

การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์อีควัลแชนแนลแองกูลาร์เพรสซิ่งพร้อมตัวจับยึด

DESIGN AND FABRICATION OF EQUAL CHANNEL ANGULAR PRESSING
(ECAP) DIE AND FIXTURE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์อีควัซเซลเนลแองกูลาร์เพรซซึ่งพร้อมตัวจับยึด



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design and Fabrication of Equal Channel Angular Pressing
(ECAP) Die and Fixture



Chanatip Mongkoltanatrakool

Priyanan Natthanichakorn

Panithan Veeratanaporn

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2565

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์อีควัลแชนแนลแองกูลาร์เพรสซึ่งพร้อมตัวจับยึด

Design and Fabrication of Equal Channel Angular Pressing (ECAP) Die and

Fixture

ผู้จัดทำ

1. ชนาธิป มงคลธนะตระกูล รหัสประจำตัว 62010157
2. ปรียพันธ์ ญัฏฐนิชากร รหัสประจำตัว 62010540
3. ปณิธาน วีระนาภรณ์ รหัสประจำตัว 62011309

จิตกรณ

(ผศ.ดร.จิตกรณ วังงาม)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์อีควัลแชนแนลแองกูลาร์เพรสซิ่งพร้อมตัวจับยึด

ชนาธิป	มงคลธนตระกูล	62010157
ปริญนันท์	ณัฐนิชากร	62010540
ปณิธาน	วีรธนาภรณ์	62011309
ผศ.ดร.จิตรภรณ์ วงศางาม อาจารย์ที่ปรึกษา		
ปีการศึกษา 2565		

บทคัดย่อ

กระบวนการอีควัลแชนแนลแองกูลาร์เพรสซิ่ง (Equal-channel angular pressing, ECAP) เป็นหนึ่งในกระบวนการที่ใช้ในการพัฒนาวัสดุเกรนละเอียด ซึ่งส่งผลดีอย่างมีนัยสำคัญต่อทั้งสมบัติทางกลและทางกายภาพของชิ้นงาน วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือต้องการพัฒนาเครื่องมือสำหรับกระบวนการ ECAP โดยการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ ECAP พร้อมตัวจับยึด ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องปั๊มโลหะที่หาได้ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ ECAP ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบชุดแม่พิมพ์พร้อมตัวจับยึด จากนั้นจึงนำองค์ความรู้ที่ได้มาออกแบบและสร้างชุดแม่พิมพ์พร้อมตัวจับยึด ซึ่งประเภทของแม่พิมพ์ที่เลือกออกแบบเป็น Solid die ที่มีมุม $\phi = 110^\circ$ และ $\psi = 0^\circ$ โดยค่าความแข็งในหน่วย Hardness Rockwell scale C (HRC) ของวัสดุที่ใช้ในการสร้างปลั๊นเจอร์และแม่พิมพ์จะมีค่าไม่ต่ำกว่า 55 โดยหลังจากที่ชุดแม่พิมพ์สร้างเสร็จแล้ว ได้นำไปทดสอบกับชิ้นงานโลหะ พบว่าผลที่ได้ไม่เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ที่ไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้

Design and Fabrication of Equal Channel Angular Pressing (ECAP) Die and Fixture

Chanatip Mongkoltanatrakool 62010157

Priyanan Natthanichakorn 62010540

Panithan Veeratanaporn 62011309

Assoc.Prof. Dr. Jittraporn Wongsan-Ngam Advisor

Year 2022

ABSTRACT

Equal-channel angular pressing (ECAP) is one of the severe plastic deformation (SPD) processes that can produce ultrafine-grained material. It has a significant positive impact on mechanical and physical properties. The objective of this research is to design and fabricate ECAP die and fixture to apply with a pressing machine in the commercial industry. Starting with studying the theory and research related to die design and including learning about the ECAP processing and then the acquired knowledge was applied to design Die, Plunger, Jig and Fixture. The type of die design is a solid die with a channel angle of $\Phi = 110^\circ$, with an outer angle of curvature of $\Psi = 0^\circ$. The hardness in Rockwell scale C (HRC) of the material used to produce die and plunger is not less than 55. After fabricating the die set, a specimen was used to test the die. Expectations weren't met by the outcome. This may be due to the die manufacturing process not meeting the design requirements.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างสูงจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิตรารภรณ์ วงศางาม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ และคอยให้คำแนะนำ ในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนกระทั่งลุล่วงไปได้ด้วยดีตลอดระยะเวลาดำเนินงาน

ขอขอบพระคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ที่สนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์เพื่อใช้ในการศึกษา

ขอขอบพระคุณเพื่อนที่ร่วมกันสร้างวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงตามเป้าหมาย รวมทั้งเพื่อนร่วมสาขาวิศวกรรมเครื่องกลที่คอยให้การสนับสนุนเรื่องต่างๆ และบุคลากรของตีวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิทยานิพนธ์

ท้ายที่สุดนี้ คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงมีประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจไม่มากนักน้อย หากมีข้อผิดพลาดประการใด ทางคณะผู้จัดทำต้องขออภัยมา ณ ที่นี้

ชนาธิป มงคลธนตระกูล
ปริญญ์ ณีฐฐนิชากร
ปณิธาน วีรธนาภรณ์

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.8 อุปกรณ์สำหรับยึดงาน	20
2.1.8.1 สกรูหัวรูปหมวก	20
2.1.8.2 แป้นเกลียวและแหวนรอง	20
2.1.8.3 สลักเกลียวและแป้นเกลียว	21
2.1.8.4 สลักเดือยของจิ๊ก	21
2.1.9 การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์ให้ประหยัด	22
2.1.9.1 การออกแบบให้ง่าย	22
2.1.9.2 การใช้วัสดุที่ทำเตรียมไว้แล้ว	22
2.1.9.3 ส่วนประกอบที่เป็นมาตรฐาน	22
2.1.9.4 การทำงานต่อเนื่อง	22
2.1.9.5 ค่าความเผื่อและความผิดพลาดที่ยอมรับได้	23
2.1.9.6 การเขียนแบบที่ไม่ยุ่งยาก	23
2.1.10 เครื่องอัตโนมัติ	23
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	29
3.1 ศึกษาข้อมูลและองค์ประกอบของแม่พิมพ์	29
3.1.1 ชุดแม่พิมพ์ (Die set)	29
3.1.2 ประเภทของแม่พิมพ์	30
3.2 ศึกษาข้อมูลของชิ้นงานที่ต้องการนำมาทำกระบวนการ ECAP	31
3.3 ศึกษาข้อมูลวัสดุที่จะนำมาสร้างแม่พิมพ์และปลั๊กเจอร์	31
3.4 อุปกรณ์เสริม	32
3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้วัดแรง	32
3.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้วัดระยะ	33
3.5 การศึกษาลักษณะทางเรขาคณิตของชุดแม่พิมพ์	33
3.5.1 การเลือกค่ามุม ϕ	33
3.5.2 การเลือกค่ามุม ψ	34
3.6 กรรมวิธีการผลิตแม่พิมพ์และปลั๊กเจอร์	35
3.6.1 วัสดุที่ใช้	35
3.6.2 ขั้นตอนในการผลิตแม่พิมพ์	35
3.6.3 ขั้นตอนในการผลิตปลั๊กเจอร์	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7 การเตรียมชิ้นงานก่อนเข้ากระบวนการ ECAP	40
3.7.1 ลักษณะชิ้นงาน (Billet)	40
3.7.2 กระบวนการตัดแบ่งชิ้นงาน	40
3.7.3 กระบวนการอบชิ้นงาน (Process Annealing)	40
3.7.4 ตัวแปรในการทดสอบชิ้นงาน	41
3.7.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	42
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	44
4.1 การเลือกเครื่องปั๊มโลหะ (Pressing Machine)	44
4.2 การออกแบบแม่พิมพ์ (Die)	45
4.3 การออกแบบปลันเจอร์ (Plunger)	47
4.4 การเลือกอุปกรณ์เสริม	49
4.4.1 อุปกรณ์วัดแรง (Load Cell)	49
4.4.2 อุปกรณ์วัดระยะ (Displacement Sensor)	50
4.4.3 อุปกรณ์กำหนดตำแหน่ง (Gulde Post)	50
4.5 การออกแบบชุดแม่พิมพ์ (Die Set)	52
4.6 การประกอบชุดแม่พิมพ์	63
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทาง	66
4.8 ชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง	70
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	71
5.1 สรุปผลการออกแบบ	71
5.2 สรุปผลการทดลอง	72
5.3 วิจารณ์ผลการทดลอง	73
5.4 ข้อคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะ	75
บรรณานุกรม	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า	
2.1	หลักการพื้นฐานของกระบวนการ ECAP	6
2.2	ลักษณะเส้นทางการกดพื้นฐานในกระบวนการ ECAP	7
2.3	มุมมอง Slip system บนระนาบ X , Y และ Z	8
2.4	ลักษณะการบิดเบี้ยวที่ถูกต้องแสดงอยู่ในรูปองค์ประกอบของลูกบาศก์	9
2.5	แบบแผนการเฉือนบนระนาบ X,Y และ Z สำหรับแต่ละเส้นทางการกด	10
2.6	โครงสร้างจุลภาคของ Pure Al เมื่อมองจากระนาบ X	11
2.7	โมเดลโครงสร้างจุลภาคเมื่อมองจากระนาบ Y หลังผ่านการกด	12
2.8	Extruding Dies	13
2.9	หลักการของกระบวนการ ECAP	14
2.10	ความแปรผันของ equivalent strain (ϵ_N) กับมุม ϕ	15
2.11	ความสัมพันธ์กันของเครื่องมือตัดกับจิ๊กและฟิกซ์เจอร์	17
2.12	การใช้ตัวกำหนดตำแหน่งแบบลดจุดสัมผัส	18
2.13	การป้องกันการใส่งานผิด	19
2.14	แนวของการเคลื่อนที่	19
2.15	ลักษณะต่างๆของสกรูหัวรูปฉนวน	20
2.16	แป้นเกลียวและแหวนรองแบบต่างๆ	21
2.17	สลักเกลียวและแป้นเกลียวแบบใช้งานพิเศษ	21
2.18	หลักการทำงานของเครื่องอัดไฮดรอลิก	24
3.1	Die set	29
3.2	Solid Die และ Split Die	30
3.3	สมบัติทางกลของ SKD11	32
3.4	ความแปรผันของ equivalent strain (ϵ_N) กับมุม ϕ	34
3.5	โลหะ SKD 11 ที่ถูกตัดให้ได้ขนาดก่อนเริ่มกระบวนการ Machining	35
3.6	เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการกัดนำร่องก่อนกระบวนการเจาะแบบ EDM	36
3.7	เครื่องจักร CNC ที่ใช้ในการกลึงหัวอเล็กโตรดทองแดง	37
3.8	หัวอเล็กโตรดชนิดทองแดงขนาด 10.1 mm	37
3.9	หัวอเล็กโตรดชนิดทองแดงขนาด 10.2 mm	37
3.10	เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการเจาะแบบ EDM	38
3.11	เครื่องจักรที่ใช้ในการกลึงขึ้นรูปปลั๊กเจอร์	39
4.1	เครื่องปั๊มโลหะที่จะนำมาใช้ในกระบวนการ ECAP	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.2	แม่พิมพ์ต้นแบบ	46
4.3	ปลั๊กเจอร์ต้นแบบ	48
4.4	Load Cell ชนิด Pancake Load Cell ที่เลือกใช้	49
4.5	Displacement sensor ชนิด Photoelectric Sensor ที่เลือกใช้	50
4.6	Guide Post ที่เลือกใช้ในการทดลอง	51
4.7	แผนร่างคร่าวๆ ของชุดแม่พิมพ์	52
4.8	ภาพถ่ายของฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 1	53
4.9	ภาพถ่ายของฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 2	54
4.10	ภาพถ่ายของปลั๊กเจอร์	55
4.11	ค่าพิกัดความเผื่อสำหรับงานสวมทั่วไปแบบเพลาคงที่	56
4.12	ความลึกของการขันเกลียวในรูเกลียวตัน	57
4.13	ภาพถ่ายของแม่พิมพ์	58
4.14	ภาพถ่ายของฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 3	59
4.15	ภาพถ่ายของฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 4	60
4.16	ภาพถ่ายของฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 5	61
4.17	ภาพถ่ายของฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 6	62
4.18	ภาพถ่ายของฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 7	63
4.19	การประกอบของชุดแม่พิมพ์	63
4.20	ชุดแม่พิมพ์ที่สร้างเสร็จ	64
4.21	การติดตั้งชุดแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องปั๊มโลหะ	64
4.22	ชุดแม่พิมพ์ที่มีการติดตั้ง Load cell และ Displacement Sensor	65
4.23	การชุปสารหล่อลื่น	65
4.24	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของทองแดงที่ผ่านการกด 1 รอบกับชิ้นดัมมี่ที่ยังไม่ผ่านการกด ครั้งที่ 1	66
4.25	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของทองแดงที่ผ่านการกด 1 รอบกับชิ้นดัมมี่ที่ยังไม่ผ่านการกด ครั้งที่ 2	67
4.26	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของทองแดงที่ผ่านการกด 1 รอบกับชิ้นดัมมี่ที่ผ่านการกด 1 รอบ	68
4.27	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของทองแดงที่ผ่านการกด 2 รอบกับชิ้นดัมมี่ที่ผ่านการกด 1 รอบ	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		
4.28	ชิ้นงานทองแดงที่ผ่านการกัด	หน้า
5.1	ชุดแม่พิมพ์ที่สมบูรณ์พร้อมส่วนประกอบของแม่พิมพ์	70
5.2	ความเสียหายที่ผิวของชิ้นงาน	71
5.3	ความเสียหายที่รูปร่างของชิ้นงาน	73
5.4	ปลั๊กเจอร์ในกระบวนการทดสอบ	73
		74



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	11
3.1	31
3.2	34



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันวัสดุเข้ามามีบทบาทสำคัญในการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การเลือกใช้วัสดุก็เป็นหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ควรคำนึงในการออกแบบชิ้นส่วนและโครงสร้างต่างๆ ซึ่งผู้ออกแบบและผู้ผลิตมักต้องการเลือกวัสดุที่มีสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานให้มากที่สุด โดยทั่วไปวัสดุแต่ละชนิดมักมีข้อดี ข้อด้อยที่แตกต่างกัน ในการออกแบบจึงควรเลือกวัสดุที่ต้องตามความต้องการมากที่สุด ดังนั้นการพัฒนาวัสดุให้มีสมบัติที่ดีพร้อมในหลายๆ ด้านจึงเป็นเหมือนการเตรียมวัตถุดิบคุณภาพเยี่ยมเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

หลักการของวัสดุศาสตร์และวัสดุวิศวกรรมประกอบด้วย 4 องค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ กระบวนการผลิต โครงสร้าง สมบัติวัสดุ และการนำไปใช้ กระบวนการผลิตส่งผลโดยตรงกับโครงสร้างภายในของวัสดุ ซึ่งโครงสร้างภายในนี้เองเป็นตัวกำหนดสมบัติของวัสดุแต่ละชนิด และการนำเลือกวัสดุไปใช้งานก็จะพิจารณาจากสมบัติของวัสดุนั้นๆ เป็นสำคัญ

ขนาดเกรนเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญของโครงสร้างภายในที่กำหนดความแข็งแรงของวัสดุหลายผลึก (Polycrystalline materials) จากความสัมพันธ์ของ Hall-Petch พบว่าถ้าขนาดเกรนของวัสดุลดลงส่งผลให้ความเค้นที่จุดคราก (Yield strength) มีค่าเพิ่มขึ้นหรือวัสดุแข็งแรง ดังแสดงในสมการที่ (1.1)

$$\sigma_y = \sigma_0 + kd^{-1/2} \quad (1.1)$$

เมื่อ σ_y คือความแข็งแรงคราก (yield strength) σ_0 คือค่าคงที่วัสดุที่แสดงถึงความเค้นเริ่มต้นที่ดิสโลเคชันเคลื่อนที่ k คือ strength coefficient และ d คือ ขนาดของเกรน

เทคนิคในการผลิตวัสดุเกรนละเอียด (Ultrafined-grained (UFG) materials) แบ่งออกเป็นสองวิธีหลักๆ คือ “bottom-up” และ “top-down” โดยวิธี “bottom-up” วัสดุอนุภาคเล็กเช่นอนุภาคนาโนจะถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมและผลิตชิ้นงาน วิธีเหล่านี้สามารถผลิตวัสดุที่มีขนาดเกรนที่เล็กมากๆ ถึงระดับนาโน แต่อย่างไรก็ตามแต่วิธีที่ใช้หลักการของ “bottom-up” จะมีข้อเสียอยู่ที่ชิ้นงานที่ผลิตได้อาจจะมีสารเจือปน และอาจจะมีรูพรุนเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต นอกจากนี้วิธีนี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของชิ้นงานที่เล็ก ส่งผลให้การประยุกต์ใช้งานมีข้อจำกัด สำหรับวิธี “top-down” วัสดุเกรนหยาบจะถูกทำให้เป็นวัสดุเกรนละเอียดโดยการใส่แรงกระทำที่รุนแรงเพื่อทำให้เกิดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุ เนื่องจากเทคนิคนี้มีการใส่แรงกระทำที่สูงมากลงในชิ้นงาน ทำให้วิธีนี้ถูกเรียกว่า Severe Plastic Deformation, SPD ลักษณะเด่นของวิธีนี้คือขนาดและรูปร่างโดยรวมของชิ้นงานไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ทำให้เกิดแรง hydrostatic pressure และส่งผลกับโครงสร้างภายในของวัสดุ และเกิดกลไกการเกิดเกรนที่ละเอียดขึ้น ชิ้นงานที่ผลิตโดยหลักการนี้จะไม่มีการเจือปนของอนุภาคอื่น และไม่มีรูพรุนเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต หนึ่งในวิธีของ SPD ที่นิยมแพร่หลายในปัจจุบัน ได้แก่ กระบวนการอีควอลแชนแนลแองกูลาร์เพรสซิ่ง (Equal-channel angular pressing, ECAP) ในกระบวนการ ECAP ชิ้นงานถูกใส่ไปในแม่พิมพ์ (Die) ที่มีรูหน้าตัดคงที่และทำมุมกันอยู่ โดยใช้แรงอัดที่มีค่ามากส่งผ่านตัวกดพลันเจอร์ (Plunger) แรงเฉือนที่เกิดขึ้นที่มุมทำให้โครงสร้างทางจุลภาค (microstructure) ของวัสดุมีการเปลี่ยนแปลง

จากที่กล่าวมาข้างต้นพบว่า หากต้องการพัฒนาสมบัติของวัสดุ สามารถทำได้โดยพัฒนากระบวนการผลิตที่สามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของวัสดุ และถ้าสามารถผลิตวัสดุที่มีเกรนขนาดเล็กหรือค่อนข้างละเอียดจะส่งผลทำให้สมบัติวัสดุมีแนวโน้มดีขึ้น โดยในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการพัฒนาเครื่องมือที่สามารถผลิตวัสดุเกรนละเอียด โดยจะใช้หลักการของกระบวนการ ECAP เนื่องจากมีความน่าจะเป็นในการพัฒนาร่วมกับเครื่องปั๊มโลหะ (Press machine) ที่สามารถหาได้ในภาคอุตสาหกรรมเพื่อเป็นเครื่องต้นกำลังในกระบวนการผลิต

1.2 วัตถุประสงค์

ออกแบบ และสร้างแม่พิมพ์พร้อมอุปกรณ์จับยึดสำหรับผลิตวัสดุเกรนละเอียด ภายใต้หลักการของกระบวนการ ECAP

1.3 สมมติฐาน

สามารถผลิตวัสดุเกรนละเอียดภายใต้หลักการของกระบวนการ ECAP กับเครื่องมือที่พัฒนาและสร้างขึ้นมาโดยใช้งานร่วมกับเครื่องปั๊มขึ้นรูปที่มีอยู่

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. แม่พิมพ์ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ขึ้นรูปที่อุณหภูมิห้อง
2. แม่พิมพ์ถูกออกแบบเพื่อใช้กับชิ้นงานทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm ความยาวประมาณ 70 mm
3. แม่พิมพ์ถูกออกแบบให้สามารถติดตั้งกับ เครื่องปั๊มโลหะในอุตสาหกรรมขนาดไม่เกิน 200 ตัน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. จะมีสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับกระบวนการ ECAP ที่สามารถใช้ผลิตวัสดุเกรนละเอียดและมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ส่งผลให้เราไม่จำเป็นต้องส่งชิ้นงานไปยังต่างประเทศแต่สามารถปรับปรุงสมบัติทางกลของวัสดุให้ดียิ่งขึ้นได้ในประเทศไทย เป็นการช่วยประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต
2. สามารถนำมาต่อยอดได้ในภาคอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวางได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 Ultrafine-grained (UFG) material

Ultrafine-grained materials เป็นวัสดุเกรนละเอียดที่มีขนาดเกรนในระดับไมโครมิเตอร์และนาโนมิเตอร์ วัสดุเกรนละเอียดมีบทบาทมากขึ้นเนื่องจากมีสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับวัสดุเกรนหยาบในวัสดุชนิดเดียวกัน ซึ่งวัสดุเกรนละเอียดสามารถถูกผลิตได้โดยสองวิธีที่แตกต่างกัน ดังนี้

วิธี “bottom-up” วัสดุอนุภาคเล็กเช่น อนุภาคนาโนจะถูกใช้เป็นส่วนตั้งต้นในการเตรียมและผลิตชิ้นงาน ตัวอย่างวิธี “bottom-up” ได้แก่ วิธี inert gas condensation, high-energy ball milling and electro deposition วิธีเหล่านี้สามารถผลิตวัสดุที่มีขนาดเกรนที่เล็กมากๆ ถึงระดับนาโน แต่อย่างไรก็ตามแต่วิธีที่ใช้หลักการของ “bottom-up” จะมีข้อเสียอยู่ที่ชิ้นงานที่ผลิตได้อาจจะมีสารเจือปน และอาจจะมีรูพรุนเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต นอกจากนี้วิธีนี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของชิ้นงานที่เล็ก ส่งผลให้การประยุกต์ใช้งานมีข้อจำกัด

สำหรับวิธี “top-down” วัสดุเกรนหยาบจะถูกทำให้เป็นวัสดุเกรนละเอียดโดยการใส่แรงกระทำที่รุนแรงเพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุ เนื่องจากเทคนิคนี้มีการใส่แรงกระทำที่มหาศาลลงในชิ้นงาน ทำให้วิธีนี้ถูกเรียกว่า Severe Plastic Deformation, SPD ลักษณะเด่นของวิธีนี้คือขนาดและรูปร่างโดยรวมของชิ้นงานไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ทำให้เกิดแรง hydrostatic pressure และส่งผลกับโครงสร้างภายในของวัสดุ และเกิดกลไกการเกิดเกรนที่ละเอียดขึ้น ชิ้นงานที่ผลิตโดยหลักการนี้จะไม่มีการเจือปนของอนุภาคอื่น และไม่มีรูพรุนเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

2.1.2 Severe Plastic Deformation (SPD)

กระบวนการ Severe Plastic Deformation (SPD) คือกระบวนการขึ้นรูปโลหะที่ต้องใช้

ความเครียดแบบคงรูป (Plastic strain) จำนวนมากเพื่อผลิตวัสดุเกรนละเอียด โดยการที่ขนาดเกรนมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

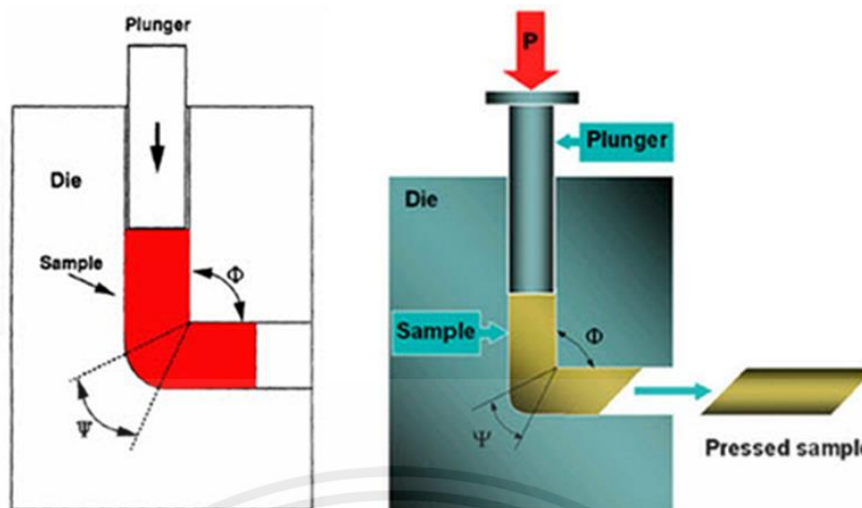
ความละเอียดขึ้นจะเพิ่มความแข็งแรง (Strength) และความแข็ง (Hardness) ของวัสดุ อีกทั้งกระบวนการ SPD นี้ยังทำให้วัสดุมีขนาดคงเดิม เทคนิคต่างๆ กระบวนการ SPD อาทิ equal channel angular pressing (ECAP), accumulative roll bonding (ARB), high pressure torsion (HPT) เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้จะให้ความสนใจในเทคนิค equal channel angular pressing (ECAP) เนื่องจากตอบสนองกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ที่สนใจในเรื่องของการพัฒนาสมบัติวัสดุ เทคนิคนี้ยังสามารถทำได้ในช่วงอุณหภูมิที่หลากหลายตั้งแต่อุณหภูมิต่ำไปจนถึงอุณหภูมิสูง

2.1.3 Equal Channel Angular Pressing (ECAP)

Equal Channel Angular Pressing (ECAP) เป็นเทคนิคที่ถูกเลือกใช้มากที่สุดสำหรับกระบวนการเสียรูปแบบถาวรของวัสดุ กระบวนการนี้สามารถประยุกต์ใช้กับโลหะชนิดต่างๆ ได้อย่างหลากหลาย โดยมีจุดประสงค์เพื่อสร้างวัสดุเกรนละเอียดซึ่งมีสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ดียิ่งขึ้น อีกทั้งลักษณะเฉพาะที่ทำให้กระบวนการนี้แตกต่างจากกระบวนการขึ้นรูปโลหะทั่วไป คือการที่ยังสามารถคงขนาดพื้นที่หน้าตัดไว้ได้ดั้งเดิม ทำให้สามารถนำชิ้นงานกลับมาทำซ้ำได้อีก จากหลายบทความเชิงวิชาการแสดงให้เห็นว่าความสนใจในทฤษฎีพื้นฐานของกระบวนการเสียรูปแบบถาวรมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะเรื่องของผลลัพธ์ของกระบวนการที่ส่งผลต่อการพัฒนาสมบัติวัสดุให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในกระบวนการนี้คืออลูมิเนียมและอลูมิเนียมอัลลอย นอกจากนี้ยังมีทองแดงและไทเทเนียมที่เป็นที่สนใจอย่างมาก โดยเฉพาะไทเทเนียมซึ่งกำลังเป็นที่สนใจในการต่อยอดการพัฒนาสมบัติวัสดุไปในแขนงของวิทยาการแพทย์ เช่น การปลูกถ่ายกระดูกหรือการทำรากฟันเทียม เป็นต้น

หลักการของกระบวนการ ECAP คือการทำให้เกิดความเครียดเฉือนขนาดใหญ่กับตัวชิ้นงาน โดยการอัดตัวชิ้นงานผ่านรูของแม่พิมพ์ที่ประกอบด้วยรูทางตรง 2 ทางที่มีขนาดหน้าตัดเท่ากันมาต่อและทำมุมกัน โดยนำชิ้นงานมาทำการอัดขึ้นรูปด้วยพลันเจอร์ (Plunger) โดยสมบัติวัสดุที่เปลี่ยนไปหลังผ่านกระบวนการ ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ไม่ว่าจะเป็นมุมที่เกิดจากการที่รูทางตรง 2 ทางทำมุมกัน เส้นทาง (Route) แบบต่างๆ และ จำนวนครั้งในการผ่านกระบวนการ เป็นต้น เพื่อให้ได้ความเครียดสะสมเพียงพอที่จะทำลายโครงสร้างในระดับไมโครให้กลายเป็นระดับที่ละเอียดยิ่งขึ้น

หลักการของกระบวนการ ECAP ได้อธิบายเป็นลักษณะแผนภาพในรูปที่ 2.3 จะเห็นว่ารูทางตรงด้านในทั้งสองของแม่พิมพ์จะทำมุมกันเรียกว่ามุม ϕ และมุมที่แสดงส่วนโค้งด้านนอกในตำแหน่งที่รูทางตรงทั้งสองตัดกันเรียกว่ามุม ψ



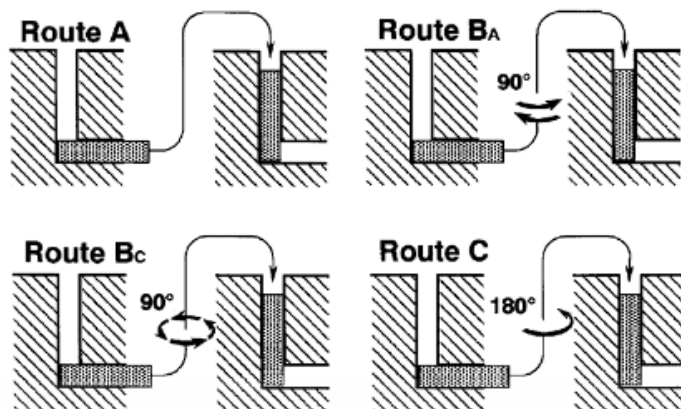
รูปที่ 2.1 หลักการพื้นฐานของกระบวนการ ECAP [1]

2.1.3.1 ลักษณะเส้นทางการกดพื้นฐานในกระบวนการ ECAP (Processing routes)

ลักษณะเส้นทางการกดพื้นฐานในกระบวนการ ECAP จะมีอยู่ 4 รูปแบบหลักๆ และทั้ง 4 รูปแบบเหล่านี้จะส่งผลให้เกิด Slip system ที่แตกต่างกันไปในระหว่างกระบวนการ นำมาซึ่งความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของโครงสร้างจุลภาคที่เกิดจากกระบวนการ ECAP ทั้ง 4 รูปแบบนี้ถูกสรุปเป็นแผนผัง ดังแสดงในรูป 2.2 จะเห็นได้ว่า Route A ชิ้นงานจะถูกกดโดยไม่มีการหมุนก่อนจะทำการกดซ้ำในแต่ละครั้ง Route B_A ชิ้นงานจะถูกหมุนไปเป็นมุม 90° ในลักษณะสลับไปมาก่อนจะทำการกดซ้ำในแต่ละครั้ง Route B_C ชิ้นงานจะถูกหมุนไปเป็นมุม 90° ในทิศทางเดียวกันอย่างต่อเนื่อง (ไม่ว่าจะทวนหรือตามเข็มนาฬิกา) ก่อนจะทำการกดซ้ำในแต่ละครั้ง และ Route C ชิ้นงานจะถูกหมุนเป็นมุม 180° ก่อนจะทำการกดซ้ำในแต่ละครั้ง

การผสมผสานที่หลากหลายสามารถทำได้ระหว่างลักษณะการกดเหล่านี้ เช่นการผสมผสานระหว่าง Route B_C และ C โดยสลับลักษณะการหมุน 90° และ 180° หลังจากผ่านการกดในแต่ละครั้ง แต่หากอ้างอิงจากผลการทดลองพบว่าในทางปฏิบัติแล้วการผสมผสานลักษณะเส้นทางการที่ซับซ้อนมากขึ้นนั้นไม่ได้ส่งผลให้เกิดการปรับปรุงสมบัติทางกลของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นโดยทั่วไปแล้ว 4 รูปแบบพื้นฐานดังกล่าวจะถูกให้ความสำคัญเป็นหลัก

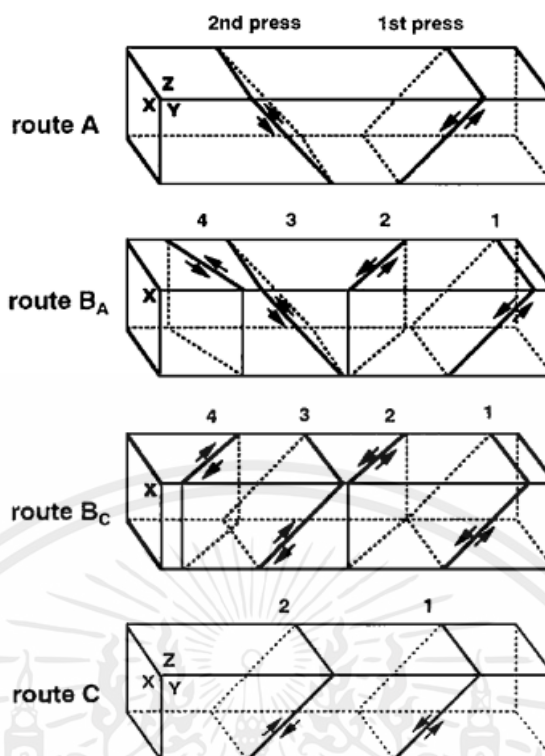
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ลักษณะเส้นทางการกดพื้นฐานในกระบวนการ ECAP [2]

1 Slip system ของลักษณะเส้นทางการกดแต่ละรูปแบบ

Slip system ที่แตกต่างกันซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะเส้นทางการกดจากที่ได้กล่าวไปข้างต้น ถูกวาดเป็นแผนผัง ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยระนาบ X Y Z จะสอดคล้องกับ 3 ระนาบตั้งฉาก และรอยเลื่อนถูกแสดงสำหรับการกดที่ต่างกันในแต่ละครั้งในแต่ละลักษณะเส้นทางการกด จะเห็นว่าระนาบที่ถูกกำหนดเป็นเลข 1 ถึง 4 สอดคล้องกับ 4 ครั้งแรกของการกดในกระบวนการ ECAP ส่วนใน Route C จะเห็นว่ารอยเลื่อนดำเนินไปอย่างต่อเนื่องบนระนาบเดียวกันในแต่ละครั้งของการกดที่ผ่านไปผ่านรูของแม่พิมพ์ แต่ทิศทางของการเฉือนนั้นเป็นทิศตรงกันข้ามในแต่ละครั้งของการกด



รูปที่ 2.3 มุมมอง Slip system บนระนาบ X , Y และ Z สำหรับการกดที่ต่อเนื่องกันโดยใช้ Route A , B_A , B_C และ C [2]

จะเห็นได้ว่า Route C ถูกเรียกว่ากระบวนการความเครียดซ้ำซ้อน (Redundant strain process) เนื่องจากความเครียดจะถูกคลายและกลับสู่สภาพปกติในทุกๆจำนวนครั้งของการกดที่เป็นเลขคู่ เช่นเดียวกับกับ Route B_C ที่จะเห็นได้ชัดว่ารอยเลื่อนในการกดครั้งแรกจะถูกหักล้างกับรอยเลื่อนในครั้งที่ 3 และรอยเลื่อนในการกดครั้งที่ 2 จะถูกหักล้างกับรอยเลื่อนในการกดครั้งที่ 4 ในทางตรงกันข้าม Route A และ B_A ไม่ใช่กระบวนการความเครียดซ้ำซ้อนและ 2 ระนาบการเฉือนที่แยกจากกันจะตัดกันเป็นมุม 90° ใน Route A และ 4 ระนาบการเฉือนที่แตกต่างกันตัดกันเป็นมุม 120° ใน Route B_A ซึ่งใน Route A และ B_A นี้ยังมีการสะสมของความเครียดที่ถูกสร้างขึ้นในแต่ละครั้งของการกดผ่านรูแม่พิมพ์ด้วย

ความหมายของระบบการเฉือนเหล่านี้ถูกอธิบายไว้ในรูปที่ 2.4 โดยทั้ง 4 แถวหลักจะสอดคล้องกับทั้ง 4 ลักษณะเส้นทางการกดที่แตกต่างกัน และรูปภาพแสดงให้เห็นถึงการบิดเบี้ยวในมุมมองระดับมหภาคที่ถูกนำเสนอในลักษณะของกล่องทรงลูกบาศก์ ซึ่งเป็นมุมมองของระนาบ X, Y และ Z สำหรับจำนวนครั้งในการกดผ่านรูแม่พิมพ์สูงสุดถึง 8 passes จะเห็นได้ว่าสำหรับแต่ละระนาบของการแบ่งส่วนและแต่ละลักษณะเส้นทางการกดดังรูปที่ 2.4 จากตัวอย่างจะเห็นการบิดเบี้ยวในหลายๆด้านขององค์ประกอบของลูกบาศก์ ซึ่งจากรูปดังกล่าวจะเห็นได้ชัดว่าองค์ประกอบของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลูกบาศก์นี้จะถูกทำให้คืนสภาพทุกๆ 2 passes ของการกดโดย Route C และทุกๆ 4 passes ในการกดโดย Route B_C ในขณะที่การบิดเบี้ยวมีความรุนแรงมากยิ่งขึ้นเมื่อถูกกดโดย Route A และ B_A นอกจากนี้การกดโดย Route A และ C จะไม่มีการเสียรูปใดๆขององค์ประกอบของลูกบาศก์เกิดขึ้นบนระนาบ Z อีกด้วย

Route	Plane	Number of pressings								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
A	X	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Y	□	▱	▱	▱	▱	▱	▱	▱	▱
	Z	□	□	□	□	□	□	□	□	□
B _A	X	□	□	▱	▱	▱	▱	▱	▱	▱
	Y	□	▱	▱	▱	▱	▱	▱	▱	▱
	Z	□	□	▱	▱	▱	▱	▱	▱	▱
B _C	X	□	□	▱	▱	▱	▱	▱	▱	▱
	Y	□	▱	▱	▱	▱	▱	▱	▱	▱
	Z	□	□	▱	▱	▱	▱	▱	▱	▱
C	X	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	Y	□	▱	▱	▱	▱	▱	▱	▱	▱
	Z	□	□	□	□	□	□	□	□	□

รูปที่ 2.4 ลักษณะการบิดเบี้ยวที่แสดงอยู่ในรูปองค์ประกอบของลูกบาศก์เมื่อถูกมองบนระนาบ X, Y และ Z สำหรับลักษณะเส้นทางการกดหรือ Route A, B_A, B_C และ C เมื่อถูกกดให้ผ่านรูแม่พิมพ์ ตั้งแต่ 1 pass ถึง 8 passes [2]

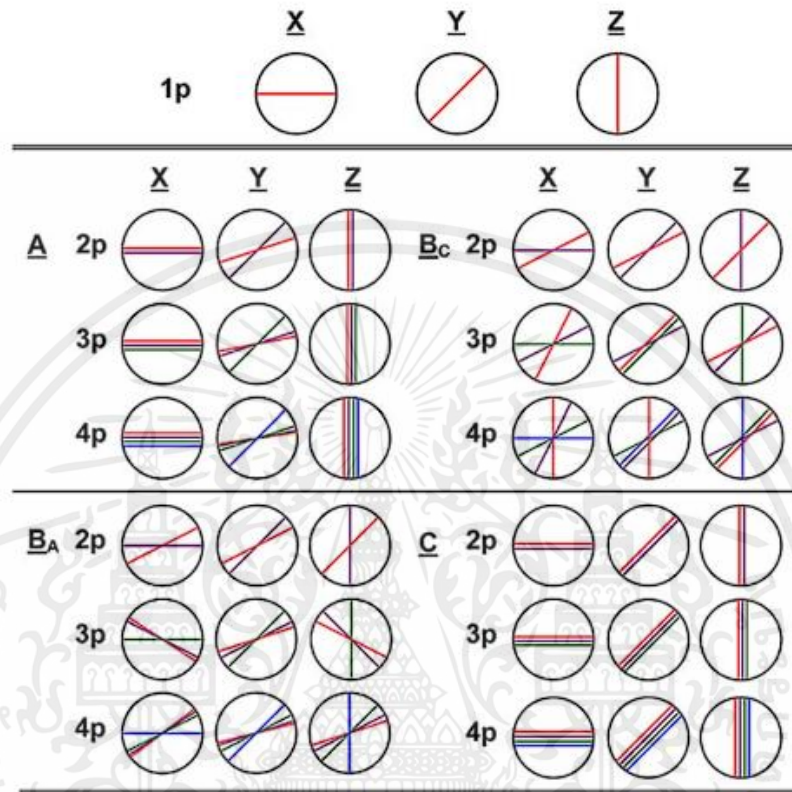
2 แบบแผนของการเฉือนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ ECAP

การเริ่มต้นศึกษาความหมายและนัยของกระบวนการ ECAP อย่างมีประสิทธิภาพคือการเริ่มต้นพิจารณาแบบแผนการเฉือนที่พัฒนาบนแต่ละระนาบตั้งฉากสำหรับแต่ละรูปแบบของลักษณะเส้นทางการกด ข้อมูลนี้สามารถใช้ได้กับทั้งรูปแบบต่างๆของลักษณะเส้นทางการกดในกระบวนการ ECAP ธรรมดาทั่วไปเมื่อใช้มุมของแม่พิมพ์เท่ากับ 90° และ 120° และสำหรับการกดของแผ่นตัวอย่างเมื่อการหมุนเกิดขึ้นรอบแกน Y หรือ Z

ในรูปที่ 2.5 แสดงแบบแผนของการเฉือนสำหรับกระบวนการ ECAP ธรรมดาทั่วไปโดยใช้มุมของแม่พิมพ์เท่ากับ 90° กับ การหมุนรอบแกน X จาก 4 รูปแบบของลักษณะเส้นทางการกด บรรทัดบนสุดของ รูปที่ 2.5 แสดงรอยเฉือนที่เห็นได้จากบนระนาบ X, Y และ Z หลังจากกดไป 1 ครั้ง (1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

pass - 1p) และบรรทัดที่เหลือแสดงแบบแผนของ Route A, B_A, B_C และ C หลังจากผ่านการกด 2 (2p) , 3 (3p) และ 4 (4p) ครั้งตามลำดับ



รูปที่ 2.5 แบบแผนการเดือนบนระนาบ X Y และ Z สำหรับลักษณะเส้นทางการกดหรือ Route A, B_A, B_C และ C เมื่อกดให้ผ่านรูแม่พิมพ์ 1, 2, 3 และ 4 pass : สีแดง, ม่วง, เขียวและน้ำเงินสอดคล้องกับลำดับการกดครั้งที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ [2]

โดยเส้นเหล่านี้ถูกแสดงเป็นสีไว้ตั้งนั้นสีแดง, ม่วง, เขียวและน้ำเงินสอดคล้องกับลำดับการกดครั้งที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ภาพเหล่านี้สาคิดให้เห็นว่าในระหว่างกระบวนการ ECAP นั้นจะมีความเปลี่ยนแปลงที่สำคัญในระยะทางเชิงมุมทั้งหมดของรอยเลื่อนเมื่อถูกมองจากระนาบใดๆ เพื่อให้เกิดความง่าย ระยะเชิงมุมนี้ถูกระบุให้เป็นตัวแปร η และเหล่าค่าเฉพาะของ η สำหรับแต่ละระนาบและแต่ละชุดจำนวนครั้งของการกดจะถูกสรุปอยู่ในตารางที่ 1 ดังนั้นระยะทางเชิงมุมมีค่าเท่ากับศูนย์บนทุกๆระนาบเมื่อเลือกใช้ Route C หรือเมื่อ มองจากระนาบ X หรือ Z ใน Route A จากตารางข้างต้นยังเห็นได้ชัดว่า Route B_C ให้ผลลัพธ์ของระยะทางเชิงมุมที่ใหญ่ที่สุดด้วยค่าของ η เท่ากับ 90° , 63° และ 63° หลังจากผ่านการกดไป 4 passes บนระนาบ X, Y และ Z ตามลำดับ ค่าของระยะทางเชิงมุมเหล่านี้จะถูกพิจารณาอีกครั้ง เมื่อเราทำการเลือกลักษณะเส้นทางการกดหรือ Route ที่

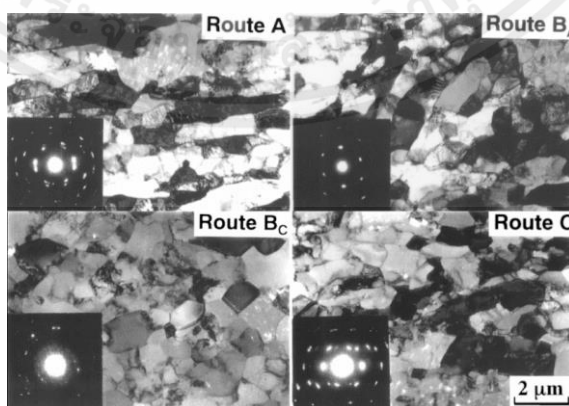
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมสำหรับการพัฒนาและสร้างโครงสร้างจุลภาคที่มีขนาดและลักษณะที่สม่ำเสมอ (Equiaxed) และมีความละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous)

ตารางที่ 2.1 ระยะทางเชิงมุมสำหรับรอยเลื่อนโดยใช้ลักษณะเส้นทางการกดที่แตกต่างกัน [2]

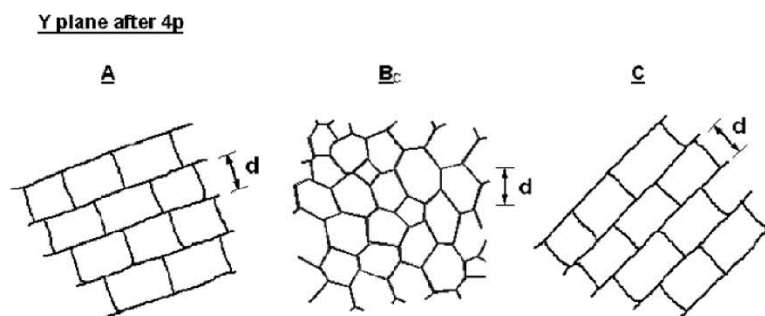
Processing route	Number of passes	Total angular range, η		
		X	Y	Z
A	2p	0°	27°	0°
	3p	0°	34°	0°
	4p	0°	37°	0°
B _A	2p	27°	18°	45°
	3p	33°	27°	63°
	4p	37°	31°	72°
B _C	2p	27°	18°	45°
	3p	63°	18°	63°
	4p	90°	63°	63°
C	2p	0°	0°	0°
	3p	0°	0°	0°
	4p	0°	0°	0°

จากรูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างจุลภาคของ Pure Aluminium เมื่อมองจากระนาบ X หลังผ่านการกดทั้งหมด 4 passes จากกระบวนการ ECAP และรูปที่ 2.7 แสดงโมเดลโครงสร้างจุลภาคเมื่อมองจากระนาบ Y หลังผ่านการกดทั้งหมด 4 ครั้งจากกระบวนการ ECAP เมื่อนำสองรูปนี้มาเปรียบเทียบ จะเห็นว่า Route B_C สามารถสร้างโครงสร้างจุลภาคที่มีขนาดและลักษณะที่สม่ำเสมอ (Equiaxed) ได้รวดเร็วกว่าลักษณะเส้นทางการกดรูปแบบอื่นๆ



รูปที่ 2.6 โครงสร้างจุลภาคของ Pure Aluminium เมื่อมองจากระนาบ X หลังผ่านการกดทั้งหมด 4 ครั้งจากการนำมาผ่านกระบวนการ ECAP [2]

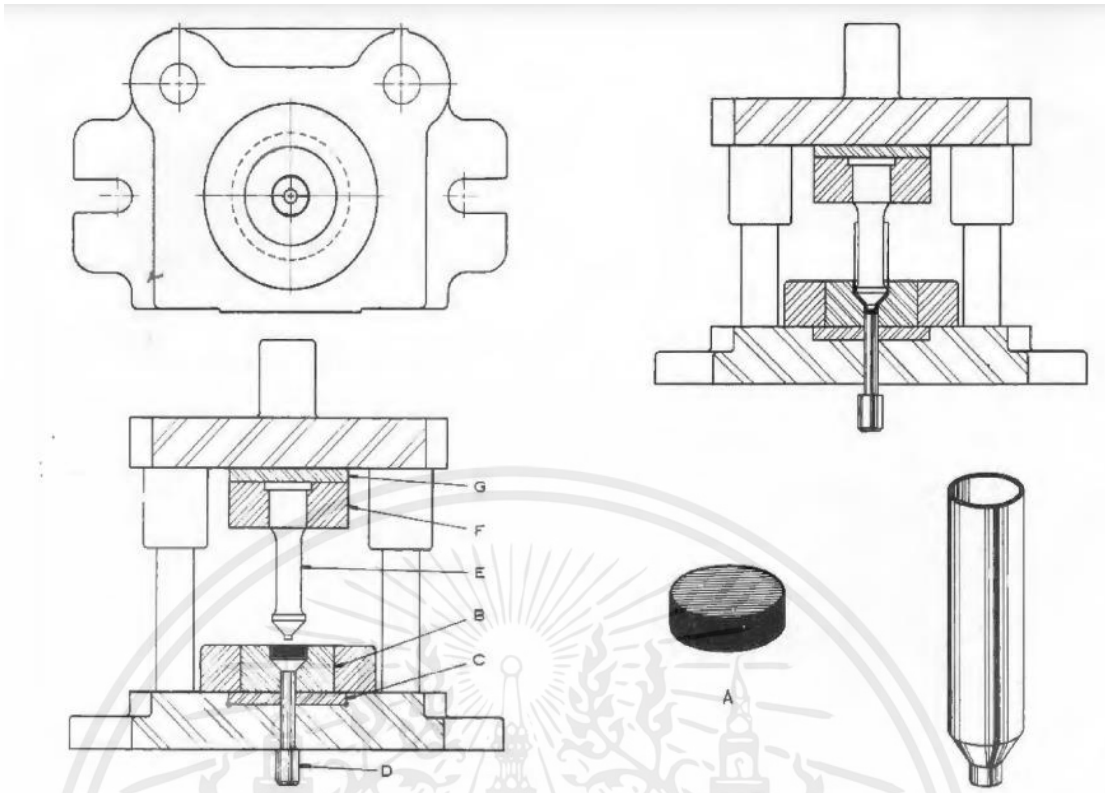
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 โมเดลโครงสร้างจุลภาคเมื่อมองจากระนาบ Y หลังผ่านการกดทั้งหมด 4 ครั้งจากการนำมาผ่านกระบวนการ ECAP [2]

2.1.4 Die Design

ประเภทของแม่พิมพ์มีอยู่หลากหลาย ยกตัวอย่างเช่น Blanking Dies, Compound Dies, Cut off Dies, Trimming Dies, Piercing Dies, Shaving Dies, Extruding Dies, Bending Dies และ Forming Dies เป็นต้น โดยแม่พิมพ์แต่ละประเภทมีความโดดเด่นและแตกต่างกันไป โดยประเภทของแม่พิมพ์ในที่นี้เหมาะสมกับกระบวนการ Equal-channel angular pressing (ECAP) คือ Extruding Dies ซึ่งแม่พิมพ์ประเภทนี้ แท่งเหล็กบางส่วนจะถูกกักเก็บไว้ในช่องและใช้ปลันเจอร์ (Plunger) กดด้วยแรงที่สูงมากเพื่อทำให้วัสดุถูกรีดหรือพ่นออกมา จากรูปที่ 2.8 แสดง Extruding Dies โดยแท่งเหล็ก A จะถูกอัดรีดเข้าไปในแผ่นโค้งที่มีผนังบางซึ่งปลายปิดเป็นรูปกรวย แท่งเหล็กจะถูกวางไว้ในบล็อกแม่พิมพ์ B ซึ่งถูกรองรับโดยแผ่นชุบแข็ง C ด้านล่างของช่องในบล็อกแม่พิมพ์ถูกยึดโดยปลายของแท่งดันปลด D เมื่อกดกระทันหันลงปลันเจอร์ E รีดวัสดุในช่องก่อนจนกว่าจะมีรูปร่างเหมือนช่องของแม่พิมพ์และส่วนปลายของปลันเจอร์ การเคลื่อนที่ลงอย่างต่อเนื่องทำให้แท่งเหล็กเกิดการเคลื่อนที่ย้อนขึ้นไปในบริเวณช่องว่างระหว่างปลันเจอร์กับผนังของช่องแม่พิมพ์ ค่าช่องว่างระหว่างปลันเจอร์กับผนังของแม่พิมพ์ถูกกำหนดโดยความหนาของผนังของแผ่นโค้งปลันเจอร์ถูกเก็บไว้ในแผ่นยึดปลันเจอร์ F และเนื่องจากมีค่าแรงดันสูงมาเกี่ยวข้องทำให้ต้องใช้แผ่นรองหลัง G เป็นตัวรองรับ

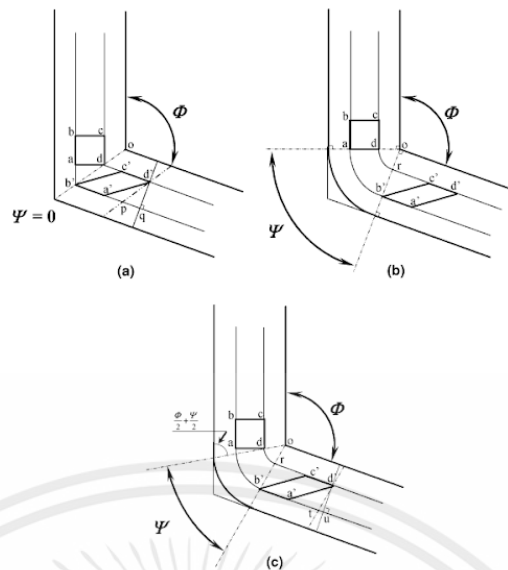


รูปที่ 2.8 Extruding Dies [3]

2.1.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแม่พิมพ์

สำหรับการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ในกระบวนการอีคิวแซลแนลแองกูลาร์เพรชชิง (ECAP) พร้อมตัวจับยึด เพื่อให้แม่พิมพ์ ปลั๊กเจอร์และตัวจับยึดทำงานร่วมกันได้อย่างราบรื่น จำเป็นจะต้องมีความรู้ความเข้าใจเรื่องเรขาคณิตพื้นฐานของตัวแม่พิมพ์และปลั๊กเจอร์ โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการออกแบบ

ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการ ECAP จะมีค่าความเครียดเกิดอย่างกะทันหัน ขนาดของความเครียดนี้อาจประมาณได้โดยการใช้วิธีการวิเคราะห์ตามรูปแบบต่างๆของแม่พิมพ์ที่แสดงโดยแผนภาพสองมิติ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยที่ ϕ แสดงถึง channel angle ซึ่งหมายถึงมุมที่รูทางตรงด้านในทั้งสองของแม่พิมพ์ทำมุมกันซึ่งจะมีลักษณะหักงอแบบกะทันหัน และ ψ แสดงถึงมุมของส่วนโค้งด้านนอกที่รูทางตรงทั้งสองตัดกัน



รูปที่ 2.9 หลักการของกระบวนการ ECAP เมื่อ ϕ คือ มุมของสองช่องที่ตัดกัน และ ψ คือ มุมรองรับ โดยส่วนโค้งที่จุดตัดกัน : (a) $\psi = 0^\circ$, (b) $\psi = (\pi - \phi)^\circ$, (c) $0^\circ < \psi < (\pi - \phi)^\circ$ [2]

สำหรับ $\psi = 0^\circ$ ในรูป 2.4(a) องค์ประกอบสี่เหลี่ยม abcd เคลื่อนผ่านระนาบเฉือนทางทฤษฎี และกลายเป็นสี่เหลี่ยมด้านขนาน a'b'c'd' ซึ่งความเครียดเฉือน γ ถูกกำหนดโดย

$$\gamma = 2 \cot\left(\frac{\phi}{2}\right) \quad (2.1)$$

ใช้วิธีเดียวกันกับรูป 2.4(b) สรุปได้ดังนี้

$$\gamma = \psi \quad (2.2)$$

และการวิเคราะห์ที่คล้ายกันสำหรับรูป 2.4(c) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปทั่วไป ได้ดังนี้

$$\gamma = 2 \cot\left(\frac{\phi}{2} + \frac{\psi}{2}\right) + \psi \operatorname{cosec}\left(\frac{\phi}{2} + \frac{\psi}{2}\right) \quad (2.3)$$

และสุดท้าย equivalent strain หลังจากผ่านไป N รอบ (ϵ_N) สามารถแสดงในรูปแบบทั่วไปผ่านความสัมพันธ์

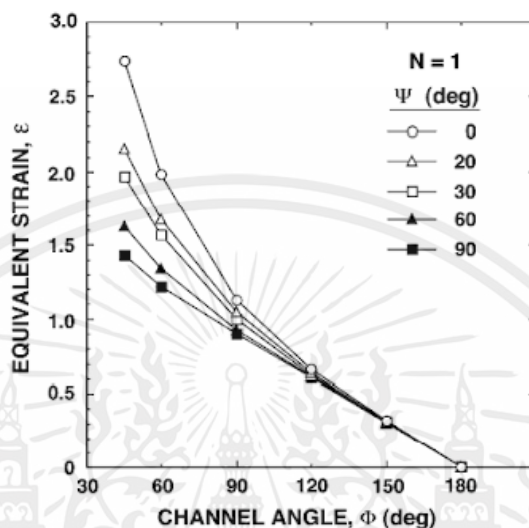
$$\epsilon_N = \frac{N}{\sqrt{3}} \left[2 \cot\left(\frac{\phi}{2} + \frac{\psi}{2}\right) + \psi \operatorname{cosec}\left(\frac{\phi}{2} + \frac{\psi}{2}\right) \right] \quad (2.4)$$

สมการ (2.4) สอดคล้องกับการประมาณการความเครียดที่ทำการวิเคราะห์แม่พิมพ์ด้วย $\psi = 0^\circ$ มุมของ ϕ ถูกเปลี่ยนเป็น 2ϕ ค่าความเครียดหลังผ่านไป N รอบ ถูกประมาณเป็น

$$\epsilon_N = \frac{2N}{\sqrt{3}} \cot\phi \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พล็อตประเภทนี้เริ่มแรกสร้างขึ้นสำหรับมุม $\phi \geq 90^\circ$ ในเวลาต่อมาได้ขยายวิธีการเพื่อมุมขนาดเล็กอย่าง 45° โดยในรูปที่ 2.5 สำหรับการผ่านเพียงรอบเดียว ($N = 1$) โดย $45^\circ \leq \phi \leq 180^\circ$ และ $0^\circ \leq \psi \leq 90^\circ$



รูปที่ 2.10 ความแปรผันของ equivalent strain (ϵ_N) กับมุม ϕ ในช่วงมุม ϕ ตั้งแต่ 45° ถึง 180° สำหรับมุม ψ ตั้งแต่ 0° ถึง 90° ค่าความเครียดสำหรับที่ถูกแสดงนี้สำหรับการผ่านเพียงรอบเดียว [2]

จากรูปที่ 2.10 เห็นได้ว่ามุม ϕ และ ψ ส่งผลต่อ ค่าของ equivalent strain (ϵ) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยมุม ϕ ถือเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการทดลอง เนื่องจากเป็นตัวกำหนดค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบ จึงมีอิทธิพลโดยตรงต่อธรรมชาติของโครงสร้างจุลภาคในส่วน ที่ถูกกดทับ จากงานวิจัย Huang และคณะ [8] บอกไว้ว่า การ จัดเรียงตัวของ ultrafine equiaxed grains จะสำเร็จ ง่ายขึ้นเมื่อใช้แม่พิมพ์ที่มีมุม $\phi = 90^\circ$ แต่สิ่งสำคัญที่ต้อง ตระหนักคือการอัดรีดชิ้นงานที่เป็นวัสดุแข็งมากหรือวัสดุ ที่มีความเหนียว (Ductility) ต่ำจะง่ายกว่าเมื่อใช้แม่พิมพ์ที่มีมุม $\phi > 90^\circ$ ซึ่งปัจจัยนี้อาจเป็นสิ่งสำคัญที่จะนำมาพิจารณา ค่ามุม ϕ ในส่วนของมุม ψ มุมนี้ถือว่ามีความสำคัญเพียงเล็กน้อย ในการกำหนดค่าความเครียดที่เกิดขึ้น โดยแนวทางที่มี แนวโน้มมากที่สุด คือ การสร้างแม่พิมพ์ที่มีมุม $\phi = 90^\circ$ กับ มุม $\psi = 20^\circ$ หรือไม่มีส่วนโค้งที่จุดด้านในของทาง แยกของสองส่วนของรูทางตรง

2.1.6 หน้าที่ของจิ๊กและฟิกซ์เจอร์ [4]

2.1.6.1 จิ๊กและฟิกซ์เจอร์

จิ๊กและฟิกซ์เจอร์ เป็นเครื่องมือสำหรับงานในอุตสาหกรรมซึ่งถูกนำมาใช้สำหรับการผลิตชิ้นงานที่เที่ยงตรงเหมือนกันทุกชิ้น ความสัมพันธ์และตำแหน่งที่ถูกต้องระหว่างจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์กับชิ้นงานจะต้องถูกรักษาให้คงเดิมอยู่ตลอดเวลา จิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์ถูกออกแบบและสร้างขึ้นมาเพื่อทำการยึดจับ รองรับ และกำหนดตำแหน่งชิ้นงานทุกๆชิ้น เพื่อให้แน่ใจว่าในการเจาะรูหรือการตกแต่งด้วยวิธีอื่นๆจะได้ตรงตำแหน่งเดิมหรือขนาดตามรายละเอียดที่กำหนดมาทุกประการ

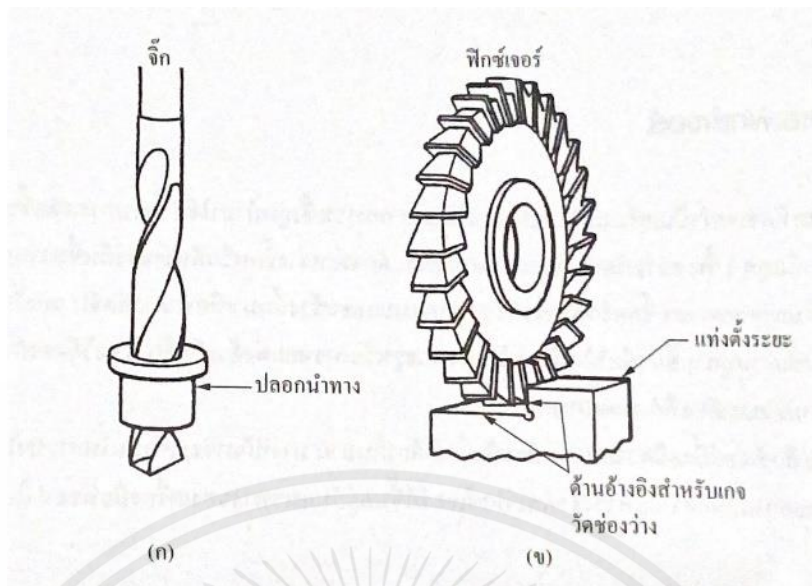
จิ๊กและฟิกซ์เจอร์นี้จะมีความหมายเกี่ยวพันใกล้เคียงกันมาก บางทีก็อาจจะสับสนในการนำไปใช้ได้บ้าง อย่างไรก็ตามความแตกต่างระหว่างจิ๊กและฟิกซ์เจอร์ก็ขึ้นอยู่กับแนวทางของเครื่องมือที่จะนำไปใช้กับงาน

1 จิ๊ก (Jig)

จิ๊กเป็นเครื่องมือพิเศษที่สร้างขึ้นมาเพื่อช่วยในการกำหนดตำแหน่ง จับยึดชิ้นงานและยังเป็นตัวนำทางของเครื่องมือตัด (Cutting Tools) เช่น ในการเจาะรูหรือคว้านรู โดยปกติแล้วอีกจะมีปลอกนำทางซึ่งอัดติดแน่นอยู่เสมอ ปลอกนำทางนี้จะทำด้วยเหล็กพิเศษที่ผ่านการชุบแข็งมาแล้วและใช้สำหรับนำทางในการเจาะรูของดอกสว่านหรือนำทางเครื่องมือตัดอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 (ก) ตามกฎที่ใช้กันอยู่นี้ถ้ารูที่ใช้มีขนาดเล็ก ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องถูกจับยึดให้ติดแน่นอยู่บนแท่นเจาะ ใช้มือจับจิ๊กก็ได้ แต่ถ้ารูที่เจาะโตกว่า 6 mm ก็จำเป็นต้องจับยึดจิ๊กให้ติดแน่นอยู่กับแท่นของเครื่องเจาะ

2 ฟิกซ์เจอร์ (Fixture)

ฟิกซ์เจอร์เป็นเครื่องมือสำหรับการผลิตที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งยึดจับ และรองรับชิ้นงานให้อยู่คงที่เมื่อเครื่องจักรกำลังทำงานอยู่ สำหรับฟิกซ์เจอร์นี้จะมีแท่งตั้งระยะและแผ่นเกจเป็นตัวช่วยให้ตั้งระยะของเครื่องมือตัดอยู่ตรงตำแหน่งที่ถูกต้องที่จะกระทำต่อชิ้นงาน ฟิกซ์เจอร์นี้จะต้องถูกยึดให้ติดแน่นอยู่กับเทเบิล ของเครื่องจักรในระหว่างที่ชิ้นงานกำลังถูกกระทำอยู่สำหรับงานใหญ่ๆ เช่น ใช้กับเครื่องกัด (Milling Machine) ฟิกซ์เจอร์ก็จะถูกออกแบบให้จับยึดชิ้นงานได้แปรเปลี่ยนไปตามการทำงานแบบต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเครื่องจักรที่เป็นมาตรฐานต่างๆ เช่น เครื่องกัด เครื่องไส เครื่องกลึง ฯลฯ ฟิกซ์เจอร์จะแปรเปลี่ยนไปตามการออกแบบให้สัมพันธ์กับเครื่องมือต่างๆ ตั้งแต่แบบธรรมดาๆ ไปจนถึงแบบที่ยุ่งยากซับซ้อนและมีราคาแพง ในรูปที่ 2.11 (ข) ฟิกซ์เจอร์ช่วยให้การทำงานด้านงานโลหะต่างๆ ง่ายขึ้นและสามารถใช้งานร่วมกับเครื่องมือพิเศษได้เป็นอย่างดี เหมือนดังเช่นการทำงานกับเครื่องจักรที่เป็นมาตรฐาน



รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์กันของเครื่องมือตัดกับจิกและพิกซ์เจอร์ [4]

2.1.7 หลักการของการกำหนดตำแหน่งและการรองรับชิ้นงาน

2.1.7.1 การอ้างอิง

การที่จะแน่ใจว่าการทำงานของเครื่องจักรต่างๆ ที่กระทำต่อชิ้นงานจะเกิดความถูกต้องเที่ยงตรงนั้น ชิ้นงานจะต้องถูกวางไว้ในตำแหน่งที่ถูกต้อง โดยจะต้องแน่ใจว่าชิ้นงานได้ถูกวางไว้ในตำแหน่งที่ถูกต้องที่สุด และมีการรองรับชิ้นงานที่แข็งแรงด้วย สำหรับตัวกำหนดตำแหน่ง (Locators) ซึ่งจะทำหน้าที่กำหนดว่าชิ้นงานจะตั้งอยู่ตรงส่วนไหนของจิกหรือพิกซ์เจอร์ จะต้องแน่ใจว่าง่ายต่อการใส่ชิ้นงานเข้าและถอดชิ้นงานออก อีกทั้งจะต้องใส่ตัวกันเ้ง (Tool Foolproof) ไว้ด้วยเสมอ ซึ่งถ้าไม่ทำตามนี้แล้วก็อาจจะเกิดปัญหาขึ้นมาระหว่างการทำงาน เพราะการใส่ชิ้นงานเข้าหรือถอดชิ้นงานออกอาจต้องใช้เวลาานหรืออาจจะใส่ชิ้นงานเข้าไปในจิกหรือพิกซ์เจอร์ผิดข้างไปก็ได้

2.1.7.2 กฎเบื้องต้นสำหรับการกำหนดตำแหน่ง

การจำกัดการเคลื่อนที่ของชิ้นงานและการกำหนดตำแหน่งของชิ้นงานนั้นจำเป็นที่จะต้องอาศัยความชำนาญและการวางแผนที่ดี ซึ่งจะต้องมีการวางแผนมาก่อนที่จะทำการออกแบบ จะมาติดตั้งภายหลังไม่ได้ โดยระหว่างการออกแบบ ควรจะคำนึงถึงหลักการต่างๆ ดังต่อไปนี้

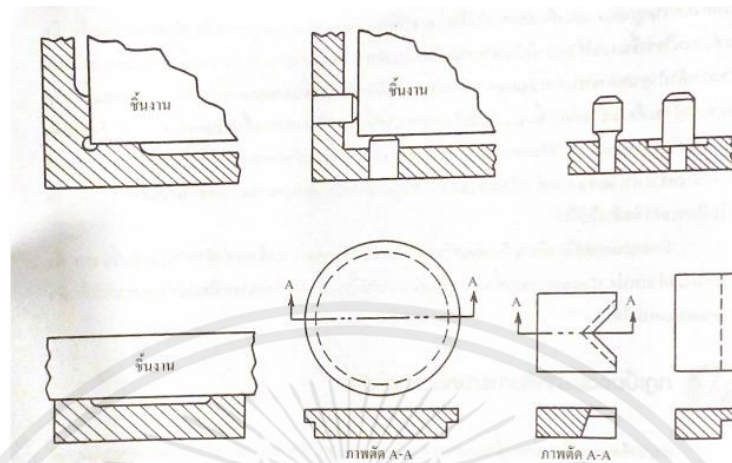
1 การกำหนดตำแหน่งและตัวกำหนดตำแหน่ง

ตำแหน่งของชิ้นงานที่อยู่ในจิกหรือพิกซ์เจอร์ควรมีความเที่ยงตรงและแน่ใจได้ว่าจิกหรือพิกซ์เจอร์นี้จะสามารถใช้ได้กับชิ้นงานซ้ำๆ กันตลอดไป หรือเมื่อนำชิ้นงานใหม่มาใส่แทนชิ้นงานเก่าแล้ว ตำแหน่งของชิ้นงานที่ใส่ไปใหม่ก็ยังคงเดิมไม่เปลี่ยนแปลงไปจากตำแหน่งของชิ้นงานเก่า ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากเพราะทำให้การทำงานไม่ติดขัด

ตัวกำหนดชิ้นงานแต่ละตัวควรมีระยะห่างจากกันให้มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ เนื่องจากโลหะและเศษผงอื่นๆ อาจจะทำให้เกิดปัญหาสำหรับตัวกำหนดตำแหน่งได้ ดังนั้นตัวกำหนดตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงควรติดตั้งในที่ซึ่งสามารถหลีกเลี่ยงการที่เศษโลหะจะเข้าไปติดอยู่ได้ แต่ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ก็ควรจะทำให้ตัวกำหนดตำแหน่งนูนขึ้นมาดังแสดงในรูปที่ 2.12



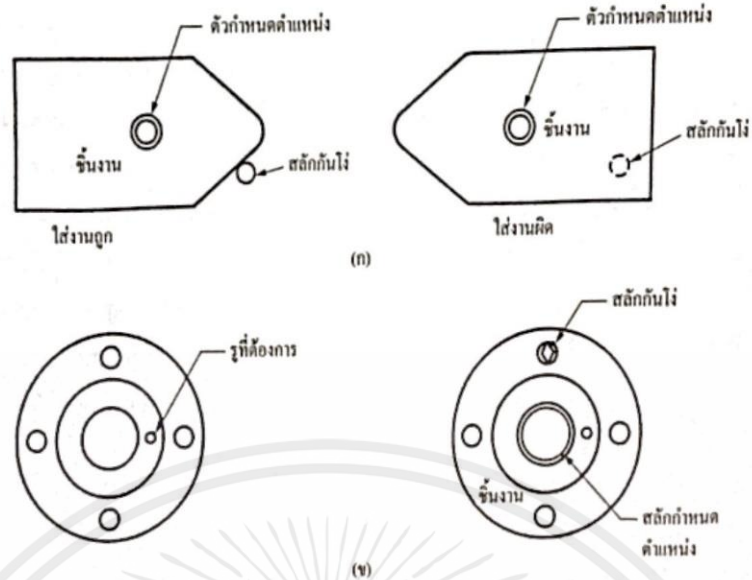
รูปที่ 2.12 การใช้ตัวกำหนดตำแหน่งแบบลุดจุดสัมผัส [4]

2 ค่าผิดพลาดที่ยอมรับให้ใช้ได้

ตามกฎทั่วไปค่าความผิดพลาดของจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์จะอยู่ระหว่าง 20-50% ของค่าความผิดพลาดที่ยอมรับให้ใช้ได้ของชิ้นงาน สิ่งนี้มีความจำเป็นอย่างมากถ้าต้องการงานที่มีความเที่ยงตรงสูง จิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์ที่มีค่าความผิดพลาดนี้ต่ำกว่า 20% จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการทำจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์สูงมากขึ้น แต่คุณภาพของชิ้นงานก็สูงขึ้นเช่นกัน และถ้าจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์ที่มีค่าความผิดพลาดนี้สูงกว่า 50% แล้ว ความเที่ยงตรงของจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์ก็จะได้การรับรองว่าถูกต้องแน่นอน

3 การป้องกันการใส่งานผิด

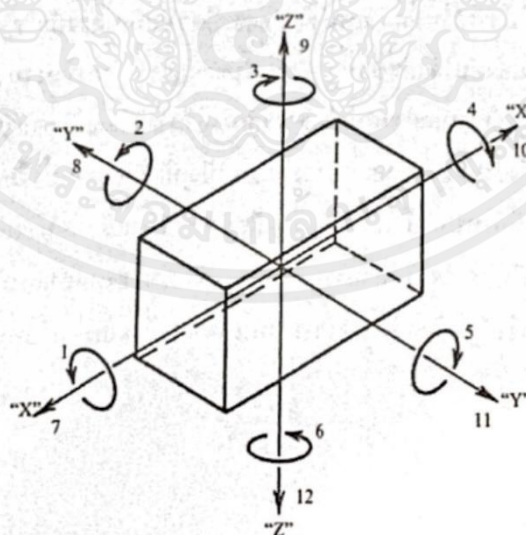
เพื่อให้แน่ใจว่าเมื่อใส่ชิ้นงานเข้าไปในจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์แล้ว ชิ้นงานก็จะพอดีและอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ ในรูปที่ 2.13 (ก) ชิ้นงานจะต้องถูกกระทำตรงส่วนที่เป็นมุมเอียง จึงมีการติดตั้งสลักกันโง่ (Fool proofing pin) ให้อยู่ตรงตำแหน่งดังในรูป เพื่อป้องกันไม่ให้ใส่ชิ้นงานผิดข้าง เพราะถ้าใส่ผิดข้างจะติดสลักกันโง่ทำให้ใส่ไม่พอดี สำหรับรูปที่ 2.13 (ข) ชิ้นงานที่มีรูจะต้องถูกเจาะให้อยู่ในแนวเดียวกันกับรูที่เจาะไว้รอบนอกของชิ้นงาน ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้เจาะรูในตำแหน่งที่ผิดไป จึงต้องติดตั้งสลักกำหนดตำแหน่งและสลักกันโง่ให้อยู่ในตำแหน่งดังในรูป



รูปที่ 2.13 การป้องกันการใส่งานคืด [4]

2.1.7.3 แนวของการเคลื่อนที่

วัตถุที่ไม่ได้ถูกจำกัดการเคลื่อนที่สามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งหมด 12 ทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ 2.14 วัตถุที่มีอิสระในการเคลื่อนที่จะเคลื่อนที่หมุนรอบแนวแกน หรือเคลื่อนที่ขนานกับแนวแกน โดยใช้เครื่องหมาย “X - X”, “Y - Y” และ “Z - Z” สำหรับทิศทางการเคลื่อนที่จะแทนด้วยตัวเลข ตั้งแต่ 1-12



รูปที่ 2.14 แนวของการเคลื่อนที่ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7.4 การจำกัดการเคลื่อนที่

การที่จะจำกัดการเคลื่อนที่ของชิ้นงานนั้นต้องใช้ตัวกำหนดตำแหน่งและตัวจับยึดงาน การใช้ตัวกำหนดตำแหน่งชนิดที่เป็นสลัก (Pin) หรือปุ่ม (Button) นี้จะทำให้มีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้น้อยที่สุด เนื่องจากพื้นที่สัมผัสของตัวกำหนดตำแหน่งกับชิ้นงานอยู่สูงจากพื้น ทำให้เศษโลหะสามารถตกลงไปข้างล่างได้ไม่ติดอยู่กับสลักกำหนดตำแหน่ง นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายในการทำก็ถูกกว่าด้วยและสามารถที่จะเปลี่ยนสลักได้ตามความต้องการ

2.1.8 อุปกรณ์สำหรับยึดงาน

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ยึดงานให้ติดแน่นเข้าด้วยกันมีอยู่หลายชนิด เช่น สกรู (Screws), นอต (Nuts), สลักเกลียว (Bolts) และสลัก (Pins) ซึ่งควรจะใช้อุปกรณ์ที่เป็นมาตรฐาน เพราะถ้าใช้อุปกรณ์พิเศษหรือเฉพาะอย่างแล้วจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูง ไม่คุ้มค่ากับผลที่ได้ อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับยึดงานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1.8.1 สกรูหัวรูปหมวก

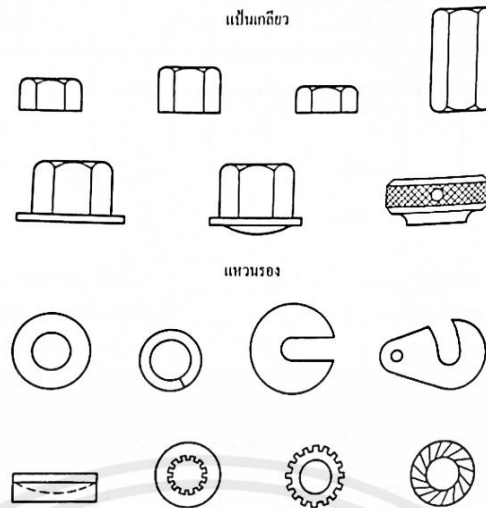
สกรูแบบสกรูหัวจมทกเหลี่ยม (Socket-Head Cap Screws) ให้แรงในการยึดจับดีมาก ง่ายต่อการติดตั้ง และไม่จำเป็นต้องใช้เนื้อที่มาก แสดงในรูปที่ 2.15 ซึ่งสกรูเหล่านี้จะมีประโยชน์มาก เพราะใช้ได้ง่ายและเป็นแบบที่ล็อกด้วยตัวเอง (Self-Locking) ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้สกรูแบบสกรูหัวจมทกเหลี่ยม



รูปที่ 2.15 ลักษณะต่างๆของสกรูหัวรูปหมวก [4]

2.1.8.2 แป้นเกลียวและแหวนรอง

ในท้องตลาดจะมีแป้นเกลียวและแหวนรองผลิตออกมาขายหลายชนิดหลายแบบ ทำให้สะดวก จึงเลือกใช้แป้นเกลียวและแหวนรอง ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แป้นเกลียวและแหวนรองแบบต่างๆ [4]

2.1.8.3 สลักเกลียวและแป้นเกลียว

ปกติแล้วในการออกแบบจะพิจารณาเลือกใช้สิ่งที่เป็นมาตรฐานทั่วไป แต่บางครั้งก็จำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ที่ต่างออกไปจากมาตรฐาน เช่น แบบตัวที่ แบบสลีต และสตัด ซึ่งส่วนมากมักจะถูกใช้งานในการยึดจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์ให้ติดแน่นกับฐานของเครื่องจักร ซึ่งมีการผลิตขึ้นมาหลายขนาดเพื่อให้ใช้ได้กับเครื่องจักรนั้นๆ โดยลักษณะของสลักเกลียวและแป้นเกลียวสำหรับงานวิจัยนี้เป็นแบบตัวที่เพื่อยึดชุดแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องจักร ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 สลักเกลียวและแป้นเกลียวแบบใช้งานพิเศษ [4]

2.1.8.4 สลักเดือยของจิ๊ก

ปกติแล้วสลักเดือย (Dowel Pins) จะถูกใช้คู่กับสกรู เพื่อที่เวลาถอดชิ้นส่วนจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์แล้วนำมาประกอบใหม่ก็ครั้งก็จะอยู่ในตำแหน่งเดิมเสมอ ซึ่งสลักเดือยมีอยู่ 5 แบบคือ แบบตรง (Plain) , แบบมุมเอียง (Tapered) , แบบใช้ดึงขึ้น (Pull) , แบบมีร่อง (Grooved) และแบบสปริง (Spring) โดยสลักเดือยแบบตรง แบบสปริง และแบบมีร่องจะเป็นแบบที่ใช้งานทั่วไป ความแตกต่างของทั้ง 3 แบบนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานว่าจะใช้กับงานที่ละเอียดเที่ยงตรงมากน้อยแค่ไหน ถ้าใช้สลักแบบตรงจะต้องมีรูที่เที่ยงตรงและต้องผ่านการคว้านรูเรียบ (Reamer) มาด้วย แต่ถ้าจะใช้สลัก

เดือยแบบสปริงหรือแบบมีร่องก็ไม่จำเป็นจะต้องใช้รูที่ผ่านการคว้านรูเรียบมา ซึ่งก็จะช่วยให้ประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย

โดยในงานวิจัยนี้ใช้สลักเดือยใช้ดึงแบบตรง (Straight Pull-Dowel) ซึ่งจะถูกใช้งานเมื่อรูที่จะใส่สลักเดือยเป็นรูที่ไม่ทะลุตลอดเพื่อรักษาตำแหน่งของแม่พิมพ์

2.1.9 การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์ให้ประหยัด [4]

ในการออกแบบจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์นั้นควรออกแบบให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดโดยเสียค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด โดยชิ้นส่วนที่จะนำมาใช้ต้องศึกษาอย่างละเอียดรอบคอบ เพื่อหาทางลดค่าใช้จ่ายลงโดยยังคงรักษาคุณภาพไว้ โดยการปฏิบัติตามหลักการของการออกแบบให้ประหยัดดังต่อไปนี้

2.1.9.1 การออกแบบให้ง่าย

ออกแบบชิ้นส่วนต่างๆให้ไม่มีความยุ่งยากซับซ้อนเท่าที่จะทำได้ ชิ้นส่วนทุกชิ้นจะต้องถูกพิจารณาเป็นอย่างดีแล้วว่าสามารถทำให้ประหยัดเวลาและวัสดุมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ การออกแบบที่ละเอียดมากเกินไปจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น โดยที่ไม่ได้ทำให้มีคุณภาพเพิ่มขึ้นเลย

2.1.9.2 การใช้วัสดุที่ทำเตรียมไว้แล้ว

การใช้วัสดุที่เตรียมไว้แล้วเช่น เหล็ก ท่อกลม แผ่นชิ้นงานที่มีขนาดเที่ยงตรงแน่นอน ฯลฯ สามารถลดค่าใช้จ่ายได้อย่างมาก ในทางปฏิบัติทั่วไปวัสดุที่เตรียมไว้แล้วจะถูกระบุไว้ในการออกแบบด้วย

2.1.9.3 ส่วนประกอบที่เป็นมาตรฐาน

ชิ้นส่วนมาตรฐานเช่น สลัก (Pins) , สลักเกลียว (Bolts) , สกรู (Screw) , ตัวยึดจับงาน (Clamps), ตัวกำหนดตำแหน่ง (Locators), ตัวรองรับ (Supports), ปลอกนำทางดอกสว่าน (Drill Bushing), แป้นเกลียว (Nut) และสปริง (Spring) ที่มีขายอยู่ในท้องตลาดนั้นสามารถที่จะปรับปรุงการทำจิ๊กและฟิกซ์เจอร์ให้มีคุณภาพสูงขึ้นได้ รวมทั้งสามารถเปลี่ยนแปลงขนาดได้หลายๆขนาดตามที่ต้องการ ทำให้ประหยัดทั้งแรงงานและวัสดุ ชิ้นส่วนมาตรฐานเหล่านี้ควรจะถูกกำหนดให้อยู่ในส่วนที่จะต้องใช้งานในการออกแบบจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์ด้วย เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับคนงานและวัสดุ

2.1.9.4 การทำงานต่อเนื่อง

การทำงานต่อเนื่อง เช่น การอบชุบ, การเจียรระไน และการตกแต่ง ควรจะต้องถูกจำกัดไว้เฉพาะส่วนที่จำเป็น เพื่อให้จิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การชุบแข็งควรจะใช้เฉพาะกับพื้นที่ของจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์บริเวณที่ต้องการให้มีการทนทานต่อการสึกหรอ เช่น ตรงส่วนที่เป็นตัวรองรับ ตัวกำหนดตำแหน่ง ในส่วนของการเจียรระไนนั้นควรจะใช้สำหรับพื้นที่ที่สัมผัสกับชิ้นงานหรือเครื่องจักร และส่วนที่มีการเคลื่อนที่ต่างๆที่ไม่ได้ส่งผลกระทบโดยตรงกับความละเอียด

ถูกต้องของเครื่องมือ ควรที่จะหลีกเลี่ยงไม่ให้มีเพราะจะเป็นส่วนหนึ่งของการลดค่าใช้จ่ายในการทำงาน

2.1.9.5 ค่าความเผื่อและความผิดพลาดที่ยอมรับได้

โดยทั่วไปค่าความผิดพลาดที่ยอมรับให้ใช้ได้ของบีกและฟิกซ์เจอร์จะอยู่ระหว่าง 20-50% ของค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของชิ้นงาน การทำจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์ที่มีความละเอียดถูกต้องมากเกินไปเป็นการสูญเสียเปล่า ในการทำจิ๊กและฟิกซ์เจอร์จึงควรพิจารณาถึงค่าความผิดพลาดที่ยอมรับให้ใช้ได้ของทั้งชิ้นงานและจากการกำหนดมาใช้ตามความจำเป็นด้วย

2.1.9.6 การเขียนแบบที่ไม่ยุ่งยาก

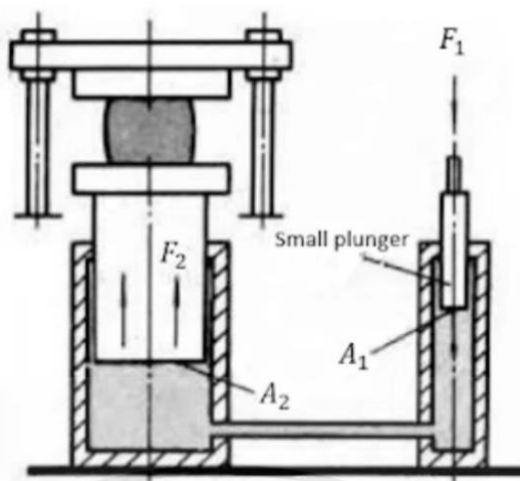
การเขียนแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์เป็นส่วนหนึ่งของค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการทำจิ๊กและฟิกซ์เจอร์ การเขียนแบบที่สามารถเข้าใจง่ายอย่างถูกต้องจะเป็นการช่วยลดค่าใช้จ่ายต่างๆลงไปได้มาก และต่อไปนี้เป็น แนวทางต่างๆไปของการเขียนแบบที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน

1. ควรใช้ข้อความหรือคำพูดแทนรูป หรือแบบของรายละเอียดต่างๆในการปฏิบัติงาน
2. กำจัดหรือตัดทิ้งสิ่งที่เกินความจำเป็นต่าง ๆ เช่น วิว ภาพฉาย (Projections) หรือรายละเอียด (Details) เป็นต้น
3. ถ้าเป็นไปได้ควรใช้สัญลักษณ์ (Symbols) แทนรายละเอียดต่างๆ
4. ใช้แผ่นแบบหรือเทมเพลท (Template) และตัวนำช่วยในการเขียนแบบเพื่อช่วยลดเวลา
5. ชิ้นส่วนที่เป็นมาตรฐานควรจะเขียนเพียงเพื่อให้เห็นได้ชัดเจนเท่านั้น ไม่ต้องเขียนรายละเอียด และควรจะทำชิ้นส่วนเหล่านี้ด้วยตัวเลขหรือชื่อของชิ้นส่วนนั้น

2.1.10 เครื่องอัดไฮดรอลิก

หลักการกดไฮดรอลิก

เครื่องจักรที่ใช้ของเหลวเป็นตัวกลางในการทำงานและผลิตขึ้นตามหลักการปาสกาล เพื่อถ่ายเทพลังงานให้เกิดกระบวนการต่างๆ เครื่องอัดไฮดรอลิกแบบสี่คอล์มน์โดยทั่วไปประกอบด้วยเครื่องจักร (ไฮสตร์) , ระบบไฟฟ้า และระบบควบคุมไฮดรอลิกแบบสี่คอล์มน์ เครื่องอัดไฮดรอลิกแบ่งออกเป็น เครื่องอัดไฮดรอลิกแบบวาล์ว เครื่องอัดไฮดรอลิกแบบสี่คอล์มน์ และเครื่องอัดไฮดรอลิกทางวิศวกรรม



รูปที่ 2.18 หลักการทำงานของเครื่องอัดไฮดรอลิก [5]

จากรูปที่ 2.18 แทนพื้นที่ของลูกสูบขนาดใหญ่และขนาดเล็กเป็น A_2 และ A_1 ตามลำดับ และแทนแรงของลูกสูบเป็น F_2 และ F_1 ตามลำดับ ตามหลักการของ Pascal ความดันของของเหลวที่ปิดมีค่าเท่ากันทุกที่ นั่นคือ

$$\frac{F_2}{A_2} = \frac{F_1}{A_1} = P ; F_2 = F_1 \left(\frac{A_2}{A_1} \right) \quad (2.6)$$

ซึ่งแสดงถึงผลที่ได้รับของแรงดันไฮดรอลิก เช่นเดียวกับการเพิ่มทางกล แรงเพิ่มขึ้น แต่งานไม่ได้ลด ดังนั้น ระยะเวลาเคลื่อนที่ของลูกสูบขนาดใหญ่ คือ $\frac{A_1}{A_2}$ เท่าของระยะเวลาเคลื่อนที่ของลูกสูบขนาดเล็ก

หลักการพื้นฐานคือปั้มน้ำมันจะส่งน้ำมันไฮดรอลิกไปยังบล็อกวาล์วของคาร์ทริดจ์ในตัว และกระจายน้ำมันไฮดรอลิกไปยังห้องบนหรือล่างของกระบอกสูบผ่านวาล์วทางเดียวและวาล์วระบายต่างๆ ภายใต้การกระทำของน้ำมันแรงดันสูงกระบอกสูบจะเคลื่อนที่ เครื่องอัดไฮดรอลิกเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ของเหลวในการส่งแรงดัน เมื่อความดันของของเหลวถ่ายโอนในภาชนะปิดจะเป็นไปตามกฎของปาสกาล

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Valiev และ Langdon [2] ได้กล่าวไว้ว่า ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมากระบวนการ equal-channel angular pressing (ECAP) ได้กลายเป็นกระบวนการที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายสำหรับการผลิตโลหะและโลหะผสมที่มีเกรนละเอียด บทวิเคราะห์นี้จึงเป็นการพิจารณาการพัฒนาครั้งล่าสุดที่เกี่ยวข้องกับการใช้กระบวนการ ECAP ในการปรับแต่งเกรนของวัสดุ รวมถึงการปรับปรุงกระบวนการ ECAP แบบดั้งเดิม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการและเทคนิคต่างๆเพื่อที่จะเพิ่มขนาดของกระบวนการเพื่อพัฒนาไปสู่กระบวนการผลิตวัสดุขึ้นรูปยากต่อไป ซึ่งในบทวิเคราะห์นี้จะให้ความสนใจเป็นพิเศษในหลักการพื้นฐานของกระบวนการ ECAP รวมไปถึงความเครียดที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ECAP, Slip system และ Shearing pattern ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ และปัจจัยต่างๆในการทดลองหลักที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการ ECAP รวมไปถึงลักษณะทางเรขาคณิตของแม่พิมพ์ (Die geometry) และระบบของกระบวนการ (Pressing regimes) แสดงให้เห็นว่าตัวแปรพื้นฐานและตัวแปรในกระบวนการทดลองเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการปรับแต่งโครงสร้างจุลภาคในระหว่างกระบวนการกด ความสนใจมุ่งไปที่สมบัติที่มีนัยสำคัญของโครงสร้างจุลภาคที่ผลิตโดยกระบวนการ ECAP ในทั้งวัสดุผลึกเดี่ยวและวัสดุหลายผลึกที่มีทั้งเฟสเดียวและหลายเฟส และวัสดุผสมโลหะเมทริกซ์ แสดงให้เห็นถึงรูปแบบของเกรนละเอียดในโลหะและโลหะผสมภายใต้การปรับปรุงสมบัติทางกลและสมบัติในการทำงาน อย่างไรก็ตามมันแสดงให้เห็นเป็นที่ประจักษ์ว่าการที่จะได้มาซึ่งสมบัติขั้นสูงเหล่านี้หลังจากกระบวนการ ECAP นั้น เรามีความจำเป็นที่จะต้องควบคุมตัวแปรของโครงสร้างจุลภาคที่มีความหลากหลาย รวมไปถึงขอบเกรนที่มีความยุ่งเหยิง, พื้นผิวทางผลึกศาสตร์ และการกระจายตัวของเฟสอันดับที่สอง ความก้าวหน้าอย่างมีนัยสำคัญถูกสร้างขึ้นในการพัฒนากระบวนการ ECAP ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา จึงคาดหวังว่าจะเป็นนิมิตหมายที่ดีในอนาคตที่จะรวมเอากระบวนการ ECAP เข้ากับกระบวนการผลิตในเชิงพาณิชย์ด้วยประการฉะนี้

โดยข้อมูลที่ถูกใช้เพื่ออ้างอิงจากงานวิจัยนี้ คือข้อมูลและหลักการพื้นฐานของกระบวนการ ECAP ซึ่งใช้ช่วยในการตัดสินใจเลือกค่าทางเรขาคณิตต่างๆในการออกแบบปลั้นเจอร์และแม่พิมพ์ เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด

Reham Reda [6] กล่าวว่า กระบวนการ ECAP เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงสมบัติวัสดุโดยไม่มีการเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดของตัวชิ้นงาน ในงานวิจัยตัวนี้อธิบายถึงกระบวนการ ECAP ในแง่ของการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ กระบวนการทำงานและอุปสรรคต่างๆ การเลือกใช้ประโยชน์จากวิธีการ Finite Element Analysis โดยซอฟต์แวร์ Abaqus CAE14 เพื่อที่จะหาค่าเหมาะสมที่สุดในการออกแบบแม่พิมพ์ (Die) ในกระบวนการ ECAP ที่มีความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนั้นการนำเอาโลหะ Pure 1100 Aluminum alloy ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ทั่วไปมาใช้ผ่านแม่พิมพ์ในกระบวนการ ECAP เป็นจำนวน 3 ครั้งแสดงให้เห็นถึงสมบัติแรงดึง (Tensile properties) ทั้ง Yield strength, Ultimate strength, Elongation และ ความสมดุลของค่า Strength-Ductility ของชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งของการผ่านแม่พิมพ์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเราจะเห็นว่าซอฟต์แวร์ Abaqus นี้สามารถใช้เป็นเครื่องมือที่ช่วยลดต้นทุนในการผลิต อีกทั้งยังช่วยให้เราได้ค่าที่แม่นยำมากขึ้นในการเลือกใช้ตัวแปรต่างๆเพื่อผลิตแม่พิมพ์ที่มีความปลอดภัย สิ่งที่ต้องพิจารณาต่อในกระบวนการ ECAP นั้นคืออุปสรรคต่างๆที่สามารถเกิดขึ้นได้ในอนาคต เช่น อุปสรรคต่างๆที่สามารถเกิดขึ้นได้ในขั้นตอนการออกแบบการติดตั้งแม่พิมพ์และพลันเจอร์ (Plunger) เข้ากับตัวจับยึด (Fixture) หรือขั้นตอนการหล่อเย็นระหว่างกระบวนการ เนื่องจากงานวิจัยของเราไม่มีการวิเคราะห์แบบ Finite Element

โดยข้อมูลที่ถูกใช้เพื่ออ้างอิงจากงานวิจัยนี้คือค่าทางเรขาคณิตและข้อมูลต่างๆจาก simulation software ที่ใช้เป็นข้อมูลในการประกอบการตัดสินใจเลือกค่าทางเรขาคณิตและช่วยเพิ่มความแม่นยำในการออกแบบแม่พิมพ์ให้เหมาะสมได้เป็นอย่างดี

J.C. Outeiro [7] จากหนังสือเล่มนี้ได้มีการกล่าวถึงสมบัติของ AISI H13 Tool Steel ไว้ดังนี้ AISI H13 Tool Steel มีความโดดเด่นในเรื่องของความต้านทานการอ่อนตัวในสภาพแวดล้อมการทำงานที่อุณหภูมิสูง มีความสามารถในการชุบแข็งที่ดี มีความคงทนแข็งแรงและมีความสามารถในการดูดซับพลังงานโดยไม่เกิดการแตกหัก (Toughness) ที่ดี เพราะฉะนั้นโลหะชนิดนี้จึงมีการใช้อย่างแพร่หลายในการสร้างแม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปร้อนหลากหลายประเภท เช่น การทุบ การอัดรีดขึ้นรูป การหล่อโลหะเหลวร้อน เป็นต้น ทั้งเรขาคณิตที่ซับซ้อนของตัวแม่พิมพ์ ความแข็งแรงของวัสดุระยะเวลาของกระบวนการที่สั้น รวมถึงค่าตัวแปรสำคัญบางตัวที่ต้องมีการควบคุมอย่างใกล้ชิดคือสิ่งที่เป็นอุปสรรคหลักในการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างแม่พิมพ์เหล่านี้ขึ้นมา ในขณะเดียวกันเรื่องของคุณภาพและความน่าไว้วางใจในการทำงานเป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากสภาพแวดล้อมในกระบวนการทำงานที่มีความหนักหน่วง ทั้งหมดนี้จึงเป็นเหตุผลว่าทำไม AISI H-13 Tool Steel ถึงมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน มีความสามารถในการทนความล้าจากความเค้นแบบคาบ (Stress cycle) อีกทั้งยังทนทานต่อสภาพแวดล้อมในการทำงานที่มีความร้อนสูง

ใช้อ้างอิงข้อมูลเกี่ยวกับการเลือกวัสดุที่มีความคงทน แข็งแรง เหมาะสมในการทำพลันเจอร์และแม่พิมพ์

Zhao และคณะ [8] งานวิจัยนี้มีเป้าประสงค์เพื่อทดสอบความเป็นไปได้ของกระบวนการ ECAP สำหรับ Commercial Purity (CP) ของโลหะไทเทเนียมเกรด 1 ที่อุณหภูมิห้อง โดยมีมุมของแม่พิมพ์ (internal angle) เท่ากับ 90° โดยชิ้นงานสามารถผ่านกระบวนการ ECAP ได้ถึง 4 ครั้ง โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ความเร็วของเครื่อง Press ในการกดขึ้นงานเท่ากับ 3.5 mm/s ซึ่งได้ผลลัพธ์เป็นชิ้นงานที่มีโครงสร้างจุลภาคที่เป็นลักษณะเกรนละเอียดและมีรูปร่างของเกรนที่มีความสม่ำเสมอ จากขนาดประมาณ 25 μm (ไม่ผ่านกระบวนการใดๆมาก่อน) เล็กลงถึง 150 nm ผลลัพธ์จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานโดยการทำให้ Tensile testing ที่อุณหภูมิห้องของโลหะยังบอกอีกว่าหลังจากผ่านกระบวนการแล้วความแข็งแรงและ Tensile strength เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญรวมถึง %Elongation ที่บ่งบอกถึงความเหนียวของชิ้นงานก็เพิ่มขึ้นอีกด้วย

การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ในงานของเราก็มีเป้าประสงค์ที่ต้องการจะทดสอบกับชิ้นงานที่มีโครงสร้างผลึกที่หลากหลาย หนึ่งในนั้นคือโครงสร้างผลึกที่มีการแตกหักแบบเปราะได้ง่ายแบบโลหะไทเทเนียม ซึ่งงานวิจัยข้างต้นนี้มีบริบทที่คล้ายคลึงกับเป้าประสงค์ของงานวิจัยเราในหลายด้าน และหลายๆค่าสามารถใช้อ้างอิงเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเพื่อสร้างสรรค์งานวิจัยที่มีเงื่อนไขใหม่ๆในการทดลองได้ เช่น อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบขึ้นงานของกระบวนการ มุมภายในของแม่พิมพ์ จำนวนครั้งในการกดขึ้นงาน เป็นต้น

Berbon และคณะ [9] งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของความเร็วในการกดขึ้นงานในกระบวนการ ECAP ต่อลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน สรุปได้ว่าความเร็วของการกดไม่ส่งผลใดๆอย่างมีนัยสำคัญต่อความสมดุลของขนาดเกรน อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของความเร็วในการกดขึ้นงานนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของความเค้นตกค้างภายในและความหนาแน่นของดิสโลเคชันทำให้โครงสร้างของดิสโลเคชันเหล่านี้ไม่สามารถคลายตัวได้ทันระหว่างกระบวนการ ECAP ที่มีความเร็วในการกดสูง

ในงานวิจัยนี้สามารถใช้อ้างอิงได้ถึงความเร็วของปลั๊นเจอร์ในการกดขึ้นงานที่เหมาะสมกับกระบวนการทดสอบขึ้นงานโลหะกับแม่พิมพ์ของเราได้

Naseri และคณะ [10] ใช้อ้างอิงเพื่อกำหนดส่วนประกอบในการออกแบบ คือ วัสดุที่จะเลือกใช้ทำชุดแม่พิมพ์เพื่อป้องกันความเสียหายจากการ Buckling โดยคาดคะเนจากแรงของเครื่อง پرسที่ใช้ในกระบวนการ ECAP สำหรับวัสดุทรงกระบอก 2 ชั้น คือ AL7075 และ Pure Cu เส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งขึ้นงานเท่ากับ 20 มม. มีมุมภายในของแม่พิมพ์ ϕ เท่ากับ 90 องศา โดยคำนวณเป็นแรงสมมูล (Equivalent force) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและสามารถคาดการณ์แรงกดสูงสุดในการทดลองได้

Wongsa-Ngam และคณะ [11] ใช้ในการอ้างอิงชนิดของโลหะวัสดุที่ใช้ในกระบวนการทดสอบชิ้นงาน ขั้นตอนและเงื่อนไขการอบเตรียมวัสดุ รวมถึงรายละเอียดอื่นๆในกระบวนการ ECAP เช่น มุมภายในของแม่พิมพ์ จำนวนครั้งในการกดชิ้นงานเพื่อนำไปศึกษาโครงสร้างจุลภาค ลักษณะเส้นทางการกด อีกทั้งยังสามารถใช้อ้างอิงผลของโครงสร้างจุลภาคที่ควรจะเป็นหลังผ่านกระบวนการ ECAP ที่มาจากการทดลองของเราได้ เพื่อเป็นหลักเกณฑ์ชี้วัดว่าแม่พิมพ์ที่ผลิตได้มีประสิทธิภาพในการสร้างวัสดุเกรนละเอียดมากน้อยเพียงใด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

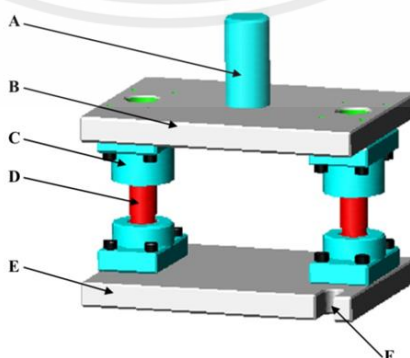
ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 ศึกษาข้อมูลและองค์ประกอบของแม่พิมพ์

3.1.1 ชุดแม่พิมพ์ (Die set)

ชุดแม่พิมพ์ซึ่งตัว punch, die และชิ้นส่วนที่จำเป็นต่าง ๆ ในการปั๊มชิ้นงานจะถูกนำมาประกอบใน die set นี้ ส่วนประกอบต่างๆ ของ die set ดังแสดงในรูปที่ 3.1 มีดังนี้

- A. Shank มีลักษณะ เป็นก้านกลมรูปทรงกระบอกติดแน่นอยู่กับ punch holder เป็นส่วนที่ประกอบเข้าไปใน ram ของเครื่องปั๊มเพื่อยึด die set ส่วนบนให้ติดแน่นกับ rams ของเครื่องปั๊ม
- B. Punch holder เป็นส่วนที่ใช้ยึด punch และจะเคลื่อนที่ขึ้นและลงตามจังหวะของ Tam
- C. Bushings มีลักษณะเป็นปลอกสวมติดอยู่กับ punch holder เพื่อบังคับให้ punch holder เคลื่อนที่ขึ้นลงอยู่ในแนวเส้นตรงตาม guidepost
- D. Guidepost มีลักษณะเป็นเสากลมติดอยู่กับ die holder
- E. Die holder เป็นส่วนที่ใช้ยึด die และ die holder จะยึดติดอยู่กับ table ของเครื่องปั๊มด้วย
- F. Slots มีไว้สำหรับยึด die holder เข้ากับ table ของเครื่องปั๊ม



รูปที่ 3.1 Die set [12]

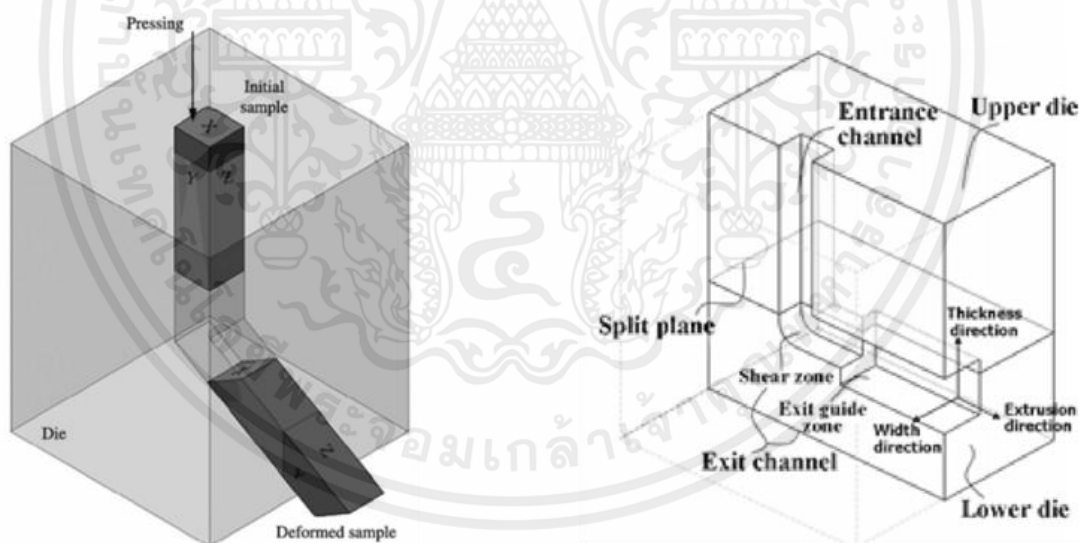
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ประเภทของแม่พิมพ์

จากการศึกษาในเรื่องของชนิดแม่พิมพ์ พบว่ามีแม่พิมพ์ 2 แบบ ที่เหมาะจะนำมาทำแม่พิมพ์ ในกระบวนการ ECAP ก็คือ Split die และ Solid die ดังแสดงในรูป 3.2

Split die ประกอบด้วยแม่พิมพ์ส่วนบนและส่วนล่างซึ่งถูกยึดเข้าด้วยกันดังนั้นจึงสามารถ ถอดวัสดุออกได้ง่ายโดยการคลายสลักเกลียวและแยกแม่พิมพ์ ช่วยลดแรงดันย้อนกลับที่เกิดจากแรง เสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างแม่พิมพ์กับวัสดุ

Solid die เป็นแม่พิมพ์ที่ไม่สามารถแยกชิ้นส่วนได้ช่วยหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการอัด ขึ้นรูปในเรื่องของเศษครีโบลหะที่พยายามดันตัวออกระหว่างรอยประกบของแม่พิมพ์ ซึ่งสามารถ เกิดขึ้นได้กับแม่พิมพ์ประเภท Split die อาจส่งผลให้ต้องทำการขัด เจียรหรือตะไบส่วนเหล่านี้ออก หลังกระบวนการ อย่างไรก็ตาม Solid die ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของการที่ต้องใช้รูทางตรงของแม่พิมพ์ ที่มีหน้าตัดเป็นวงกลม



รูปที่ 3.2 Solid Die และ Split Die [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ศึกษาข้อมูลของชิ้นงานที่ต้องการนำมาทำกระบวนการ ECAP

เนื่องจากวัตถุประสงค์ในการออกแบบแม่พิมพ์สำหรับทดสอบกระบวนการ ECAP นี้ต้องการให้สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวางกับโลหะวัสดุหลากหลายชนิดที่มีคุณสมบัติการขึ้นรูปที่แตกต่างกัน จากการศึกษาข้อมูลในกลุ่มวัสดุที่น่าสนใจทั้งอลูมิเนียม แมกนีเซียม ทองแดง ไทเทเนียม เหล็กกล้า รวมถึงโลหะผสมอื่นๆ รวบรวมเป็นข้อมูลในด้านต่างๆทั้งในด้านชนิดของโครงสร้างผลึก ด้านคุณสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็ง ความเหนียว ความแข็งแรง ฯลฯ และด้านแขนงของการใช้งานและต่อยอด เป็นต้น

เมื่อพิจารณาจากข้อมูลที่รวบรวมได้ จึงตัดสินใจวัสดุ 2 ชนิดที่มีพฤติกรรมการเสียรูปที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน คือโลหะ Copper Alloy C151 ซึ่งเป็นตัวแทนสำหรับกลุ่มโลหะที่ขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่ำได้ง่าย และโลหะ Titanium grade 1 ซึ่งเป็นตัวแทนสำหรับกลุ่มโลหะที่ขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่ำได้ยากกว่าซึ่งโดยพื้นฐานแล้วคุณสมบัติเหล่านี้เป็นผลมาจากโครงสร้างผลึก (Crystalline structure) ของวัสดุที่มีความแตกต่างกัน นอกจากนั้นวัสดุทั้งสองชนิดนี้ยังมีความแข็งแรงที่ไม่สูงจนเกินไปและมีคุณสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมซึ่งเหมาะแก่การนำมาพัฒนาคุณสมบัติวัสดุให้ดียิ่งขึ้นด้วยกระบวนการ ECAP อีกทั้งยังเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรมและที่สำคัญสามารถนำไปต่อยอดการใช้งานหลังผ่านกระบวนการในแขนงที่มีความเป็นเฉพาะทางยิ่งขึ้น เช่น ทางการแพทย์ เป็นต้น

3.3 ศึกษาข้อมูลวัสดุที่จะนำมาสร้างแม่พิมพ์และปลั๊นเจอร์

จากการศึกษาหาข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป พบว่าวัสดุที่จะนำมาใช้ผลิตแม่พิมพ์และปลั๊นเจอร์ควรมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ ความแข็งและทนต่อการสึกหรอ ควรมีความเหนียวที่พอดี มีความสามารถในการชุบแข็งสูงและทนต่อการอ่อนตัวและเสียรูปที่อุณหภูมิสูงได้ดี จากการค้นคว้าพบว่าวัสดุที่นิยมใช้ในกระบวนการและมีความน่าสนใจคือ Tool-steel H-13 และ SKD11

โดย Tool-steel H-13 มีความโดดเด่นในเรื่องของความต้านทานการอ่อนตัวในสภาพแวดล้อมการทำงานที่อุณหภูมิสูง มีความสามารถในการชุบแข็งสูงโดยสามารถชุบให้มีค่า Hardness, Rockwell C ได้มากที่สุดถึง 54 ซึ่งเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการทดสอบกระบวนการ ECAP มีความคงทนแข็งแรง มีความสามารถในการทนต่อการสึกกร่อนสูง มีความสามารถในการดูดซับพลังงานโดยที่ไม่เกิดการแตกหัก (Toughness) และมีความสามารถในการทนความล้าจากความเค้นแบบคาบ (Stress cycle) ที่ดี รวมถึงมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของ SKD11 มีความโดดเด่นในเรื่องของ ความต้านทานต่อการสึกหรอสูงมาก มีความเหนียว มีความสามารถในการชุบแข็งสูงมาก ต้านทานการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูงได้ดี และเกิดการบิดงอ น้อยมากหลังชุบแข็ง

โดยจากรูปที่ 3.3 จะเห็นได้ว่า SKD11 สามารถมีค่า Hardness, Rockwell C ได้มากที่สุดถึง 60 ซึ่งมากเพียงพอที่จะนำมาใช้ในกระบวนการ ECAP

Material characteristics of punching tools			
Item	Unit	Alloy tool steel	
		SKD11	SKD11 (improved)
Chemical composition (%)	C	1.5	8% Cr die steel
	Cr	12	
	Mo	—	
	W	1	
	V	0.35	
	Co	—	
	Mn	0.45	
Hardening temperature	[°C]	1000~1050	1020~1040
Tempering temperature	[°C]	150~200	520~550
Hardness	HRC	60~63	60~63
Traverse rupture force	N/mm ²	3500	4500
Young's modulus	N/mm ²	210000	217000
Density	g/cm ³	7.72	7.87
Thermal expansion coefficient	×10 ⁻⁶ /°C	12.0	12.2
Thermal conductivity	W/m·k	29.3	23.7

รูปที่ 3.3 สมบัติทางกลของ SKD11 [15]

3.4 อุปกรณ์เสริม

สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตโดยใช้เครื่องจักรนั้น จะให้ความสำคัญกับความสัมพันธ์ของ Force และ Displacement เนื่องจากสามารถบ่งบอกถึงกำลังที่ต้องใช้ในการผลิตได้ ในงานวิจัยนี้จึงมีการใช้อุปกรณ์ที่สามารถวัดแรงและระยะได้

3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้วัดแรง

จากการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับแรงที่ใช้ในกระบวนการ ECAP ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ทำให้ประมาณแรงที่จะใช้ในการทดลองนี้ได้ว่าจะอยู่ในช่วง 7-12 ตัน ซึ่งอุปกรณ์ที่เลือกใช้ คือ Pancake Load cell ซึ่งเป็น Load cell ที่มีรูปร่างคล้ายขนมแพนเค้ก สามารถใช้ได้ทั้งแรงกดและแรงดึง มีความแม่นยำสูง ค่า Linearity และ Hysteresis ในระดับ 0.05% มีขนาดตั้งแต่ 500 กิโลกรัม ถึง 500 ตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 การคาดคะเนหาแรงใช้ในกระบวนการ ECAP

Material	Shape	Size(mm)	Area (mm-2)	Max Force (kN)	Stress	Equivalent Force F_{d10} (kN)	Tensile Strength (MPa)	Pressing Machine		Channel Angle
								Capacity	Ram speed (mm/s)	
Al 1050	circle	19.7	304.80492	121.5	0.398616	31.307171	100-145		2	90°
Al 1050	square	4.99x4.99	24.9001	5.48	0.220079	17.284984	100-145		0.083	90°
Al 7075 process @210°C	circle	20	314.159	210	0.668451	52.5	572	120 tons	1.5	90°
Al 7075	circle	20	314.159	196	0.623888	49	572	200 tons	0.65	90°
Ti-Gr2	circle		75	50	0.666667	52.359833	485			
Pb-Sn	circle	12	113.09724	8.335	0.073698	5.7881944	48.3			
AA6061	circle	10	78.53975	52	0.662085	52	330		0.083	120°
				72	0.916733	72				90°

3.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้วัดระยะ

อุปกรณ์ที่เลือกใช้คือ Displacement Sensors ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับระยะทางและขนาดชิ้นงานแบบไม่สัมผัสกับวัตถุ สามารถเชื่อมตัวกับคอมพิวเตอร์หรือ PLC โดยหลักการทำงานของ Displacement Sensors จะใช้ลำแสงเลเซอร์เป็นตัวส่ง โดยการยิงลำแสงเลเซอร์ไปยังตัววัตถุและสะท้อนกลับมายังตัวรับของเซ็นเซอร์ ตัวรับจะทำการประมวลผลค่าที่อ่านได้แล้วแสดงผลออกมาในรูปแบบตัวเลขผ่านหน้าจอแสดงผลแบบ Digital

3.5 การศึกษาลักษณะทางเรขาคณิตของชุดแม่พิมพ์

ศึกษาข้อมูล ลักษณะโครงสร้างและขนาดความยาว รวมถึงลักษณะการทำงานจากเครื่องมือโลหะในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปเพื่อนำมาออกแบบโดยซอฟต์แวร์ Solid Work

3.5.1 การเลือกค่ามุม ϕ

ในการจะเลือกมุม ϕ นั้น 2 ปัจจัยสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาเพื่อหาค่าเหมาะสมที่สุดมีดังนี้

1. ความเครียดเฉือนที่เกิดขึ้นในตัวชิ้นงานเป็นปัจจัยที่ต้องการให้เกิดมากที่สุดเพื่อให้เกิดการเสียรูปถาวรในเนื้อวัสดุที่มากที่สุด ส่งผลให้สามารถสร้างวัสดุเกรนละเอียดได้จากจำนวนครั้งของการผ่านแม่พิมพ์ที่น้อยที่สุด นั่นหมายถึงการเลือกใช้มุม ϕ ที่น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

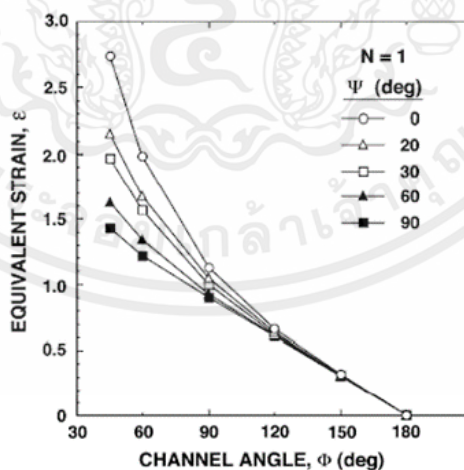
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แรงที่กระทำทั้งหมดจากเครื่องจักรตลอดทั้งกระบวนการสร้างวัสดุเกรนละเอียด (Total Load) เป็นปัจจัยที่ต้องการใช้ให้น้อยที่สุด ในขณะที่การเลือกใช้มุม ϕ ที่มีค่าน้อยส่งผลให้ต้องใช้แรงกระทำดังกล่าวที่เพิ่มขึ้นหลายเท่าถึงแม้ว่าจำนวนครั้งในการอัดเพื่อสร้างวัสดุเกรนละเอียดจะน้อยลงก็ตาม

ถึงแม้ว่าที่มุม $\phi \leq 90^\circ$ จะทำให้แม่พิมพ์ในกระบวนการ ECAP มีประสิทธิภาพที่สุด กล่าวคือ ความเครียดเฉือนเกิดขึ้นในตัวชิ้นงานมากที่สุดส่งผลให้สามารถสร้างวัสดุเกรนละเอียดได้รวดเร็วที่สุด แต่เหตุผลจากปัจจัยที่สองที่ได้กล่าวข้างต้นส่งผลให้ไม่สามารถเลือกมุมในช่วงดังกล่าวได้ การอัดชิ้นงานจะง่ายกว่าเมื่อใช้แม่พิมพ์ที่มีมุม $\phi > 90^\circ$ อีกทั้งความเป็นไปได้ที่จะนำเอาโลหะชนิดอื่นๆที่อาจมีความแข็งมากกว่าโลหะที่ใช้ในการทดลองนี้มาผ่านกระบวนการนั้นยังจำเป็นต้องนำมาพิจารณาอีกด้วย ดังนั้นจากเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมด จึงจำเป็นต้องเพิ่มมุม ϕ ให้มากยิ่งขึ้น

3.5.2 การเลือกมุม ψ

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นได้ว่ายิ่งที่มุม ϕ มีค่ามาก มุม ψ จะไม่ค่อยส่งผลกับค่า equivalent strain ที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน หากเลือกใช้มุม ϕ ที่มีค่ามาก ก็สามารถเลือกใช้มุม $\psi = 0^\circ$ อีกทั้งการเลือกใช้มุม $\psi = 0^\circ$ ยังเป็นการง่ายต่อการผลิตแม่พิมพ์อีกด้วย



รูปที่ 3.4 ความแปรผันของ equivalent strain (ϵ_N) กับมุม ϕ ในช่วงมุม ϕ ตั้งแต่ 45° ถึง 180°

สำหรับ มุม ψ ตั้งแต่ 0° ถึง 90° ค่าความเครียดสำหรับที่ถูกแสดงนี้สำหรับการผ่านเพียงรอบเดียว [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

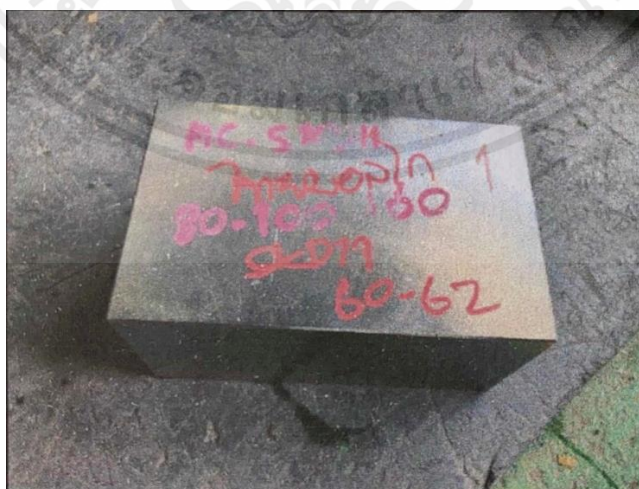
3.6 กรรมวิธีการผลิตแม่พิมพ์และปลั๊กเจอร์

3.6.1 วัสดุที่ใช้

ในงานวิจัยนี้วัสดุที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์และปลั๊กเจอร์ คือ โลหะเหล็กกล้า SKD11 เนื่องจากเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนสูงที่มีความแข็ง ความแข็งแรง ความทนทานต่อการสึกหรอและการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูงได้ดี มีความสามารถในการชุบแข็งสูง สามารถชุบแข็งในสภาพแวดล้อมที่เป็นภาวะสุญญากาศได้และเกิดการบิดงอเสียรูปน้อยมากหลังกระบวนการ ส่งผลให้ได้วัสดุที่มีสมบัติตามที่ต้องการโดยเฉพาะในด้านความแข็ง อีกทั้งสาเหตุสำคัญที่เลือกใช้โลหะ SKD11 ไม่ใช่ H13 Tool steel นั้นคือเรื่องของราคาที่มีความแตกต่างกันอย่างมาก จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติของโลหะทั้งสองพบว่า ถึงแม้ว่าโลหะ SKD11 จะมีคุณสมบัติที่ด้อยกว่า H13 ในบางด้าน แต่มีคุณสมบัติที่ยังคงเหมาะสมและครบถ้วน การเลือกใช้โลหะ SKD11 จะช่วยประหยัดงบประมาณในการผลิตเนื่องจากโลหะชนิดนี้โดยทั่วไปจะมีราคาที่ไม่สูงและสามารถเข้าถึงได้ง่ายกว่า อีกทั้งยังเป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลายมากกว่า ในระหว่างกระบวนการผลิตเช่นการชุบแข็งสามารถดำเนินการได้ครั้งละหลายๆ ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตลดต่ำลงไปอีก

3.6.2 ขั้นตอนในการผลิตแม่พิมพ์

1. เตรียมโลหะวัสดุ SKD 11 โดยกระบวนการ Machining ให้ได้เป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีขนาดกว้าง 80 mm ยาว 100 mm สูง 160 mm ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 โลหะวัสดุ SKD 11 ที่ถูกตัดให้ได้ขนาดตามต้องการก่อนเริ่มกระบวนการ Machining อื่นๆ
ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วัดระยะตำแหน่งของรูที่จะทำการเจาะเข้าไปให้พบกันบริเวณตรงกลางภายในแม่พิมพ์ทั้ง 2 ด้าน

3. ทำการเจาะนำร่องด้วยหัวเจาะรีมเมอร์ขนาด 10 mm ที่มีขนาดเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูแม่พิมพ์ตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยเจาะเข้าไปเป็นระยะลึกประมาณ 95 mm ด้วยเครื่องจักรดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการเจาะนำร่องก่อนกระบวนการเจาะแบบ EDM

4. ใช้เครื่อง CNC ดังแสดงในรูปที่ 3.8 กลึงโลหะทองแดงเป็นทรงกระบอกหัวตัดและหัวมน เพื่อจะใช้เป็นหัวอิเล็กโทรดสำหรับกระบวนการเจาะแบบ EDM – Electric Discharge Machining ให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ขนาด คือ 10.1 mm ดังแสดงในรูปที่ 3.8 และ 10.2 mm ดังแสดงในรูปที่ 3.9 โดยใช้สำหรับการเจาะครั้งแรกแบบหยาบและการเจาะครั้งที่สองแบบเก็บผิวให้มีความละเอียดเรียบเนียนมากยิ่งขึ้นตามลำดับ ซึ่งเครื่องมือวัดที่ใช้ที่มีความขัดข้องทางเทคนิคในการสอบเทียบ (calibration) ก่อนทำการวัดแสดงค่าอยู่ที่ติดลบ 0.03 mm ส่งผลให้ต้องทำการบวกค่าดังกล่าวเข้าไปจากค่าที่อ่านได้



รูปที่ 3.7 เครื่องจักร CNC ที่ใช้ในการกลึงหัวอิเล็กทรอนิกส์ทองแดง



รูปที่ 3.8 หัวอิเล็กทรอนิกส์ชนิดทองแดงขนาด 10.1 mm



รูปที่ 3.9 หัวอิเล็กทรอนิกส์ชนิดทองแดงขนาด 10.2 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. จากนั้นนำหัวอิเล็กโทรดที่ได้ไปติดตั้งเข้ากับเครื่องเจาะ EDM ดังแสดงในรูปที่ 3.10 เพื่อทำการเจาะรูจากทั้ง 2 ด้านของแม่พิมพ์ โดยการเจาะหยาบจะตั้งค่าไฟที่ใช้เจาะไว้ที่ 9 A เพื่อให้ได้ความหยาบผิวอยู่ที่ $90\ \mu\text{m}$ ส่วนการเจาะเพื่อเก็บรายละเอียดผิวให้เรียบเนียนยิ่งขึ้นจะตั้งค่าไฟที่ใช้เจาะไว้ที่ 6 A เพื่อให้ผิวสุดท้ายของชิ้นงานมีความหยาบผิวอยู่ที่ $60\ \mu\text{m}$



รูปที่ 3.10 เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการเจาะแบบ EDM

6. ใช้อุปกรณ์ V-Block ในการตั้งและยึดชิ้นงานเพื่อทำการเจาะแบบเดียวกันกับทางด้านข้างของแม่พิมพ์เพื่อให้มั่นใจว่ามุมภายในแม่พิมพ์ ϕ เท่ากับ 110°

7. โดยในการเจาะ ก่อนที่รูจากทั้ง 2 ด้านจะมาพบกันตรงกลางนั้นจะเหลือระยะไว้ประมาณ 2-3 mm จากนั้นส่งไปทำกระบวนการชุบแข็งโลหะให้ได้ความแข็งอยู่ที่ประมาณ 60-62 HRC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. จากนั้นนำกลับมาทำกระบวนการเจาะ EDM แบบเดียวกันกับที่กล่าวไปข้างต้นในส่วนที่เหลือระยะไว้ เพื่อให้รูภายในแม่พิมพ์จากทั้ง 2 ด้านเชื่อมต่อถึงกัน จากนั้นทำการเก็บรายละเอียดให้ได้ตามแบบ

3.6.3 ขั้นตอนในการผลิตปลั๊กเจอร์

1. นำโลหะวัสดุ SKD 11 ทรงกระบอกมาทำการกลึงตามแบบโดยเครื่องจักรดังแสดงในรูปที่ 3.11 โดยเผื่อระยะไว้ประมาณ 1-2 mm



รูปที่ 3.11 เครื่องจักรที่ใช้ในการกลึงขึ้นรูปปลั๊กเจอร์

2. นำปลั๊กเจอร์ที่ผ่านการกลึงมาทำการชุบแข็งโลหะให้ได้ความแข็งอยู่ที่ประมาณ 60-62 HRC

3. หลังจากนั้นทำ Fillet ที่บริเวณใต้ปากของปลั๊กเจอร์เพื่อป้องกันการแตกหักบริเวณที่เชื่อมระหว่างปากกับแท่งของปลั๊กเจอร์

4. ส่งไปเจียรระโนบริเวณส่วนปลายของปลั๊กเจอร์เพื่อให้มั่นใจว่าปลั๊กเจอร์และรูแม่พิมพ์สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างสมบูรณ์ โดยลดขนาดของปลั๊กเจอร์ลงมาจาก 10.3 mm เป็นระยะประมาณ 20 μm

3.7 การเตรียมชิ้นงานก่อนเข้ากระบวนการ ECAP

3.7.1 ลักษณะชิ้นงาน (Billet)

1. Commercially pure Titanium grade 1 และโลหะทองแดง Cu-0.1% Zr alloy
2. ลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกตัน ขนาดหน้าตัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm ความยาว 70 mm

3.7.2 กระบวนการตัดแบ่งชิ้นงาน

1. การวัดระยะด้วยเครื่องมือวัดความยาวเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์โดยเผื่อขนาดชิ้นงานยาวกว่าขนาดที่ต้องการ 70 mm ประมาณ 1-2 mm
2. กำหนดตำแหน่งด้วยปากกาขีดโลหะ
3. ตัดแท่งโลหะด้วยเครื่องเลื่อยชัก (Power Hacksaw)
4. ตะไบเศษครีบรวมถึงเนื้อชิ้นงานที่เผื่อออกโดยสลักกับการวัดด้วยเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ให้ได้ขนาดที่ใกล้เคียงกับขนาดที่ต้องการ โดยเหลือระยะไว้สักเล็กน้อยสำหรับการขัดต่อด้วยกระดาษทราย
5. ขัดพื้นผิวหน้าตัดไปในทางเดียวกันด้วยกระดาษทรายผิวละเอียดสำหรับขัดโลหะ No.800 เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีขนาด 70 mm พอดี อีกทั้งเพื่อให้หน้าตัดมีความเสมอกัน และพื้นผิวชิ้นงานมีความเรียบเนียน

3.7.3 กระบวนการอบชิ้นงาน (Process Annealing)

จากการศึกษาพบว่าโดยทั่วไปแล้วการขึ้นรูปแท่งโลหะเหล่านี้จากโรงงานผลิตจะเป็นประเภทการขึ้นรูปเย็น (Cold working) การอบอ่อนใต้อุณหภูมิวิกฤต (Process Annealing) จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่มีจุดมุ่งหมายในการปรับปรุงโครงสร้างจุลภาคของโลหะที่ผ่านการขึ้นรูปเย็นมาอย่างรุนแรงและไม่สามารถทนต่อการขึ้นรูปเย็นต่อไปได้อีกเนื่องจากจะเกิดการแตกร้าวให้กลับมามีความเหนียวและสามารถขึ้นรูปต่อไปได้อีกได้ โดยในระหว่างการอบอ่อนใต้อุณหภูมิวิกฤตนี้จะเกิดการตกผลึกของเกรนใหม่ (Recrystallization) ซึ่งเกรนที่เกิดขึ้นใหม่นี้จะไม่มี ความเครียดสะสมอยู่จึงทำให้มีความเหนียวและพร้อมที่จะผ่านการขึ้นรูปเย็นต่อไปได้อีก โดยปกติแล้วการอบอ่อนใต้อุณหภูมิวิกฤตเป็นขั้นตอนหนึ่งก่อนกระบวนการขึ้นรูปเย็นต่างๆ เช่น การดึงขึ้นรูปเย็น การรีดเย็น รวมถึงการอัดรีดขึ้นรูปเย็น เป็นต้น

3.7.3.1 ขั้นตอนในการอบอ่อนชิ้นงานของโลหะไทเทเนียมเกรด 1

จากข้อมูลที่พบ เนื่องจากส่วนประกอบของ Ti grade 1 มี %Ti เท่ากับ 99.5% และ Fe เป็นส่วนประกอบที่มีสัดส่วนเป็นมากเป็นอันดับสองอยู่ที่ 0.20% ดังนั้นจึงอนุมานในการพิจารณาคุณสมบัติเป็นโลหะไทเทเนียมบริสุทธิ์ จากการศึกษางานวิจัยพบว่าโดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิของการตกผลึกของเกรนใหม่ (Recrystallization temperature) ของโลหะไทเทเนียมที่เป็น Commercially pure จะอยู่ที่ประมาณ 600-700 °C

โลหะ Ti grade 1 ถูกนำเข้าอบอ่อนภายใต้อุณหภูมิวิกฤตที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 40 นาที โดยอ้างอิงค่าเหล่านี้จากการศึกษาวิจัยของ Xicheng Zhao และคณะ [4] ที่มีการทดสอบชิ้นงานในสภาวะแวดล้อมคล้ายคลึงและมีเงื่อนไขของการทดลองที่ใกล้เคียงกัน จากนั้นปิดเครื่องแล้วปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวในเตา

3.7.3.2 ขั้นตอนในการอบอ่อนชิ้นงานของโลหะทองแดงผสม Cu-0.1% Zr alloy

เข้าอบอ่อนที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 1 ชม. จากนั้นปิดเครื่องแล้วปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวในเตา

3.7.4 ตัวแปรในการทดสอบชิ้นงาน

1. อุณหภูมิ (Temperature) : อุณหภูมิห้อง
2. ลักษณะเส้นทางการกด (Route) : B_C

เนื่องจากลักษณะเส้นทางการกดในรูปแบบ B_C นั้น หากอ้างอิงจากรูปที่ 2.4 และทฤษฎีที่ได้กล่าวไปในบทที่ 2 นั้น Route B_C สามารถทำให้เกรนของโลหะเกิดการเสีรูปร่างได้อย่างทั่วถึงในทุกระนาบ X, Y และ Z มากกว่าลักษณะเส้นทางการกดรูปแบบอื่นๆ จากรูป องค์ประกอบของลูกบาศก์ในทุกๆ ระนาบจะคืนสภาพเดิมสำหรับการกดชิ้นงานทุกๆ 4 ครั้ง ส่งผลให้ Route B_C สร้างโครงสร้างจุลภาคที่มีความละเอียด (Ultra-fined grain) เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) มีขนาดและลักษณะที่สม่ำเสมอ (Equiaxed) ได้รวดเร็วที่สุด ส่งผลเชิงบวกต่อสมบัติเชิงกลของโลหะในหลากหลายด้าน

3. ความเร็วในการกดชิ้นงาน (Pressing speed) : 1 mm/s

อ้างอิงจากงานวิจัยของ Patrick B. Berbon และคณะ [9] กล่าวว่าความเร็วของการกดไม่ส่งผลใดๆอย่างมีนัยสำคัญต่อความสมดุลของขนาดเกรน อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของความเร็วในการกดชิ้นงานนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของความเค้นตกค้างภายในและความหนาแน่นของดิสโลเคชันทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของดิสโลเคชันเหล่านี้ไม่สามารถคลายตัวได้ทันระหว่างกระบวนการ ECAP ที่มีความเร็วในการกดสูง แสดงให้เห็นเป็นนัยว่าความเร็วในการกดขึ้นงานที่ต่ำจะช่วยให้การคลายตัวของความเค้นตกค้างและดิสโลเคชันเหล่านี้เกิดได้ง่ายมากขึ้น ส่งผลให้โครงสร้างจุลภาคมีความสมดุลมากขึ้น ลดความเสี่ยงต่อการเกิดการแตกหักของชิ้นงาน (โดยเฉพาะในกลุ่มโลหะที่มีโครงสร้างผลึกแบบ HCP) จากการสะสมของความเค้นตกค้างและดิสโลเคชันที่ค้างภายในชิ้นงาน ส่งผลดีต่อการสร้างโครงสร้างจุลภาคที่มีความแข็งแรงและมีสมบัติเชิงกลที่ดีอีกด้วย

4. น้ำมันหล่อลื่น (Lubricant) : CALFORM NF206

เป็นน้ำมันหล่อลื่นที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการขึ้นรูปโลหะที่สภาพงานหนักในอุตสาหกรรมโรงงาน สามารถสร้างชั้นฟิล์มที่มีความหนาเพียงพอ มีความหนืดที่เหมาะสมและมีระดับความอันตรายและเป็นพิษต่ำอ้างอิงจาก MSDS – Material Safety Data Sheet ของผลิตภัณฑ์ โดยวิธีการใช้งาน จะใช้แปรงทาน้ำมันหล่อลื่นที่แท่งปลั๊กเจอร์และจุ่มชิ้นงาน รวมถึงหยอดน้ำมันหล่อลื่นลงในรูแม่พิมพ์ก่อนจะทำการกดชิ้นงานในแต่ละครั้ง

3.7.5 ขั้นตอนการทดสอบแม่พิมพ์ในกระบวนการ ECAP

หลังจากกระบวนการผลิตแม่พิมพ์และการเตรียมชิ้นงานทดสอบ จะทำการติดตั้งและทดสอบการทำงานของแม่พิมพ์ ECAP และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. สวมใส่อุปกรณ์นิรภัยและถุงมือกันสารเคมี
2. ติดตั้งตัวยึด ตามด้วยปลั๊กเจอร์และแม่พิมพ์เข้ากับเครื่อง Press
3. ติดตั้งอุปกรณ์โหลดเซลล์และเซนเซอร์วัดระยะ สอบเทียบและตรวจเช็คการทำงานให้มั่นใจว่าเครื่องมือวัดเหล่านี้พร้อมใช้งาน
4. กำหนดค่าต่างๆของเครื่องรวมถึงความเร็วในการกดชิ้นงานและตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรรวมถึงระยะต่างๆ ของปลั๊กเจอร์และรูแม่พิมพ์ให้พอดีกัน เพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องจักรพร้อมทำงานและพร้อมเริ่มกระบวนการทดสอบชิ้นงาน
5. จุ่มชิ้นงานลงในน้ำมันหล่อลื่นหรือใช้แปรงทาลงบนพื้นผิวชิ้นงานและหยอดลงในรูแม่พิมพ์ให้ทั่ว (ทำเช่นนี้ก่อนการกดชิ้นงานทุกครั้ง) และก่อนทำการกดทุกครั้งให้หมุนชิ้นงานไปในทางเดียวกันเป็นมุม 90°
6. เริ่มการทดสอบชิ้นงานที่โลหะทองแดงก่อนเนื่องจากมีความสามารถในการขึ้นรูปได้ง่ายกว่า เมื่อทำที่จำนวนครั้ง 1 และ 8 ครั้งแล้ว จึงค่อยเปลี่ยนเป็นโลหะไทเทเนียมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ใส่ชิ้นงานลงในรูแม่พิมพ์และเริ่มการกดชิ้นงาน โดยในแต่ละครั้งของการกดชิ้นงานจะวัดและบันทึกแรงที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบชิ้นงานจากอุปกรณ์โหลดเซลล์ที่ระยะต่างๆที่ปลั๊กเจอร์เคลื่อนที่ลงมาโดยวัดจากเซนเซอร์วัดระยะ เพื่อนำมาวิเคราะห์ทั้งระหว่างการทดสอบและหลังจากการกดชิ้นงานเสร็จในแต่ละครั้ง เพื่อตรวจสอบว่ามีค่าของแรงที่สูงหรือต่ำกว่าค่าปกติที่คาดการณ์ไว้หรือไม่ในทุกๆครั้งของการทดสอบตลอดกระบวนการ โดยใช้โปรแกรม Excel ในการพลอตกราฟออกมา หากพบความผิดปกติจะได้วิเคราะห์หาสาเหตุต่อไป
8. หลังเสร็จการทดสอบในแต่ละครั้ง ตรวจสอบสภาพของปลั๊กเจอร์และแม่พิมพ์ว่ามีสิ่งผิดปกติ ความเสียหายหรือสัญญาณที่บ่งบอกถึงความไม่พร้อมในการทดสอบครั้งต่อไปหรือไม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 การเลือกเครื่องปั๊มโลหะ (Pressing Machine)

เครื่องจักรที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการทำกระบวนการ ECAP ดังแสดงในรูปที่ 4.1 เป็นเครื่องปั๊มโลหะที่มีกำลังการผลิต 200 ตัน ซึ่งทางผู้วิจัยได้เข้าไปดูและศึกษารายละเอียดเบื้องต้นของเครื่อง เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบตัวจับยึดแม่พิมพ์



รูปที่ 4.1 เครื่องปั๊มโลหะที่จะนำมาใช้ในกระบวนการ ECAP

เครื่องปั๊มโลหะชนิดนี้ เป็น Half-Revolution Machine ข้อดีคือระยะชัก (Stroke) และความเร็วของแรมสามารถที่จะทำการปรับได้ โดยเครื่องปั๊มโลหะชนิดนี้มีระยะเปิดสูงสุด (Max opening height) เท่ากับ 1000 mm ระยะชัก (Slide stroke) อยู่ที่ 590 mm สามารถทำความเร็วต่ำสุดที่ 1 mm/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

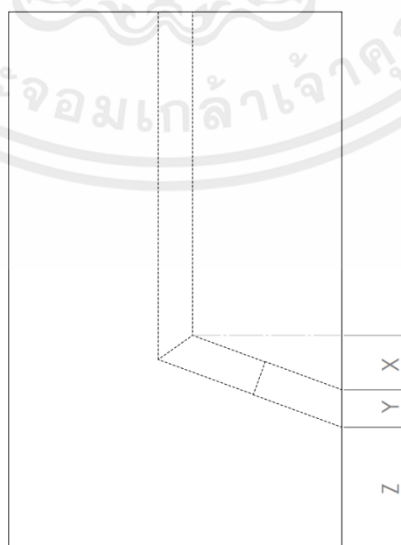
4.2 การออกแบบแม่พิมพ์ (Die)

จากการพิจารณาแล้วชนิดของแม่พิมพ์ที่เลือกจะออกแบบคือ Solid die เนื่องจากต้องการหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการอัดขึ้นรูปในเรื่องของเศษครีโบลหะที่พยายามดันตัวออกระหว่างรอยประกบของแม่พิมพ์ โดยวัสดุที่เลือกนำมาสร้างแม่พิมพ์ คือ SKD11

ในส่วนของค่าทางเรขาคณิตต่างๆของแม่พิมพ์ ในการพิจารณาเลือกค่ามุม ϕ จากค่าความเครียดเฉือน พบว่ายิ่งค่ามุม มีค่าน้อย ค่าความเครียดเฉือนที่เกิดขึ้นในตัวชิ้นงานยังมีค่ามาก แต่การใช้ค่ามุม ϕ ที่มีค่าน้อย ส่งผลให้จะต้องใช้แรงจากเครื่องจักรที่มากขึ้น อีกทั้งที่มุม $\phi > 90^\circ$ การอัดขึ้นงานจะง่ายกว่า และมีความเป็นไปได้ที่จะนำเอาโลหะชนิดอื่นๆที่มีความแข็งแรงมากขึ้นมาทดสอบได้ จึงเป็นสาเหตุที่เลือกมุม $\phi = 110^\circ$ และเลือกค่ามุม $\psi = 0^\circ$ เนื่องจากที่มุม $\phi = 110^\circ$ ค่าของมุม ψ ส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อค่า Equivalent strain ที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน

ในส่วนของการออกแบบรูแม่พิมพ์ เนื่องจากเลือก Specimen ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm ยาว 70 mm จึงออกแบบให้ทางเข้ารูแม่พิมพ์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.3 mm ลึก 100 mm และออกแบบให้ทางออกรูแม่พิมพ์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.5 mm เนื่องจากเมื่อ Specimen ถูกกดจะเกิดการบวมตัวขึ้น (Die Swell) เพื่อให้ง่ายต่อการนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ จึงต้องออกแบบให้บริเวณทางออกรูแม่พิมพ์มีขนาดใหญ่ขึ้น

โดยออกแบบให้พื้นที่หน้าตัดของแม่พิมพ์เท่ากับ 100×80 mm และในส่วนของความสูงของแม่พิมพ์ มีการคำนวณ ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาว x : $\tan 20^\circ = \frac{x}{44.85}$; $x = 16.32 \text{ mm}$

ความยาว y : $\cos 20^\circ = \frac{10.5}{y}$; $y = 11.17 \text{ mm}$

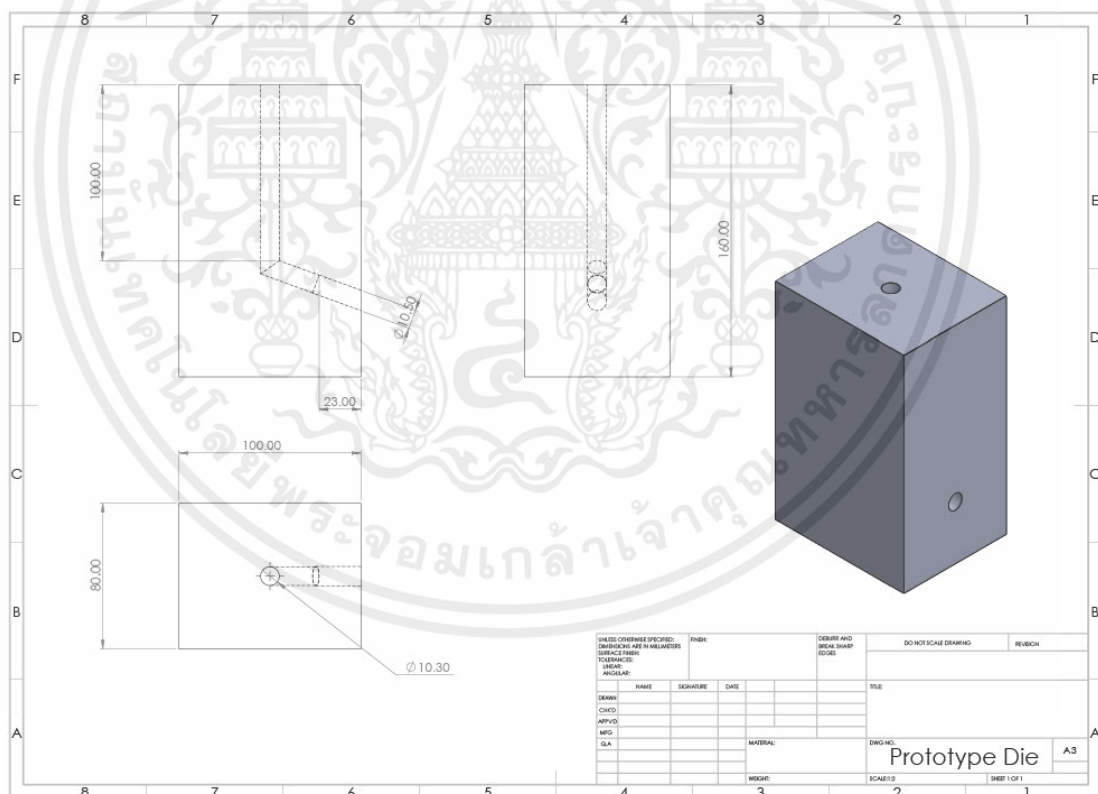
ความยาว z :

ในการหาความยาว z ต้องคำนวณเพื่อให้หน้า specimen ออกจากแม่พิมพ์ได้ แสดงว่า z จะต้องมีความสูงอย่างน้อย

$$\sin 20^\circ = \frac{z}{70} ; z = 20.94 \text{ mm}$$

แสดงว่าความสูงของแม่พิมพ์ควรมีค่าอย่างน้อย $100 + x + y + z = 100 + 16.32 + 11.17 + 20.94 = 148.43 \text{ mm}$ จึงออกแบบให้แม่พิมพ์มีความสูง 160 mm

จากที่กล่าวมาข้างต้น นำมาออกแบบแม่พิมพ์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แม่พิมพ์ต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การออกแบบปลั๊นเจอร์ (Plunger)

ออกแบบปลั๊นเจอร์ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับรูของแม่พิมพ์ ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 10.3 mm และในส่วนของความยาว เนื่องจากความลึกของรูแม่พิมพ์เท่ากับ 100 mm จึงต้องการออกแบบให้ปลั๊นเจอร์มีความยาวมากกว่า 100 mm และจากสูตรคำนวณเพื่อหาค่าความยาวที่มากที่สุดที่จะไม่เกิดการแตกหักได้ จากบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.4.1 ที่ทำการประมาณค่าแรงที่ใช้ในการทำกระบวนการ ECAP อยู่ที่ประมาณ 7-12 tons โดยจะทำการคำนวณ Buckling load โดยใช้ Critical load เท่ากับ 15 tons เพื่อหาค่าความยาวของปลั๊นเจอร์มากที่สุดที่เป็นไปได้ ดังนี้

$$\text{จาก Euler's Formula : } P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2}$$

$$\text{โดย } P_{cr} = 15000(9.8) = 147099.75 \text{ N}$$

$$E \text{ ของ ASK11} = 207 \text{ GPa}$$

$$I = \frac{\pi r^4}{4} = \frac{\pi D^4}{64}$$

$$L_e \text{ คำนวณเป็นแบบ Fixed-Pinned โดยจะได้ } L_e = 0.7L$$

$$\text{จะได้ } 147099.75 = \frac{\pi^2 \times (207 \times 10^9) \times \pi \times (10.3 \times 10^{-3})^4}{64 \times (0.7L)^2}$$

$$\text{ได้ } L = 0.12514 \text{ m} = 125.14 \text{ mm}$$

จะเห็นว่าค่าความยาวปลั๊นเจอร์อยู่ในช่วง 100-125.14 mm จึงออกแบบให้ปลั๊นเจอร์ มีความยาว 110 mm ซึ่งสามารถรับแรงได้มากถึง 19 tons


จากที่กล่าวมาข้างต้น นำมาออกแบบปลั๊นเจอร์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.3


4.4 การเลือกอุปกรณ์เสริม

4.4.1 อุปกรณ์วัดแรง (Load Cell)

เนื่องจากแรงที่ใช้ในกระบวนการนี้มีค่าประมาณ 7-12 tons จึงเลือกอุปกรณ์วัดแรงเป็น Load cell ชนิด Pancake Load Cell ซึ่งเหมาะกับการวัดแรงจากการกด โดย Load Cell ที่เลือกใช้ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 มีขนาด 20 tf โดยระยะที่ Load Cell ขนาดนี้สามารถวัดแรงได้ เหมาะสมกับ ช่วงแรงที่ต้องใช้ในกระบวนการนี้

Distributor / Sales Agent - Thailand
This is I.T. Co., Ltd.
Hot Line: 091-095-8123
E-mail: sales@thisisit.co.th






Miniature Load Cell (50kgf ~ 20tf) www.ctaplus.com

FEATURE

- Miniature dimension
- Compression application
- Application for limited space
- Protection class IP67

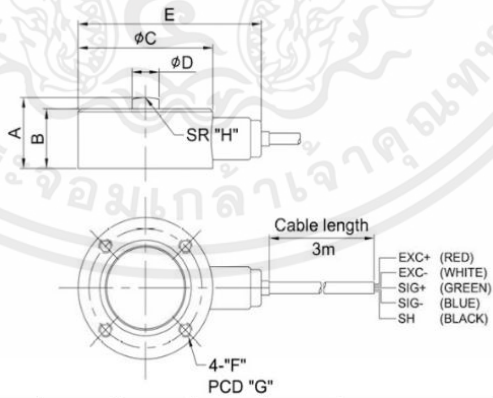
SPECIFICATION

MODEL	CMNC
Rated capacity (R.C.)	50, 100, 200, 500 kgf 1, 2, 5, 10, 20 tf
Rated output (R.O.)	2.0 ± 0.02 mV/V
Zero balance	0 ± 0.1 mV/V
Combined error	0.15% R.O.
Repeatability	0.05% R.O.
Creep for 30 min	0.03% R.O.
Temp. effect on zero value	0.05% / 10°C
Temp. effect on output value	0.01% / 10°C
Excitation recommended	10V DC
Excitation maximum	15V DC
Terminal resistance, input	420 ± 50Ω
Terminal resistance, output	350 ± 3.5Ω
Insulation resistance	> 2000MΩ @ 50V DC
Compensated temperature range	-10 to +40°C
Operating temperature range	-20 to +80°C



◆ Material
Stainless steel (50kgf~2tf)
Paint finished steel (5tf ~ 20tf)

◆ Cable
Braided Shield 4-wire round cable
with PVC-jacket



DIMENSION

Rated Capacity	A	B	φC	φD	E	F	G	H
50, 100, 200, 500kgf 1, 2tf	25	21	50	10	68	M5 x 0.8 DP7	42	50
5tf	40	35	98	20	115	M6 x 1.0 DP8	72	150
10tf	45	40	98	20	115	M6 x 1.0 DP8	72	150
20tf	50	45	118	20	135	M8 x 1.25 DP10	90	250

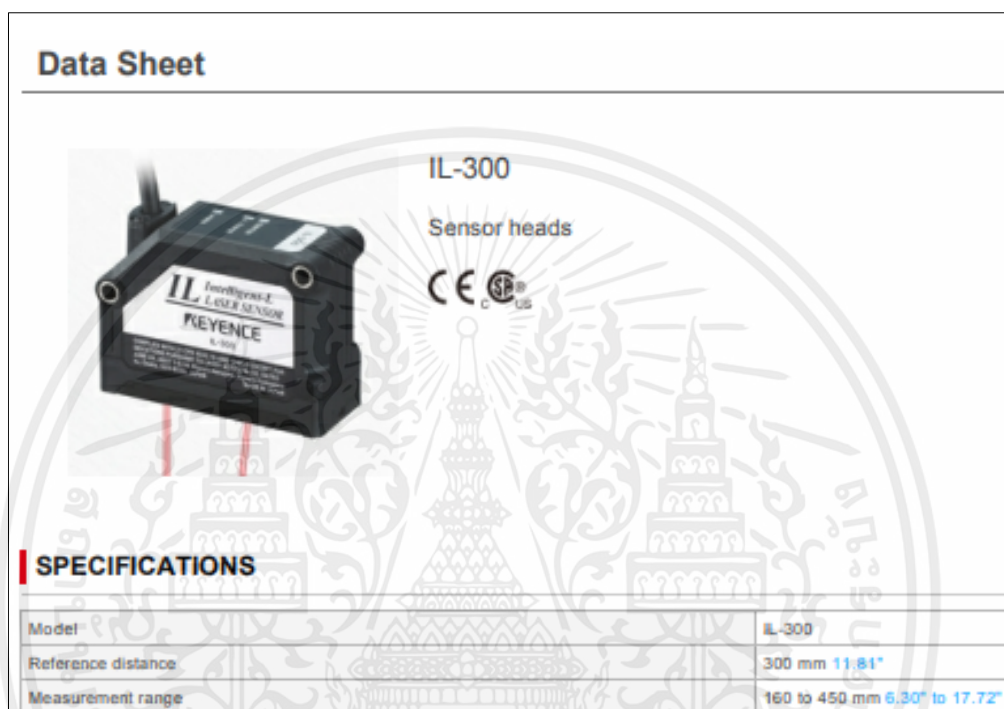
CTAplus co., ltd.

รูปที่ 4.4 Load Cell ชนิด Pancake Load Cell ที่เลือกใช้ [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 อุปกรณ์วัดระยะ (Displacement Sensor)

เนื่องจากระยะเปิดสูงสุดของเครื่องจักรเท่ากับ 1000 mm จึงเลือก Displacement sensor ชนิด Optical Displacement Sensors ใช้หลักการวัดระยะแบบ CMOS ดังรูปที่ 4.5 โดยมีระยะทำการอยู่ที่ 160-450 mm ซึ่งครอบคลุมกับการทดลองนี้



รูปที่ 4.5 Displacement sensor ชนิด Photoelectric Sensor ที่เลือกใช้ [17]

4.4.3 อุปกรณ์กำหนดตำแหน่ง (Guide Post)

เนื่องจาก Guide Post ที่มีอยู่เป็น Guide Post ขนาด Diameter ขนาด 50 mm และมีความสูง 250 mm ดังแสดงในรูป 4.6 ซึ่งจากการคำนวณสามารถนำมาใช้งานได้แต่อาจจะต้องมีการออกแบบเพิ่มเติมเพื่อการติดตั้งให้ใช้งานได้

Product Description

Plain Guide Post Set, Dia 20-100 mm – โหนดโพสท์ชุด แบบธรรมดา, ขนาด 20-100 มม

[STANDARD TYPE]

Code : GPS

ส่วนประกอบของโหนดโพสท์ 1 ชุด

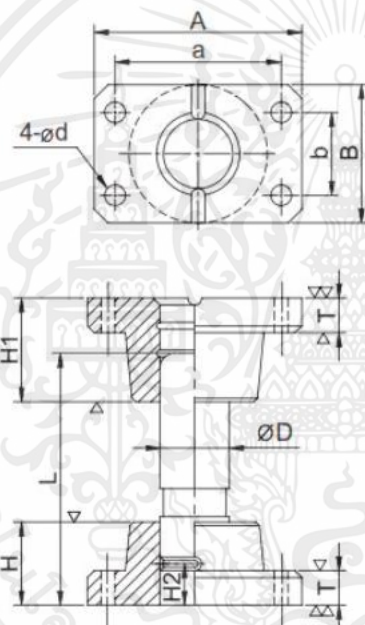
Par for 1 Set of Guide Post Set

* Guide Bushing : Material. FC250

* Guide Post : Material. S50C

(Induction Hardened : 58HRC)

* Guide Holder : Material. FC250

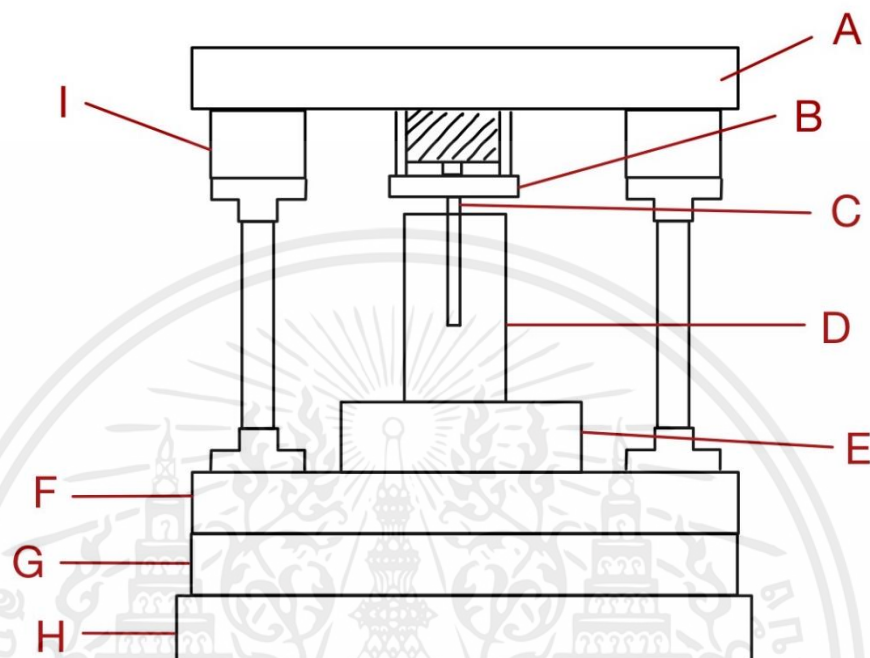


รูปที่ 4.6 Guide Post ที่เลือกใช้ในการทดลอง [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การออกแบบชุดแม่พิมพ์ (Die Set)

การออกแบบชุดแม่พิมพ์ที่ใช้ในงานนี้ มีแผนร่างคร่าวๆ ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แผนร่างคร่าวๆ ของชุดแม่พิมพ์

โดยแต่ละชั้นส่วนนี้มีการออกแบบ ดังนี้

A : พิกซ์เจอร์แผ่นที่ 1

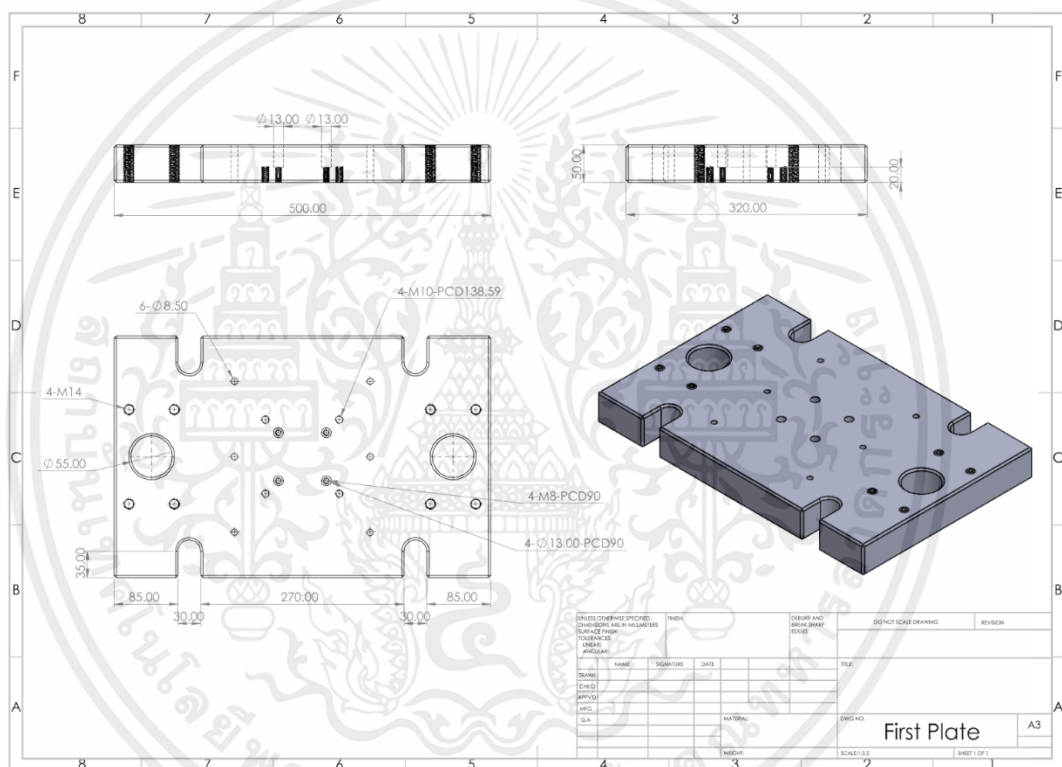
ออกแบบให้มีหน้าที่ยึดชุดแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องปั๊มโลหะทางข้างบน และส่วนล่างของพิกซ์เจอร์จะใช้ยึดกับ Load Cell และ Guide Post โดยทำการออกแบบให้มีความหนา เท่ากับ 50 mm และมีความขนาดพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 320 x 500 mm ในส่วนของการยึดติดกับเครื่องปั๊มโลหะ จากการศึกษาลักษณะของเครื่องปั๊มโลหะ จะเห็นได้ว่าที่ตัวเครื่องจะมี Slot เพื่อไว้ยึดชุดแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องปั๊มโลหะ ซึ่งระยะห่างของ Slot เท่ากับ 270 mm จึงออกแบบให้พิกซ์เจอร์มีช่องที่ไว้ใช้ยึด ซึ่งมีระยะห่างเท่ากับระยะห่างของ Slot มีการออกแบบให้เป็นร่องเข้าไป เพื่อใช้ T-Bolt ขนาด M30 ในการยึด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการยึด Load Cell เข้ากับตัวฟิกซ์เจอร์ จากแคตตาล็อกของ Load Cell พบว่า Load Cell ขนาด 20 tf ใช้ Bolt ขนาด M8 ในการยึด จึงเจาะรูทำเกลียว เพื่อให้ติด Load Cell ไว้ตำแหน่งตรงกลางของฟิกซ์เจอร์ได้

ในส่วนของ Guide Post จากแคตตาล็อก เนื่องจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเสาของ Guide Post เท่ากับ 50 mm จึงเจาะรูให้มีขนาด 55 mm เพื่อให้ตัวเสาด้านเข้าได้ง่าย

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาออกแบบได้ดังแสดงในรูปที่ 4.8



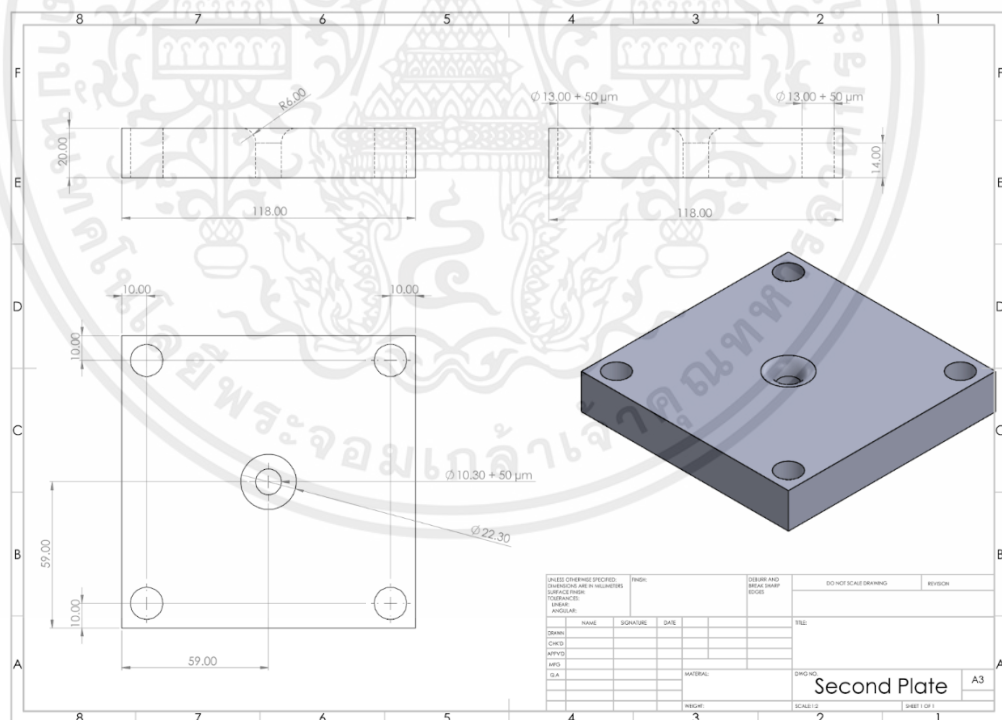
รูปที่ 4.8 ภาพฉายของฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B : พิกซ์เจอร์แผ่นที่ 2

พิกซ์เจอร์แผ่นนี้ถูกออกแบบให้มีขนาดเท่ากับ Load Cell จึงออกแบบให้มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 118x118 mm หนา 20 mm ซึ่งต้องการให้พิกซ์เจอร์แผ่นนี้ทำหน้าที่ยึดกับปลั๊กเจอร์โดยที่ปลั๊กเจอร์สามารถไปกดกับ Load Cell ได้โดยตรง จึงทำการออกแบบให้พิกซ์เจอร์เป็นบ่าเพื่อให้สวมปลั๊กเจอร์ลงไปได้จากทางด้านบน โดยทำการเจาะรูให้มีขนาดเท่ากับปลั๊กเจอร์ที่ออกแบบไว้ข้างต้น คือ 10.3 mm มีการ Fillet รูด้านบนด้วยรัศมี 6 mm และทำการเจาะรูสำหรับการสวม Bolt เพื่อยึดพิกซ์เจอร์แผ่นที่ 2 กับพิกซ์เจอร์แผ่นที่ 1 โดยเจาะรูห่างจากขอบด้านละ 10 mm จำนวน 4 รู และเพื่อให้แน่ใจว่า Bolt แต่ละตัวที่ขันเข้าไปได้ระยะที่เท่ากัน เพราะหากขันเข้าไปไม่เท่ากันก็จะทำให้พิกซ์เจอร์แผ่นที่ 2 เอียง ซึ่งจะส่งผลไปถึงปลั๊กเจอร์ที่เวลาทำการกดชิ้นงาน ปลั๊กเจอร์อาจจะไม่อยู่ตรงกับรูแม่พิมพ์ส่งผลให้ปลั๊กเจอร์หักได้ จึงป้องกันการเกิดปัญหานี้ โดยใช้ Stripper Bolt ซึ่งเป็น Standard Part โดยระยะเกลียวของ Bolt แต่ละตัวมีระยะที่เท่ากันอย่างแน่นอน

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาออกแบบได้ดังแสดงในรูปที่ 4.9



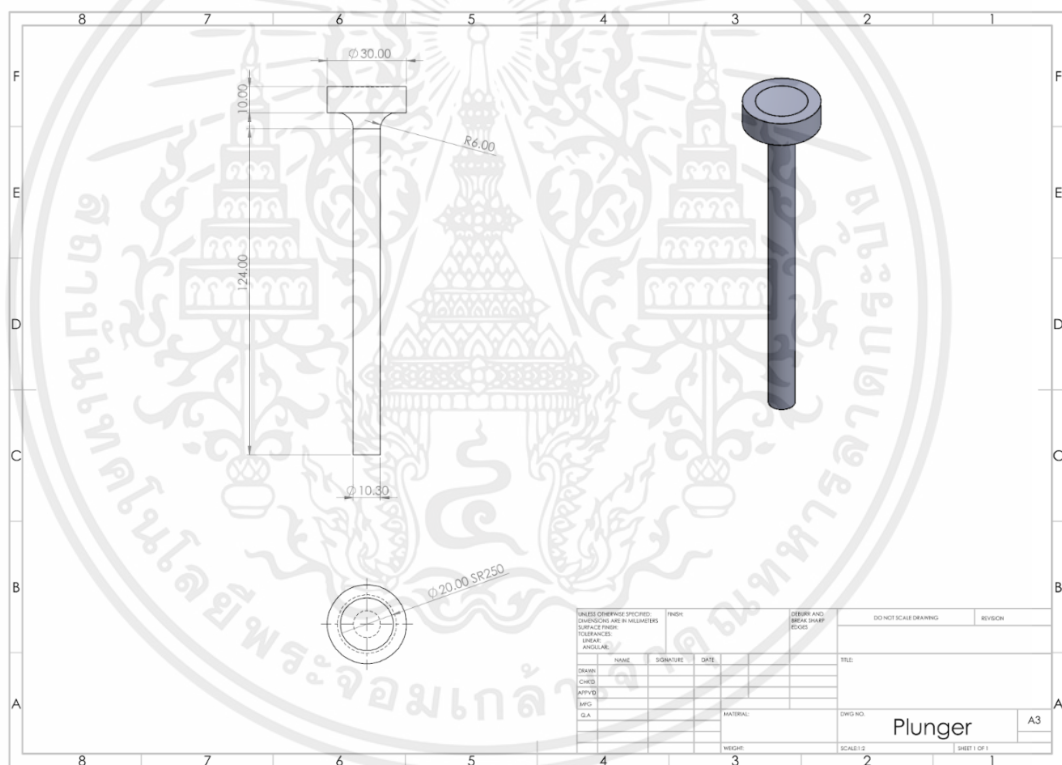
รูปที่ 4.9 ภาพฉายของพิกซ์เจอร์แผ่นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C : ปลั๊นเจอร์ (Plunger)

มีการออกแบบปลั๊นเจอร์เพิ่มเติมจากหัวข้อที่ 4.3 โดยออกแบบให้ปลั๊นเจอร์มีปากเพิ่มเพื่อให้สวมเข้ากับฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 2 ได้พอดี และเพิ่มความยาวของปลั๊นเจอร์เป็น 124 mm เพื่อให้ได้ระยะในการกดเท่าเดิม เนื่องจากมีส่วนหนึ่งของปลั๊นเจอร์อยู่ในรูของฟิกซ์เจอร์ และส่วนของปลั๊นเจอร์ส่วนที่จะสัมผัสกับ Load Cell ออกแบบให้เป็นทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 30 mm สูง 10 mm ตรงผิวบนของทรงกระบอกมีการออกแบบให้เว้าลงเป็นรัศมีเดียวกับปุ่มของ Load Cell เพื่อให้รับกับปุ่มของ Load Cell ที่มีการนูนขึ้นมา

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาออกแบบได้ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ภาพฉายของปลั๊นเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D : แม่พิมพ์ (Die)

มีการออกแบบเพิ่มเติมจากหัวข้อ 4.2 เพื่อใช้ในการยึดแม่พิมพ์กับฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 3 โดย ออกแบบให้ใช้ Dowel Pin ในการสวมอัดเพื่อป้องกันการขยับตามแนวแกน x และ y โดยมีค่าพิกัด ความเผื่อขนาดและงานสวมเป็น Pin 12p6 → 12H7 ซึ่งเป็นการสวมรูคงที่ ขนาดของ Dowel Pin ที่ใช้มีความยาวเท่ากับ 90 mm โดยทำการเจาะรูที่แม่พิมพ์ขนาด 12 mm ลึก 30 mm

[Technical Data] ข้อมูลทางเทคนิค คัดลอกมาจาก JIS B 0401(1998) Dimensional Tolerance for Regularly Used Fitting (ค่าพิกัดความเผื่อสำหรับงานสวมทั่วไปแบบพลาสติก)

Table with 2 main sections: 'ค่าพิกัดความเผื่อสำหรับงานสวมทั่วไปแบบพลาสติก' and 'ค่าพิกัดความเผื่อสำหรับงานสวมทั่วไปแบบพลาสติก'. Each section contains a grid of tolerance values for various shaft and hole dimensions across different classes.

รูปที่ 4.11 ค่าพิกัดความเผื่อสำหรับงานสวมทั่วไปแบบพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเพื่อป้องกันแม่พิมพ์เคลื่อนที่ตามแนวแกน z จึงทำการร้อย Bolt จากฟิกส์เจอร์แผ่นที่ 3 ขึ้นมาสู่แม่พิมพ์ โดยใช้ Bolt หัวจมขนาด M8 จึงต้องทำการเจาะรูที่แม่พิมพ์เพื่อใช้ในการทำเกลียวยึด ซึ่งระยะความลึกที่ใช้ในการทำเกลียวอ้างอิงจากรูปที่ 4.12

จากสูตร

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะที่ควรใช้ในการเจาะรูทำเกลียว} &= l_e + x + e_l \\
 &= 1.1(8)+3(1.25)+6.2 \\
 &= 18.75
 \end{aligned}$$

ความลึกที่ต้องใช้ในการทำเกลียวควรมีค่าน้อย 18.75 mm จึงออกแบบให้รูมีความลึก 20 mm

ฐานหรือโครงแบ่งตามลักษณะการสร้าง

ชนิดของวัสดุ	ความลึกของการขึ้นเกลียว (mm)	
	≤ 9	≥ 9
ความเค้นดึงของวัสดุ (σ _t)	≤ 9	≥ 9
วัสดุอัลลอยด์ (เช่น AlCuMg1)	1.1 · d	1.4 · d
วัสดุเหล็กกล้า (เช่น EN-GJL 230(GG-25))	1.0 · d	1.25 · d
วัสดุทองเหลือง (เช่น S255 (S50) C15)	1.0 · d	1.25 · d
วัสดุอะลูมิเนียม (เช่น EN-AC43000 (AlSi10Mg) หรือ EN-AC43000 (AlSi10Mg))	0.9 · d	1.0 · d
วัสดุเหล็กกล้า (เช่น S235 (S235) C15-N)	0.8 · d	0.9 · d

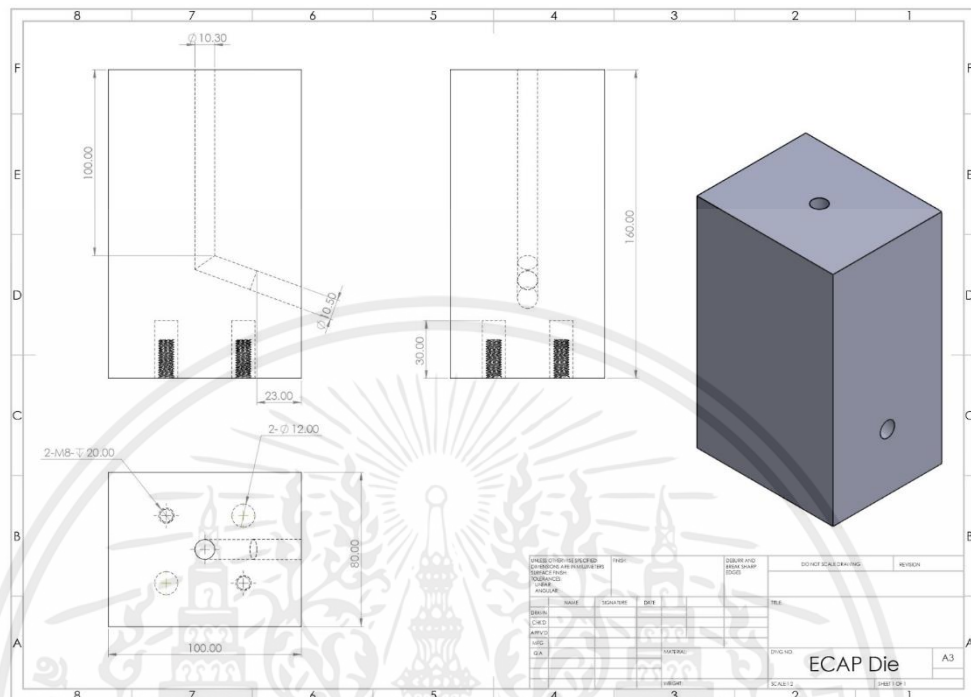
Table 2: Dimensions of thread run-outs and thread undercuts for internal threads

Thread pitch, P	Nominal diameter(s), d (coarse thread)	Thread run-out *) (guideline values)			d ₂	Thread undercut				r ≈
		e ₁	e ₂	e ₃		g ₁ Min.	g ₁ Max.			
							Type C (normal) ⁴⁾	Type D (short) ⁵⁾	Type C (normal) ⁴⁾	
0,2	-	1,3	0,8	2	d + 0,1	0,8	0,5	1,2	0,9	0,1
0,25	1; 1,2	1,5	1	2,4	d + 0,1	1	0,6	1,4	1	0,12
0,3	1,4	1,8	1,2	2,9	d + 0,1	1,2	0,75	1,6	1,25	0,16
0,35	1,6; 1,7; 1,8	2,1	1,3	3,3	d + 0,2	1,4	0,9	1,9	1,4	0,16
0,4	2; 2,3	2,3	1,5	3,7	d + 0,2	1,6	1	2,2	1,6	0,2
0,45	2,2; 2,5; 2,6	2,6	1,6	4,1	d + 0,2	1,8	1,1	2,4	1,7	0,2
0,5	3	2,8	1,8	4,5	d + 0,3	2	1,25	2,7	2	0,2
0,6	3,5	3,4	2,1	5,4	d + 0,3	2,4	1,5	3,3	2,4	0,4
0,7	4	3,8	2,4	6,1	d + 0,3	2,8	1,75	3,8	2,75	0,4
0,75	4,5	4	2,5	6,4	d + 0,3	3	1,9	4	2,9	0,4
0,8	5	4,2	2,7	6,8	d + 0,3	3,2	2	4,2	3	0,4
1	6; 7	5,1	3,2	8,2	d + 0,5	4	2,5	5,2	3,7	0,6
1,25	8	6,2	3,9	10	d + 0,5	5	3,2	6,7	4,9	0,6
1,5	10	7,3	4,6	11,6	d + 0,5	6	3,8	7,8	5,6	0,8
1,75	12	8,3	5,2	13,3	d + 0,5	7	4,3	9,1	6,4	1

รูปที่ 4.12 ความลึกของการขึ้นเกลียวในรูเกลียวตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาออกแบบได้ดังแสดงในรูปที่ 4.13



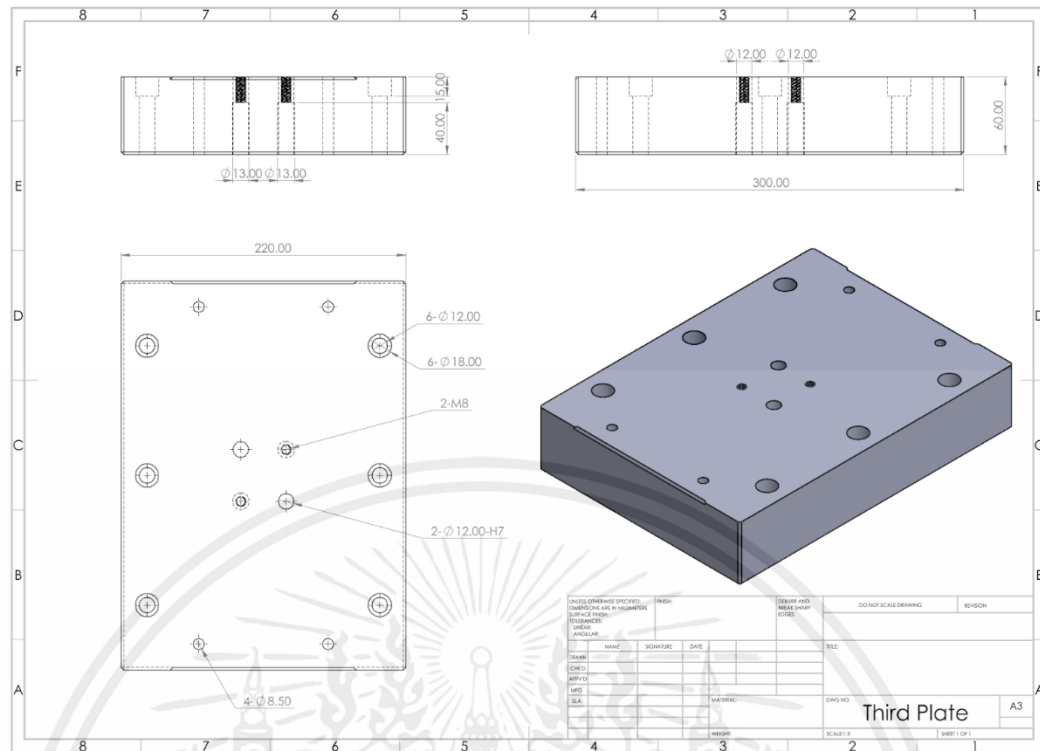
รูปที่ 4.13 ภาพฉายของแม่พิมพ์

E : พิกซ์เจอร์แผ่นที่ 3

พิกซ์เจอร์แผ่นที่ 3 มีการออกแบบให้มีพื้นที่หน้าตัด เท่ากับ 220 x 300 mm หนา 60 mm โดยความหนาที่เกิดจากการคำนวณจากระยะ Stroke ของเครื่องจักร โดยหน้าที่ของพิกซ์เจอร์แผ่นนี้คือ ยึดกับแม่พิมพ์เพื่อรักษาระยะของแม่พิมพ์ โดยออกแบบพิกซ์เจอร์แผ่นนี้ให้เล็กกว่าพิกซ์เจอร์แผ่นอื่นๆ เนื่องจากการประกอบแม่พิมพ์เข้ากับพิกซ์เจอร์แผ่นนี้ต้องอาศัยการร้อย Bolt ขึ้นมาจากพิกซ์เจอร์แผ่นนี้ จึงออกแบบให้เล็กเพื่อความสะดวกสบายในการประกอบแม่พิมพ์เข้ากับชุดแม่พิมพ์ และการยึดพิกซ์เจอร์แผ่นนี้เข้ากับพิกซ์เจอร์แผ่นที่ 4 ออกแบบให้ใช้ Bolt หัวจม ขนาด M12 ยาว 80 mm โดยร้อย Bolt จากด้านบนแผ่นนี้ลงไปยึดกับแผ่นล่าง จึงออกแบบให้มีการเจาะรูเพื่อใช้ในการยึด Bolt จำนวน 6 รู

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาออกแบบได้ดังแสดงในรูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

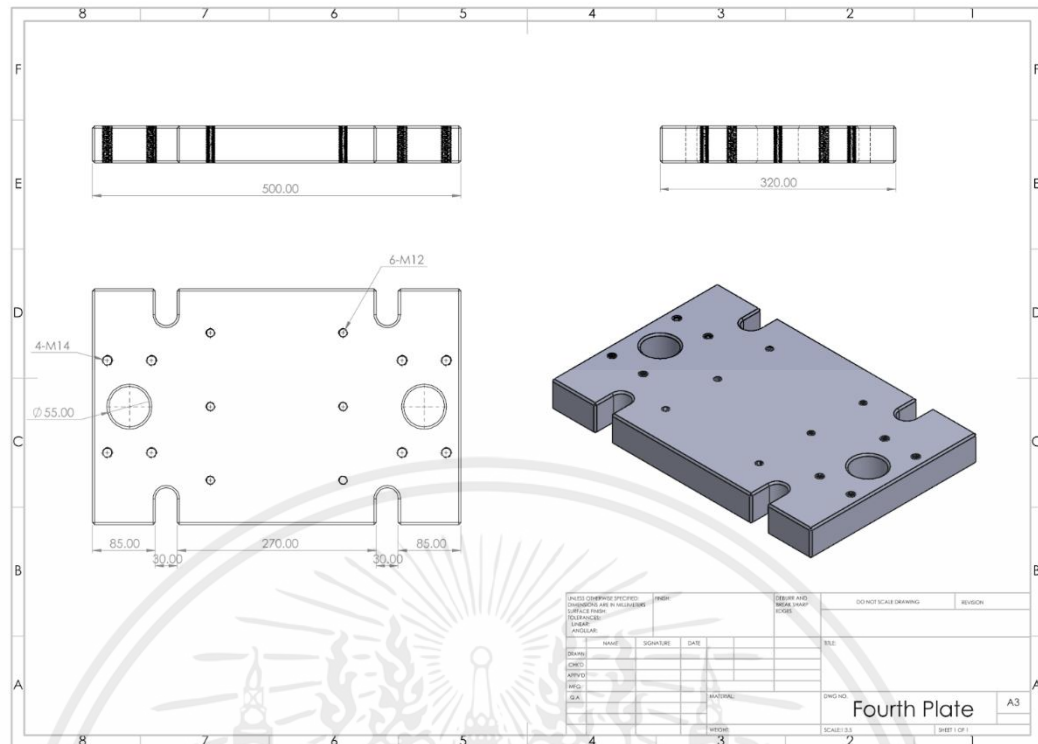


รูปที่ 4.14 ภาพฉายของฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 3

F : ฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 4

ฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 4 มีการออกแบบให้คล้ายกับฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 1 เนื่องจากมีหน้าที่คล้ายๆกัน คือใช้ในการยึด Guide Post ด้วย และมีภาระหน้าที่เพิ่มเติมคือยึดฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 3 เข้ากับแผ่นที่ 4 และยึดแผ่นที่ 4, 5 และ 6 เข้าด้วยกัน โดยในการยึดฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 3 เข้ากับแผ่นที่ 4 ออกแบบให้มีการเจาะรูและทำเกลียวในรูเพื่อใช้กับ Bolt ขนาด M12 ซึ่งอยู่ตรงกลางของแผ่น และการยึดแผ่นที่ 4, 5 และ 6 เข้าด้วยกัน ออกแบบให้มีร่องเข้าไปคล้ายกับฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 1 เพื่อร้อย Bolt ที่ใช้ในการยึด

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาออกแบบได้ดังแสดงในรูปที่ 4.15

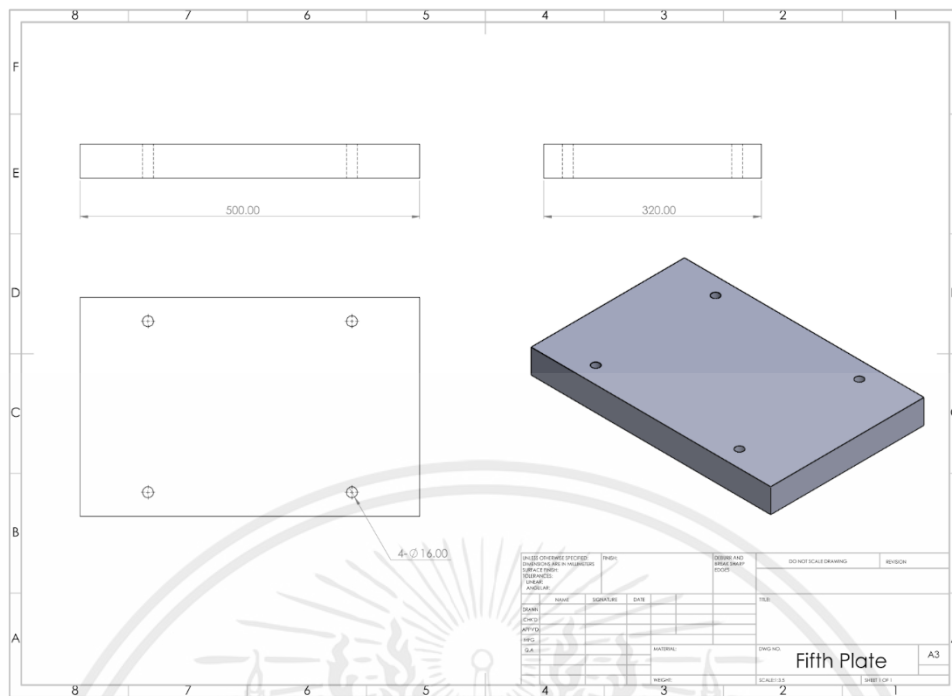


รูปที่ 4.15 ภาพฉายของฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 4

G : ฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 5

ฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 5 มีหน้าที่ทำให้แม่พิมพ์สูงขึ้นพร้อมกับระยะ Stroke ของเครื่องจักร ซึ่งออกแบบให้มีพื้นที่หน้าตัด เท่ากับ 320x500 mm ซึ่งเท่ากับฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 4 และทำการเจาะรูขนาด 16 mm จำนวน 4 รู เพื่อใช้ในการยึดฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 4, 5 และ 6 เข้าด้วยกัน

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาออกแบบได้ดังแสดงในรูปที่ 4.16

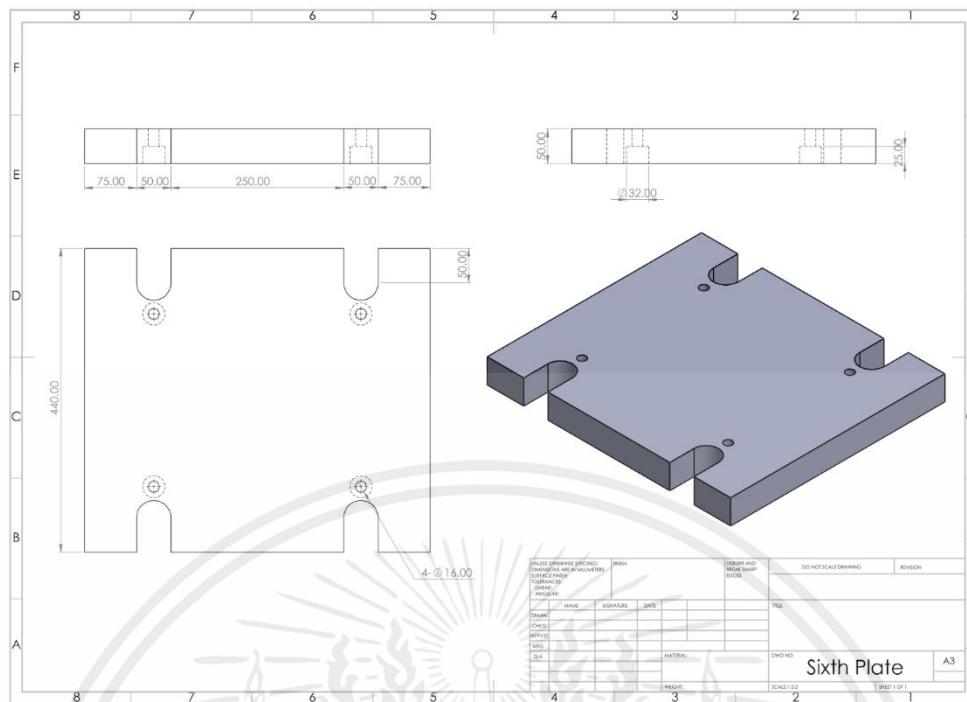


รูปที่ 4.16 ภาพฉายของฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 5

H : ฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 6

ฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 6 มีหน้าที่ทำให้แม่พิมพ์สูงขึ้นพอกับระยะ Stroke ของเครื่องจักร และยึดชุดแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องปั๊มโลหะทางข้างล่าง ฟิกซ์เจอร์แผ่นนี้มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 440 x 500 mm และออกแบบคล้ายกับฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 1 โดยออกแบบให้ฟิกซ์เจอร์มีช่องที่ไว้ยึดเข้ากับเครื่องปั๊มโลหะ ซึ่งมีระยะห่างเท่ากับระยะห่างของ Slot และออกแบบให้เป็นร่องเข้าไป เพื่อใช้ T-Bolt ขนาด M30 ในการยึด อีกทั้งยังมีการเจาะรูให้ Bolt ขนาด M16 สามารถร้อยขึ้นไปได้เพื่อใช้ยึดฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 4, 5 และ 6 เข้าด้วยกัน

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาออกแบบได้ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ภาพฉายของฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 6

1 : ฟิกซ์เจอร์แผ่นที่ 7

มีหน้าที่คือชดเชยระยะของ Guide Post ที่ขาดเพื่อให้ Guide Post สามารถใช้กับชุดแม่พิมพ์ของเราได้ ซึ่งออกแบบพื้นที่หน้าตัดให้เท่ากับ พื้นที่หน้าตัดของ Guide Post เจาะรูเพื่อใช้ยึดเท่ากับที่ Guide Post บวกมาในแคตตาล็อก และมีความหนาเท่ากับ 70 mm เพื่อชดเชยระยะที่ขาดไปของ Guide Post

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาออกแบบได้ดังแสดงในรูปที่ 4.18

จากชุดแม่พิมพ์ที่เราออกแบบในโปรแกรมนำไปส่งสร้างได้ดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ชุดแม่พิมพ์ที่สร้างเสร็จ

ในส่วนของการติดตั้งชุดแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องปั๊มโลหะ แสดงในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 การติดตั้งชุดแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องปั๊มโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการติดตั้ง Load cell และ Displacement sensor เข้ากับชุดแม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่

4.22



รูปที่ 4.22 ชุดแม่พิมพ์ที่มีการติดตั้ง Load cell และ Displacement Sensor

เริ่มทำการทดสอบ โดยทำการซุบสารหล่อลื่นทั้งที่ตัวชิ้นงาน และปลั๊กเจอร์ ดังแสดงในรูปที่

4.23



(a) ซุบสารหล่อลื่นที่ปลั๊กเจอร์



(b) ซุบสารหล่อลื่นที่ชิ้นงาน

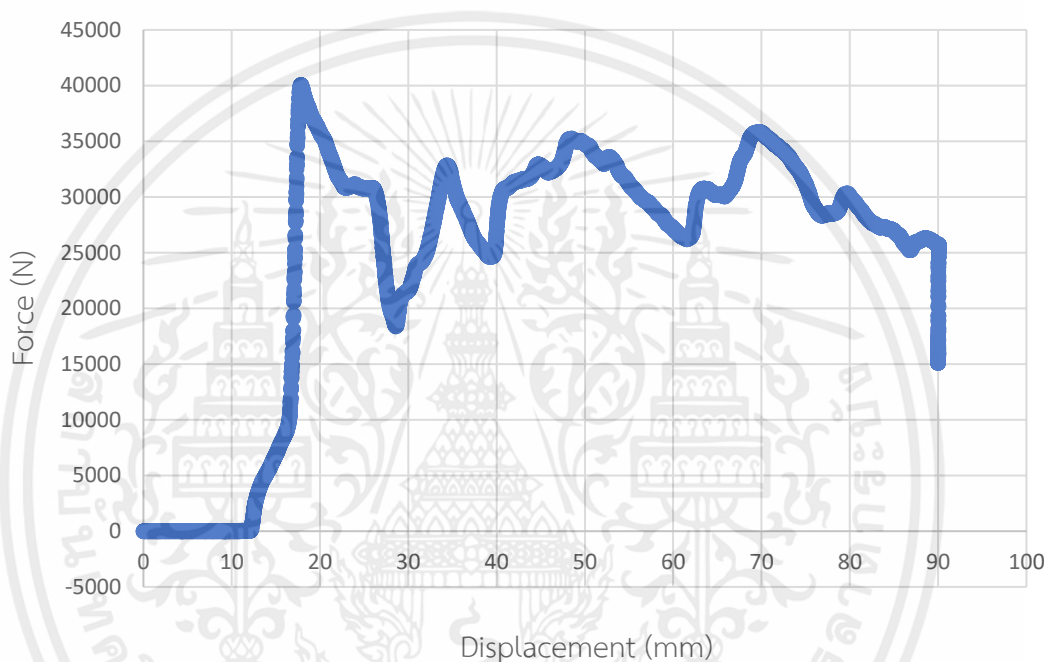
รูปที่ 4.23 การซุบสารหล่อลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางที่ได้จากการทดสอบ

เนื่องจากชุดแม่พิมพ์มีการติดตั้ง Load Cell และ Displacement Sensor ไว้ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะทาง โดยในการวัดระยะทางจะเริ่มทำการวัดเมื่อปลายของปลั๊กเจอร์อยู่ในระนาบเดียวกับทางเข้ารูของแม่พิมพ์พอดี

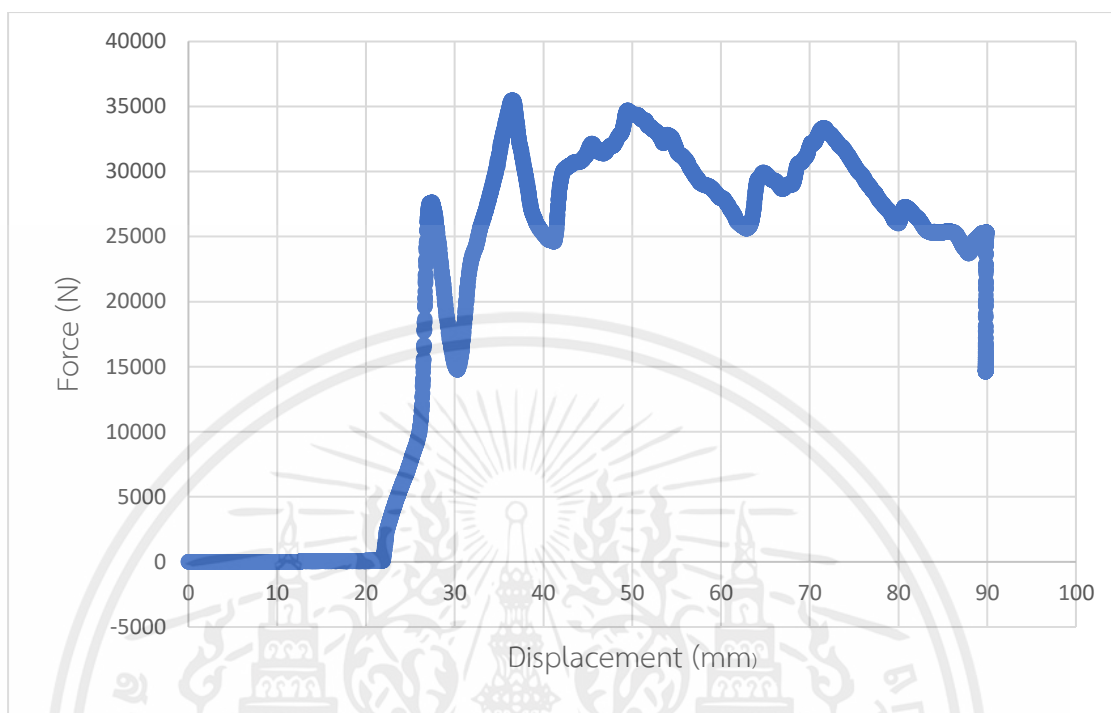
การกดครั้งที่ 1 เป็นการกดชิ้นงานทองแดงที่ผ่านการกด 1 รอบกับชิ้นดัมมี่ที่ยังไม่ผ่านการกด



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของทองแดงที่ผ่านการกด 1 รอบกับชิ้นดัมมี่ที่ยังไม่ผ่านการกด ครั้งที่ 1

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของทองแดงที่ผ่านการกด 1 รอบกับชิ้นดัมมี่ที่ยังไม่ผ่านการกด ครั้งที่ 1 จะเห็นได้ว่าแรงมีค่ามากที่สุดที่ประมาณ 40000 นิวตัน เมื่อระยะทางผ่านไป 17 mm และแรงจะมีค่าลดลงเมื่อชิ้นงานชิ้นแรกผ่านส่วนโค้งของแม่พิมพ์ แล้วแรงจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆอีกเมื่อชิ้นดัมมี่ผ่านส่วนโค้งของแม่พิมพ์

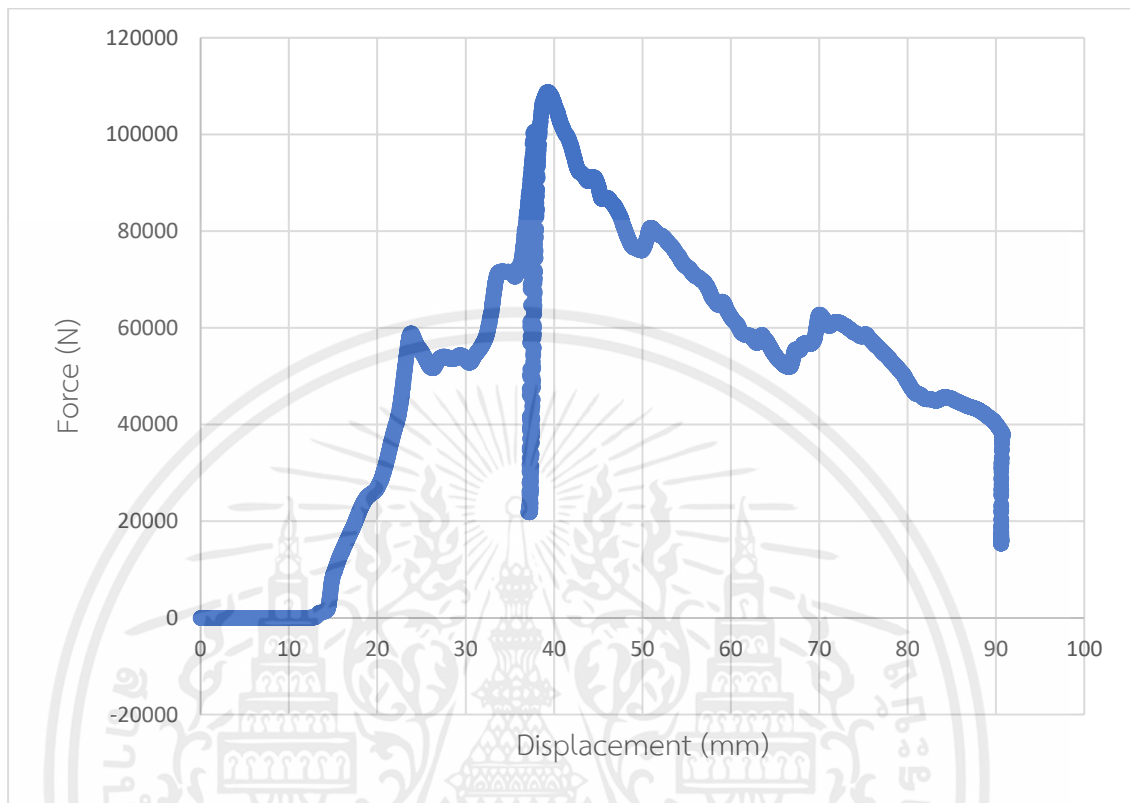
การกดครั้งที่ 2 เป็นการกดชิ้นงานทองแดงที่ผ่านการกด 1 รอบกับชิ้นดัมมี่ที่ยังไม่ผ่านการกด



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของทองแดงที่ผ่านการกด 1 รอบกับชิ้นดัมมี่ที่ยังไม่ผ่านการกด ครั้งที่ 2

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของทองแดงที่ผ่านการกด 1 รอบกับชิ้นดัมมี่ที่ยังไม่ผ่านการกด ครั้งที่ 2 จะเห็นได้ว่าแรงมีค่ามากที่สุดที่ประมาณ 35000 นิวตัน เมื่อระยะทางผ่านไป 35 mm และแรงจะมีค่าลดลงเมื่อชิ้นงานชิ้นแรกผ่านส่วนโค้งของแม่พิมพ์ แล้วแรงจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆอีกเมื่อชิ้นดัมมี่ผ่านส่วนโค้งของแม่พิมพ์

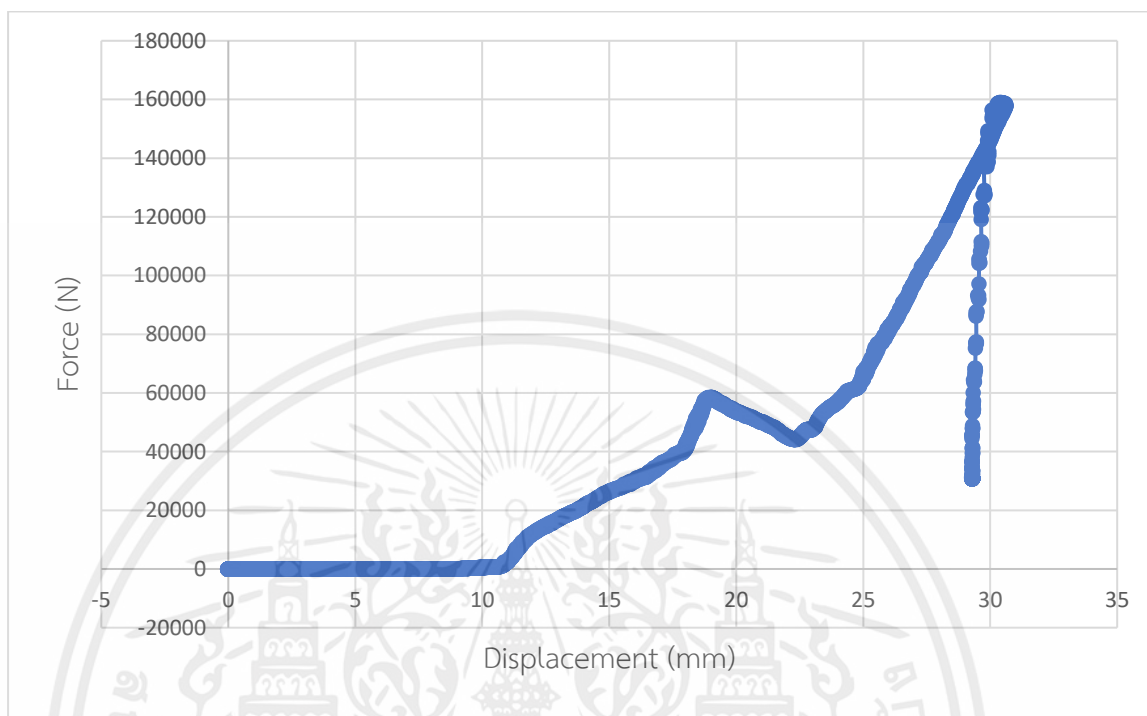
การกดครั้งที่ 3 เป็นชิ้นงานทองแดงที่ผ่านการกด 1 รอบกับชิ้นดัมมี่ที่ผ่านการกด 1 รอบ



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของทองแดงที่ผ่านการกด 1 รอบกับชิ้นดัมมี่ที่ผ่านการกด 1 รอบ

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของทองแดงที่ผ่านการกด 1 รอบกับชิ้นดัมมี่ที่ผ่านการกด 1 รอบ จะเห็นได้ว่าแรงมีค่ามากที่สุดที่ประมาณ 110000 นิวตัน เมื่อระยะทางผ่านไป 37 mm และแรงจะมีค่าลดลงเมื่อชิ้นงานชิ้นแรกผ่านส่วนโค้งของแม่พิมพ์ แล้วแรงจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆอีกเมื่อชิ้นดัมมี่ผ่านส่วนโค้งของแม่พิมพ์

การกดครั้งที่ 4 เป็นชิ้นงานทองแดงที่ผ่านการกด 2 รอบกับชิ้นดัมมี่ที่ผ่านการกด 1 รอบ



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของทองแดงที่ผ่านการกด 2 รอบกับชิ้นดัมมี่ที่ผ่านการกด 1 รอบ

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของทองแดงที่ผ่านการกด 2 รอบกับชิ้นดัมมี่ที่ผ่านการกด 1 รอบ ในกราฟที่ 4 จะเห็นได้ว่าในช่วงที่ระยะประมาณ 23 mm จนถึง 30 mm ค่าของแรงเกิดการเพิ่มขึ้นผิดปกติเป็นอย่างมาก จึงได้ทำการหยุดการทำงานของเครื่องปั๊มโลหะไว้ก่อนเนื่องจากเกรงว่าอุปกรณ์ต่างๆ จะเกิดการเสียหาย และไม่รู้ว่าจะมีค่าเกินกว่าที่ Load Cell จะสามารถวัดได้หรือไม่

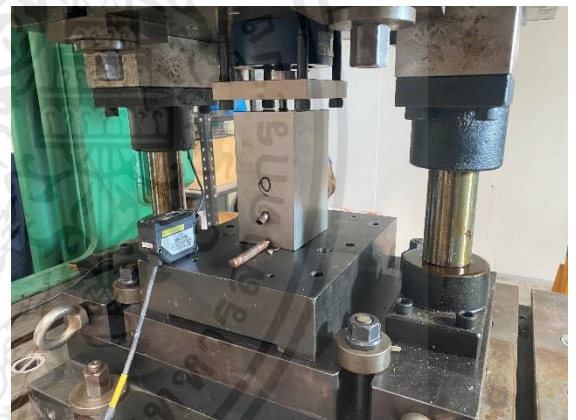
4.8 ชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง

หลังนำชิ้นงานไปทดสอบกระบวนการ ECAP ได้ชิ้นงานทองแดงที่ผ่านกระบวนการดังรูปที่

4.28



(a) ชิ้นงานทองแดงที่ผ่านการกด 1 ครั้ง



(b) ชิ้นงานทองแดงที่ผ่านการกด 2 ครั้ง

รูปที่ 4.28 ชิ้นงานทองแดงที่ผ่านการกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

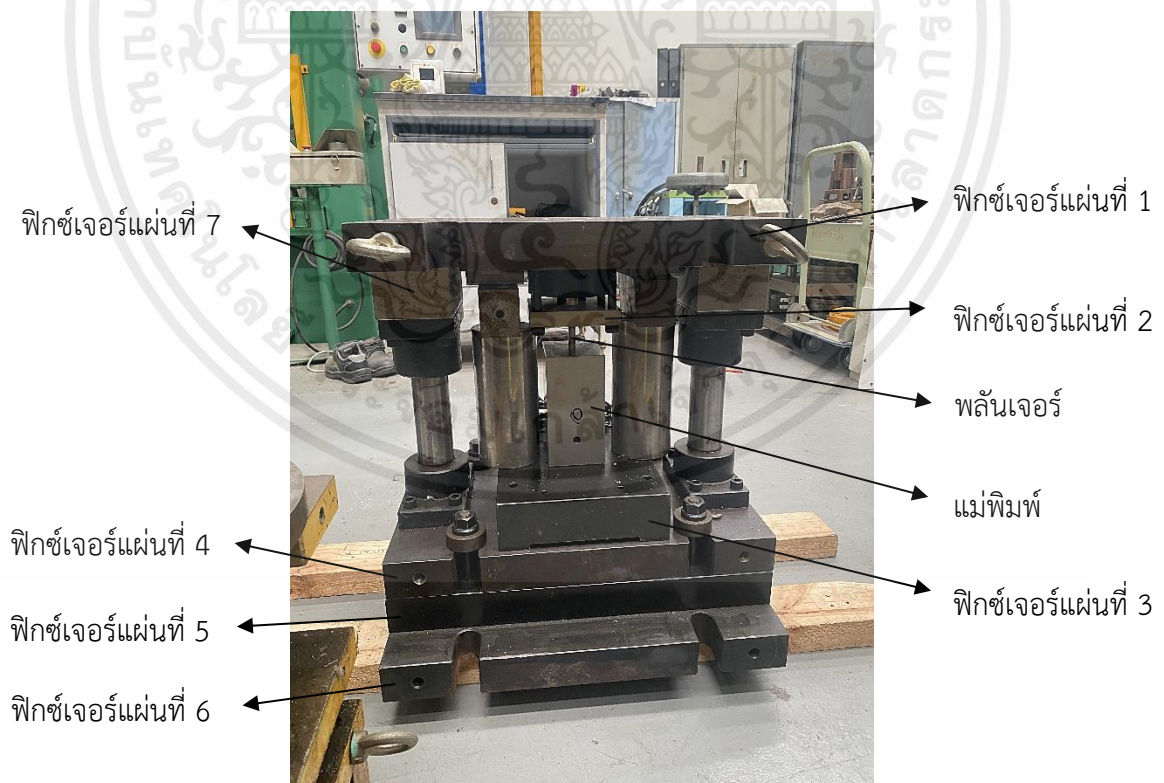
บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการออกแบบและสร้างชุดแม่พิมพ์พร้อมตัวจับยึดเพื่อติดตั้งเข้ากับเครื่องปั๊มโลหะที่พบได้ทั่วไปตามโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อความสะดวกต่อการพัฒนาวัสดุเกรนละเอียดซึ่งมีแนวโน้มของสมบัติเชิงกลที่ดียิ่งขึ้น

5.1 สรุปผลการออกแบบ

จากการศึกษาในเรื่องของกระบวนการ Equal Channel Angular Pressing และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์ และได้ทำการออกแบบชุดแม่พิมพ์โดยใช้โปรแกรม Solid Works นำไปสู่กระบวนการผลิตชุดแม่พิมพ์ โดยในรูปที่ 5.1 แสดงภาพชุดแม่พิมพ์ที่สมบูรณ์พร้อมส่วนประกอบของแม่พิมพ์



รูปที่ 5.1 ชุดแม่พิมพ์ที่สมบูรณ์พร้อมส่วนประกอบของแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 สรุปผลการทดลอง

เมื่อนำชุดแม่พิมพ์ที่ได้ออกแบบและสร้างเสร็จไปทดสอบกระบวนการ ECAP จากเดิมที่ตั้งใจว่าจะกดชิ้นงานทั้งสิ้น 8 passes แต่พบว่าชิ้นงานทองแดงที่ผ่านกระบวนการ ECAP 2 passes แรงที่ Load cell วัดค่าได้มีค่ามากผิดปกติ จึงได้หยุดการทำงานของเครื่องปั๊มโลหะไว้ เพราะเกรงว่าจะเกิดความเสียหายขึ้นกับชุดแม่พิมพ์ โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Naseri และคณะ [10] โดยงานวิจัยนี้เริ่มทดสอบจากแท่งโลหะที่เป็น Al 7075 เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm โดยใช้แม่พิมพ์ที่มีมุมภายใน 90° โดย Al 7075 มีสมบัติเชิงกลที่แข็งแรงกว่า C151 Zirconium Copper Alloy เมื่อคำนวณแรงสมมูลออกมาเพื่อเปรียบเทียบกันแล้ว พบว่าวัสดุที่เป็น Al 7075 ล้วนจะใช้แรงไม่เกิน 50 kN หรือประมาณ 5 tons ซึ่งเมื่อเทียบกับผลการทดลองที่เกิดขึ้นกับ C151 Zirconium Copper Alloy ที่ใช้แม่พิมพ์ที่มีมุมภายในมากกว่า กลับใช้แรงมากกว่า ซึ่งผิดไปจากที่ควรจะเป็น และอ้างอิงจากงานวิจัยของ Zhao และ คณะ [19] โดยงานวิจัยนี้เริ่มทดสอบจากแท่งโลหะที่เป็น Ti-6Al-4V เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm โดยใช้แม่พิมพ์ที่มีมุมภายใน 110° โดย Ti-6Al-4V มีสมบัติเชิงกลที่แข็งแรงกว่า C151 Zirconium Copper Alloy เมื่อคำนวณแรงสมมูลออกมาเพื่อเปรียบเทียบกันแล้ว พบว่าวัสดุที่เป็น Ti-6Al-4V จะใช้แรงไม่เกิน 60 kN หรือประมาณ 6 tons ซึ่งเมื่อเทียบกับผลการทดลองที่เกิดขึ้นกับ C151 Zirconium Copper Alloy กลับใช้แรงมากกว่า ซึ่งผิดไปจากที่ควรจะเป็น และชิ้นงานที่ได้ออกมาก็มีความเสียหาย ทั้งในด้านพื้นผิวชิ้นงานที่มีความหยาบ เป็นร่องตามแนวยาว มีรอยครูด เนื้อชิ้นงานหลุดหายในบางตำแหน่ง และมีบางตำแหน่งขรุขระ ดังแสดงในรูปที่ 5.2 ในด้านของรูปร่างชิ้นงาน ชิ้นงานเกิดการหักงอในลักษณะงัดขึ้นที่บริเวณส่วนปลายของด้านที่ออกจากรูแม่พิมพ์ก่อน หน้าตัดของชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นวงรี โดยมี Minor axis = 9.1 mm Major axis = 10.2 mm ($D_0 = 10.0$ mm) ชิ้นงานหลังจากการกดครั้งแรกไม่สามารถสอดเข้าในรูแม่พิมพ์เพื่อการทดสอบครั้งต่อไปได้ตลอดทั้งแท่ง (เข้าได้ประมาณครึ่งเดียว) ดังแสดงในรูปที่ 5.3 อีกทั้งยังพบความเสียหายที่บริเวณปล้นเจอร์ โดยพบผิวปล้นเจอร์เป็นแนวยาวประมาณ 2 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 5.4 และ 5.5

5.3 วิจารณ์ผลการทดลอง

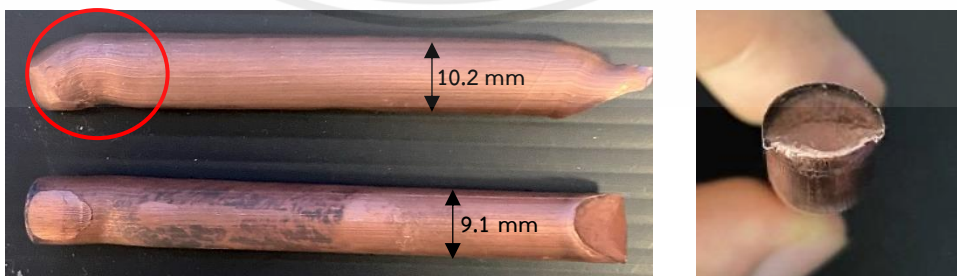
จากผลการทดลองที่เกิดขึ้นนำมาวิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลอง ได้ดังนี้

1. ความเสียหายที่เกิดขึ้นที่ผิวชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 5.2 คาดว่ามีสาเหตุมาจากการที่พื้นผิวภายในรูของแม่พิมพ์ไม่เรียบ หรืออาจเกิดจากเศษผิวของชิ้นงานที่หลุดออกมาติดอยู่ภายในรูแม่พิมพ์ทำให้เกิดการสึกหรอ



รูปที่ 5.2 ความเสียหายที่ผิวของชิ้นงาน

2. ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับรูปร่างของชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 5.3 คาดว่ามีสาเหตุมาจากภายในรูของแม่พิมพ์โดยเฉพาะบริเวณมุมภายในของแม่พิมพ์ (ϕ , ψ) และบริเวณข้างเคียงอาจมีลักษณะผิดปกติกว้างที่ออกแบบไว้ อาจเกิดจากรูของแม่พิมพ์ที่ไม่เป็นวงกลม หรืออาจเกิดจากรูทั้งสองด้านของแม่พิมพ์ไม่ได้ Alignment (อาจมีการคดงอเล็กน้อยอยู่ภายใน) หรือไม่ก็ชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการไม่ได้ Alignment เดียวกัน (รวมถึงบริเวณส่วนปลายที่มีลักษณะงัดขึ้น)



รูปที่ 5.3 ความเสียหายที่รูปร่างของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความผิดปกติของแรงที่ใช้ระหว่างกระบวนการแรงที่ใช้ในระหว่างกระบวนการทดสอบมากผิดปกติ ซึ่งคาดว่ามีความสาเหตุมาจากแรงเสียดทานภายในที่สูงเกินไปซึ่งอาจเกิดจากความหยาบผิวภายในรูแม่พิมพ์ หรืออาจเกิดจากการหล่อขึ้นไม่เพียงพอ/สารหล่อขึ้นไม่เหมาะสม หรือเครื่องมือวัดที่อาจไม่ได้สอบเทียบมาเป็นเวลานาน
4. ความเสียหายบริเวณพื้นผิวปลั๊นเจอร์ ดังแสดงในรูปที่ 5.4 อาจเกิดจากการเสียดสีกับผิวภายในรูแม่พิมพ์ หรืออาจเกิดจากเศษวัสดุจากชิ้นงานทดสอบที่หลุดลอกและติดค้างอยู่ในรูแม่พิมพ์ หรือไม่ก็วัสดุที่ใช้ทำปลั๊นเจอร์มีความต้านทานการสึกหรอ (Wear resistance) ไม่เพียงพอ



(a) ปลั๊นเจอร์ก่อนเริ่มกระบวนการทดสอบ



(b) ปลั๊นเจอร์หลังผ่านกระบวนการทดสอบ

รูปที่ 5.4 ปลั๊นเจอร์ในกระบวนการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ข้อคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะ

1. ควรตรวจสอบการผลิตในทุกๆขั้นตอนการผลิตอย่างละเอียด โดยเฉพาะกระบวนการเจาะรู เช่น วิธีการเจาะรูในแต่ละด้านของแม่พิมพ์ รูปร่างของแท่ง EDM ที่ใช้ในการเจาะรู เป็นต้น
2. ควรศึกษาข้อมูลของกระบวนการเจาะแบบ EDM โดยเฉพาะข้อเสียหรือผลกระทบว่ามีผลลัพธ์อย่างไรต่อชิ้นงานให้ละเอียดยิ่งขึ้น
3. ควรมีวิธีการตรวจเช็ครูปร่างและความหยাবผิวของรูแม่พิมพ์ทั้งระหว่างกระบวนการผลิตและหลังกระบวนการผลิต ว่ามี Alignment เดียวกัน เพื่อให้มั่นใจว่าแม่พิมพ์เป็นไปตามที่ออกแบบไว้
4. เลือกใช้สารหล่อลื่นที่เหมาะสม
5. ตรวจเช็คเรื่องการสอบเทียบเครื่องมือวัดก่อนเริ่มกระบวนการ
6. จำเป็นต้องมีการสื่อสารระหว่างบริษัทผู้ผลิตและผู้ทดลองถึงรายละเอียดสมบัติวัสดุที่จะเลือกใช้ ในการผลิตปลั๊กเจอร์และแม่พิมพ์

บรรณานุกรม

- [1] Equal Channel Angular Pressing (ECAP): Part One. 2015. [Online]. Retrieved from : <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=ktn&LN=TH&NM=367>
- [2] R. Z. Valiev and T. G. Langdon. 2006. “Principles of equal-channel angular pressing as a processing tool for grain refinement.” *Progress in Materials Science*. 51(7) : 881-981
- [3] J. R. Paquin. 1962. *Die design fundamentals*. England : Machinery publishing co.
- [4] รศ.วชิระ มีทอง. 2558. การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์ (ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
- [5] เกรช ก้าว. หลักการและหน้าที่ของเครื่องอัดไฮดรอลิก. 2565. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://forming.harsle.com/th/principle-and-function-of-hydraulic-press/>.
- [6] R. Reda. 2019. “Equal Channel Angular Pressing (ECAP): Die Design, Processing Handicaps and Mechanical Characterization.” *Evolutions Mech Eng*. 2(5) : 547-554
- [7] J.C. Outeiro. 2018. “Residual stresses in machining operations.” 1440-1452. in *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*. Heidelberg : Springer Berlin
- [8] Y. Huang and T. G. Langdon. 2013. “Advances in ultrafine-grained materials.” *Materials Today*. 16(3) : 85-93
- [9] B. Gupta, A. Kapoor, A. Singhal and K. M. Agarwal. 2021. “Effect of Die Design parameters on materials processed by Equal Channel Angular Pressing.” *Materials Science and Engineering*. 1168(2021) : 1-11
- [10] R. Naseri, M. Kadkhodayan and M. Shariati. 2016. “An experimental investigation of casing effect on mechanical properties of billet in ECAP process.” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 90 : 9-12

- [11] J. Wongsan-Ngam, M. Kawasaki and T. G. Langdon. 2012. “The development of hardness homogeneity in a Cu–Zr alloy processed by equal-channel angular pressing.” *Materials Science and Engineering: A*. 556 : 526-532
- [12] สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา. งานสร้างชิ้นส่วนโลหะ. 2565. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://anyflip.com/othlc/lhsv>
- [13] A. Filho. 2011. “Severe Plastic Deformation by Equal Channel Angular Pressing: Product Quality and Operational Details.” *Materials Research*. 14(3) : 335-339
- [14] AISI Type H13 Hot Work Tool Steel. 2023. [Online]. Retrieved from https://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=e30d1d1038164808a85cf7ba6aa87ef7
- [15] CHARACTERISTICS OF PUNCHING TOOLS. 2023. [Online]. Retrieved from <https://th.misumi-ec.com/th/pdf/tech/press/en/p1081.pdf>
- [16] CMNC-T. 2023. [Online]. Retrieved from http://www.thisisit.co.th/it/img/cms/CTA Plus/Load%20Cell/CMNC_T.pdf
- [17] KEYENCE IL-300. 2023. [Online]. Retrieved from https://www.3e-thailand.com/products_detail/view/5865263
- [18] ไกด์โพสท์ชุด แบบธรรมดา,ขนาด 20-100 มิล. 2023. [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก <https://www.fnengineering.com/product/>
- [19] Z. Zhao, H. Hou, Y. Zhang, Y. Wang and G. Wang 2017. “Effect of Brass sheathing on ECAP of Ti-6Al-4V Alloy by Deform-3D Simulation and Experimental analysis.” *IOP Conference Series Materials Science and Engineering* 301(1) : 1-7