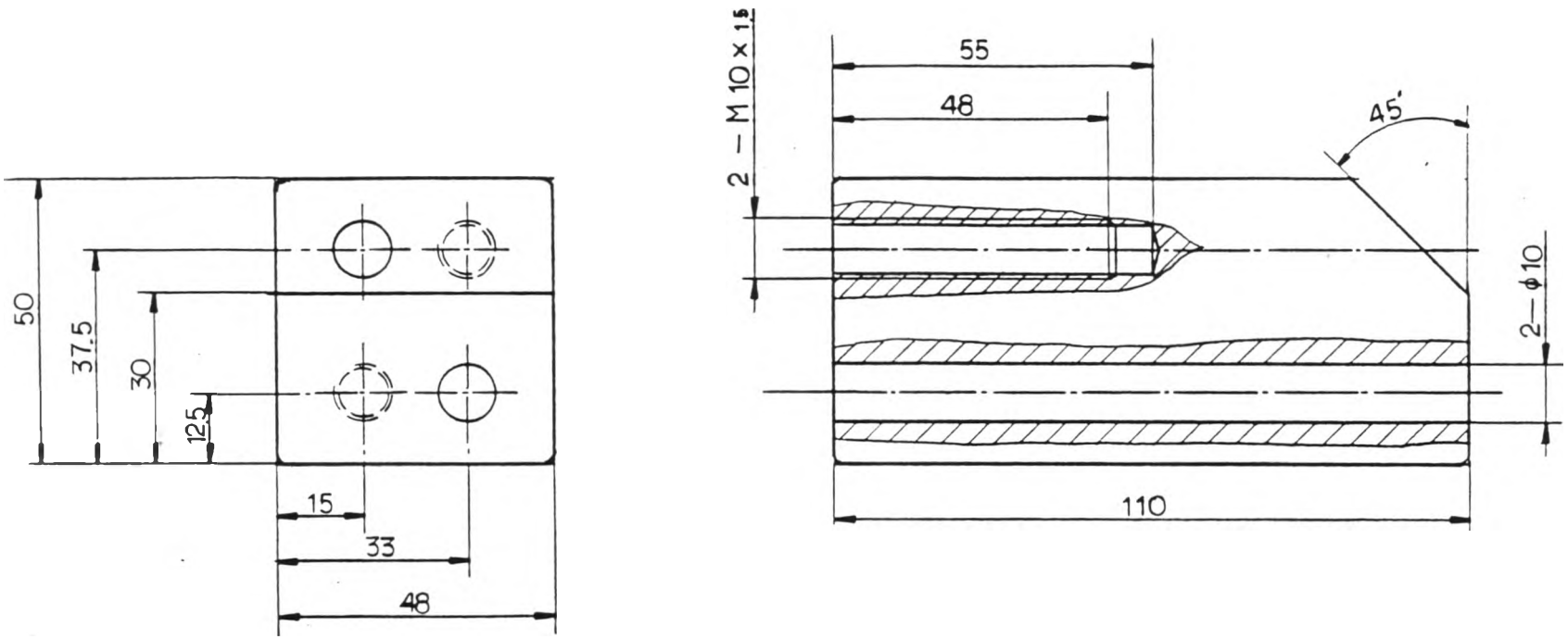
รูปที่ 3.23 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 14 punch left.



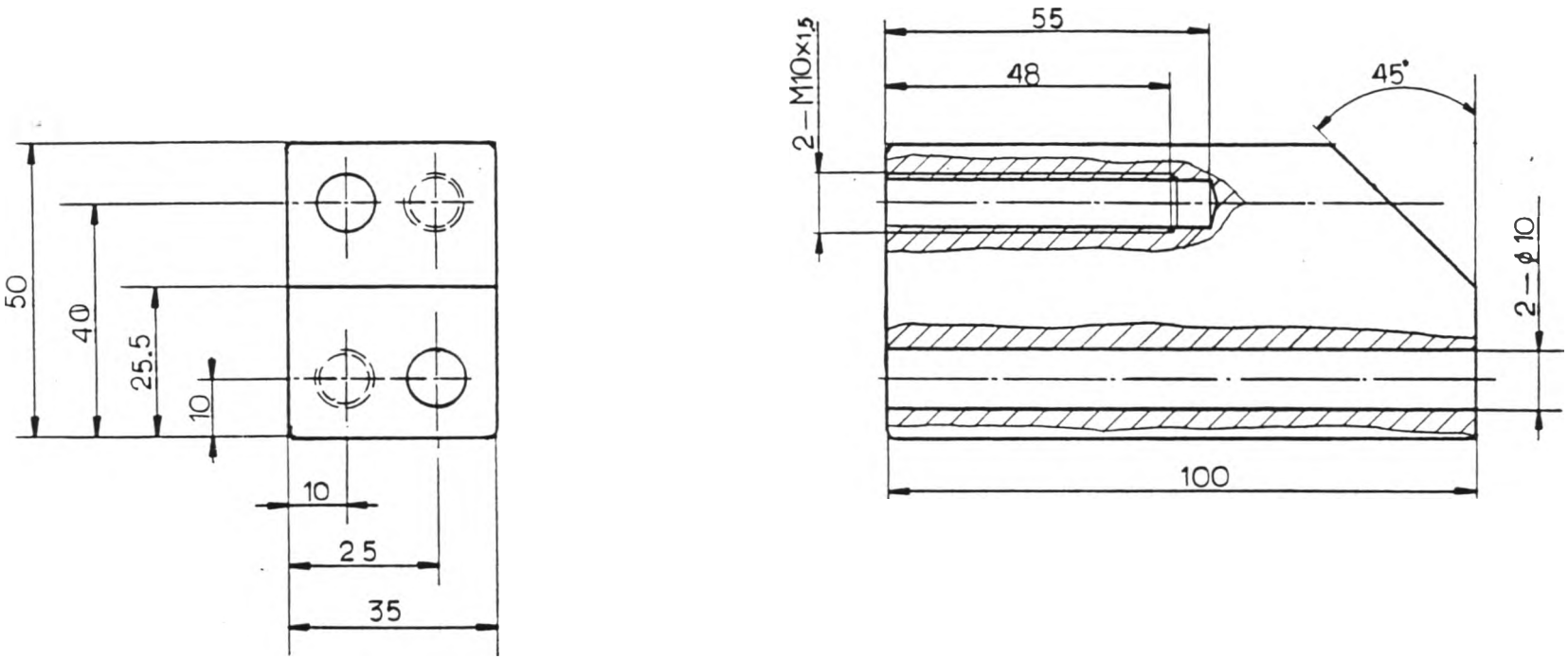
รูปที่ 3.24 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 14 punch right



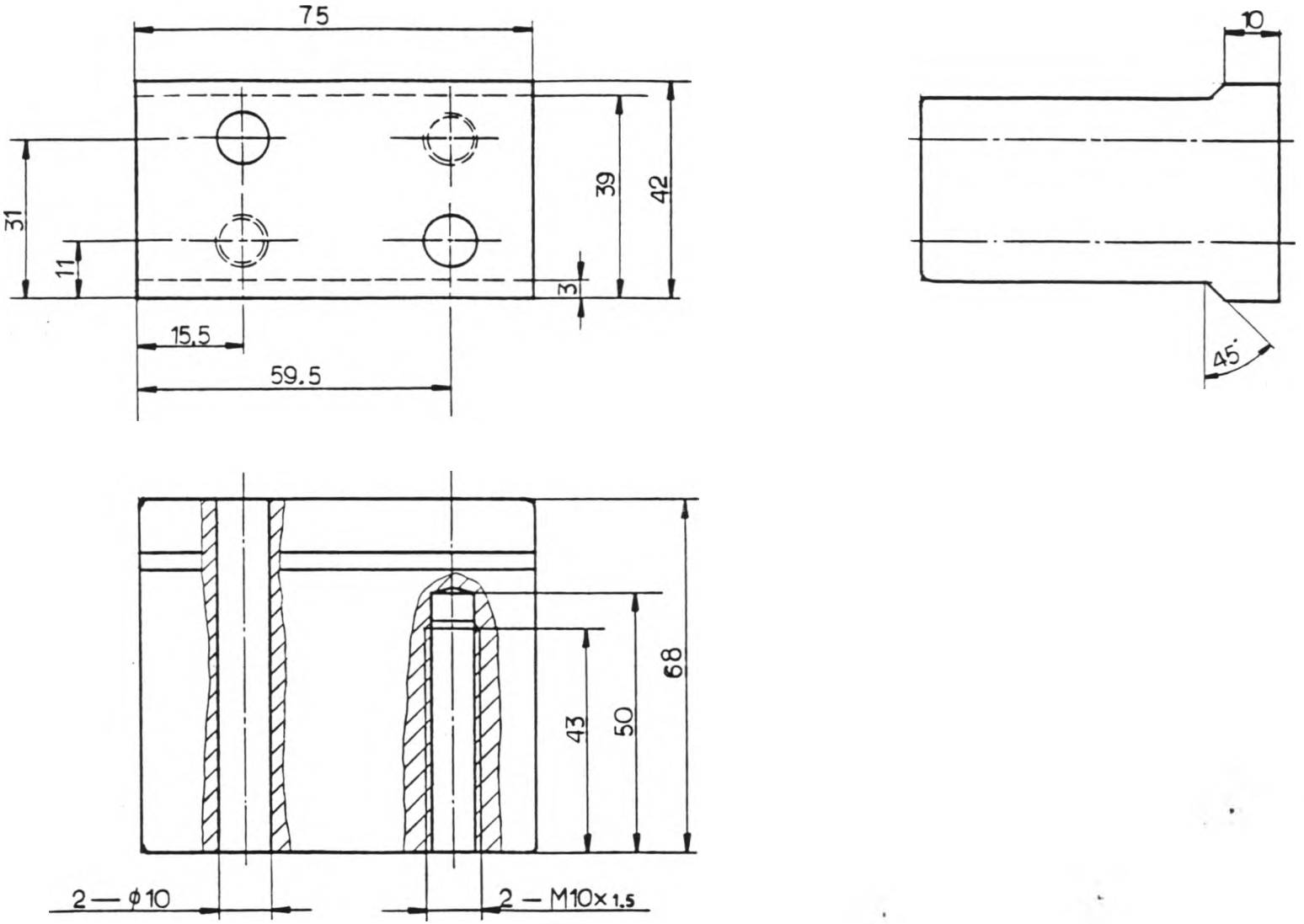
รูปที่ 3.25 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 15 punch



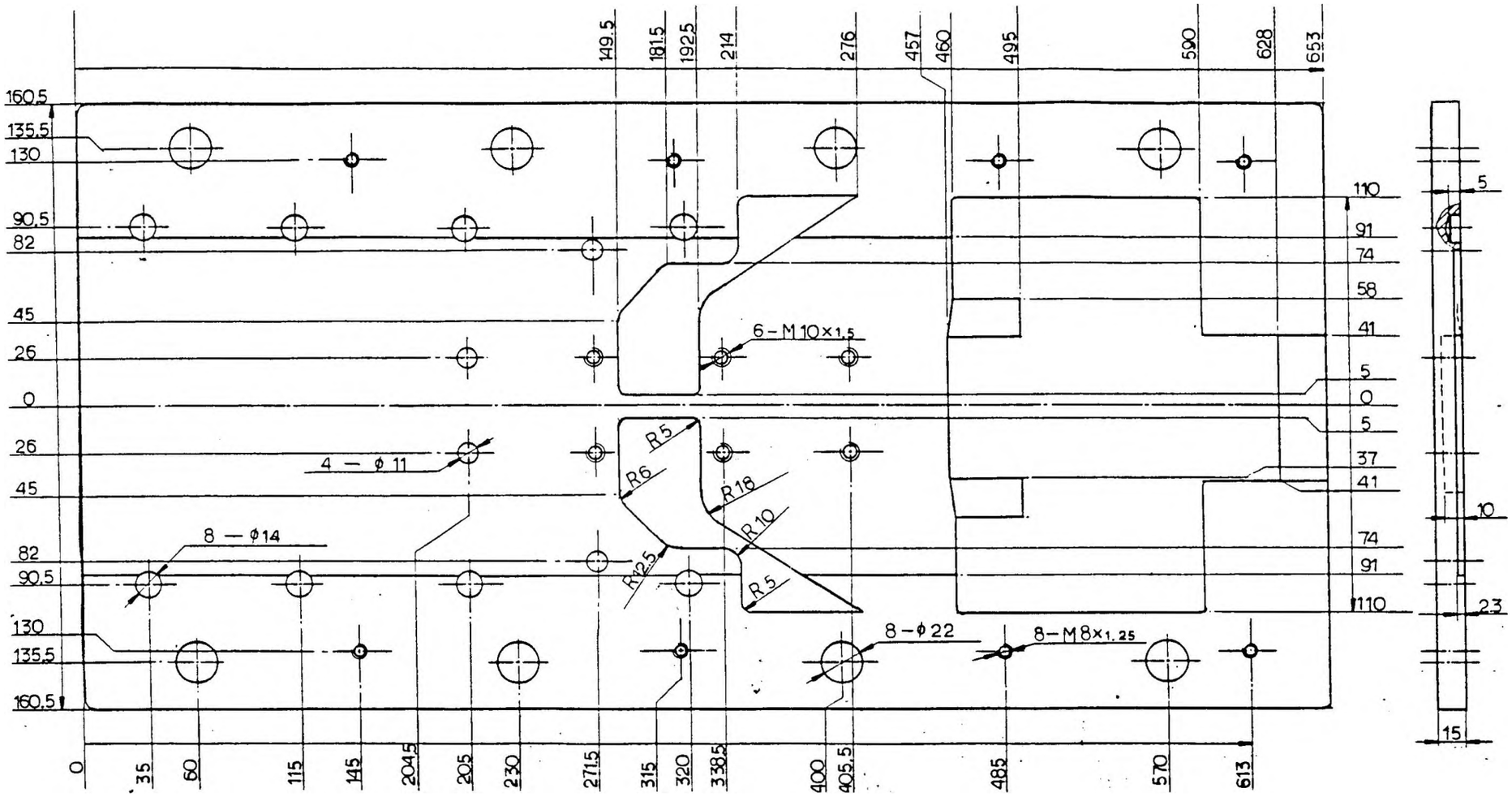
รูปที่ 3.26 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 16 punch



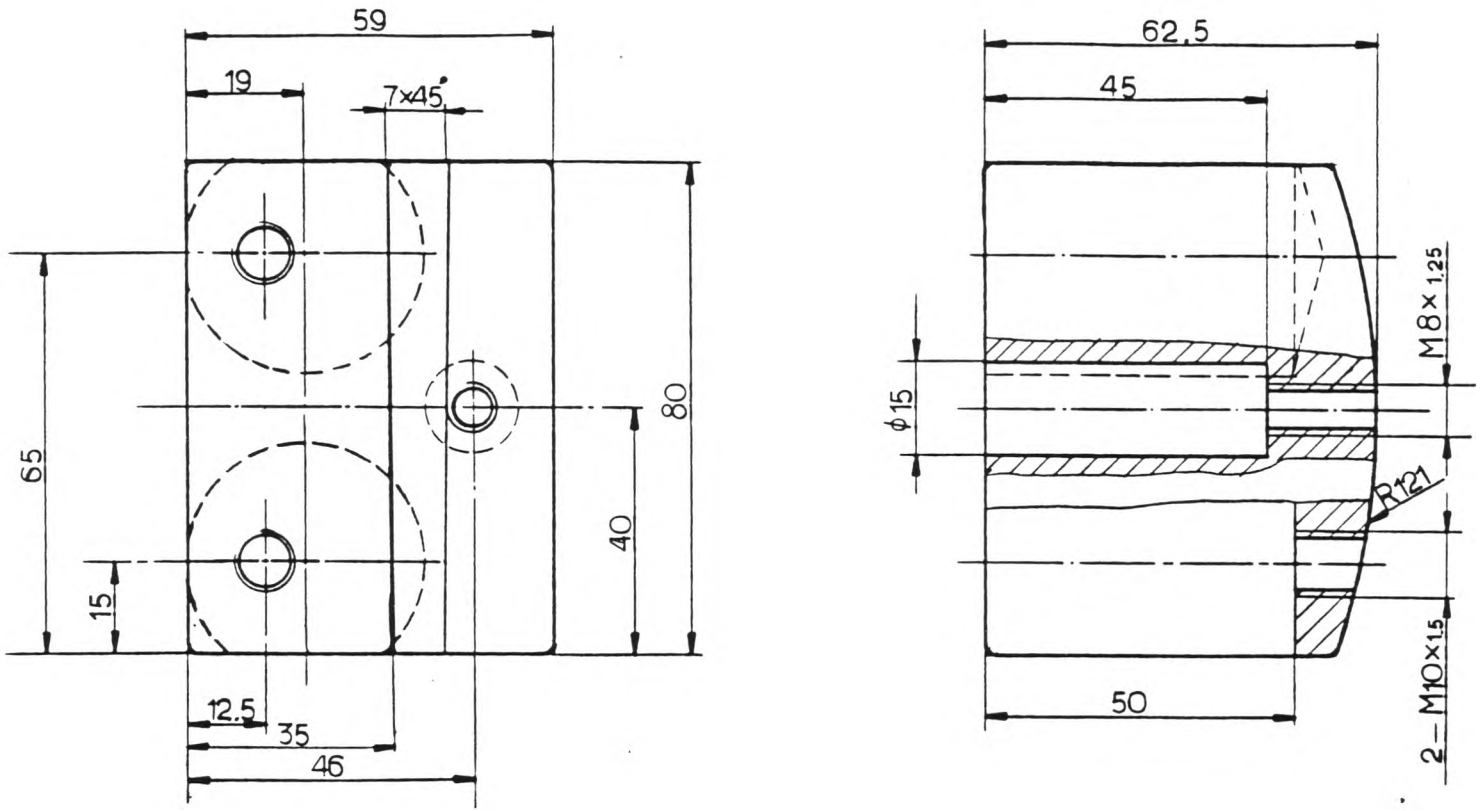
รูปที่ 3.27 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 17 punch



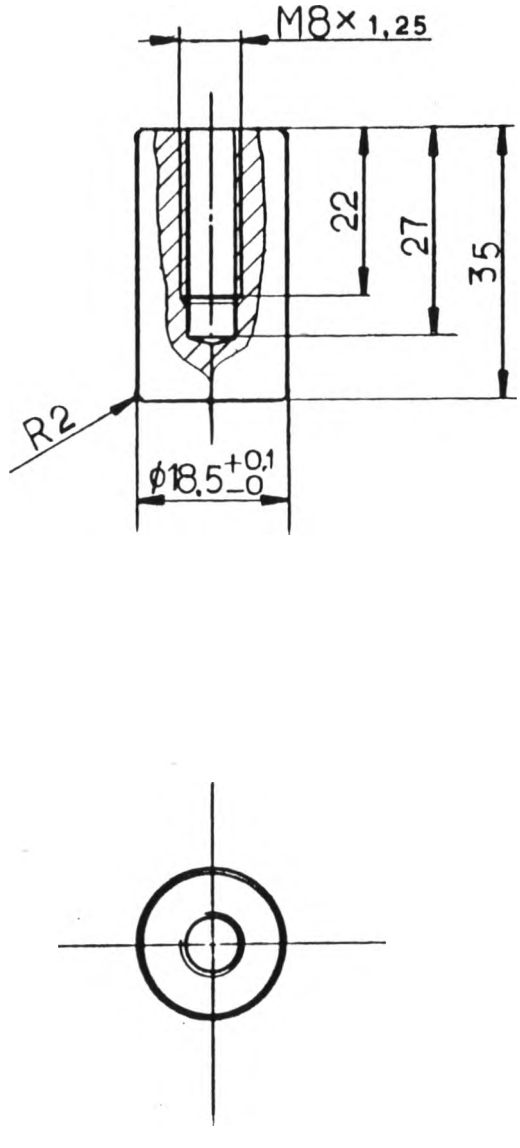
รูปที่ 3.28 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 18 punch



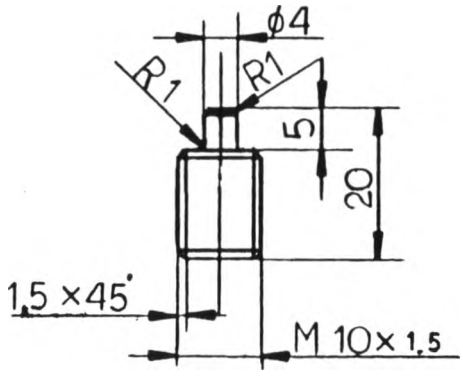
รูปที่ 3.29 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 19 pad

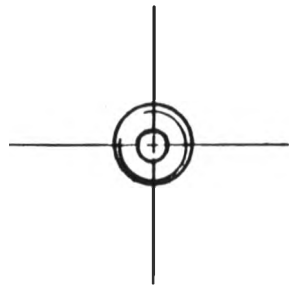


รูปที่ 3.30 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 20 pad

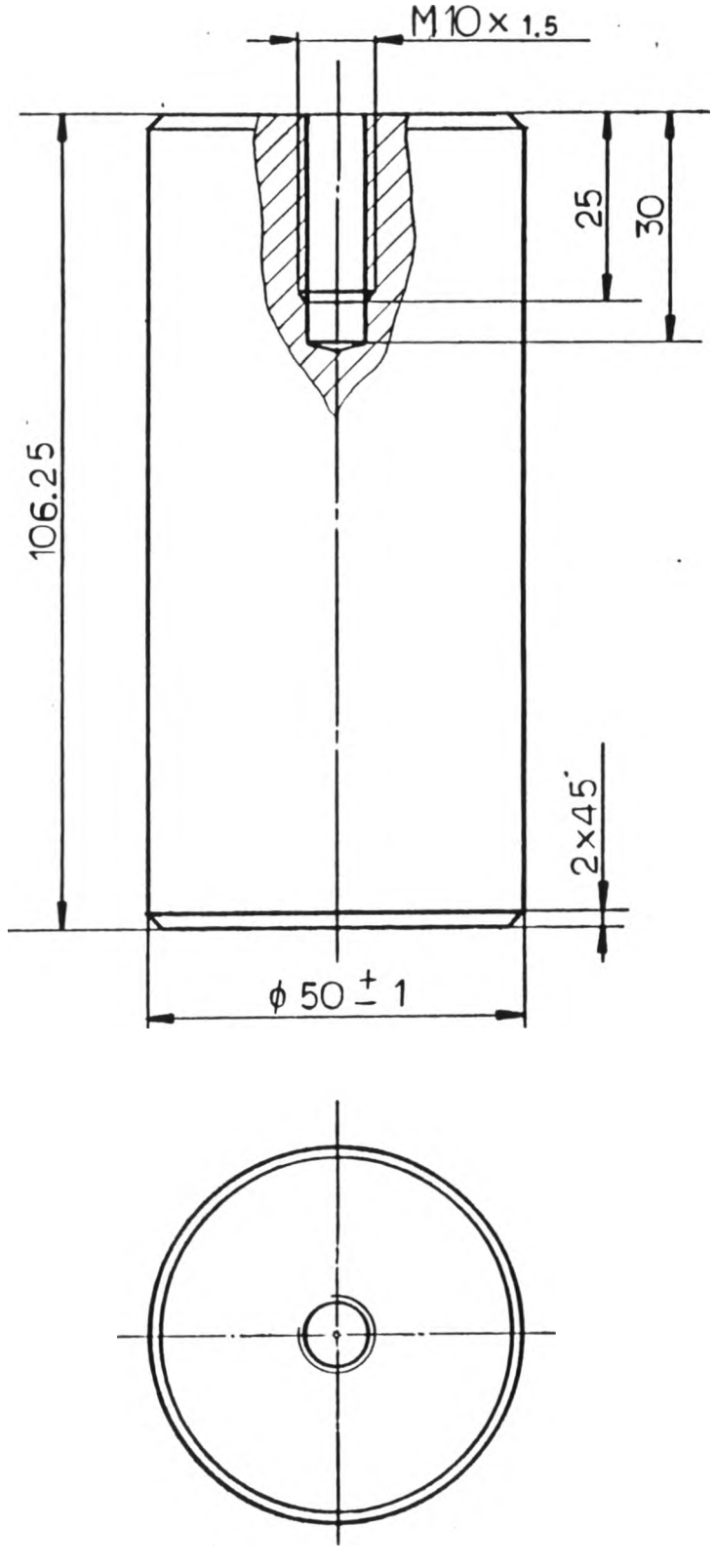


รูปที่ 3.31 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 40 support guidepin

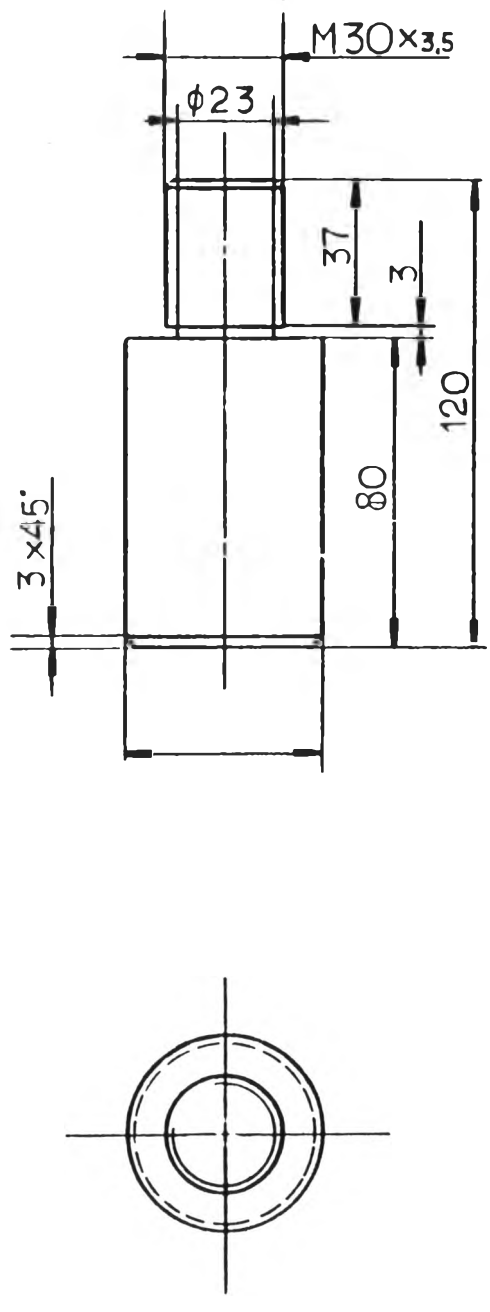




รูปที่ 3.32 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 41 pilot punch



รูปที่ 3.33 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 42 stopper pin



รูปที่ 3.34 แสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ Progressive Die หมายเลข 43 shank