



รายงานการวิจัย

อิทธิพลของตัวแปรในการอัดขึ้นรูปเย็นต่อการไหลตัวของโลหะ
และโครงสร้างมหภาค ของอลูมิเนียมผสม

**The Influence of Parameters of the Cold Extrusion on Metal Flow
and Macrostructure of Aluminium Alloys**

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มนตรี น่วมจิตร หัวหน้าโครงการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมชาย เอี่ยมเจริญ ผู้ร่วมวิจัย

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
งบประมาณประจำปี พ.ศ. 2555



รายงานการวิจัย

อิทธิพลของตัวแปรในการอัดขึ้นรูปเย็นต่อการไหลตัวของโลหะ
และโครงสร้างมหภาค ของอลูมิเนียมผสม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มนตรี น่วมจิตร หัวหน้าโครงการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมชาย เอี่ยมเจริญ ผู้ร่วมวิจัย

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
งบประมาณประจำปี พ.ศ. 2555

บทคัดย่อ

การอัดขึ้นรูปเย็นอะลูมิเนียม ที่สภาวะอุณหภูมิห้องนั้น หรือเรียกว่า Cold – Extrusion จะให้รูปร่างและคุณภาพผิวที่ดีกว่าการดันขึ้นรูปร้อนซึ่งสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้อย่างมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้นำเสนอผลกระทบเนื่องจากการใช้สารหล่อลื่นที่หาได้จากธรรมชาติที่มีราคาถูกกว่าน้ำมันสังเคราะห์ โดยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษากลไกในการอัดขึ้นรูปเย็นอะลูมิเนียม จากผลกระทบของสารหล่อลื่นตามธรรมชาติในการอัดขึ้นรูปเย็น เพื่อสามารถนำสารหล่อลื่นตามธรรมชาติในการอัดขึ้นรูปเย็นไปใช้งานได้อย่างถูกต้องตามลักษณะของงาน ผลการทดลองพบว่าสารหล่อลื่นสามารถลดแรงอัดขึ้นรูป ซึ่งแรงที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปเย็นมีค่าความแตกต่างกับไม่ได้ใช้สารหล่อลื่นประมาณ 0.58 ตัน ดังนั้นสารหล่อลื่นมีอิทธิพลต่อแรงที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป ในส่วนของค่าความหยาบผิวพบว่า น้ำมันถั่วเหลืองมีค่าความหยาบผิวน้อยที่สุด ซึ่งมีค่าความแตกต่างจากการที่ไม่ใช้สารหล่อลื่นอยู่ 0.34 μm ดังนั้นสารหล่อลื่นมีอิทธิพลต่อคุณภาพผิวชิ้นงาน และจากการไหลตัวของวัสดุไม่ได้มีความแตกต่างกันมากในบริเวณภายในของเนื้อวัสดุ ซึ่งนั่นแสดงให้เห็นว่าสารหล่อลื่นนั้นไม่ได้มีอิทธิพลต่อการไหลตัวของเนื้อวัสดุ

คำสำคัญ การอัดขึ้นรูป สารหล่อลื่น คุณภาพผิวงาน

Abstract

Cold extrusion of aluminum under room temperature provides better shape and surface finish than hot extrusion and may to reduce production cost of the extrusion process. This research presents the effect of different natural lubricants in the cold extrusion process, it cheaper and easily to find than synthetic base oil. The purpose of this study was to examine mechanisms of cold extrusion and to study the using of different natural lubricants. The results shown that lubricants can reduce the extrusion force, mineral oil was the best minimum for extrusion force as different as non-lubricants were 0.58 ton and lubricants could reduce roughness surface. Soy oil was the best minimum for roughness surface was 0.34 μm and materials flowing were similar between using lubricants and non-using lubricants, so lubricant is non-effective for materials flowing.

Key word: Extrusion Lubricants Surface Roughness

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหะการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับใช้ในการทดสอบ ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนงบประมาณประจำปี 2555 ในงานวิจัยฉบับนี้ จนสำเร็จไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้ สามารถจะนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดกับงานวิจัยฉบับนี้ต่อไป

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 จุดประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 นิยามศัพท์ที่สำคัญ	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.3 ทฤษฎีที่สำคัญ	5
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	24
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	25
3.2 เครื่องมือ	26
3.3 การออกแบบและการคำนวณ	27
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	29
3.5 วิธีการวัดผล	37
บทที่ 4 ผลและการวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน	43
4.1 ผลการทดลอง	43
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	55
5.1 สรุป	55
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
บรรณานุกรม	57
ภาคผนวก ก	58
ค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง	59
ภาคผนวก ข	79
กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง	80
ภาคผนวก ค	90
ค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลอง	91
ภาคผนวก ง	93
รายละเอียดแบบแม่พิมพ์	94
ภาคผนวก จ	112
การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ	113

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ตารางแสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์	32
3.2	แสดงค่าความหนืด และความหนาแน่นของสารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดลอง	39
3.3	ตารางบันทึกแรงในการอัดขึ้นรูปในการใช้สารหล่อลื่นแต่ละชนิด	42
3.4	ตารางบันทึกค่าความหยาบผิวของชิ้นงานในการใช้สารหล่อลื่นแต่ละชนิด	42
4.1	ผลการทดลองการขึ้นรูปของชิ้นงานเพื่อหาแรงกดในการขึ้นรูปของชิ้นงานและนำมาเปรียบเทียบในแต่ละสารหล่อลื่นที่ใช้ในการขึ้นรูป	46
4.2	ผลการทดลองการในการวัดค่าความหยาบผิว และนำมาเปรียบเทียบในแต่ละสารหล่อลื่น	47
4.3	ผลการทดลองในการดูการไหลตัว และนำมาเปรียบเทียบแต่ละสารหล่อลื่น	52
4.4	ตารางเปรียบเทียบรวม โดยวิเคราะห์จากแรงในการขึ้นรูป ค่าความหยาบผิว และการไหลตัวของวัสดุ	53
ก.1	แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 1 ของน้ำมันแร่	59
ก.2	แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 2 ของน้ำมันแร่	60
ก.3	แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 3 ของน้ำมันแร่	61
ก.4	แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 4 ของน้ำมันแร่	62
ก.5	แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 5 ของน้ำมันแร่	63
ก.6	แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 1 ของน้ำมันถั่วเหลือง	64
ก.7	แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 2 ของน้ำมันถั่วเหลือง	65
ก.8	แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 3 ของน้ำมันถั่วเหลือง	66
ก.9	แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 4 ของน้ำมันถั่วเหลือง	67
ก.10	แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 5 ของน้ำมันถั่วเหลือง	68
ก.11	แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 1 ของน้ำมันมะพร้าว	69
ก.12	แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 2 ของน้ำมันมะพร้าว	70
ก.13	แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 3 ของน้ำมันมะพร้าว	71
ก.14	แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 4 ของน้ำมันมะพร้าว	72
ก.15	แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 5 ของน้ำมันมะพร้าว	73

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.16	แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 1 ของไม้ใช้สารหล่อลื่น	32
ก.17	แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 2 ของไม้ใช้สารหล่อลื่น	39
ก.18	แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 3 ของไม้ใช้สารหล่อลื่น	42
ก.19	แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 4 ของไม้ใช้สารหล่อลื่น	42
ก.20	แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 5 ของไม้ใช้สารหล่อลื่น	46
ค.1	แสดงค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลอง ของน้ำมันแร่	91
ค.2	แสดงค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลอง ของน้ำถั่วเหลือง	91
ค.3	แสดงค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลอง ของน้ำมะพร้าว	92
ค.4	แสดงค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลอง ไม้ใช้สารหล่อลื่น	92

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงชิ้นส่วนจากการอัดขึ้นรูปแบบตาม	5
2.2	แสดงชิ้นส่วนจากการอัดขึ้นรูปแบบทวน	6
2.3	แสดงรูปแบบการอัดขึ้นรูปแบบผสม	6
2.4	แสดงรูปแบบอัดขึ้นรูปแบบตาม	7
2.5	แสดงรูปแบบการอัดขึ้นรูปแบบทวน	7
2.6	แสดงรูปแบบการอัดขึ้นรูปแบบผสม	8
2.7	แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปแบบตาม	8
2.8	แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปแบบทวน	9
2.9	แสดงการอัดขึ้นรูปแบบตามและทวน	9
2.10	แสดงการอัดขึ้นรูปแบบตามปราศจากหมอนรองรับ	10
2.11	แสดงการอัดขึ้นรูปแบบตามพร้อมหมอนรองรับ	10
2.12	แสดงการอัดขึ้นรูปแบบทวน	11
2.13	ความหยาบละเอียดผิว	19
2.14	การวัดค่าความหยาบ R_t	20
2.15	การวัดค่าความหยาบ R_a	20
2.16	การวัดค่าความหยาบ R_z และ R_{max}	21
2.17	แผ่นเทียบผิว	21
2.18	เครื่องวัดค่าความหยาบผิว	22
2.19	การกำหนดสัญลักษณ์ผิวงานตามมาตรฐาน DIN 1341 และ ISO 1302	23
3.1	แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน	25
3.2	เครื่องปั๊มโลหะขนาด 80 ตัน	26
3.3	แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปเย็นอลูมิเนียม	26
3.4	ชิ้นงานที่ออกแบบหลังจากการอัดขึ้นรูป	28
3.5	ชิ้นงานที่เลื่อยเสร็จแล้ว	29
3.6	การกลึงปาดหน้าชิ้นงานให้มีขนาดตามต้องการ	30
3.7	ชิ้นงานทดสอบ	30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.8	แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปเย็นอลูมิเนียม	31
3.9	ของแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปเย็นอลูมิเนียม	31
3.10	Ejector	33
3.11	แม่พิมพ์ชุดแม่พิมพ์ล่าง	33
3.12	แม่พิมพ์ชุดแม่พิมพ์บน	34
3.13	การติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊ม	34
3.14	การปรับตั้ง (Limit switch) เครื่องปั๊ม	35
3.15	แม่พิมพ์พร้อมใช้งาน	35
3.16	แสดงขั้นตอนการทดลอง	36
3.17	น้ำมันแร่	37
3.18	น้ำมันถั่วเหลือง	38
3.19	น้ำมันมะพร้าว	38
3.20	อุปกรณ์บันทึกข้อมูล	39
3.21	การติดตั้งอุปกรณ์จับเก็บสัญญาณต่อเข้ากับเครื่องเพรส	40
3.22	เครื่องวัดค่าความหยาบผิว ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SJ-301	40
3.23	แสดงวิธีการวัดค่าความหยาบผิว	41
3.24	ชิ้นงานที่ทำการกัดแล้ว	41
4.1	วัสดุก่อนทำการทดลอง	43
4.2	งานที่ได้จากการทดลอง	44
4.3	ตัวอย่างกราฟแรงที่ได้จากการทดลองของ น้ำมันแร่	44
4.4	ตัวอย่างกราฟแรงที่ได้จากการทดลองของ น้ำมันถั่วเหลือง	45
4.5	ตัวอย่างกราฟแรงที่ได้จากการทดลองของ น้ำมันมะพร้าว	45
4.6	ตัวอย่างกราฟแรงที่ได้จากการทดลองของ ไม้ใช้สารหล่อลื่น	46
4.7	วิธีการวัดค่าความหยาบผิว(a)และค่าRaที่อ่านได้จากเครื่องวัดค่าความหยาบผิว (b)	47
4.8	กราฟเปรียบเทียบแรงในการขึ้นรูปของแต่ละสารหล่อลื่น	48
4.9	กราฟเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวของชิ้นงานในแต่ละสารหล่อลื่น	49

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.10	ชิ้นงานที่ทำการกัดเรียบเรียบร้อยแล้ว โดยแบ่งออกเป็นสามส่วน	50
ข.1	กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 1 ของน้ำมันแร่	80
ข.2	กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 2 ของน้ำมันแร่	80
ข.3	กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 3 ของน้ำมันแร่	81
ข.4	กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 4 ของน้ำมันแร่	81
ข.5	กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 5 ของน้ำมันแร่	82
ข.6	กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 1 ของน้ำมันถั่วเหลือง	82
ข.7	กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 2 ของน้ำมันถั่วเหลือง	83
ข.8	กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 3 ของน้ำมันถั่วเหลือง	83
ข.9	กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 4 ของน้ำมันถั่วเหลือง	84
ข.10	กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 5 ของน้ำมันถั่วเหลือง	84
ข.11	กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 1 ของน้ำมันมะพร้าว	85
ข.12	กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 2 ของน้ำมันมะพร้าว	85
ข.13	กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 3 ของน้ำมันมะพร้าว	86
ข.14	กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 4 ของน้ำมันมะพร้าว	86
ข.15	กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 5 ของน้ำมันมะพร้าว	87
ข.16	กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 1 ของไม้ใช้สารหล่อลื่น	87
ข.17	กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 2 ของไม้ใช้สารหล่อลื่น	88
ข.18	กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 3 ของไม้ใช้สารหล่อลื่น	88
ข.19	กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 4 ของไม้ใช้สารหล่อลื่น	89
ข.20	กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 5 ของไม้ใช้สารหล่อลื่น	89

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ϵ_h	เกรดการฟอร์มตัว
A_0	พื้นที่หน้าตัดก่อนทำการขึ้นรูป
A	พื้นที่หน้าตัดหลังทำการอัดขึ้นรูป
F_{ges}	แรงที่เกิดให้เนื้อโลหะไหล
F_{id}	แรงในแนวความคิด (ปราศจากการสูญเสีย)
F_{sch}	แรงสูญเสียเนื่องจากการเฉือน
F_{R1}	แรงสูญเสียเนื่องจากความฝืดจากปลายตัวกระแทกและแหวนรีด
F_{R2}	แรงสูญเสียเนื่องจากความฝืดที่ลำตัว
F	แรงกดไหล
k_{fm}	ความเค้นในการฟอร์มตัวเฉลี่ย
n_F	ประสิทธิภาพในการฟอร์มตัว
S_w	ระยะกด
X	แฟกเตอร์กรรมวิธี $X = 1$
D	เส้นผ่าศูนย์กลางก่อนการขึ้นรูป
d	เส้นผ่าศูนย์กลางหลังการขึ้นรูป
h_0	ความยาวของวัสดุคืบ
h_1	ความยาวที่ไม่เปลี่ยนขนาด
h_2	ความยาวช่วงเปลี่ยนขนาด
h_3	ความยาวที่เปลี่ยนขนาดแล้ว
V_F	ปริมาตรชิ้นงานสำเร็จ
V	ปริมาตรวัสดุคืบ

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการออกแบบมีบทบาทสำคัญมากต่ออุตสาหกรรมทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ซึ่งแม่พิมพ์ขึ้นรูปมีความจำเป็นอย่างมากในการเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น โครงการนี้จึงมีความสำคัญในการศึกษาแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะและการสร้างแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะให้มีประสิทธิภาพและศึกษาข้อบกพร่องต่างๆของการสร้างแม่พิมพ์ และชิ้นงานที่ได้หลังจากผ่านการขึ้นรูปจากตัวแปรต่างๆเพื่อที่จะนำไปแก้ไขปรับปรุงแม่พิมพ์ให้ดีขึ้น

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในกระบวนการดันขึ้นรูป พื้นที่หน้าตัดของแท่งโลหะจะถูกกด หรือถูกเปลี่ยนโดยใช้แรงกดให้แท่งโลหะไหลผ่านแม่พิมพ์ที่มีรูปร่างแน่นอน ซึ่งสิ่งสำคัญที่ต้องการจากกระบวนการนี้คือ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมทางกลตามต้องการคุณสมบัติของโลหะที่ปราศจากข้อบกพร่อง และ รูปร่างของผลิตภัณฑ์ตามต้องการ กระบวนการดันขึ้นรูปสามารถทำได้ที่อุณหภูมิปกติของวัสดุคือ การดันขึ้นรูปสภาพเย็น (cold extrusion) หรือทำให้วัสดุมีอุณหภูมิสูงขึ้น (hot extrusion) ตามสภาวะที่เหมาะสมในการดันขึ้นรูป กระบวนการดันขึ้นรูปในปัจจุบันแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ การดันขึ้นรูปโดยตรง(direct extrusion) และการดันขึ้นรูปโดยอ้อม (indirect extrusion) [1] โลหะส่วนใหญ่สามารถทำการดันขึ้นรูปได้หลายวิธี ตามความเหมาะสม ซึ่งโลหะทั่วไปที่สามารถดันขึ้นรูปได้ที่อุณหภูมิปกติคือ ตะกั่ว อลูมิเนียม และทองแดง การดันขึ้นรูปในสภาพเย็นของโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก (cold extrusion of non-ferrous components) สามารถทำได้ง่าย เพราะ ใช้แรงในการขึ้นรูปหรือทำให้โลหะเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อยกว่าโลหะกลุ่มเหล็กตัวแปรหลักๆในกระบวนการดันขึ้นรูป คือ อัตราส่วนการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดมุมดาบ (dies angle) ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของดาบกับชิ้นงาน และความเร็วในการดันขึ้นรูป ในส่วนของความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสมีผลกระทบโดยตรงกับแรงที่ใช้ในการดันขึ้นรูป และความเสียหายที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ เช่น การเกิดรอยร้าวภายในบางครั้ง ในทางทฤษฎีเราสามารถ กำหนดอัตราส่วนการลดขนาด และสภาวะความเสียดทานที่แน่นอนเพื่อที่จะใช้แรงในการดันขึ้นรูป และความเค้นที่น้อยที่สุดได้ แต่ในทางปฏิบัติแล้ว ไม่สามารถนำกระบวนการดันขึ้นรูปที่มุมดาบนี้ไปใช้ได้ เพราะจะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติอย่างอื่นประกอบกันด้วยเช่น คุณภาพผิว ความเที่ยงตรงของขนาด การบิดเบี้ยวของชิ้นงานภายหลังการดันขึ้นรูป ซึ่งกรณีนี้ถ้าการบิดเบี้ยวมีมากก็หมายความว่าชิ้นงานจะไม่สามารถใช้งานได้ ส่งผลต่อต้นทุนในกระบวนการผลิตที่เพิ่มขึ้นได้ ค่า

ความแข็งเป็นเกณฑ์อย่างหนึ่งที่ใช้ในการเลือกวัสดุ เพื่อที่จะได้ชิ้นงานที่ทนต่อการสึกหรอและเครื่องมือที่มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน [2] Onawola, O.O. and Adeyemi, M.B. [3] ได้ศึกษาการอัดขึ้นรูปอลูมิเนียม โดยให้ความสนใจตัวแปรด้านอุณหภูมิ และอัตราการขึ้นรูปต่ำ หรือเรียกว่า Low strain rate ในงานอัดขึ้นรูปอ่อน ซึ่งได้ให้อุณหภูมิช่วง 30-250 องศาเซลเซียส Caminaga, C. and et al. [4] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาสารหล่อลื่นมาใช้ในงานอัดขึ้นรูปเย็นของแท่งเหล็ก โดยศึกษาเปรียบเทียบผลลัพธ์จากแรงในการขึ้นรูป และคุณภาพของชิ้นงาน Chen, D. C. and et al. [5] ทำการวิเคราะห์การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์แบบสามมิติของกระบวนการขึ้นรูปแท่งอลูมิเนียม โดยการใช้โปรแกรม DEFORM™ 3D Ishikawa, T. and et al. [6] ทำการศึกษาการไหลตัวของอลูมิเนียมผสมบริเวณผิว และโครงสร้าง ในการอัดขึ้นรูป โดยทำการทดลองเปรียบเทียบกับ การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการดันขึ้นรูปแท่งอลูมิเนียมโดยใช้สารหล่อลื่นตามธรรมชาติเพื่อลดความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส ตัวแปรของสารหล่อลื่นตามธรรมชาติที่นำมาศึกษาคือชนิดของสารหล่อลื่นจากธรรมชาติที่มีความแตกต่างกันจะส่งผลกระทบต่ออย่างไรกับค่าความแข็งของแท่งอลูมิเนียม และการไหลตัวของวัสดุว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใดภายหลังจากผ่านกระบวนการดันขึ้นรูป

1.2 จุดประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษากลไกในการอัดขึ้นรูปเย็นอะลูมิเนียม

1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของสารหล่อลื่นตามธรรมชาติในการอัดขึ้นรูปเย็น

1.2.3 สามารถนำสารหล่อลื่นตามธรรมชาติในการอัดขึ้นรูปเย็นไปใช้งานได้อย่างถูกต้องตามลักษณะของงาน

1.3. ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 สร้างแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปเย็นอลูมิเนียม จะใช้อลูมิเนียมเกรด 6063 เป็นตัวทดลองจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหลังผ่านการขึ้นรูป 12.5 มิลลิเมตร โดยมีความยาวอยู่ที่ 52 มิลลิเมตร

1.3.2 สารหล่อลื่นตามธรรมชาติที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็น 4 วิธี คือ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันแร่ น้ำมันถั่วเหลือง และไม่ใช้น้ำมัน

1.3.3 การทดสอบจะใช้แม่พิมพ์ในการอัดขึ้นรูปเย็นใช้ทดลองการอัดขึ้นรูปเย็นอลูมิเนียม โดยไม่ใช้สารหล่อลื่นและใช้ทดลองการอัดขึ้นรูปเย็นอลูมิเนียมโดยใช้สารหล่อลื่นซึ่งจะใช้มุมตาย 30 องศา โดยใช้เครื่องเพรสไฮดรอลิกขนาด 80 ตันในการทดลอง

1.3.4 ศึกษาแรงในการขึ้นรูป ค่าความหยาบผิว และการไหลตัวของวัสดุ ของชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูป

1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถจำแนกชนิดและคุณสมบัติที่แตกต่างกันของสารหล่อลื่นตามธรรมชาติที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปเย็น

1.4.2 สามารถออกแบบแม่พิมพ์ในการอัดขึ้นรูปเย็นได้อย่างถูกต้อง

1.4.3 ผลที่ได้รับจะเป็นความรู้ และข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญต่อการนำไปใช้ประโยชน์ของโรงงานอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ หรือโรงงานอุตสาหกรรมที่สนใจ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวข้อง

ในการสร้างแม่พิมพ์มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องนำเอาความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีการออกแบบแม่พิมพ์มาใช้ในการออกแบบ เพื่อนำพิจารณาลักษณะ ขนาด แรง หน้าที่การใช้งาน และชิ้นส่วนอื่นๆที่สร้างขึ้นเอง ก่อนที่จะนำมาวิเคราะห์หาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการขึ้นรูป เพื่อนำมาเปรียบเทียบ หาตัวแปรที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูป เพื่อที่จะนำไปพัฒนาปรับปรุงแก้ไขแม่พิมพ์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.1 นิยามศัพท์ที่สำคัญ

2.1.1 การอัดขึ้นรูป คือ การทำให้พื้นที่หน้าตัดของแท่งวัสดุลดลงหรือถูกเปลี่ยน โดยใช้แรงกดให้แท่งโลหะไหลผ่านแม่พิมพ์ที่มีรูปร่างแน่นอน [7]

2.1.2 สารหล่อลื่น คือ สารที่ทำหน้าที่เคลือบผิวโลหะ หรือชิ้นงานที่มีการเคลื่อนที่ เพื่อไม่ให้เกิดการเสียดสีกันโดยตรง หรือเพื่อเป็นการลดการสึกหรอของชิ้นงาน [8]

2.1.3 คุณภาพผิวงาน คือ ผิวของชิ้นงานที่บ่งบอกถึงคุณภาพของชิ้นงานแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ผิวชิ้นงานที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการต่างๆ และผิวของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการตัดเฉือน ขูดขัด เคลือบผิว เป็นต้น [9]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Celio Caminaga และคณะ ได้ทำการศึกษาสารหล่อลื่นทางเลือกใหม่ในการอัดขึ้นรูปเย็น เพลานเหล็ก

ผลลัพธ์ในการทดสอบแสดงให้เห็นว่าบางสภาวะในการทดสอบการอัดขึ้นรูปใช้แรงอัดน้อยกว่าหรือใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน นั่นคือสารหล่อลื่นสามารถที่เป็นสารหล่อลื่นที่ดีได้ สำหรับสังกะสี ฟอสเฟต กับ MoS_2 ในการทดสอบทั้งหมดแรงที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อกระบวนการอบชุบของแท่งโลหะ แต่ไม่ส่งผลวิธีการของสารหล่อลื่นความหยาบผิวของแท่งโลหะ มีอิทธิพลกับแรงที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปเช่นกันตั้งแต่การเลือกการขึ้นรูปของชิ้นงานนั้นจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของสารหล่อลื่น โดยดูที่ผิวของแท่งโลหะเป็นแบบ Cross-Knurlled จะเห็นได้ว่าแรงที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปต่ำ ผิวและขนาดของชิ้นงานจะมีคุณภาพ นั่นคือสารหล่อลื่นทางเลือกใหม่มีค่าใกล้เคียงกับสารหล่อลื่นตามมาตรฐาน [10]

สมชาย ตันทวิรุพห์ และคณะได้ทำการศึกษาผลกระทบของตัวแปรในกระบวนการดันขึ้นรูปแบบเย็นต่อสมบัติเชิงกลของแท่งอลูมิเนียม

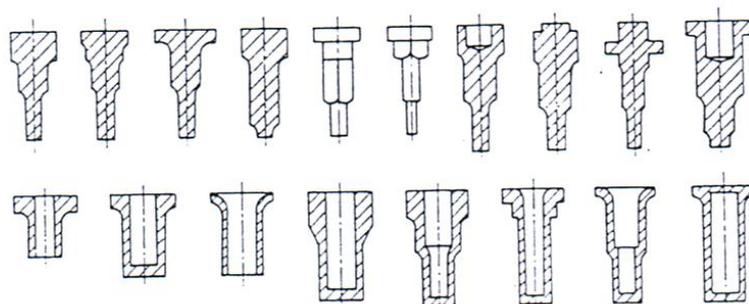
การดันขึ้นรูปแท่งอลูมิเนียม ที่สภาวะอุณหภูมิห้องหรือดันขึ้นรูปแบบเย็น (cold extrusion) จะให้รูปร่างและคุณภาพผิวที่ดีกว่าการดันขึ้นรูปแบบร้อนและลดต้นทุนในการผลิตได้อย่างมาก งานวิจัยนี้นำเสนอ ผลกระทบเนื่องจากตัวแปรในกระบวนการดันขึ้นรูปแบบเย็น ที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงภายในหน้าตัดของชิ้นงาน โดยการดันขึ้นรูปที่ใช้ในการศึกษาเป็นการดันขึ้นรูปแท่งอลูมิเนียม (billet) ผ่านคायรูปกรวย (conical dies) ด้วยความเร็วในการดันขึ้นรูปคงที่ จากการทดลองพบว่า ค่าความแข็งแรงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดมากขึ้นและเมื่อเปรียบเทียบที่มุมคायต่างกัน แต่มีอัตราส่วนการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดใกล้เคียงกันพบว่า ค่าความแข็งแรงภายในหน้าตัดของชิ้นงานมีค่าไม่แตกต่างกัน [7]

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

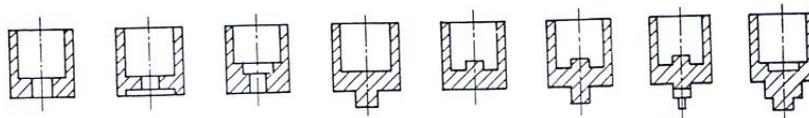
การอัดขึ้นรูปเป็นกระบวนการขึ้นรูปภายในเนื้อโลหะ โดยการใช้แรงที่สูงกดลงบนเนื้อโลหะให้เกิดการไหลตัว การขึ้นรูปจะเป็นไปภายใต้อุณหภูมิปกติ ซึ่งก็คือการอัดขึ้นรูปเย็น งานที่ได้จะมีผิวสวยและมีขนาดความเที่ยงตรงสูง

ในบางกรณีของการขึ้นรูปเย็นต้องใช้แรงในการขึ้นรูปสูง เช่น งานที่มีเกรดการขึ้นรูปโค เพื่อเป็นการลดแรง การขึ้นรูปก็จะเปลี่ยนเป็นการอัดขึ้นรูปร้อน โดยการใช้ความร้อนวัสดุคืบที่อุณหภูมิขึ้นรูป ผลผลิตที่ได้รับจะมีขนาดความเที่ยงตรงลดลง การเกิดสะเก็ดเนื่องจากการเผาทำให้ชิ้นงานมีผิวหยาบ ในบางกรณีจำเป็นต้องมีการตกแต่งผิวตามมา ดังแสดงในรูปที่ 2.1, รูปที่ 2.2 และรูปที่ 2.3

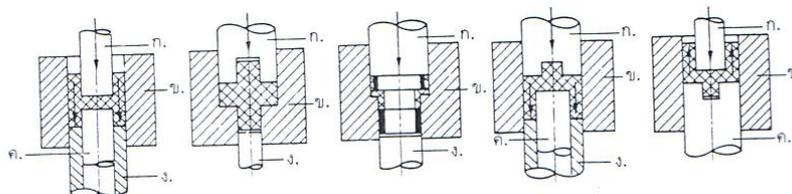
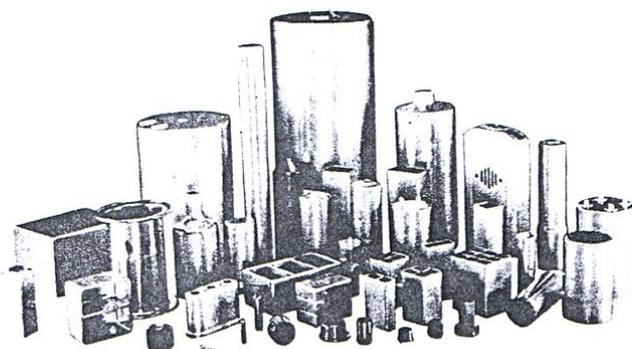
ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนกลวงหรือตัน [11]



รูปที่ 2.1 แสดงชิ้นส่วนจากการอัดขึ้นรูปแบบตาม [11]



รูปที่ 2.2 แสดงชิ้นส่วนจากการอัดขึ้นรูปแบบทวน [11]



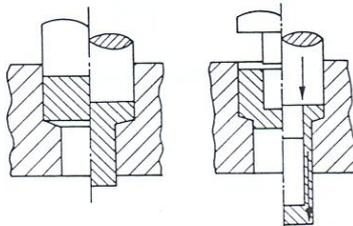
ก. ตัวกด ข. เบ้าแม่พิมพ์ ค. หมอนยัน ง. ตัวปลด

รูปที่ 2.3 แสดงรูปแบบการอัดขึ้นรูปแบบผสม [11]

2.3.1 กระบวนการอัดขึ้นรูป

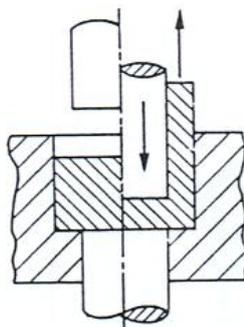
กระบวนการอัดขึ้นรูปสามารถแยกประเภทออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1) การอัดขึ้นรูปแบบตาม การเคลื่อนตัวของตัวกดและการไหลของเนื้อโลหะมีทิศทางเดียวกัน เนื้อโลหะจะถูกกดด้วยแรงดันสูงให้ไหลตัวไปทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของตัวกด รูปร่างภายนอกของงานจะเป็นไปตามรูปร่างในของเบ้าแม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



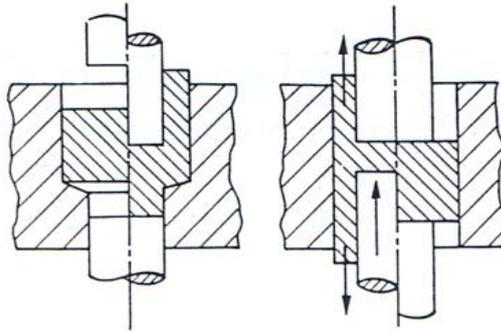
รูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบอัดขึ้นรูปแบบตาม [11]

2) การอัดขึ้นรูปแบบทวน ทิศทางไหลของวัสดุสวนทางกับการเคลื่อนตัวของวัสดุจะไหลเมื่อได้รับแรงกดเหนือจุดไหลตัวและไม่อนุญาตให้เนื้อวัสดุไหลออกด้านข้าง โดยไหลในช่องว่างวงแหวนระหว่างตัวกดกับเบ้าแม่พิมพ์สวนทิศทางกับแนวเคลื่อนตัวของตัวกด ส่วนใหญ่จะใช้กับการผลิตหลอด ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงรูปแบบการอัดขึ้นรูปแบบทวน [11]

3) การอัดขึ้นรูปแบบผสม ในขณะที่ตัวกดกระแทกลงเนื้อวัสดุส่วนหนึ่งจะไหลในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนของตัวกด และเนื้อโลหะอีกส่วนหนึ่งจะไหลสวนทางกับแนวเคลื่อนตัวของตัวกด ดังแสดงในรูปที่ 2.6 [11]

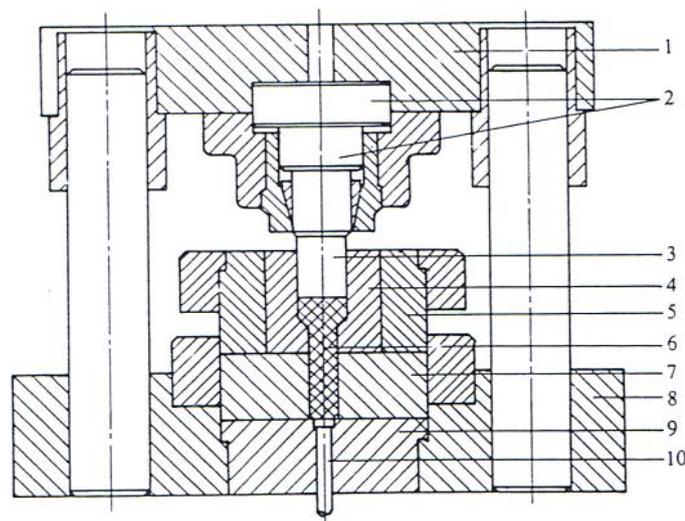


รูปที่ 2.6 แสดงรูปแบบการอัดขึ้นรูปแบบผสม [11]

2.3.2 แม่พิมพ์อัดขึ้นรูป

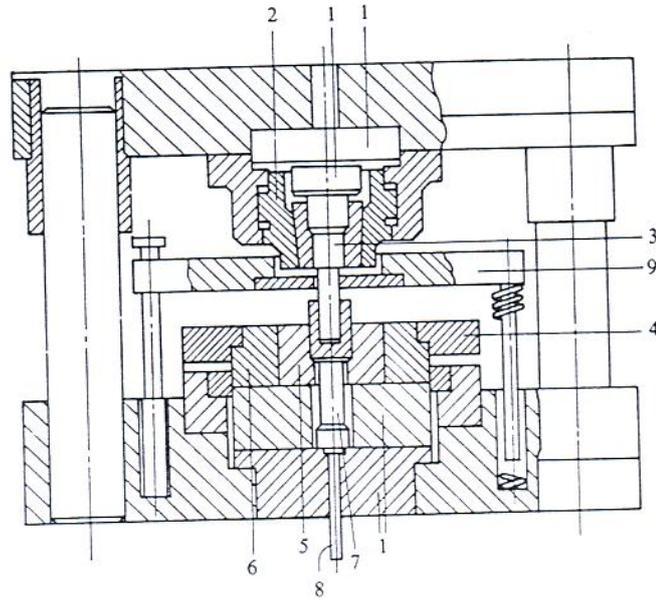
แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปเป็นแม่พิมพ์ที่ต้องรับแรงสูง ดังนั้นสัมฤทธิ์ผลของแม่พิมพ์จึงขึ้นอยู่กับ การเลือกใช้วัสดุ การชุบแข็ง และการจับยึดตัวแม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และรูปที่ 2.8

ในการขึ้นรูปเหล็ก เบ้าแม่พิมพ์จะต้องหุ้มด้วยเกราะ ขนาดของเกราะหุ้มเบ้าแม่พิมพ์สามารถคำนวณได้ตามแนวทางของ VDI 3168



- | | | | |
|---------------|------------------|------------|------------|
| 1. แผ่นฐานรอง | 2. แผ่นรองรับแรง | 3. ตัวกด | 4. เบ้า |
| 5. ปลอกกรัด | 6. ชิ้นงาน | 7. แผ่นรอง | 8. แผ่นฐาน |
| 9. แผ่นรับแรง | 10. แกนกระทัน | | |

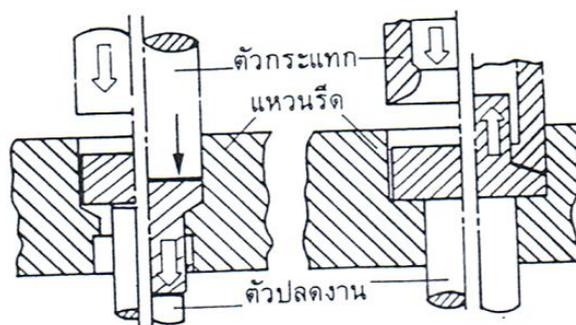
รูปที่ 2.7 แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปแบบตาม [11]



- | | | |
|------------------|-----------------------|---------------|
| 1. แผ่นรองรับแรง | 2. แผ่นเกลียวยึดตัวกด | 3. ตัวกด |
| 4. แหวนยึดเบ้า | 5. เบ้า | 6. แหวนบังคับ |
| 7. หมอน | 8. ตัวกระทุ้ง | 9. ตัวปลด |

รูปที่ 2.8 แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปแบบทวน [11]

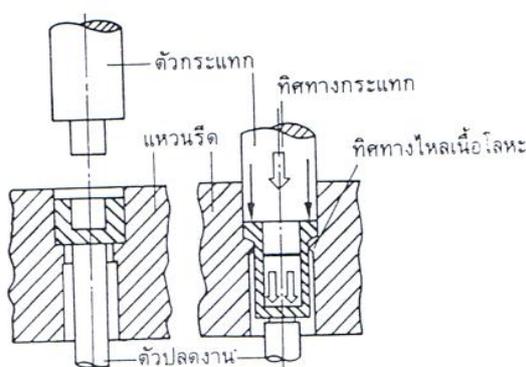
ในงานอัดขึ้นรูปขึ้นงานหนาจะถูกขึ้นรูปโดยตัวกระแทกและแหวนรีดให้เป็นรูปทรงกลมหรือต้นพื้นที่หน้าตัดกลมหรือเหลี่ยม เนื้อโลหะจะถูกกระแทกด้วยแรงดันสูงเหนือจุดไหลตัวบังคับไหล ผ่านช่องระหว่างตัวกระแทกกับแหวนรีด งานอัดขึ้นรูปเหมาะสำหรับใช้แทนการดึงขึ้นรูปทรงกลึงที่ต้องทำหลายๆชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.9 [11]



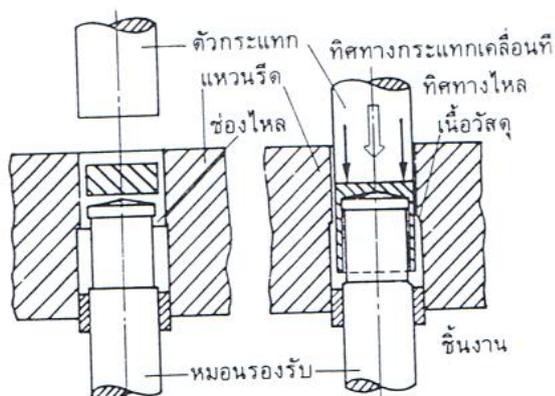
รูปที่ 2.9 แสดงการอัดขึ้นรูปแบบตามและทวน [11]

2.3.3 การอัดขึ้นรูปตามทรงกลวงผนังบาง

เนื้อโลหะไหลในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของแรงกระแทก ช่องไหลจะอยู่ระหว่างข้างตัวกระแทกกับแหวนรีด การอัดขึ้นรูปโดยปราศจากหมอนยัน วัสดุคืบอาจเป็นรูตันหรือรูตลอด การอัดขึ้นรูปที่มีหมอนยันไม่นิยมใช้ทำชิ้นส่วนที่มีผนังบาง เพราะการปลดชิ้นงานออกทำให้เสียรูปร่างได้ การอัดขึ้นรูปด้วยหมอนยันชิ้นงานคืบจะเป็นรูตันหรือมีรูก็ได้ รูปร่างของมันจะขึ้นอยู่กับชิ้นงานสำเร็จ ในขณะเดียวกันหมอนยันอาจใช้เป็นตัวปลดชิ้นงานได้ โดยดันที่พื้นของชิ้นงานออกมาจากแหวนรีด ซึ่งในกรณีเช่นนี้สามารถใช้กับชิ้นส่วนที่มีผนังบางได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 และรูปที่ 2.11 [11]



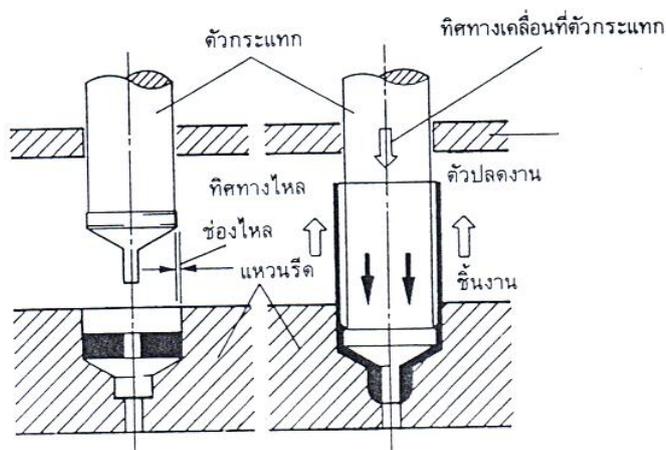
รูปที่ 2.10 แสดงการอัดขึ้นรูปแบบตามปราศจากหมอนรองรับ [11]



รูปที่ 2.11 แสดงการอัดขึ้นรูปแบบตามพร้อมหมอนรองรับ [11]

2.3.4 การอัดขึ้นรูปทวนทรงกลมผนังบาง

เนื้อโลหะไหลสวนทางกับทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวกระแทก ช่องไหลจะอยู่ระหว่างตัวกระแทกกับแหวนรีด วัสดุดิบจะมีขนาดเท่ากับขนาดชิ้นงานสำเร็จ กระบวนการนี้เหมาะเป็นพิเศษสำหรับการผลิตหลอดที่ยาวและผนังบาง ชิ้นงานสำเร็จจะถูกปลดดันออกจากตัวกระแทก ความยาวของชิ้นงานทรงกลมกลวงที่ผลิตโดยกระบวนการบีบไหล สามารถทำให้ยาวได้ถึง 6 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับวัสดุดิบต่อไปนี้ ตะกั่ว ดีบุก สังกะสี ทองแดง อลูมิเนียมบริสุทธิ์ อลูมิเนียมผสม ทองเหลืองอ่อน ดังแสดงในรูปที่ 2.12 [11]



รูปที่ 2.12 แสดงการอัดขึ้นรูปแบบทวน [11]

2.3.5 การคำนวณการอัดขึ้นรูปแบบตาม

เกรดการฟอร์มตัว ϵ_h หาได้จากสมการที่ 2.1 และสมการที่ 2.2

$$\epsilon_h = \ln \frac{A_0}{A} \quad (2.1)$$

$$\epsilon_h = \left(\ln \frac{A_0}{A} \right) \times 100\% \quad (2.2)$$

แรงที่ใช้ในการฟอร์มตัว F หาได้จากสมการที่ 2.3 และสมการที่ 2.4

$$F_{ges} = F_{id} + F_{sch} + F_{R1} + F_{R2} \quad (2.3)$$

$$F_{id} = A_0 \times k_{fm} \times \epsilon_h \quad (2.4)$$

F_{ges} คือ แรงที่กดให้เนื้อโลหะไหล

F_{id} คือ แรงในแนวความคิด (ปราศจากการสูญเสีย)

F_{sch} คือ แรงสูญเสียเนื่องจากการเฉือน

F_{R1} คือ แรงสูญเสียเนื่องจากความฝืดจากปลายตัวกระแทกและแหวนรีด

F_{R2} คือ แรงสูญเสียเนื่องจากความฝืดที่ลำตัว

แรง F_{sch} , F_{R1} และ F_{R2} มีความสัมพันธ์โดยตรงกับแรง F_{id}

เพื่อการหาแรงรวม F_{ges} ที่ใช้ขึ้นรูป เพื่อความสะดวก เราจึงรวมแรงสูญเสียต่างๆ ให้อยู่ในรูปประสิทธิภาพในการฟอร์มตัว n_F เราได้สมการที่ 2.5

$$F = \frac{A_0 \times k_{fm} \times \epsilon_h}{n_F} \quad (2.5)$$

F คือ แรงกดไหล หน่วยเป็นนิวตัน (N)

A_0 คือ พื้นที่หน้าตัดชิ้นงานคืบก่อนอัด หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (mm^2)

k_{fm} คือ ความเค้นในการฟอร์มตัวเฉลี่ย หน่วยเป็นนิวตัน/ตารางมิลลิเมตร (N/ mm^2)

ϵ_h คือ เกรดในการฟอร์มตัว

n_F คือ ประสิทธิภาพในการฟอร์มตัว

งานที่ใช้ในการฟอร์มตัว W หาได้จากสมการที่ 2.6

$$W = F \times S_w \times X \quad (2.6)$$

S_w คือ ระยะกด = $h_0 - h_k$

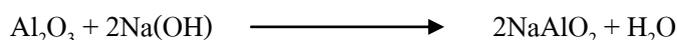
X คือ แฟกเตอร์กรรมวิธี $X = 1$ [11]

2.3.6 โลหะอลูมิเนียม

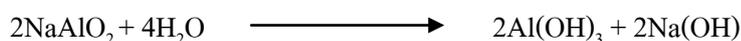
อลูมิเนียมจัดเป็นธาตุที่พบมากชนิดหนึ่งบนผิวโลกประมาณ 8% จะพบกระจายอยู่ทั่วไปส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของออกไซด์ซึ่งจะปะปนอยู่กับออกไซด์ของซิลิกอนและเหล็ก แร่อลูมิเนียมที่สามารถนำมาถลุงเพื่อผลิตโลหะอลูมิเนียมจะเป็นแร่ที่มีปริมาณซิลิกอนออกไซด์ต่ำได้แก่ แร่บอกไซต์ (Bauxite) ตามชื่อของบริเวณที่พบครั้งแรกในประเทศฝรั่งเศส นอกจากนี้ยังมีแร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite) ปัจจุบันแหล่งแร่บอกไซต์มีปริมาณลดลง ประเทศที่พบแหล่งแร่อลูมิเนียมที่สำคัญได้แก่ ประเทศสหรัฐอเมริกา อิตาลี ฝรั่งเศส

แร่บอกไซต์จะประกอบไปด้วยอลูมินา (Al_2O_3) 30-50%, ซิลิกา (SiO_2) 3-13% ไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2) 10-18% ที่เหลือเป็นน้ำ แร่ที่มีปริมาณซิลิกาต่ำจะเป็นแร่ที่คุณภาพสูงเหมาะสำหรับการนำมาถลุงวิธีการแยกอลูมินาจากแร่บอกไซต์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิต

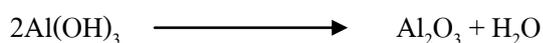
โลหะอลูมิเนียมจะใช้กระบวนการของ Bayer โดยนำแร่บอไซด์มาบดให้ละเอียดและอบแห้งที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียสจากนั้นนำไปละลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Na(OH)) ภายใต้ความดัน 5-7 บรรยากาศในภาชนะปิดโดยมีไอน้ำผ่านให้ความร้อนภายนอกที่อุณหภูมิประมาณ 150 องศาเซลเซียส ฟองอลูมินาจะทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้โซเดียมอลูมิเนต (NaAlO₂) ละลายน้ำได้คือดังปฏิกิริยา ส่วนสารเจือปนที่ติดมากับแร่บอไซด์จะไม่ละลายและตกตะกอนอยู่กันภาชนะมีลักษณะเป็นตะกอนสีแดง



ภายหลังเมื่อกรองเอาตะกอนสีแดงออกจะได้สารละลายของโซเดียมอลูมิเนตนำสารละลายไปทำให้เจือจางโดยเติมน้ำภายในถังและรักษาอุณหภูมิไว้ประมาณ 40 องศาเซลเซียสจากนั้นทำให้เกิดการตกตะกอนของ Al(OH)₃ โดยวิธีเติมผง Al(OH)₃ ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งในการตกผลึก หรือบางครั้งจะเรียกว่า seeding agent เพื่อให้ Al(OH)₃ ที่ละลายอยู่ในสารละลายมาจับตัวกับผง seed ที่เติมลงไปช่วยทำให้การตกตะกอนของ Al(OH)₃ เกิดได้ในระยะเวลาสั้น ปฏิกิริยาที่เกิดการตกผลึกจะเป็นดังนี้



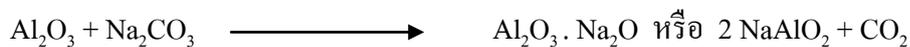
เมื่อกรองเอา Al(OH)₃ ออกมาได้แล้วจะไปล้างน้ำให้สะอาด จากนั้นจึงนำไปอบไล่น้ำออกที่อุณหภูมิประมาณ 1200 องศาเซลเซียส จะได้ฟองอลูมินาซึ่งมีสีขาวดังปฏิกิริยา



ส่วนสารละลายที่เหลือซึ่งเป็นสารละลายของโซเดียมไฮดรอกไซด์จะนำไปทำให้มีความเข้มข้นสูงโดยการระเหยไอน้ำและนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งถ้าในแร่มีซิลิกาสูงปริมาณการสูญเสียอลูมิเนียมจะสูงมากตามไปด้วยดังนั้นกระบวนการของ Bayer จึงเหมาะกับแร่ที่มีปริมาณซิลิกาต่ำ

กระบวนการแยกอลูมินาอีกวิธีหนึ่งเรียกว่า Fusion process หรือบางครั้งอาจเรียกว่า Dry process จะแตกต่างวิธีของ Bayer ตรงที่ไม่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายอะลูมินาแต่จะใช้ Na₂CO₃ มาเผาพร้อมกับแร่บอไซด์ที่บดละเอียดแล้วภายในเตาที่อุณหภูมิ 800-

1200 องศาเซลเซียส อลูมินาจะทำปฏิกิริยากับ Na_2CO_3 ให้โซเดียมอลูมินेटกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์



ถ้าในแร่บอกไซต์มีซิลิกาอยู่ด้วยจะต้องผสมหินปูนลงไปเพื่อให้หินปูนไปตั้งซิลิกาออกมาอยู่ในรูป Ca_2SiO_4 หรืออาจจะมี Na_2SiO_3 เกิดขึ้นบ้างแต่มีจำนวนน้อยนำ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{O}$ ที่ได้ซึ่งอาจจะมีสารเจือปนอื่นรวมอยู่ด้วยมาบดให้ละเอียดและจึงนำไปละลายน้ำที่อุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียส ให้เป็นสารละลายโดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป่าลงไปเพื่อช่วยให้เกิดการละลายและแยกตัวของ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{O}$ ให้มาอยู่ในรูป $\text{Al}(\text{OH})_3$ กับ โซเดียมคาร์บอเนตดังปฏิกิริยา



เรียกกระบวนการนี้ว่า Carbonization สำหรับสารเจือปนอื่นจะไม่ทำปฏิกิริยาหรือละลายในน้ำจะเกิดการตกตะกอนเช่นเดียวกับวิธีการของ Bayer สารละลายที่ได้จะนำมาทำให้ตกตะกอนของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ลักษณะเดียวกัน โดยใช้ตัวเร่งการตกตะกอนเมื่อกรองเอา $\text{Al}(\text{OH})_3$ ออกมาจะนำไปทำการอบไล่น้ำจะได้ผงอลูมินา

อลูมิเนียมจัดเป็นโลหะที่มีน้ำหนักเบา มีความต้านทานต่อการเป็นสนิม มีความแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง แต่มีความเหนียวสูงสามารถนำไปใช้งานได้กว้างขวางแทนเหล็กและทองแดงในหลายๆด้านของงานวิศวกรรมและอุตสาหกรรม อลูมิเนียมมีคุณสมบัติทางด้านหล่อหลอมที่ดี โดยที่อุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ สามารถรวมตัวกับโลหะอื่นๆเป็นโลหะผสมได้ง่ายมีความสามารถในการไหลอยู่ในเกณฑ์สูง สามารถหลอมได้ง่าย ข้อเสียของอลูมิเนียมมีอยู่บ้างเหมือนกันโดยเฉพาะอลูมิเนียมมีขอบเขตการยืดหยุ่นต่ำ ทำให้การใช้งานถูกจำกัดขอบเขตไปมาก

คุณสมบัติทางฟิสิกส์

น้ำหนักอะตอม	26.97
ระบบผลึก	FCC(a = b = c = 4.041 Å)
ความหนาแน่น(20°C)	2.70 g/cm ³
อุณหภูมิหลอมเหลว	658 °C
จุดเดือดกลายเป็นไอ	1800 °C
ความร้อนจำเพาะ(0-100 °C)	0.2259 Cal/g °C
ความร้อนแฝงของการหลอมละลาย	93 Cal/g

อัตราการหดตัวจากสภาพหลอมเหลว	6.6%
สัมประสิทธิ์การขยายตัว	$23.8 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
ความต้านทานจำเพาะ	2.699 microhm.cm
สภาพตัวนำความร้อน	$0.52 \text{ Cal.cm/cm}^2 \cdot ^\circ\text{C.sec}$
คุณสมบัติเชิงกล	
ความแข็งแรง	$8-10 \text{ kg/mm}^2$
พิกัดความยืดหยุ่น	3 kg/mm^2
อัตราการยืดตัว	40-45%
ความแข็ง	16-20 H _B
โมดูลัสของการยืดหยุ่น	7800 kg/mm^2

เนื่องจากโลหะอลูมิเนียมมีความต้านทานต่อการเป็นสนิมอันเนื่องมาจากฟิล์มของ Al_2O_3 ที่เกิดจากการรวมตัวของอลูมิเนียมกับออกซิเจน มีความหนาแน่นที่มากช่วยป้องกันมิให้ออกซิเจนสามารถแทรกซึมลงไปทำปฏิกิริยากับอลูมิเนียมได้ฟิล์มของ Al_2O_3 ได้ทำให้โลหะอลูมิเนียมเกิดภูมิต้านทานต่อการขึ้นสนิมได้ด้วยตัวเองและคุณสมบัติที่ยึดตัวได้ง่ายของอลูมิเนียมจึงทำให้สามารถขึ้นรูปได้ง่าย ด้วยการรีดเป็นแผ่น หรืออัดขึ้นรูปให้มีรูปร่างได้สะดวกทำให้การใช้งานอลูมิเนียมมีขอบเขตกว้างขวางมาก เช่น การทำกรอบประตู หน้าต่าง ทำท่อ ทำเป็นเส้นลวดแทนเส้นลวดทองแดง เนื่องจากมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี ปกติอลูมิเนียมที่ใช้กันถึงแม้จะอยู่ในประเภทบริสุทธิ์ก็ตาม แต่ในทางปฏิบัติแล้วจะยอมให้มีโลหะเจือปนได้บ้าง โดยเฉพาะ ธาตุเหล็ก ซิลิกอน และทองแดงยอมให้มีได้ไม่เกิน 0.5% ซึ่งธาตุเจือปนเหล่านี้มีผลทำให้คุณสมบัติด้านความเหนียวและความต้านทานการกัดกร่อนลดลง การผ่านงานขึ้นรูปเย็นมีผลทำให้ความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นแต่จะทำให้ความเหนียวลดลงมาก

2.3.7 สารหล่อลื่น

การหล่อลื่นที่มีประสิทธิภาพเพื่อการประหยัด พลังงาน สามารถสรุปได้จากการใช้สารหล่อลื่นที่เหมาะสม ตามระยะเวลาใช้งานของสารหล่อลื่นนั้น ๆ ซึ่งสามารถช่วยลดการสูญเสียที่เกิดจากแรงเสียดทาน ลดการสึกหรอ และเพิ่มประสิทธิภาพการส่งถ่ายความร้อน

ในโรงงานอุตสาหกรรมบางแห่ง การหล่อลื่นที่มีประสิทธิภาพสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในเครื่องจักรได้สูงสุดถึง 20% อีกทั้งยังสามารถช่วยประหยัดเวลาในการดูแลรักษาเครื่องจักร ลดพื้นที่ในการใช้งานจากการ สดุดอกสารหล่อลื่นที่น้อยลง และยืดอายุเครื่องจักรให้ยาวนานขึ้น รวมทั้งอายุของสารหล่อลื่นให้ยาวนานมากขึ้นอีกด้วย สำหรับแนวทางปฏิบัติที่ง่ายต่อ

การดำเนินการและเป็นประโยชน์ที่ผู้เขียนขอแนะนำให้แก่ทางโรงงาน เพื่อลด ค่าใช้จ่ายในด้านการใช้พลังงาน

คังนั้สารหล่อลื่น เป็นสารหรือวัสดุที่ใช้ในการหล่อลื่นชิ้นส่วนของเครื่องจักรกล ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของแข็ง ของแข็งที่บดเป็นผง ของเหลว และก๊าซ แต่ละสารหล่อลื่นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางจะอยู่ในลักษณะของเหลว เช่น น้ำมันหล่อลื่น หรือสารที่มีลักษณะเหนียว เช่น จาระบี เป็นต้น [4]

2.3.8 น้ำมันหล่อลื่น

น้ำมันหล่อลื่น(Lubricating oil) เป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม การผลิตน้ำมันหล่อลื่นเพื่อให้ได้น้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปที่มีคุณภาพดีและเหมาะสมกับการนำไปใช้งานสำหรับเครื่องยนต์และเครื่องจักรกลแต่ละชนิดนั้น ขั้นตอนในการผลิตน้ำมันหล่อลื่นจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน และขั้นตอนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปโดยการเติมสารคุณภาพต่างๆ ลงในน้ำมันหล่อลื่น

น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีใช้อยู่แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ น้ำมันพืชหรือสัตว์ น้ำมันแร่ และน้ำมันสังเคราะห์ โดยส่วนใหญ่แล้วมักจะใช้น้ำมันแร่นำมาผลิตเป็นน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป เพราะมีคุณภาพดีพอ และราคาถูก ส่วนน้ำมันพืชหรือจากสัตว์ และน้ำมันสังเคราะห์นั้นจะนำไปใช้งานที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษบางอย่างเท่านั้น ที่มาของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานมีดังนี้คือ

1) น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากพืชหรือสัตว์ (Vegetable or Animal Base oil) สมัยก่อนนิยมนำมาใช้งานหลายอย่าง ปัจจุบันมีการใช้งานน้อยมาก เนื่องจากน้ำมันพืช หรือสัตว์มีความคงตัวทางเคมีต่ำ เสื่อมสภาพได้ง่ายในขณะที่ใช้งาน เมื่อนำมาใช้จะต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ ทำให้ราคาแพงมาก ความนิยมจึงหมดไป แต่จะใช้เฉพาะงานหล่อลื่นที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษบางอย่างเท่านั้น ส่วนใหญ่มักใช้เป็นตัวเติมสำหรับเพิ่มคุณภาพให้น้ำมันหล่อลื่นที่ผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียมเพื่อเพิ่มความลื่น และความสามารถในการผสมเข้ากับน้ำได้ เป็นต้น ตัวอย่างของน้ำมันพืชที่ถูกนำมาใช้ได้แก่ น้ำมันละหุ่ง และน้ำมันปาล์ม ส่วนน้ำมันจากสัตว์ได้แก่ น้ำมันหมู และน้ำมันปลา เป็นต้น

2) น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากปิโตรเลียมหรือน้ำมันแร่(Mineral Base Oil)เป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากมีคุณภาพดีและราคาถูก น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานชนิดนี้ เป็นผลผลิตอันหนึ่งที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบในหอกลั่น ส่วนเบาที่มีจุดเดือดต่ำ ได้แก่ ก๊าซแก๊สโซลีน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล จะระเหยไอแยกออกมา ส่วนหนักหนักที่มีจุดเดือดสูงจะไม่ระเหยเป็นไอและเหลืออยู่เป็นพวกน้ำมันเตา ใจ และยางมะตอย ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบใน

การผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานได้ น้ำมันแร่ที่ได้จากการเอาส่วนที่อยู่ก้นหม้อกลั่นบรรยากาศมาผ่านกระบวนการกลั่นภายใต้สุญญากาศ แยกเอาน้ำมันหล่อลื่นชนิดไฮโดรและชนิดชั้นออกมา ที่เหลือเป็นกากก็สามารถนำไปผลิตยางมะตอยได้ ชนิดและปริมาณของน้ำมันแร่ที่แยกออกมาได้นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันดิบที่นำมากลั่น น้ำมันดิบบางอย่างก็ไม่เหมาะที่จะนำมาผลิตน้ำมันแร่ น้ำมันแร่ที่ได้จากน้ำมันดิบพวกฟีนิกมักจะมีไขสูง จะต้องผ่านกระบวนการเอาไขออก น้ำมันแร่ที่ได้จากการกลั่นภายใต้สุญญากาศนี้ ปกติคุณภาพจะไม่ดีพอที่จะนำมาใช้ในการผลิตน้ำมันหล่อลื่น ต้องผ่านกระบวนการต่างๆเพื่อกำจัดสารที่ไม่ต้องการออกไป และเพื่อให้มีความอยู่ตัวเชิงเคมีและเชิงความร้อนที่ดีพอ

3) น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากน้ำมันสังเคราะห์ (Synthetic Base Oil) เป็นน้ำมันที่สังเคราะห์ขึ้นด้วยกระบวนการทางเคมี วัสดุที่นำมาสังเคราะห์มักนำมาจากปิโตรเลียม ส่วนใหญ่ใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานในงานพิเศษเฉพาะที่ต้องการคุณสมบัติในด้านดัชนีความหนืดสูง จุดไหลเทต่ำ และมีการระเหยต่ำ เป็นต้น น้ำมันสังเคราะห์ที่มั่งคั่งกันอยู่มีหลากหลายชนิด และมีราคาค่อนข้างแพงมาก [8]

2.3.9 คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเมื่อผ่านออกจากโรงกลั่นก็มีคุณสมบัติที่สำคัญบางอย่างในตัวอยู่แล้ว ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ได้แก่

1) ความหนืด หมายถึงความใสและความข้นของน้ำมัน โดยวัสดุที่อุณหภูมิใด อุณหภูมิหนึ่ง น้ำมันที่มีความหนืดต่ำจะไหลง่าย แต่เยื่อหล่อลื่นก็จะบางมากด้วยเช่นกัน สำหรับน้ำมันที่มีความหนืดสูงยอมไหลยาก แต่จะมีฟิล์มน้ำมันหนากว่าหรือแข็งมากกว่าน้ำมันที่มีความหนืดต่ำ หน่วยวัดความหนืดมีอยู่ด้วยกันหลายระบบแต่นิยมใช้คือ เซนติโตกส์ (Centistokes, cSt)

2) ความต้านทานการรวมตัวกับออกซิเจน น้ำมันเป็นส่วนผสมที่ซับซ้อนของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เมื่อสารไฮโดรคาร์บอนสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศก็จะเกิดการทำปฏิกิริยาต่อกัน ทำให้เกิดสิ่งที่ไม่พึงประสงค์หลายชนิด อาทิเช่น กรด ความเหนียว นอกจากนี้ถ้ามีอุณหภูมิสูงอัตราการรวมตัวก็ยิ่งเกิดเร็วขึ้นอีก สำหรับน้ำมันที่ด้อยรวมตัวกับออกซิเจนได้ยาก

3) จุดวาบไฟอุณหภูมิของน้ำมันที่ได้รับความร้อนจนกลายเป็นไอ แล้วลุกวาบเมื่อโดนเปลวไฟ จุดวาบไฟมีความสำคัญเกี่ยวกับความปลอดภัย

4) จุดไหลเทคืออุณหภูมิต่ำที่สุดที่น้ำมันจะไหลได้โดยไม่มีอะไรรบกวน สำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ จำเป็นจะต้องเลือกใช้น้ำมันที่จุดไหลเทต่ำ [9]

2.3.10 หน้าที่ของน้ำมันหล่อลื่น

1) ช่วยหล่อลื่นฟิล์มหรือเยื่อบางๆของน้ำมันหล่อลื่นจะทำหน้าที่เคลือบผิวโลหะหรือชิ้นงานที่มีการเคลื่อนที่ เพื่อไม่ให้เกิดการเสียดสีกันโดยตรง หรือเพื่อเป็นการลดการสึกหรอของชิ้นงาน น้ำมันหล่อลื่นที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติในการคงความหนาของฟิล์มน้ำมัน ให้เกือบคงที่ตลอดเวลาแม้เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป นั่นก็จะต้องไม่บางเกินไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และไม่หนาเกินไปเมื่ออุณหภูมิต่ำลง

2) ช่วยระบายความร้อนคุณสมบัตินี้เป็นสิ่งสำคัญข้อหนึ่งของน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์ ซึ่งจะต้องลดอุณหภูมิหรือระบายความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในกระบอกสูบ และระบายความร้อนอันเนื่องมาจากการเสียดสีของชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องยนต์เช่น ระบบเกียร์หรือเฟืองท้าย เป็นต้น

3) ช่วยรักษาความสะอาดขณะที่ทำงานที่หล่อลื่นจะต้องเป็นตัวทำความสะอาดชิ้นงานนั้น ไปด้วย ก็จะต้องสามารถชะล้างหรือขจัดคราบสิ่งสกปรกต่างๆ จากผิวชิ้นงานได้เป็นอย่างดี

4) ช่วยป้องกันการเกิดสนิมและการกัดกร่อนน้ำมันหล่อลื่นที่ดีจะต้องไม่มีสารที่เป็นอันตรายในการกัดกร่อนเสียเอง นอกจากนี้เมื่อมีสารภายนอกที่อาจทำให้เกิดกรดได้เช่น ก๊าซไอเสีย ละอองน้ำ หรือไอน้ำ น้ำมันหล่อลื่นที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติในการทำให้กรดนั้นเจือจางลง และไม่สามารถที่จะไปกัดกร่อนโลหะของชิ้นงานได้

5) ช่วยกระจายความสกปรกน้ำมันหล่อลื่นที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติในการกระจายความสกปรกต่างๆ ที่มีปนในน้ำมันหล่อลื่นอันเนื่องจากการกำจัดสิ่งสกปรกออกจากชิ้นงาน เพื่อไม่ให้สิ่งสกปรกต่างๆเหล่านั้นรวมตัวกันได้ง่าย เพราะหากสิ่งสกปรกในน้ำมันหล่อลื่นเกิดการรวมตัวกันมากขึ้นจะทำให้เกิดเป็นยางเหนียว

6) มีสารป้องกันการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนสารนี้จะช่วยให้ปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันเครื่องกับออกซิเจนในอากาศเกิดได้ช้าลง ถ้าไม่มีสารนี้ น้ำมันเครื่องจะทำปฏิกิริยาดังกล่าวได้ง่าย และทำให้เกิดยางเหนียว เป็นผลให้น้ำมันเครื่องมีความหนืดเพิ่มขึ้นได้ ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อเครื่องยนต์

7) มีสารป้องกันการสึกหรอสารนี้จะช่วยให้ฟิล์มของน้ำมันทนต่อแรงเฉือนได้ดี

8) มีสารป้องกันการเกิดฟองการเกิดฟองในน้ำมันหล่อลื่น จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบการหล่อลื่นลดลง สารป้องกันการเกิดฟองจะช่วยทำให้ฟองอากาศละลายตัวได้ง่าย

9) มีการระเหยตัวตําน้ำมันหล่อลื่นที่ดีจะต้องมีจุดวาบไฟสูง ทำให้เกิดการระเหยต่ำต่ำและทนต่อความร้อนสูงๆ ได้ ไม่เกิดการเผาไหม้ได้ง่าย ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงน้ำมันหล่อลื่นขณะใช้งาน

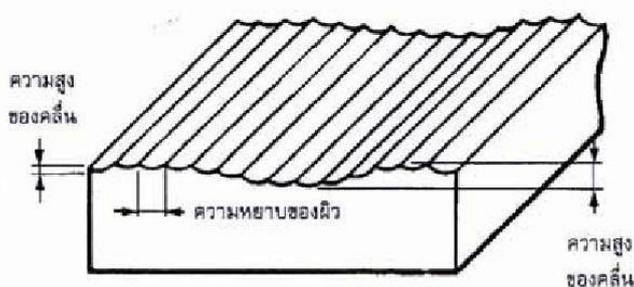
10) มีจุดไหลเทต่ำเพื่อนําน้ำมันหล่อลื่นไปใช้ในงานอุณหภูมิต่างๆ ได้ [8]

2.3.11 คุณภาพผิวงาน

เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถผลิตชิ้นงานตามจุดประสงค์ ในแบบงานที่เ็นจะต้องมีการกำหนดขนาด รายละเอียดที่ถูกต้อง ในการที่จะเขียนแบบที่ต้องการให้เสร็จรวดเร็วนั้น จะต้องมีการใช้แบบสัญลักษณ์ต่างๆ เพื่อกำหนดคุณลักษณะพิเศษด้วย ซึ่งถือเป็นส่วนสำคัญในการเขียนแบบ เพราะในสัญลักษณ์หนึ่งๆ จะให้ความหมายมากกว่าคำบรรยายเป็นร้อยคำ

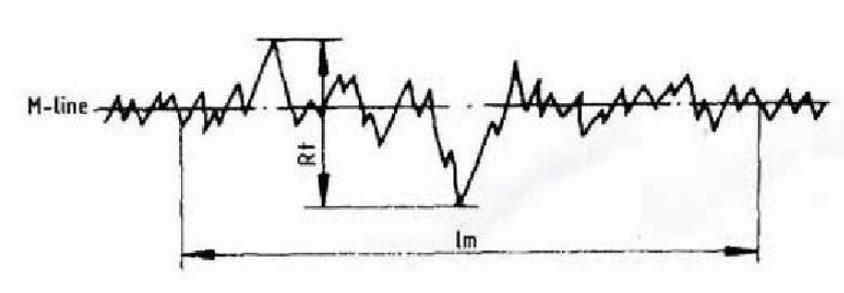
คุณภาพผิวงานสำเร็จที่พึงประสงค์ของงานในแต่ละงานจะมีคุณภาพไม่เท่ากัน เช่น ผิวงาน กระจกสูบ และลูกสูบของไฮดรอลิก จะเป็นผิวงานที่ละเอียดมาก เพราะต้องมีการเคลื่อนที่ตลอด ระยะเวลาที่ใช้งาน ต่างกับผิวงานนอกของปากกาจับชิ้นงานโดยสิ้นเชิง เพราะไม่มีการเคลื่อนที่แม้กระทั่งบริเวณที่รองรับการเคลื่อนที่ของปากปากกาก็กับผิวนอกของปากกา ยังแตกต่างกัน ดังนั้นการกำหนดคุณภาพผิวงานจึงมีความจำเป็นในการเขียนกำกับแบบงาน ว่าควรใช้คุณภาพผิวงานอย่างไร ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะอุปกรณ์ [12]

ผิวของชิ้นงานจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ ผิวชิ้นงานที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการต่างๆ และผิวของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการตัดเฉือน ขูดแข็ง เคลือบผิว เป็นต้น ความละเอียดของผิวงานมีผลโดยตรงต่อการใช้งาน ต้นทุนการผลิต เวลาที่ใช้ในการผลิต จากรูปที่ 2.13 จะบอกรายละเอียดต่างๆของความหยาบละเอียดของผิวโดยค่าความหยาบเฉลี่ยทำการวัดโดยหาค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ [9]



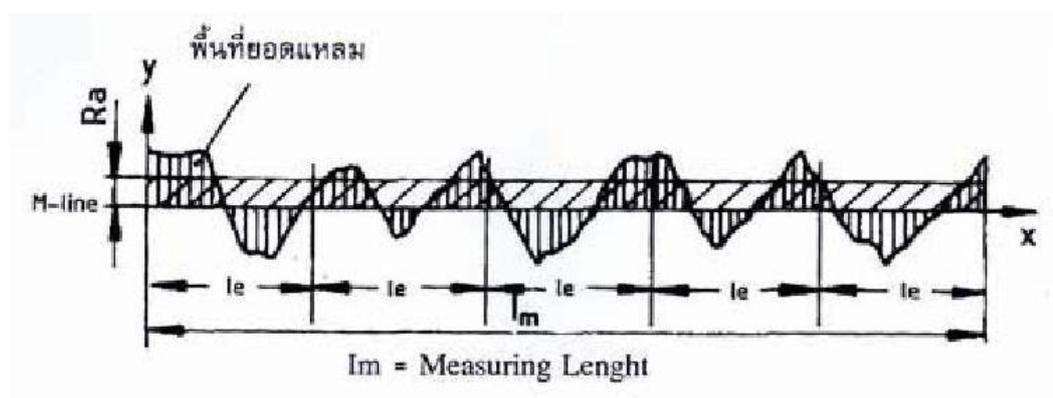
รูปที่ 2.13 ความหยาบละเอียดผิว [9]

การวัดค่าความหยาบละเอียดของผิวงานตามมาตรฐานของ ISO 4287 การวัดค่าความหยาบละเอียดของผิวงานที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปมาแล้ว ในหน่วยนี้จะ กล่าวถึงเฉพาะค่าความหยาบ R_t , R_a และ R_z เท่านั้นส่วนค่าความหยาบ R_t คือค่าวัดจากจุดสูงสุดไปยังจุดต่ำสุดของผิวงาน ซึ่งมีหน่วยเป็นไมโครเมตร (μm) ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การวัดค่าความหยาบ R_t [9]

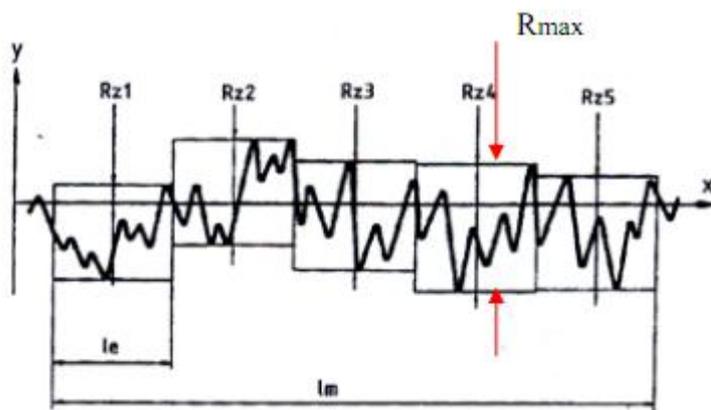
กรณีค่าความหยาบ R_a หมายถึง ค่าความหยาบผิวที่หาได้จากการรวมพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นเหนือเส้นกึ่งกลาง (M-Line) กับพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นใต้เส้นกึ่งกลางหารด้วยความยาวเฉลี่ย (L_m) โดยที่ค่าของ R_a มีหน่วยวัดเป็นไมโครเมตรดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การวัดค่าความหยาบ R_a [9]

กรณีค่าความหยาบ R_z หมายถึง ค่าความหยาบผิว ซึ่งหาได้จากการวัดทดสอบเป็นช่วงเท่า ๆ กัน 5 ช่วงแล้วนำค่าที่ได้มารวมกันหารด้วย 5 โดยที่ค่าของ R_z มีหน่วยเป็นไมโครเมตร

และค่าความหยาบผิวสูงสุด R_{max} หมายถึง ความลึกสูงสุดของร่องความหยาบที่มีอยู่ในระยะทดสอบดังรูปที่ 2.16



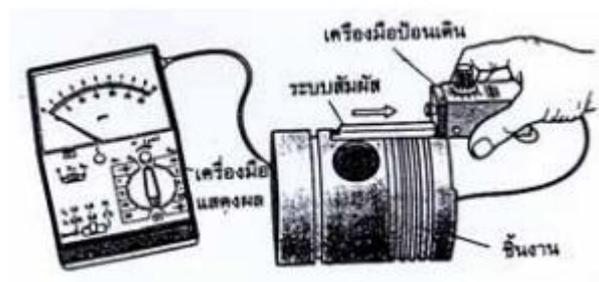
รูปที่ 2.16 การวัดค่าความหยาบ R_z และ R_{max} [9]

การวัดค่าความหยาบผิวยังสามารถวัดด้วยแผ่นเทียบผิว มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมวางเรียงกันเป็นชุดตามลำดับความหยาบและแต่ละแผ่นจะมีสัญลักษณ์บอกระดับความหยาบไว้ เวลาใช้งานต้องนำแผ่นเทียบผิวไปเปรียบเทียบกับผิวชิ้นงานค่าความหยาบของผิวงานก็สามารถอ่านจากแผ่นเทียบผิวที่มีผิวตรงกับผิวของชิ้นงานดังรูปที่ 2.17

R_a μm	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	25.0	50.0
R_z μm	2.5	6.3	10	25	40	63	100	160
ขนาด								
เกรด	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
แถว 2	▽▽▽		▽▽			▽		

รูปที่ 2.17 แผ่นเทียบผิว [9]

อีกทางหนึ่งคือใช้เครื่องวัดความหยาบผิว เป็นเครื่องมือวัดความหยาบผิวที่ทำงานด้วยระบบไฟฟ้า ซึ่งสามารถวัดค่าความหยาบผิวเป็นตัวเลขหรือแสดงเป็นกราฟก็ได้โดยสามารถบอกค่าความหยาบเป็น R_a , R_z และ R_{max} ได้ด้วยดังรูปที่ 2.18

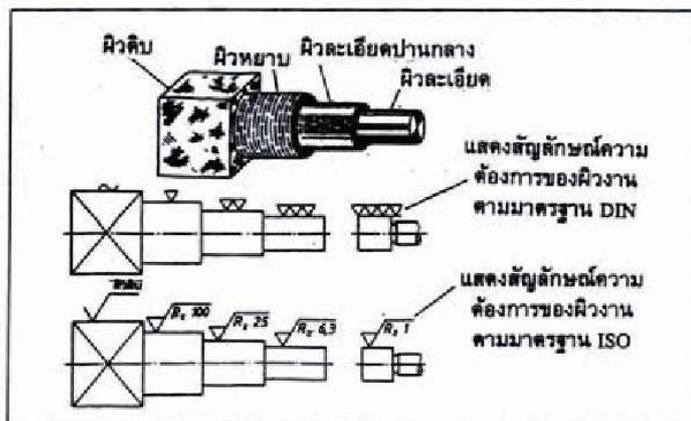


รูปที่ 2.18 เครื่องวัดค่าความหยาบผิว [9]

การกำหนดสัญลักษณ์ความหยาบผิวตามมาตรฐานเยอรมัน DIN 140 งานมาตรฐานความหยาบผิวงานฉบับเก่า DIN 140 ได้กำหนดสัญลักษณ์ของความหยาบผิวงานไว้เพื่อใช้ในงานเขียนแบบ โดยได้แบ่งลักษณะของคุณภาพผิวงานไว้ดังรูปที่ 2.19 [9]

ความหมายตาม DIN 140	เครื่องหมายผิว	Rz (Rt) หน่วย μm				Ra หน่วย μm			
		R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
ผิวตีบ ซึ่งผ่านการผลิต ด้วยกรรมวิธีพิเศษ		เท่าใดก็ได้				ผิวตีบ			
ผิวหยาบ สัมผัสความ หยาบ ได้ด้วยมือและ มองเห็น		160	100	63	25	25	12.5	6.3	3.2
ผิวละเอียด ปานกลาง สามารถมองเห็นความ หยาบด้วยตาเปล่า		40	25	16	10	6.3	3.2	1.6	1.6
ผิวละเอียด ไม่สามารถ มองเห็นด้วยตาเปล่า		16	6.3	4	2.5	1.6	0.8	0.4	0.2
ใน DIN 140 ไม่มี เครื่องหมายนี้		-	1	1	0.4	-	0.1	0.1	0.025

ชั้นความหยาบ	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
Ra หน่วย μm	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50



รูปที่ 2.19 การกำหนดสัญลักษณ์ผิวงานตามมาตรฐาน DIN 1341 และ ISO 1302 [9]

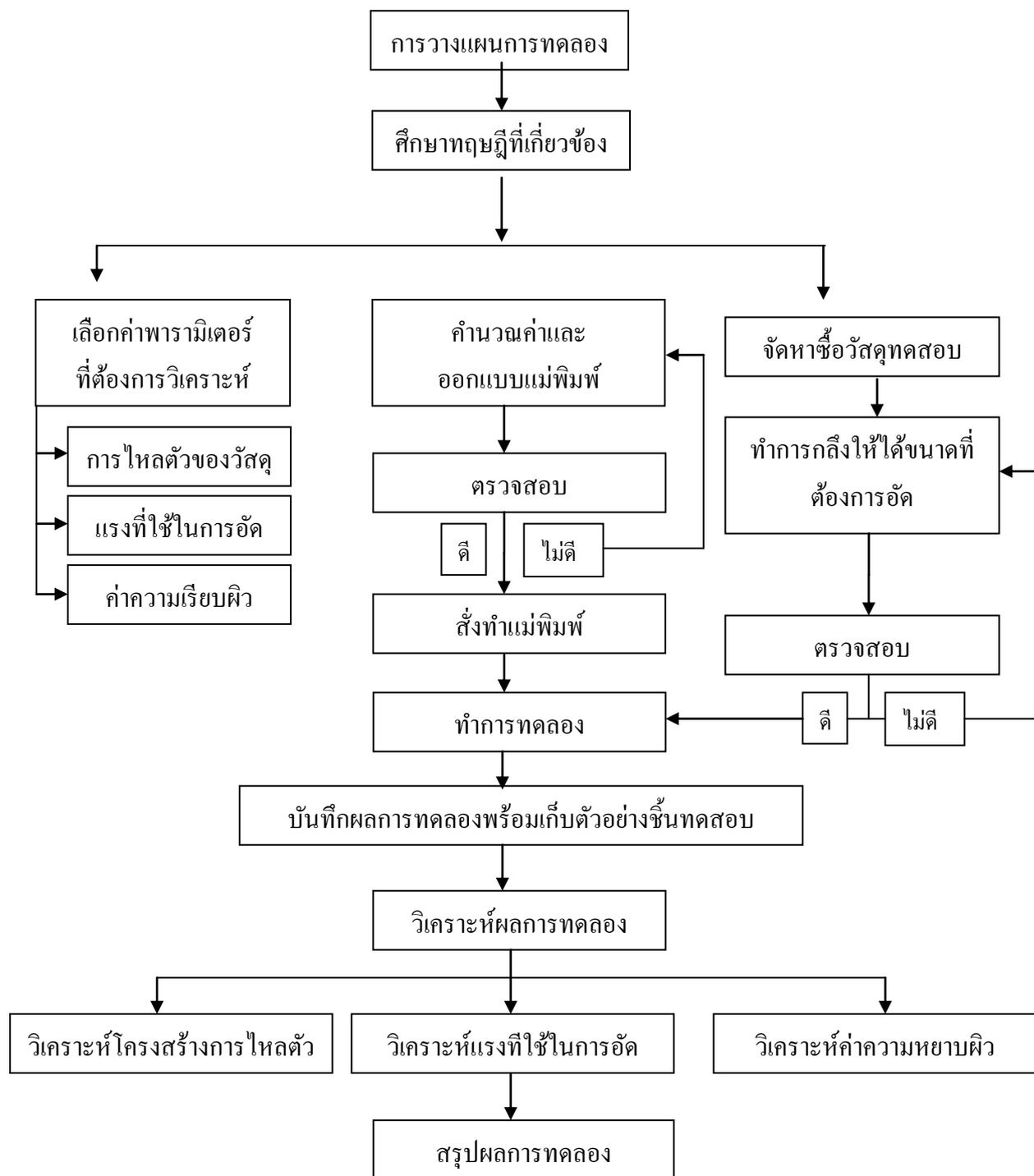
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานของงานวิจัย ซึ่งต่อไปนี้เป็น

1. ขั้นตอนการดำเนินงาน
2. เครื่องมือ
3. การออกแบบและการคำนวณ
4. ขั้นตอนการทดลอง
5. วิธีการวัดผล

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2 เครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ในทดสอบโดยใช้เครื่องปั๊มโลหะของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่มีขนาด 80 ตัน และแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปเย็นอลูมิเนียม

3.2.1 เครื่องปั๊มโลหะที่มีขนาด 80 ตัน ดังแสดงรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องปั๊มโลหะขนาด 80 ตัน

3.2.2 แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปเย็นอลูมิเนียม ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปเย็นอลูมิเนียม

3.3 การออกแบบและการคำนวณ

ในการออกแบบแม่พิมพ์ในการอัดขึ้นรูปเส้นอลูมิเนียม นั้น ขั้นตอนแรกจะต้องพิจารณาว่าขอบเขตและความสามารถของเครื่องที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปนั้นมีศักยภาพเพียงใด โดยมีการคำนวณหาการลดขนาดและความยาวของชิ้นทดสอบ จากนั้นก็คำนวณแรงที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปเส้น ว่าแรงที่ใช้จะต้องไม่เกินภาระของเครื่องอัด เมื่อคำนวณได้แล้วจากนั้นจึงเริ่มต้นในการออกแบบแม่พิมพ์ และหาขนาดชิ้นส่วนมาตรฐานที่ใช้กับแม่พิมพ์ ดังนั้นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงนั้นก็คือ แรงที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปชิ้นงาน ความแข็งแรง การลดขนาดของชิ้นงาน ความยากง่ายในการสร้าง หรือการถอดประกอบแม่พิมพ์ และความประหยัด

3.3.1 แรงในการขึ้นรูป [7]

เกรดการฟอร์มตัว

$$\begin{aligned}\epsilon_h &= \ln\left(\frac{A_0}{A}\right) \times 100\% \\ &= \ln\left(\frac{201.06}{122.72}\right) \times 100\% \\ &= 49\%\end{aligned}$$

แรงขึ้นรูป F

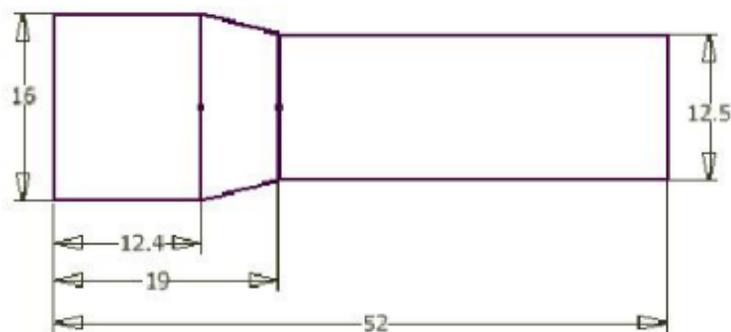
$$\begin{aligned}F &= \frac{A_0 \times k_{lm} \times \epsilon_h}{n_F} \\ &= \frac{201.06 \times 225.83 \times 0.49}{0.5} \\ &= 44497.3 \text{ N} \\ &= 4.53 \text{ T}\end{aligned}$$

3.3.2 วัสดุที่จะนำมาใช้ทำการผลิต

วัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตเป็นสิ่งที่กำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นๆ เพราะฉะนั้น การกำหนดวัสดุที่จะใช้ต้องครอบคลุมถึง

ในที่นี้จะใช้วัสดุ A1 6063 ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มม. ในการทดลอง เนื่องจากเป็นวัสดุที่ง่ายต่อการขึ้นรูป

3.3.3 ขนาดของชิ้นงานก่อนการขึ้นรูป



รูปที่ 3.4 ชิ้นงานที่ออกแบบหลังจากการอัดขึ้นรูป

ต้องการขนาดชิ้นงานสำเร็จดังภาพที่ 3.4

เส้นผ่าศูนย์กลางก่อนการขึ้นรูป $D = 16 \text{ mm.}$

เส้นผ่าศูนย์กลางหลังการขึ้นรูป $d = 12.5 \text{ mm.}$

ความยาวที่ไม่เปลี่ยนขนาด $h_1 = 12.4 \text{ mm.}$

ความยาวช่วงเปลี่ยนขนาด $h_2 = 6.6 \text{ mm.}$

ความยาวที่เปลี่ยนขนาดแล้ว $h_3 = 33 \text{ mm.}$

ปริมาตรชิ้นงานสำเร็จ V_F [2]

$$\begin{aligned}
 V_F &= \frac{\pi}{4} \left\{ (D^2 h_1) + \left(\frac{D+d}{2} \right)^2 h_2 + (d^2 h_3) \right\} \\
 &= \frac{\pi}{4} \left\{ (16^2 \times 12.4) + \left(\frac{16+12.5}{2} \right)^2 \times 6.6 + (12.5^2 \times 33) \right\} \\
 &= 6987 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

เพื่อการสูญเสียเนื้อวัสดุ 2%

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาตรวัสดุดิบ } V &= 6987 + \frac{\pi}{100} \times 2 \times 6987 \\
 &= 7426 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

ขนาดวัสดุดิบ ให้ $D_0 = 16 \text{ mm}^3$

$$A_0 = \frac{\pi}{4} \times 16^2$$

$$= 201.06 \text{ mm}^3$$

$$h_0 = \frac{V}{A_0}$$

$$= \frac{7,426}{201.06}$$

$$= 37 \text{ mm}$$

3.3.4 สารหล่อลื่นในงานอัดขึ้นรูป

การเลือกสารหล่อลื่นที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการขึ้นรูป สารหล่อลื่นที่ใช้กันทั่วไปกับงานอัดขึ้นรูปมีมากมายหลายชนิด แต่ที่นำมาใช้ในการทดลอง คือ น้ำมันแร่ น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันมะพร้าว ซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบกัน

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.4.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

1) ตัดชิ้นงานทดสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 16 มม. ให้มีความยาวไม่น้อยกว่า 37 มม. ด้วยการเลื่อยมือ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ชิ้นงานที่เลื่อยเสร็จแล้ว

2) ทำการกลึงปาดหน้าชิ้นงานให้เรียบโดยให้ความยาวอยู่ที่ 37 มม. ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การกลึงปาดหน้าชิ้นงานให้มีขนาดตามต้องการ

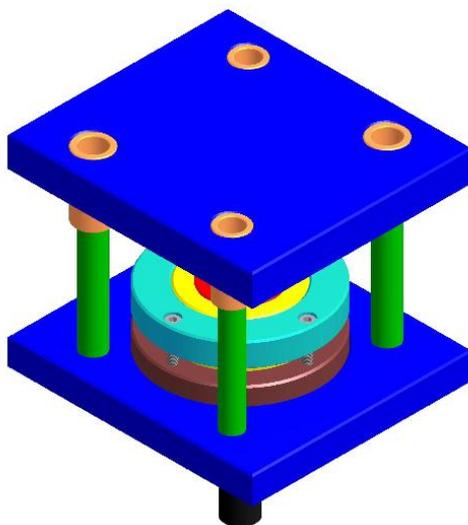
3) ชิ้นงานหลังการกลึงเสร็จมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มม. โดยมีความยาวอยู่ที่ 37 มม. ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ชิ้นงานทดสอบ

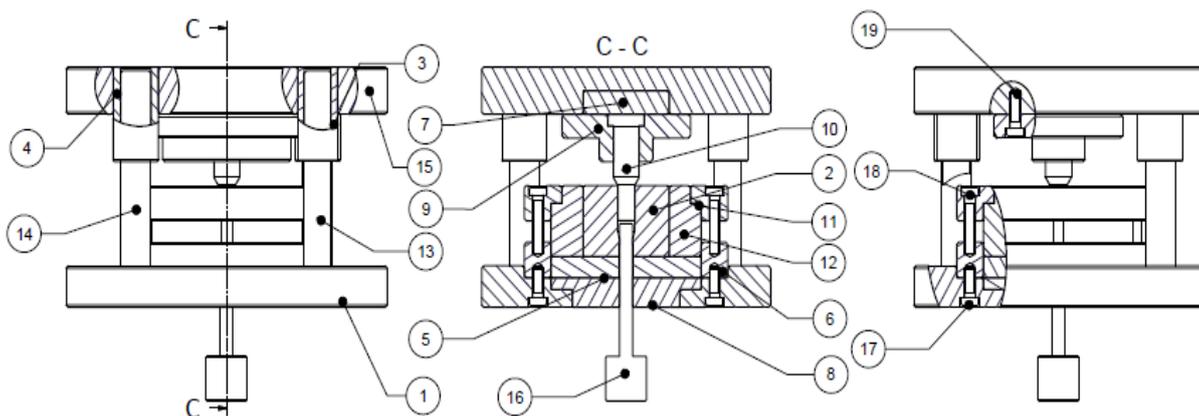
3.4.2 การประกอบและติดตั้งแม่พิมพ์

แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปเยื่ออลูมิเนียม ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปเยื่ออลูมิเนียม

ส่วนประกอบของแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปเยื่ออลูมิเนียม ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปเยื่ออลูมิเนียม

ชิ้นส่วนต่างๆของแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปเยื่อลูมิเนียม ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงชิ้นส่วนแม่พิมพ์

ชิ้นที่	รายการ	วัสดุ	ขนาด	จำนวน/ชิ้น
1	Lower Die	S45C	270x300x35	1
2	Die Insert	SKD11	Ø80x60	1
3	Guide Bush 25	St37	Ø37x80	2
4	Guide Bush 28	St37	Ø42x80	2
5	Intermediaet Plate	S45C	Ø140x17.9	1
6	Intermediaet Plate Out	St37	Ø190x30	1
7	Pressure Plate Punch	S45C	Ø80x20	1
8	Pressure Plate	S45C	Ø140x25	1
9	Punch Plate	S45C	120x190x40	1
10	Punch	SKD11	Ø34x90	1
11	Shink Ring Out	St37	Ø190x30	1
12	Shing Ring	S45C	Ø140x60	1
13	Guide Post 25	S45C	Ø25x200	2
14	Guide Post 28	S45C	Ø28x200	2
15	Upper Die	S45C	270x300x40	1
16	Ejector	S45C	Ø38x150	1
17	Socket Head Screw		M10x1.5x25	4
18	Socket Head Screw		M10x1.5x50	4
19	Socket Head Screw		M10x1.5x30	4

- 1) ทำความสะอาดแม่พิมพ์ทั้งหมด
- 2) นำ Ejector ไปใส่ใน cushion ของเครื่อง ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 Ejector

- 3) นำแม่พิมพ์ชุดแม่พิมพ์ตัวล่างประกอบลงบนเครื่อง และนำ clamp มาล็อกแม่พิมพ์ให้แน่น ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แม่พิมพ์ชุดแม่พิมพ์ล่าง

4) นำชุดแม่พิมพ์ตัวบนไปสวมกับชุดแม่พิมพ์ตัวล่าง และยึดสกรูของชุดแม่พิมพ์ตัวบนให้แน่น ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แม่พิมพ์ชุดแม่พิมพ์บน

5) นำแม่พิมพ์ที่ประกอบเสร็จแล้ว ไปติดตั้งบนเครื่องปั๊ม ยึดแม่พิมพ์ตัวบนและตัวล่างให้แน่น แล้วยกชุดบนขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊ม

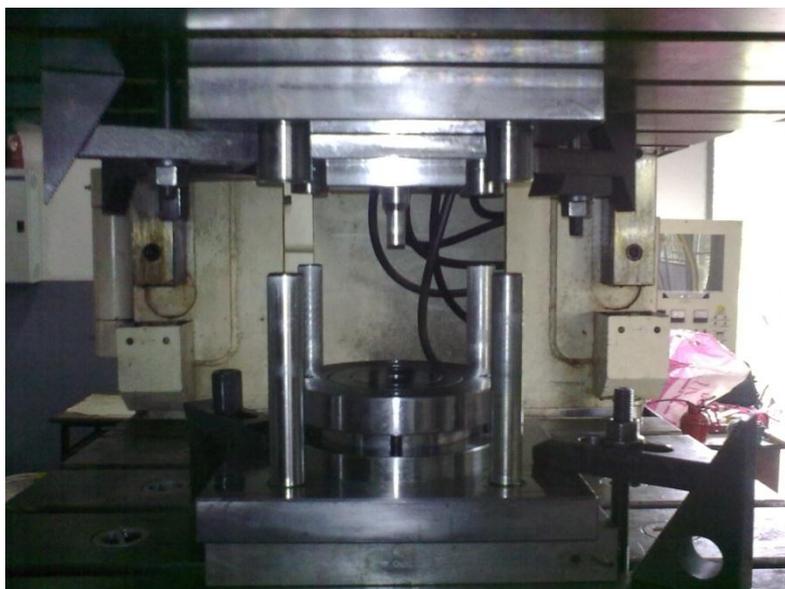
6) ปรับตั้ง (Limit switch) ตามความลึกของชิ้นงานในการขึ้นรูปดังแสดงในรูปที่

3.14



รูปที่ 3.14 การปรับตั้ง (Limit switch) เครื่องปั๊ม

7) แม่พิมพ์พร้อมใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 3.15

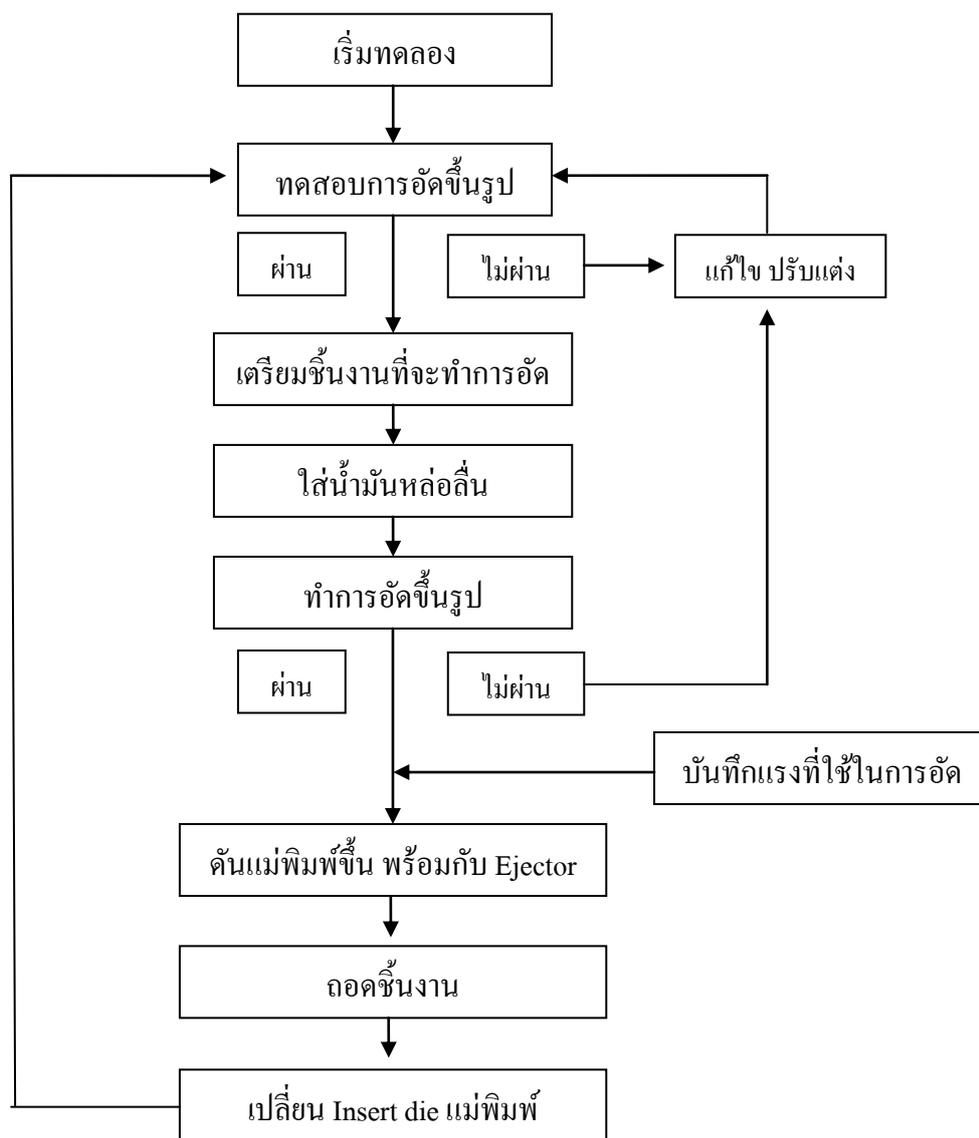


รูปที่ 3.15 แม่พิมพ์พร้อมใช้งาน

3.4.3 ขั้นตอนการทดลอง

เพื่อที่จะตรวจสอบความสามารถในการทำงานของแม่พิมพ์จะทำงานบรรลุถึงวัตถุประสงค์ได้มากน้อยแค่ไหน และแม่พิมพ์สามารถผลิตงานให้มีคุณภาพดีเพียงใด หลังจากนั้นจึงทำการแก้ไขข้อบกพร่องและปรับปรุงคุณภาพของแม่พิมพ์ เพื่อให้ได้งานที่มีคุณภาพดีตามต้องการ ดังรูป

3.16



รูปที่ 3.16 แสดงขั้นตอนการทดลอง

3.5 วิธีการวัดผล

3.5.1 สารหล่อลื่น

1) น้ำมันแร่ Stamping Oil เป็นน้ำมันสำหรับปั๊มขึ้นรูปโลหะชนิดน้ำมันลื่นที่ผ่านการเลือกสรรน้ำมันแร่พื้นฐานที่มีคุณภาพสูง ปราศจากคลอไรด์ และสารโลหะหนัก มีส่วนผสมของสาร EP ชนิด Active Sulfur ทำให้ผิวชิ้นงานเรียบสวยเป็นพิเศษ ลดการสึกหรอของไบเมทัล ช่วยยืดอายุการทำงานของแม่พิมพ์ระบายความร้อนได้ดี ป้องกันสนิมให้ชิ้นงานและเครื่องจักร อายุการใช้งานยาวนาน กลิ่นไม่ฉุน ทำให้ควบคุมการทำงานง่าย ปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 น้ำมันแร่

2) น้ำมันถั่วเหลือง คือน้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการสกัดน้ำมันดิบจากเมล็ดถั่วเหลืองแล้วเข้าสู่กระบวนการกลั่นด้วยระบบไอน้ำแรงดันสูง เพื่อให้ได้น้ำมันบริสุทธิ์ออกมา คุณสมบัติของน้ำมันถั่วเหลืองจะมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่าน้ำมันพืชที่ผลิตจากเมล็ดพืชหลาย ๆ ชนิด เช่น น้ำมันปาล์ม หรือน้ำมันมะพร้าว ซึ่งการบริโภคน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงจะมีผลดีต่อสุขภาพมากกว่าการบริโภคน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่ำ นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตใช้วิธีเติมไนโตรเจนเพื่อรักษาสภาพน้ำมันให้คงเดิม แทนการใส่สารกันหืน เพื่อให้ปลอดภัยกับผู้บริโภค ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 น้ำมันถั่วเหลือง

3) น้ำมันมะพร้าว คือน้ำมันพืชที่สกัดจากมะพร้าวเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ที่มีความหนืดสูงมีโครงสร้างเป็น C_3H_5 เชื่อมต่อกับกรดไขมัน ซึ่งมีองค์ประกอบชนิดต่างๆ กัน และมีปริมาณไขมันอยู่ในโครงสร้างถึงร้อยละ 94-96 ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 น้ำมันมะพร้าว

ซึ่งแต่ละสารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดลองนั้นมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป เช่น ค่าความหนืด ความหนาแน่น เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าความหนืด และความหนาแน่นของสารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดลอง

สารหล่อลื่น	ความหนืด (cSt)	ความหนาแน่น (g/cm ³)
น้ำมันแร่	30.6	0.865
น้ำมันถั่วเหลือง	57.2	0.918
น้ำมันมะพร้าว	51.9	0.915

3.5.2 แรงที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป

จากการคำนวณแรงในการอัดขึ้นรูปลึกลงตามสมการ ได้เท่ากับ 44.4973 kN หรือประมาณ 4.53 T ทำการศึกษาโดยเปรียบเทียบกับสารหล่อลื่นจากธรรมชาติ 3 ชนิด คือ น้ำมันแร่, น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันมะพร้าว และเปรียบเทียบกับไม่ใช้สารหล่อลื่นในการขึ้นรูป

3.5.3 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล

1) อุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณ (Mini data logger) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูล พื้นฐานของระบบ (data logger) ประกอบไปด้วย scanner หรือ multiplexer digital-voltmeter และตัวบันทึกข้อมูล ซึ่งรับ Input ที่เป็นระบบ analog จาก sensor แล้วทำการเปลี่ยนข้อมูลเป็นระบบ digital และเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำเพื่อการนำไปใช้ต่อไป ดังรูปที่ 3.20



(ก)



(ข)

(ก) อุปกรณ์วัดแรงดันน้ำมัน (ข) อุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณ

รูปที่ 3.20 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล

2) การติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำมันและอุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณต่อเข้ากับเครื่องเพรส ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 การติดตั้งอุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณต่อเข้ากับเครื่องเพรส

3.5.4 วัดค่าความหยาบผิว

ทำการวัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน โดยจะทำการวัดค่า Ra ของแต่ละจุดบนชิ้นงานซึ่งทำการวัดทั้งหมด 12 จุด ของชิ้นงานแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยทำการวัดชิ้นงานทั้งหมด 3 ชิ้น

3.5.5 อุปกรณ์ในการวัดค่าความหยาบผิว

ใช้เครื่องวัดค่าความหยาบผิว (Surface roughness) ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SJ-301 เป็นเครื่องวัดความหยาบผิวชนิดเข็มลากผ่านผิวสำเร็จของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 เครื่องวัดค่าความหยาบผิว ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SJ-301



รูปที่ 3.23 แสดงวิธีการวัดค่าความหยาบผิว

3.5.6 การไหลตัวของวัสดุ

- 1) เป็นการดูเนื้อภายในของวัสดุโดยการนำเอาชิ้นงานที่ได้หลังการทดลองนำไปกัดผ่าให้เห็นเนื้อในดังแสดงในรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 ชิ้นงานที่ทำการกัดแล้ว

- 2) นำชิ้นงานที่กัดแล้วนำมาขัดให้มันแล้วนำไปกัดกรด โดยกรดที่ใช้ก็คือกรดไฮโดรฟลูออริก ซึ่งจะใช้ในปริมาณ 20 cm^3 ต่อน้ำกลั่นบริสุทธิ์ 80 cm^3 โดยทำการกัดประมาณ 10-15 นาที แล้วจึงนำไปส่องด้วยกล้อง microscope

3.5.7 ตารางบันทึกผลการทดลอง

1) ตารางบันทึกแรงในการอัดขึ้นรูปในการใช้สารหล่อลื่นแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ตารางบันทึกแรงในการอัดขึ้นรูปในการใช้สารหล่อลื่นแต่ละชนิด

ชิ้นงานที่	แรงในการขึ้นรูป (T)			
	น้ำมันแร่	น้ำมันถั่วเหลือง	น้ำมันมะพร้าว	ไม่ใช้สารหล่อลื่น
1	X	X	X	X
2	X	X	X	X
3	X	X	X	X
4	X	X	X	X
5	X	X	X	X
แรงเฉลี่ย	X	X	X	X

2) ตารางบันทึกค่าความหยาบผิวของชิ้นงานในการใช้สารหล่อลื่นแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ตารางบันทึกค่าความหยาบผิวของชิ้นงานในการใช้สารหล่อลื่นแต่ละชนิด

ชิ้นงานที่	ค่าความหยาบผิว (μm)			
	น้ำมันแร่	น้ำมันถั่วเหลือง	น้ำมันมะพร้าว	ไม่ใช้สารหล่อลื่น
1	X	X	X	X
2	X	X	X	X
3	X	X	X	X
เฉลี่ย	X	X	X	X

บทที่ 4

ผลและการวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของสารลื่นธรรมชาติในการอัดขึ้นรูปเยื่อลูมิเนียมเกรด 6063 เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการลดต้นทุน ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองและพบว่าจากการเก็บข้อมูลโดยจะวิเคราะห์ในส่วนของแรงที่ใช้ในการขึ้นรูป ลักษณะผิวลูมิเนียมภายนอกที่ได้ทำการอัดขึ้นรูป การไหลตัวของเนื้อลูมิเนียมภายใน เพื่อนำมาทำการเปรียบเทียบว่าสารลื่นลื่นธรรมชาติชนิดใดให้ผลในการอัดขึ้นรูปเยื่อที่ดีที่สุด โดยแต่ละสารลื่นลื่นตามธรรมชาติแต่ละชนิดเป็นเช่นไร โดยได้ทำการแบ่งสารลื่นลื่นดังนี้

1. น้ำมันแร่
2. น้ำมันถั่วเหลือง
3. น้ำมันมะพร้าว
4. ไม่ใช้สารลื่นลื่น

4.1 ผลการทดลอง

ผลการทดสอบหาแรงที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปชิ้นงานในแต่ละตัวแปร จะต้องใช้ขนาดวัสดุ ก่อนทำการอัดขึ้นรูป คือขนาด $\varnothing 16 \times 37$ มม. ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วัสดุก่อนทำการทดลอง

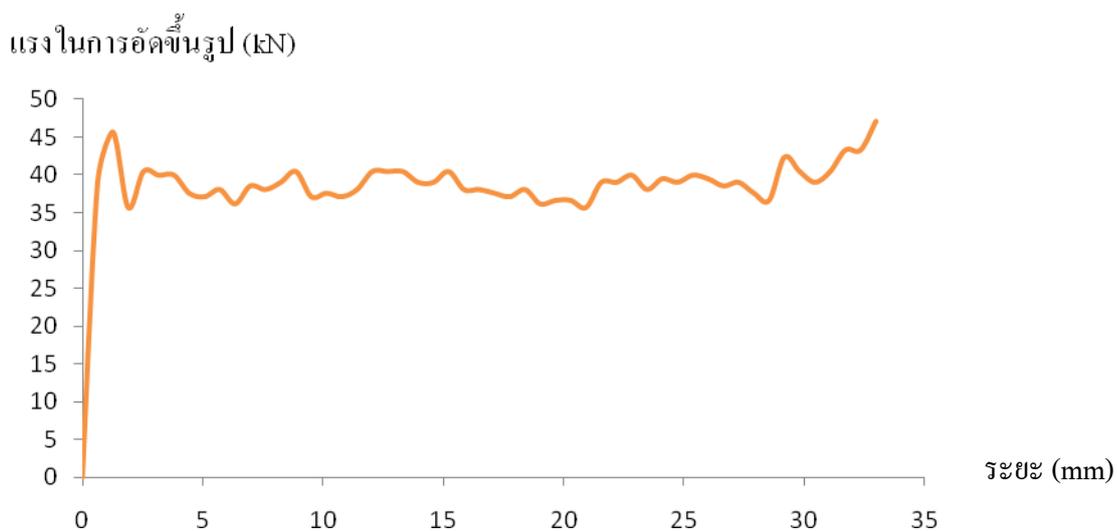
4.1.1 ผลการทดลองแรงที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป

หลังจากทำการทดสอบหาแรงกดขึ้นงานของอลูมิเนียม 6063 เพื่อให้ได้ขนาดของชิ้นงานยาว 52 มม. และเส้นผ่าศูนย์กลางกลางลดลงเหลือ 12.5 มม. ดังรูปที่ 4.2

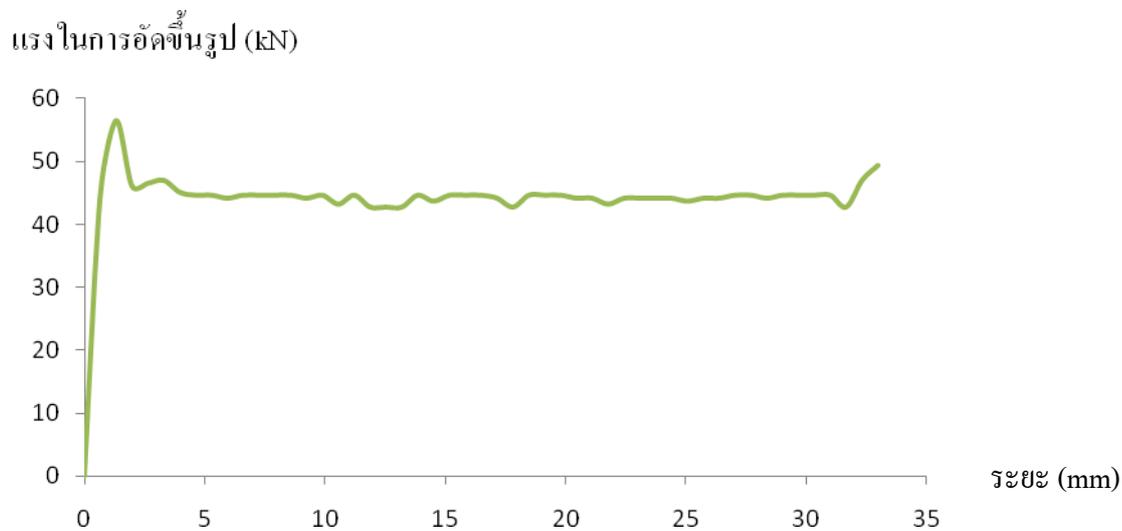


รูปที่ 4.2 งานที่ได้จากการทดลอง

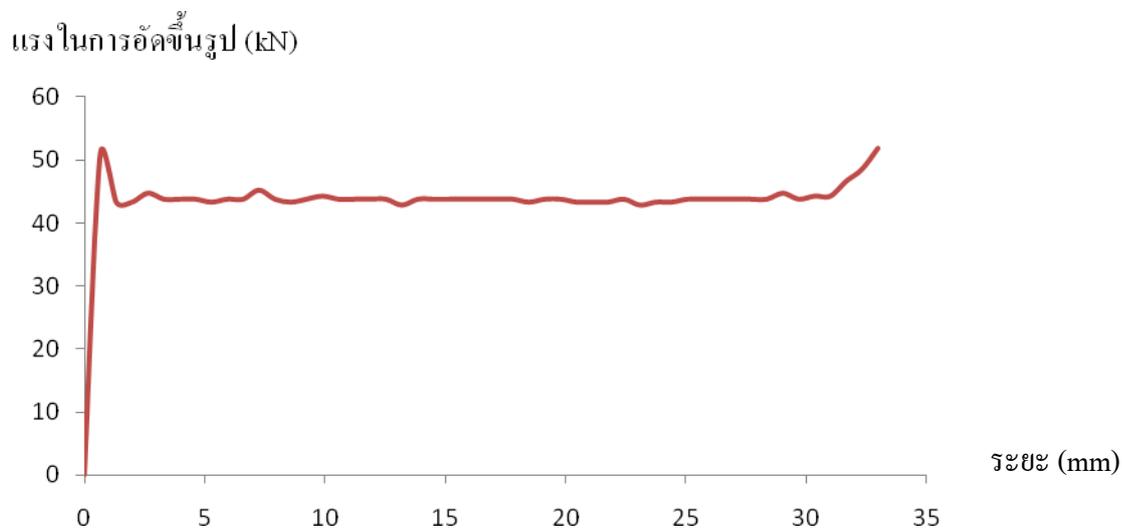
ตัวอย่างกราฟแรงที่ได้จากการทดลองของแต่ละอิทธิพลตัวแปรมีดังนี้ ในที่นี้ขอ ยกตัวอย่างมาอย่างละ 1 ชิ้นจากการทดลองอย่างละ 5 ชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3, รูปที่ 4.4, รูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6



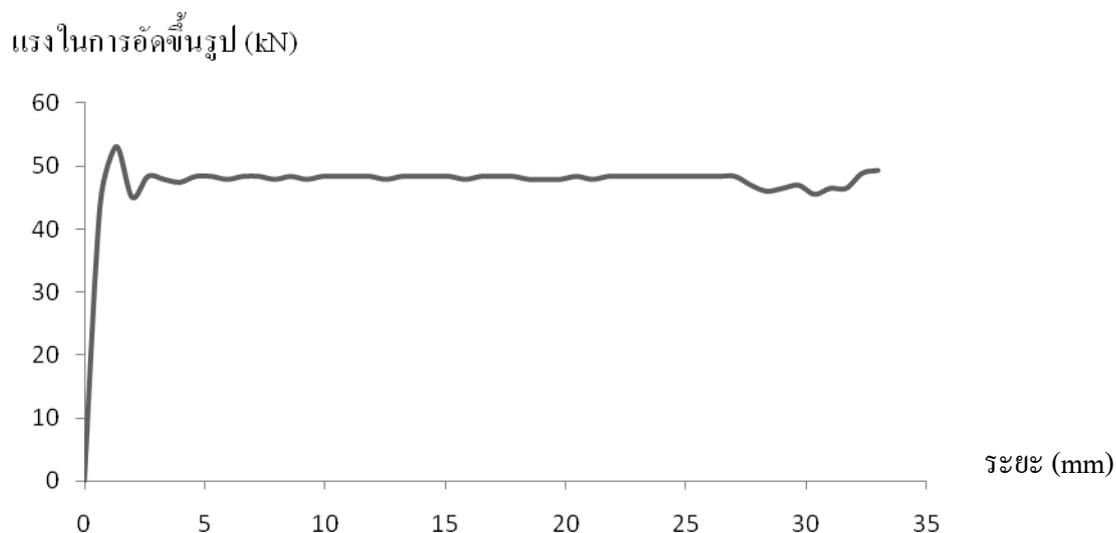
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างกราฟแรงที่ได้จากการทดลองของ น้ำมันแร่



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างกราฟแรงที่ได้จากการทดลองของ น้ำมันถั่วเหลือง



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างกราฟแรงที่ได้จากการทดลองของ น้ำมันมะพร้าว



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างกราฟแรงที่ได้จากการทดลองของ ไม้ใช้สารหล่อลื่น

จากกราฟข้างต้นจะเห็นได้ว่า ในช่วงระยะเริ่มแรกแรงที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปจะมีค่ามากเนื่องจากเป็นช่วงเริ่มต้นในการขึ้นรูปจากนั้น แรงก็จะเริ่มคงที่ จนถึงช่วงปลายจะใช้แรงมากขึ้นเนื่องจากเป็นช่วงสุดท้ายของชิ้นงาน ซึ่งค่าแรงของแต่ละชั้นก็แตกต่างกันออกไป ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการขึ้นรูปของชิ้นงานเพื่อหาแรงกดในการขึ้นรูปของชิ้นงาน และนำมาเปรียบเทียบในแต่ละสารหล่อลื่นที่ใช้ในการขึ้นรูป

ชิ้นงานที่	แรงในการขึ้นรูป (ตัน)			
	น้ำมันแร่	น้ำมันถั่วเหลือง	น้ำมันมะพร้าว	ไม้ใช้สารหล่อลื่น
1	4.26	4.56	4.38	4.9
2	4.13	4.44	4.47	4.52
3	4.22	4.55	4.49	4.81
4	4.03	4.38	4.58	4.51
5	3.98	4.53	4.39	4.73
แรงเฉลี่ย	4.12	4.49	4.46	4.69

4.1.2 ผลการทดลองจากค่าความหยาบผิวที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน

การหาค่าความหยาบผิว ทำโดยโดยใช้เครื่องวัดค่าความหยาบผิว โดยจะทำการวัดค่า Ra ของแต่ละจุดบนชิ้นงานซึ่งทำการวัดทั้งหมด 12 จุด ของชิ้นงานแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยทำการวัดชิ้นงานทั้งหมด 3 ชิ้น ดังรูปที่ 4.7



(a)



(b)

รูปที่ 4.7 วิธีการวัดค่าความหยาบผิว (a) และค่า Ra ที่อ่านได้จากเครื่องวัดค่าความหยาบผิว (b)

ปรากฏว่าได้ค่าความหยาบผิวในแต่ละอิทธิพลของตัวแปร ได้ผลตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการในการวัดค่าความหยาบผิว และนำมาเปรียบเทียบในแต่ละสารหล่อลื่น

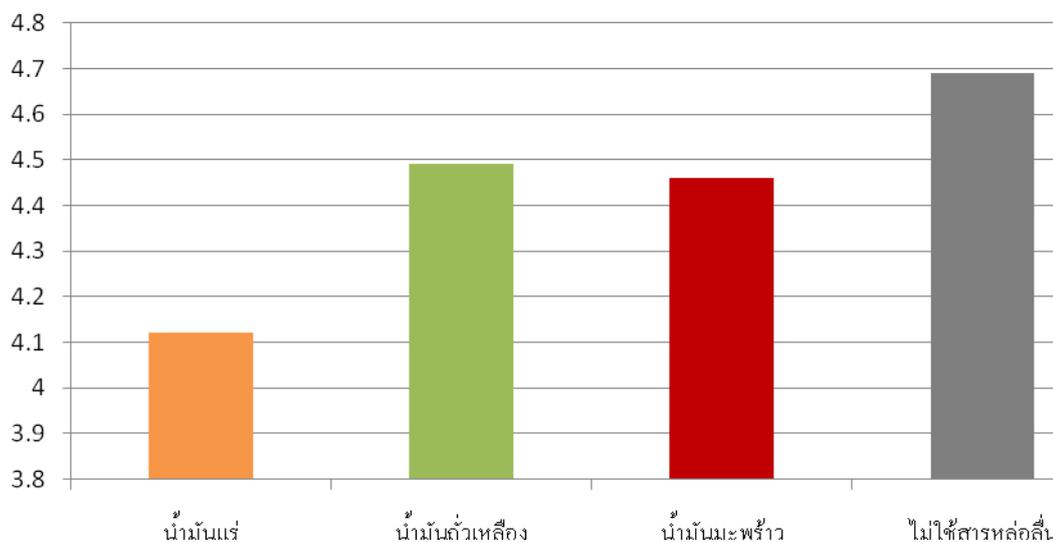
ชิ้นงานที่	ค่าความหยาบผิว (μm)			
	น้ำมันแร่	น้ำมันถั่วเหลือง	น้ำมันมะพร้าว	ไม่ใช่สารหล่อลื่น
1	0.55	0.25	0.61	0.83
2	0.76	0.27	0.33	0.54
3	0.57	0.41	0.65	0.58
เฉลี่ย	0.63	0.31	0.53	0.65

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.2.1 วิเคราะห์ผลการทดลองแรงที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป

จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.1 สามารถนำแรงในการขึ้นรูปของชิ้นงานจากตารางมาวิเคราะห์และสรุปผลในรูปแบบกราฟดังรูปที่ 4.8

แรงในการอัดขึ้นรูปเฉลี่ย (คัน)

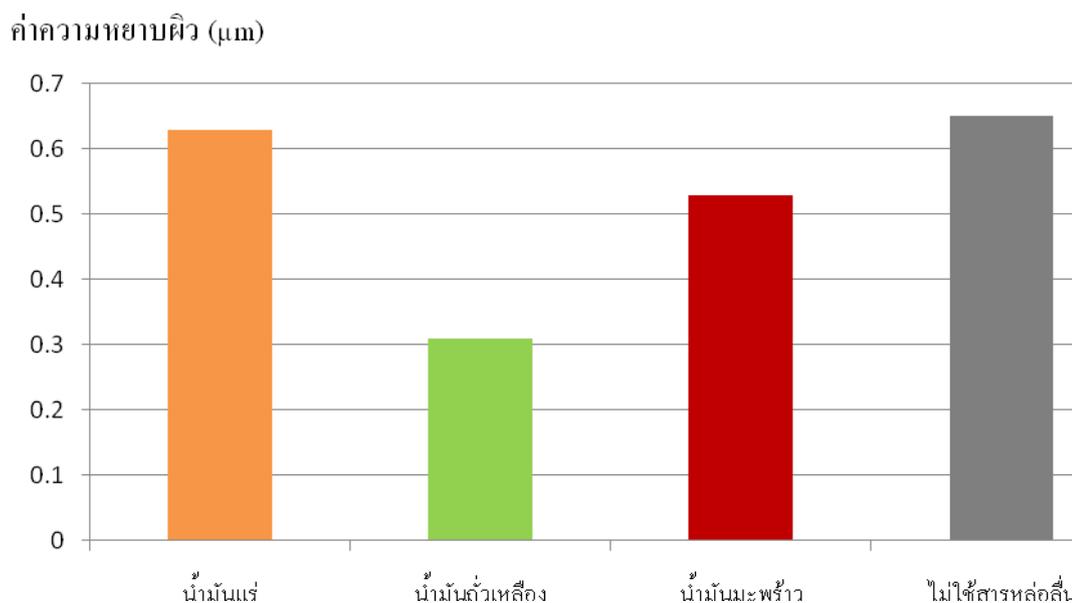


รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบแรงในการขึ้นรูปของแต่ละสารหล่อลื่น

จากรูปที่ 4.8 สามารถศึกษาผลกระทบของตัวแปรคือ สภาพการหล่อลื่นของชิ้นงานโดยเปรียบเทียบดังนี้คือ น้ำมันแร่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมะพร้าว และไม่ใช้สารหล่อลื่นในการขึ้นรูป เมื่อเปรียบเทียบแรงกดในการขึ้นรูปของชิ้นงานจะได้ค่าของแรงกดของแต่ละสารหล่อลื่นโดยเรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ ไม่ใช้สารหล่อลื่น > น้ำมันถั่วเหลือง > น้ำมันมะพร้าว > น้ำมันแร่ จะได้ว่าสารหล่อลื่นต่างชนิดกันจะมีอิทธิพลต่อแรงในการขึ้นรูป ดังนั้นจากการศึกษาครั้งนี้พบได้ว่าการใช้แรงอัดในการขึ้นรูปสารหล่อลื่นน้ำมันแร่ให้ผลที่ดีที่สุด โดยใช้แรงน้อยสุดคือ 40.4172 kN หรือประมาณ 4.12 T ซึ่งลดแรงอัดขึ้นรูปได้สูงมากเหมาะแก่การนำมาใช้ในงานอัดขึ้นรูปอลูมิเนียม

4.2.2 วิเคราะห์ผลการทดลองจากค่าความหยาบผิวที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน

จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.2 สามารถนำค่าความหยาบผิวของชิ้นงานจากตารางมาวิเคราะห์และสรุปผลในรูปแบบกราฟรูปที่ 4.9

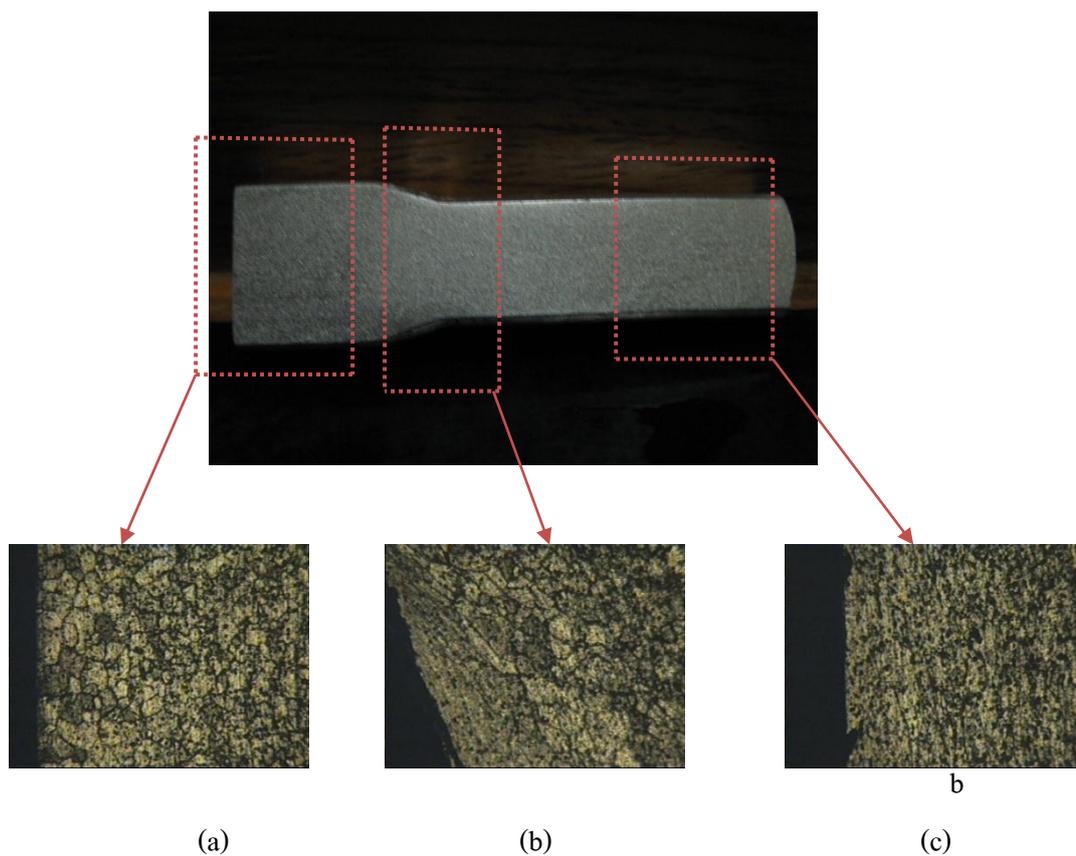


รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวของชิ้นงานในแต่ละสารหล่อลื่น

จากรูปที่ 4.9 เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวของแต่ละสารหล่อลื่น โดยเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ ไม่ใช้สารหล่อลื่น > น้ำมันแร่ > น้ำมันมะพร้าว > น้ำมันถั่วเหลือง จะเห็นได้ว่าการที่ไม่ใช้สารหล่อลื่นในการอัดขึ้นรูปเย็นอลูมิเนียมจะทำให้ผิวของชิ้นงานมีความหยาบมาก ตรงกันข้ามกับสารหล่อลื่นน้ำมันถั่วเหลืองซึ่งให้ค่าความหยาบผิวน้อยที่สุด คือ $0.31 \mu\text{m}$ เพราะฉะนั้นสารหล่อลื่นยังมีความหนืดมากเท่าไรผิวก็จะมากขึ้นมากเท่านั้นแต่ในทางตรงกันข้ามก็จะใช้แรงในการอัดมากขึ้น สรุปได้ว่าชนิดของน้ำมันมีอิทธิพลต่อความหยาบผิวอย่างชัดเจน

4.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลองการไหลตัวของวัสดุ

การศึกษาการไหลตัวของวัสดุ ทำได้โดยการนำชิ้นงานไปทำการกัดผาครั้ง แล้วทำการขัดให้เรียบ จึงนำไปกัดกรดแล้วนำไปส่องดูที่กล้อง microscope เพื่อดูการไหลตัวของวัสดุ ดังรูปที่ 4.10



(a) ช่วงก่อนการเปลี่ยนขนาด (b) ช่วงเปลี่ยนขนาด (c) ช่วงเปลี่ยนขนาดเสร็จแล้ว

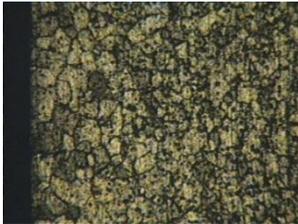
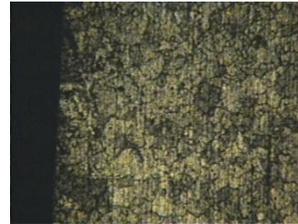
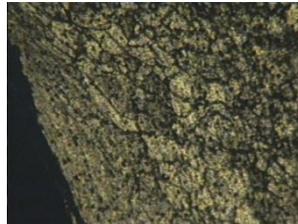
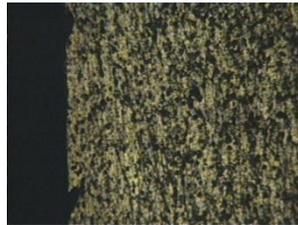
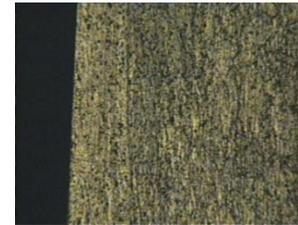
รูปที่ 4.10 ชิ้นงานที่ทำการกัดเรียบรื้อแล้วโดยแบ่งออกเป็นสามส่วน

จากรูปที่ 4.10 อาจกล่าวได้ว่าการอัดขึ้นรูปเย็นอลูมิเนียมจะเกิดผลคือทำให้เกิด การเสียดรูปว่างถาวรนั่นคือ จำนวนของขอบเกรนเพิ่มขึ้น, จำนวนของ Dislocation เพิ่มขึ้น นั่นก็คือส่งผลให้มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้การขึ้นรูปต่อมาทำได้ยากขึ้น โครงสร้างที่ผ่านการอัดขึ้นรูปเย็นนั้นจะเห็นว่าขอบเกรนตามทิศทางในการอัดจะค่อยๆเปลี่ยนไปในลักษณะยาวรี ทำให้ความหนาแน่นของ Dislocation เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

ถึงแม้ว่าการใช้สารหล่อลื่นที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อการไหลตัวของวัสดุภายในแต่ก็ส่งผลกระทบต่อผิวภายนอกของวัสดุอลูมิเนียมทำให้ผิวภายนอกนั้นมีความเรียบมากขึ้นกว่าการที่ไม่ใช้สารหล่อลื่นและเมื่อทำการส่องด้วยกล้อง microscope จะได้ผลของแต่ละอิทธิพลตัวแปร ตามตารางที่

4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองในการดูการไหลตัว และนำมาเปรียบเทียบแต่ละสารหล่อลื่น

ช่วงของชิ้นงาน	การไหลตัวของวัสดุ กำลังขยาย 50X			
	น้ำมันแร่	น้ำมันถั่วเหลือง	น้ำมันมะพร้าว	ไม่ใช่สารหล่อลื่น
ก่อนเปลี่ยนขนาด				
ช่วงเปลี่ยนขนาด				
เปลี่ยนขนาดแล้ว				

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า ในแต่ละสารหล่อลื่นนั้นทิศทางการไหลตัวของ อลูมิเนียมนั้นก็จะมีทิศทางเดียวกัน จะสังเกตได้ว่าก่อนที่จะมีการเปลี่ยนขนาดขอบเกรนของเนื้อ อลูมิเนียมจะมีลักษณะค่อนข้างใหญ่ และมีขนาดใกล้เคียงกันทั้งบริเวณ เมื่อทำการอัดขึ้นรูป ในช่วงของระหว่างการเปลี่ยนขนาดนั้น จะสังเกตได้ว่าขอบเกรนจะค่อยๆอัดตัวกัน บริเวณขอบ ผิวของอลูมิเนียม และจะอัดแน่นเข้าสู่ศูนย์กลางลดลง นั่นคือการเล็กรูปร่างอย่างถาวรเนื่องจากใน ผลึกอลูมิเนียมมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยกลไกเคลื่อนไถล ส่งผลให้ขอบเกรนบริเวณผิวของ อลูมิเนียมนั้นค่อยๆอัดตัวเล็กลงส่งผลให้มีความหนาแน่นมากขึ้น จากนั้นเมื่อถึงช่วงเปลี่ยนขนาด แล้ว จะพบว่าบริเวณผิวของชิ้นงานขอบเกรนอัดตัวแน่นแต่บริเวณแกนในของอลูมิเนียมขอบเกรน ยังมีขนาดใหญ่กว่าบริเวณขอบผิว นั่นก็คือบริเวณแกนในแทบจะไม่มีผลกระทบต่อการอัด ดังนั้น จากการศึกษาการไหลตัวของสารหล่อลื่นทั้ง 3 ชนิด เมื่อเทียบกับไม่ใช้สารหล่อลื่น จะไม่เห็น ความแตกต่างกันเลย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสารหล่อลื่นไม่มีผลต่อการไหลตัวของวัสดุ

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองข้างต้นสามารถนำมาวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยรวมได้ดังตารางที่ 4.4 ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ตารางเปรียบเทียบรวม โดยวิเคราะห์จากแรงในการขึ้นรูป ค่าความหยาบผิว และ การไหลตัวของวัสดุ

การเปรียบเทียบจากผลที่ได้	การใช้สารหล่อลื่น
แรงในการขึ้นรูป	จะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่ใช้สารหล่อลื่นในการขึ้นรูปนั้นจะใช้แรงในการขึ้นรูปน้อยกว่าชิ้นงานที่ไม่ใช้สารหล่อลื่น และจากการทดลอง น้ำมันแร่จะใช้แรงน้อยที่สุด
ค่าความหยาบผิว	จะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่ใช้สารหล่อลื่นในการขึ้นรูปจะทำให้ผิวของชิ้นงานเรียบกว่าชิ้นงานที่ไม่ใช้สารหล่อลื่น และจากการทดลอง น้ำมันถั่วเหลืองจะให้ผิวที่เรียบที่สุด
การไหลตัวของวัสดุ	จะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่ใช้สารหล่อลื่น กับไม่ใช้สารหล่อลื่นในการขึ้นรูปนั้นการไหลตัวของวัสดุจะมีลักษณะที่เหมือนกัน

จากตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบรวม โดยวิเคราะห์จากแรงในการขึ้นรูป ค่าความหยาบผิว และการไหลตัวของวัสดุ สามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) จะเห็นว่าการใช้สารหล่อลื่นจะช่วยลดแรงในการขึ้นรูปได้ และน้ำมันแร่จะใช้แรงในการขึ้นรูปน้อยที่สุด เนื่องจากการเกาะตัวของน้ำมันแร่สามารถเกาะตัวได้น้อยกว่าน้ำมัน มะถั่วเหลือง และน้ำมันมะพร้าว เพราะค่าความหนืดมีค่าน้อยกว่า
- 2) จะเห็นว่าการใช้สารหล่อลื่นทำให้ผิวของชิ้นงานมีความเรียบมากขึ้น และน้ำมันถั่วเหลืองจะให้ผิวที่เรียบที่สุด เนื่องจากการเกาะตัวของน้ำมันถั่วเหลืองสามารถเกาะตัวได้มากกว่าน้ำมันแร่ และน้ำมันมะพร้าว ทำให้ไปเคลือบผิวของชิ้นงานได้ดีกว่าจะทำให้ผิวที่ออกได้มีความเรียบมากกว่า
- 3) จะเห็นว่าการไหลตัวของวัสดุของชิ้นงานที่ใช้สารหล่อลื่น กับไม่ใช้สารหล่อลื่น ไม่แตกต่างกันเท่าไร สรุปได้ว่าสารหล่อลื่น ไม่มีผลต่อการไหลตัวของวัสดุ

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการอัดขึ้นรูปเยื่อลูมิเนียมเกรด 6063 โดยเลือกใช้สารหล่อลื่นจากธรรมชาติที่แตกต่างกันในการอัดขึ้นรูปเยื่อ โดยมีชั้นทดสอบขนาด 16 มม. โดยจะทำการอัดขึ้นรูปให้เหลือเพียง 12.5 มม. ด้วยเครื่องเพลโซโครลิก ขนาด 80 ตัน แบบมีคายคู่ชั้น เพื่อวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ การไหลตัวของชิ้นงานเพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้ไปพัฒนา และหาสารหล่อลื่นตามธรรมชาติมาใช้ทดแทนสารหล่อลื่นสังเคราะห์ ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5.1 สรุป

จากผลการวิจัยและการทดลองเราจะสังเกตได้ว่าเมื่อทำการทดลองอัดขึ้นรูปเยื่อชั้นทดสอบโดยใช้สารหล่อลื่นจากธรรมชาติที่แตกต่างกันนั้น สามารถกล่าวสรุปได้โดยย่อ ดังนี้

5.1.1 แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปเยื่อนั้นจะสังเกตได้ว่าเมื่อทำการอัดขึ้นรูปเยื่อลูมิเนียมพบว่าสารหล่อลื่นจากธรรมชาติที่ให้ค่าน้อยที่สุดเป็นน้ำมันแร่ ซึ่งมีค่าความแตกต่างกับไม่ได้ใช้สารหล่อลื่น 0.58 ตัน ดังนั้นสารหล่อลื่นมีอิทธิพลต่อแรงที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป

5.1.2 ค่าความหยาบหรือคุณภาพผิวงานพบว่าสารหล่อลื่นธรรมชาติที่ให้ค่าความหยาบผิวน้อยที่สุดนั้นก็คือน้ำมันถั่วเหลือง ซึ่งมีค่าความแตกต่างจากการที่ไม่ใช้สารหล่อลื่นอยู่ 0.34 μm ดังนั้นสารหล่อลื่นมีอิทธิพลต่อคุณภาพผิวชิ้นงาน

5.1.3 การไหลตัวของวัสดุลูมิเนียมเมื่อทำการส่งกล้องไมโครสโคปแล้วเมื่อเปรียบเทียบชิ้นทดสอบที่ไม่ใช้สารหล่อลื่นแล้วพบว่าไม่ได้มีความแตกต่างกันมากในบริเวณภายในของเนื้อวัสดุ ซึ่งนั่นแสดงให้เห็นว่าสารหล่อลื่นนั้นไม่ได้มีอิทธิพลต่อการไหลตัวของเนื้อวัสดุเลย

5.1.4 แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปสูงสุดอยู่ที่ 4.77 ตัน

5.1.5 แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปต่ำสุดอยู่ที่ 4.19 ตัน

5.1.6 ค่าความหยาบผิวมากที่สุดอยู่ที่ 0.65 μm

5.1.7 ค่าความหยาบผิวน้อยที่สุดอยู่ที่ 0.31 μm

5.1.8 ความหนืดมากแรงในการอัดขึ้นรูปก็มากตามไปด้วย

5.1.9 ความหนืดมากค่าความหยาบผิวก็จะน้อยตามไปด้วย

5.1.10 สารหล่อลื่นตามธรรมชาติที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปเยื่อลูมิเนียมนั้น ควรเลือกน้ำมันถั่วเหลืองเนื่องจากผิวชิ้นงานที่มีคุณภาพดีกว่าและแรงที่ต่างกันไม่มากนัก

จากผลการทดลองเราจะสังเกตได้ว่าเมื่อทำการทดลองอัดขึ้นรูปเย็นขึ้นทดสอบโดยใช้สารหล่อลื่นจากธรรมชาติที่แตกต่างกันนั้น สามารถสรุปได้ว่า แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปเย็นนั้นจะสังเกตได้ว่าสารหล่อลื่นจากธรรมชาติที่ให้ค่าน้อยที่สุดเป็นน้ำมันแร่ ซึ่งมีค่าความแตกต่างกับไม่ใช้สารหล่อลื่น 0.58 คัน ดังนั้นสารหล่อลื่นมีอิทธิพลต่อแรงที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป ค่าความหยาบหรือคุณภาพผิวงานพบว่าสารหล่อลื่นธรรมชาติที่ให้ค่าความหยาบผิวน้อยที่สุด คือ น้ำมันถั่วเหลือง และส่วนการไหลตัวของวัสดุเมื่อนำชิ้นงานไปส่องดูโครงสร้างหลังการทดสอบแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันมากในบริเวณภายในของเนื้อวัสดุ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารหล่อลื่นไม่มีอิทธิพลต่อการไหลตัวของเนื้อวัสดุเลย ดังนั้นสารหล่อลื่นตามธรรมชาติที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปเย็นอลูมิเนียม ควรเลือกน้ำมันถั่วเหลืองเนื่องจากผิวชิ้นงานที่มีคุณภาพดีกว่าและแรงที่ต่างกันไม่มากนัก

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ขั้นตอนการประกอบแม่พิมพ์ และการติดตั้งแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องเพรสมีความสำคัญมาก ควรประกอบแม่พิมพ์อย่างถูกวิธี เพื่อความปลอดภัยและความแม่นยำของชิ้นทดสอบ

5.2.2 การสร้างค่าพารามิเตอร์ในการทดสอบแม่พิมพ์หลายๆตัวนั้นทำให้ผู้ที่ศึกษานั้นมีความรู้ ความเข้าใจที่หลากหลายมากขึ้น อันจะทำให้สามารถนำไปพัฒนาปรับปรุง และแก้ไขให้แม่พิมพ์ที่สร้างขึ้นมานั้นมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะทำให้ชิ้นงานที่ผลิตออกมานั้นมีคุณภาพมากยิ่งขึ้นนั่นเอง

5.2.3 การออกแบบแม่พิมพ์เป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้นก่อนการออกแบบแม่พิมพ์นั้นควรทำการศึกษาวิธีการสร้างแม่พิมพ์ให้เข้าใจก่อนลงมือออกแบบ เพราะจะช่วยในการป้องกันการเกิดปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบแม่พิมพ์

5.2.4 ค่าที่ได้จากการทดสอบชิ้นงานในระยะแรกจะไม่ตรงตามที่คำนวณไว้เสมอไป ควรทำการลองผิดลองถูกชิ้นงานไปเรื่อยๆ โดยปรับตัวแปรทีละตัวหลายๆค่า เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแล้วจึงค่อยนำเอาค่าที่ได้นั้นไปทำการทดสอบต่อไป

5.2.5 หากเกิดปัญหาที่ยาก หรือเกินความสามารถของผู้ที่ศึกษาควรปรึกษาผู้รู้หรือผู้ที่มีประสบการณ์ทางด้านแม่พิมพ์หรืออาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ โดยทันที จะทำให้การทำงานทำได้เร็วยิ่งขึ้นและมีความปลอดภัยมากขึ้น

5.2.6 ในการทดสอบแม่พิมพ์นั้นควรทำอย่างระมัดระวัง รอบคอบอยู่เสมอ เนื่องจากน้ำหนักที่มาก และเกิดอุบัติเหตุได้ง่ายในช่วง การประกอบ, ติดตั้งแม่พิมพ์ ดังนั้นจึงอย่าได้ประมาทเป็นอันขาด เพื่อความปลอดภัยต่อผู้ที่ทำการศึกษาและคนรอบข้าง

บรรณานุกรม

- [1] Lange, K. (1985). Metal Forming Handbook., New York : McGraw-Hill.
- [2] Schuler GmbH. (1998). Metal Forming Handbook. Berlin: Springer.
- [3] Onawola, O.O. and Adeyemi, M.B., 2003, Warm compression and extrusion tests of aluminium, Journal of Materials Processing Technology 136: pp. 7–11.
- [4] Caminaga, C. Neves, F.O. Gentile, F.G. and Button, S.G., 2007, Study of alternative lubricants to the cold extrusion of steel shafts, Journal of Materials Processing Technology 182: pp. 432–439.
- [5] Chen, D.C. Syu, S.K. Wu, C.H. and Lin, S.K., 2007, Investigation into cold extrusion of aluminum billets using three-dimensional finite element method, Journal of Materials Processing Technology 192–193:pp. 188–193.
- [6] Ishikawa, T. Sano, H. Yoshida, Y. Yukawa, N. Sakamoto, J. and Tozawa, Y., 2006, Effect of Extrusion Conditions on Metal Flow and Microstructures of Aluminum Alloys, CIRP Annals -Manufacturing Technology, Volume 55, Issue 1, Page: 275-278.
- [7] สมชัย ดัชนีวิรุฬห์. 2549. ผลกระทบของตัวแปรในกระบวนการดัดขึ้นรูปแบบเย็นต่อสมบัติเชิงกลของแท่งอลูมิเนียม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [8] เกษม ชรรณโกศล. 2546. อิทธิพลของสารหล่อลื่นของแข็งต่อการหล่อขึ้นรูปแบบเทอร์โมอิลาสโตไฮดรอลิกไดนามิกส์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [9] อนุศักดิ์ ฉันทไพศาล. 2547. เขียนแบบเทคนิคเบื้องต้น, บริษัท สำนักพิมพ์แม็ค จำกัด, กรุงเทพมหานคร
- [10] Celio Caminaga. 2007. Study of alternative lubricants to the cold extrusion of steel shafts
- [11] ดำรง ไชยธีรานุกัฒศิริ. 2538. การขึ้นรูปโลหะ. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [12] วีระชัย เจ้าสกุล. 2541. เขียนแบบเทคนิค 1, บริษัท ดวงกลมสมัย จำกัด, กรุงเทพมหานคร

ภาคผนวก ก

ค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง

ตาราง ก.1 แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 1 ของน้ำมันแร่

ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)	ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)
0	0	16.8375	44.19
0.6735	39.44	17.511	44.67
1.347	46.1	18.1845	44.19
2.0205	37.54	18.858	44.67
2.694	39.44	19.5315	45.62
3.3675	40.87	20.205	46.1
4.041	44.19	20.8785	45.62
4.7145	43.72	21.552	44.67
5.388	43.72	22.2255	45.62
6.0615	41.82	22.899	45.62
6.735	38.97	23.5725	45.62
7.4085	41.82	24.246	41.82
8.082	38.97	24.9195	41.82
8.7555	31.84	25.593	40.87
9.429	35.17	26.2665	40.39
10.1025	38.02	26.94	42.29
10.776	39.44	27.6135	41.82
11.4495	45.62	28.287	43.72
12.123	44.19	28.9605	44.67
12.7965	45.14	29.634	44.19
13.47	44.67	30.3075	44.19
14.1435	44.67	30.981	32.32
14.817	45.14	31.6545	33.27
15.4905	45.14	32.328	30.89
16.164	43.72	33	31.84

ตาราง ก.2 แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 2 ของน้ำมันแร่

ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)	ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)
0	0	16.924	42.29
0.8462	42.77	17.7702	42.77
1.6924	40.39	18.6164	43.24
2.5386	41.34	19.4626	43.72
3.3848	39.92	20.3088	42.77
4.231	42.29	21.155	44.2
5.0772	42.29	22.0012	43.24
5.9234	40.39	22.8474	43.72
6.7696	41.82	23.6936	45.15
7.6158	37.07	24.5398	48.47
8.462	42.29	25.386	31.37
9.3082	39.92	26.2322	31.84
10.1544	44.2	27.0784	31.37
11.0006	43.72	27.9246	34.69
11.8468	31.37	28.7708	30.42
12.693	42.77	29.617	39.92
13.5392	42.77	30.4632	38.97
14.3854	42.77	31.3094	31.37
15.2316	42.29	32.1556	42.29
16.0778	42.77	33	44.2

ตาราง ก.3 แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 3 ของน้ำมันแร่

ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)	ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)
0	0	16.8375	46.57
0.6735	43.72	17.511	43.28
1.347	42.77	18.1845	42.16
2.0205	35.64	18.858	40.12
2.694	40.87	19.5315	40.13
3.3675	33.74	20.205	40.11
4.041	38.02	20.8785	42.11
4.7145	38.02	21.552	41.34
5.388	38.49	22.2255	42.65
6.0615	38.02	22.899	43.16
6.735	33.26	23.5725	42.85
7.4085	38.49	24.246	45.14
8.082	38.02	24.9195	44.19
8.7555	43.24	25.593	44.19
9.429	38.02	26.2665	44.19
10.1025	38.49	26.94	45.14
10.776	38.49	27.6135	43.71
11.4495	38.49	28.287	43.71
12.123	38.49	28.9605	44.19
12.7965	44.67	29.634	43.24
13.47	45.62	30.3075	43.28
14.1435	45.14	30.981	42.16
14.817	38.49	31.6545	40.12
15.4905	46.57	32.328	40.13
16.164	45.14	33	40.11

ตาราง ก.4 แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 4 ของน้ำมันแร่

ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)	ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)
0	0	17.1875	38.01
0.6875	52.27	17.875	34.21
1.375	43.72	18.5625	39.92
2.0625	38.01	19.25	38.49
2.75	40.87	19.9375	40.87
3.4375	39.44	20.625	38.49
4.125	39.44	21.3125	39.44
4.8125	39.92	22	38.01
5.5	40.87	22.6875	40.87
6.1875	39.44	23.375	39.44
6.875	40.87	24.0625	38.49
7.5625	44.19	24.75	39.44
8.25	39.44	25.4375	36.59
8.9375	39.92	26.125	38.49
9.625	38.01	26.8125	39.44
10.3125	36.59	27.5	39.44
11	39.44	28.1875	39.92
11.6875	39.44	28.875	39.44
12.375	38.49	29.5625	39.44
13.0625	37.06	30.25	38.96
13.75	38.49	30.9375	39.44
14.4375	38.01	31.625	37.06
15.125	40.87	32.3125	39.92
15.8125	40.87	33	39.92
16.5	39.44		

ตาราง ก.5 แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 5 ของน้ำมันแร่

ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)	ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)
0	0	17.1342	37.53
0.6346	38.96	17.7688	37.06
1.2692	45.61	18.4034	38.01
1.9038	35.63	19.038	36.11
2.5384	40.39	19.6726	36.58
3.173	39.91	20.3072	36.58
3.8076	39.91	20.9418	35.63
4.4422	37.53	21.5764	38.96
5.0768	37.06	22.211	38.96
5.7114	38.01	22.8456	39.91
6.346	36.11	23.4802	38.01
6.9806	38.49	24.1148	39.44
7.6152	38.01	24.7494	38.96
8.2498	38.96	25.384	39.91
8.8844	40.39	26.0186	39.44
9.519	37.06	26.6532	38.49
10.1536	37.53	27.2878	38.96
10.7882	37.06	27.9224	37.53
11.4228	38.01	28.557	36.58
12.0574	40.39	29.1916	42.29
12.692	40.39	29.8262	40.39
13.3266	40.39	30.4608	38.96
13.9612	38.96	31.0954	40.39
14.5958	38.96	31.73	43.24
15.2304	40.39	32.3646	43.24
15.865	38.01	33	47.04
16.4996	38.01		

ตาราง ก.6 แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 1 ของน้ำมันถั่วเหลือง

ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)	ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)
0	0	17.16	44.19
0.66	44.67	17.82	42.77
1.32	56.55	18.48	44.67
1.98	46.09	19.14	44.67
2.64	46.57	19.8	44.67
3.3	47.04	20.46	44.19
3.96	45.14	21.12	44.19
4.62	44.67	21.78	43.24
5.28	44.67	22.44	44.19
5.94	44.19	23.1	44.19
6.6	44.67	23.76	44.19
7.26	44.67	24.42	44.19
7.92	44.67	25.08	43.72
8.58	44.67	25.74	44.19
9.24	44.19	26.4	44.19
9.9	44.67	27.06	44.67
10.56	43.24	27.72	44.67
11.22	44.67	28.38	44.19
11.88	42.77	29.04	44.67
12.54	42.77	29.7	44.67
13.2	42.77	30.36	44.67
13.86	44.67	31.02	44.67
14.52	43.72	31.68	42.77
15.18	44.67	32.34	47.04
15.84	44.67	33	49.42
16.5	44.67		

ตาราง ก.7 แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 2 ของน้ำมันถั่วเหลือง

ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)	ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)
0	0	16.8246	43.24
0.6471	51.32	17.4717	43.72
1.2942	40.39	18.1188	43.72
1.9413	42.29	18.7659	44.19
2.5884	44.19	19.413	44.19
3.2355	43.24	20.0601	43.24
3.8826	43.72	20.7072	44.19
4.5297	44.19	21.3543	44.19
5.1768	44.19	22.0014	44.19
5.8239	43.24	22.6485	43.72
6.471	43.24	23.2956	44.19
7.1181	39.44	23.9427	43.72
7.7652	39.44	24.5898	44.19
8.4123	43.24	25.2369	41.34
9.0594	42.77	25.884	43.72
9.7065	43.24	26.5311	43.24
10.3536	42.77	27.1782	43.72
11.0007	43.24	27.8253	42.77
11.6478	43.24	28.4724	43.24
12.2949	43.24	29.1195	42.77
12.942	43.24	29.7666	42.77
13.5891	44.19	30.4137	42.29
14.2362	43.72	31.0608	42.77
14.8833	44.19	31.7079	44.67
15.5304	43.24	32.355	46.09
16.1775	43.72	33	49.42

ตาราง ก.8 แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 3 ของน้ำมันถั่วเหลือง

ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)	ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)
0	0	17.1875	45.14
0.6875	53.21	17.875	43.71
1.375	44.19	18.5625	43.71
2.0625	43.71	19.25	44.19
2.75	45.61	19.9375	43.24
3.4375	44.66	20.625	42.76
4.125	44.19	21.3125	43.24
4.8125	41.81	22	43.24
5.5	44.66	22.6875	44.19
6.1875	45.14	23.375	45.61
6.875	44.66	24.0625	44.19
7.5625	45.61	24.75	43.71
8.25	46.09	25.4375	44.19
8.9375	47.04	26.125	43.71
9.625	44.66	26.8125	43.71
10.3125	42.76	27.5	44.19
11	41.81	28.1875	47.04
11.6875	43.24	28.875	46.09
12.375	43.71	29.5625	46.09
13.0625	44.19	30.25	44.19
13.75	44.19	30.9375	46.09
14.4375	45.14	31.625	45.61
15.125	44.19	32.3125	46.09
15.8125	44.19	33	47.51
16.5	44.19		

ตาราง ก.9 แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 4 ของน้ำมันถั่วเหลือง

ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)	ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)
0	0	16.8102	42.29
0.6226	46.57	17.4328	42.77
1.2452	46.09	18.0554	42.77
1.8678	40.87	18.678	41.82
2.4904	44.67	19.3006	43.24
3.113	43.24	19.9232	41.82
3.7356	43.72	20.5458	42.29
4.3582	43.72	21.1684	41.82
4.9808	44.67	21.791	40.87
5.6034	43.24	22.4136	41.34
6.226	43.72	23.0362	40.39
6.8486	43.72	23.6588	41.82
7.4712	43.72	24.2814	40.87
8.0938	43.72	24.904	41.34
8.7164	44.19	25.5266	43.24
9.339	43.72	26.1492	42.77
9.9616	42.77	26.7718	39.92
10.5842	42.29	27.3944	41.34
11.2068	42.29	28.017	38.49
11.8294	40.87	28.6396	38.49
12.452	40.87	29.2622	42.77
13.0746	41.82	29.8848	42.77
13.6972	42.29	30.5074	43.24
14.3198	42.77	31.13	44.67
14.9424	43.24	31.7526	46.57
15.565	41.82	32.3752	48.47
16.1876	43.24	33	54.65

ตาราง ก.10 แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 5 ของน้ำมันถั่วเหลือง

ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)	ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)
0	0	17.16	44.19
0.66	51.8	17.82	44.19
1.32	39.92	18.48	43.72
1.98	42.77	19.14	43.72
2.64	43.72	19.8	44.19
3.3	41.82	20.46	44.19
3.96	41.82	21.12	44.19
4.62	42.77	21.78	44.19
5.28	43.72	22.44	44.19
5.94	44.19	23.1	44.19
6.6	43.72	23.76	44.67
7.26	44.19	24.42	44.67
7.92	43.72	25.08	44.67
8.58	44.19	25.74	44.67
9.24	44.19	26.4	44.19
9.9	43.72	27.06	44.67
10.56	43.72	27.72	44.67
11.22	43.72	28.38	44.67
11.88	43.72	29.04	45.14
12.54	43.72	29.7	45.62
13.2	44.19	30.36	45.62
13.86	43.72	31.02	45.14
14.52	43.24	31.68	47.04
15.18	44.19	32.34	48.94
15.84	44.19	33	52.27
16.5	44.19		

ตาราง ก.11 แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 1 ของน้ำมันมะพร้าว

ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)	ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)
0	0	16.8246	42.29
0.6471	38.49	17.4717	42.76
1.2942	48.47	18.1188	42.76
1.9413	39.44	18.7659	42.76
2.5884	42.76	19.413	42.76
3.2355	42.76	20.0601	42.76
3.8826	42.29	20.7072	42.76
4.5297	42.76	21.3543	42.76
5.1768	42.76	22.0014	42.29
5.8239	42.29	22.6485	42.29
6.471	42.29	23.2956	42.29
7.1181	42.76	23.9427	42.29
7.7652	42.76	24.5898	42.76
8.4123	42.29	25.2369	42.76
9.0594	41.81	25.884	42.29
9.7065	44.19	26.5311	42.29
10.3536	43.24	27.1782	42.29
11.0007	43.71	27.8253	42.29
11.6478	43.24	28.4724	41.81
12.2949	43.71	29.1195	41.81
12.942	44.19	29.7666	42.29
13.5891	44.19	30.4137	42.29
14.2362	43.71	31.0608	41.81
14.8833	44.19	31.7079	44.19
15.5304	43.71	32.355	46.09
16.1775	43.71	33	47.99

ตาราง ก.12 แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 2 ของน้ำมันมะพร้าว

ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)	ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)
0	0	17.16	42.76
0.66	52.74	17.82	42.76
1.32	41.34	18.48	43.24
1.98	45.61	19.14	43.24
2.64	44.19	19.8	43.24
3.3	43.71	20.46	42.76
3.96	44.19	21.12	42.76
4.62	43.71	21.78	43.71
5.28	43.71	22.44	42.76
5.94	44.66	23.1	43.24
6.6	43.71	23.76	43.24
7.26	43.71	24.42	43.24
7.92	43.71	25.08	43.24
8.58	43.71	25.74	43.71
9.24	43.71	26.4	43.24
9.9	43.24	27.06	42.76
10.56	42.76	27.72	43.24
11.22	43.71	28.38	43.71
11.88	43.71	29.04	43.71
12.54	43.24	29.7	43.71
13.2	43.71	30.36	43.71
13.86	42.76	31.02	43.71
14.52	43.71	31.68	45.61
15.18	43.24	32.34	47.04
15.84	43.71	33	49.89
16.5	43.24		

ตาราง ก.13 แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 3 ของน้ำมันมะพร้าว

ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)	ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)
0	0	17.16	43.71
0.66	50.84	17.82	43.71
1.32	43.24	18.48	43.24
1.98	43.24	19.14	43.71
2.64	44.66	19.8	43.71
3.3	43.71	20.46	43.24
3.96	43.71	21.12	43.24
4.62	43.71	21.78	43.24
5.28	43.24	22.44	43.71
5.94	43.71	23.1	42.76
6.6	43.71	23.76	43.24
7.26	45.14	24.42	43.24
7.92	43.71	25.08	43.71
8.58	43.24	25.74	43.71
9.24	43.71	26.4	43.71
9.9	44.19	27.06	43.71
10.56	43.71	27.72	43.71
11.22	43.71	28.38	43.71
11.88	43.71	29.04	44.66
12.54	43.71	29.7	43.71
13.2	42.76	30.36	44.19
13.86	43.71	31.02	44.19
14.52	43.71	31.68	46.56
15.18	43.71	32.34	48.46
15.84	43.71	33	51.79
16.5	43.71		

ตาราง ก.14 แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 4 ของน้ำมันมะพร้าว

ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)	ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)
0	0	16.8375	44.19
0.6735	52.74	17.511	44.66
1.347	42.29	18.1845	44.66
2.0205	44.19	18.858	45.14
2.694	45.61	19.5315	44.66
3.3675	45.14	20.205	44.66
4.041	43.71	20.8785	44.66
4.7145	44.19	21.552	44.19
5.388	45.14	22.2255	44.66
6.0615	45.14	22.899	44.66
6.735	45.14	23.5725	44.66
7.4085	44.66	24.246	45.14
8.082	44.66	24.9195	45.14
8.7555	44.66	25.593	44.19
9.429	45.14	26.2665	44.66
10.1025	45.14	26.94	44.66
10.776	44.66	27.6135	43.71
11.4495	45.14	28.287	44.19
12.123	44.66	28.9605	44.66
12.7965	44.19	29.634	44.66
13.47	44.19	30.3075	45.14
14.1435	44.66	30.981	45.14
14.817	45.14	31.6545	44.66
15.4905	44.66	32.328	47.51
16.164	44.66	33	48.94

ตาราง ก.15 แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 5 ของน้ำมันมะพร้าว

ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)	ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)
0	0	17.16	42.29
0.66	51.79	17.82	42.29
1.32	41.34	18.48	41.82
1.98	41.82	19.14	42.77
2.64	44.19	19.8	42.77
3.3	43.24	20.46	42.77
3.96	43.24	21.12	42.77
4.62	42.77	21.78	42.29
5.28	43.72	22.44	42.77
5.94	43.24	23.1	42.77
6.6	43.24	23.76	42.77
7.26	43.72	24.42	43.24
7.92	43.72	25.08	42.77
8.58	42.77	25.74	42.77
9.24	42.77	26.4	42.77
9.9	42.77	27.06	42.29
10.56	42.29	27.72	41.82
11.22	42.29	28.38	42.29
11.88	42.29	29.04	42.29
12.54	42.29	29.7	42.29
13.2	42.29	30.36	42.77
13.86	42.29	31.02	42.77
14.52	41.82	31.68	42.77
15.18	41.82	32.34	47.04
15.84	41.82	33	49.42
16.5	42.29		

ตาราง ก.16 แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 1 ของไม้ใช้สารหล่อลื่น

ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)	ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)
0	0	17.16	48.46
0.66	44.19	17.82	48.46
1.32	53.22	18.48	47.99
1.98	45.14	19.14	47.99
2.64	48.46	19.8	47.99
3.3	47.99	20.46	48.46
3.96	47.51	21.12	47.99
4.62	48.46	21.78	48.46
5.28	48.46	22.44	48.46
5.94	47.99	23.1	48.46
6.6	48.46	23.76	48.46
7.26	48.46	24.42	48.46
7.92	47.99	25.08	48.46
8.58	48.46	25.74	48.46
9.24	47.99	26.4	48.46
9.9	48.46	27.06	48.46
10.56	48.46	27.72	47.04
11.22	48.46	28.38	46.09
11.88	48.46	29.04	46.56
12.54	47.99	29.7	47.04
13.2	48.46	30.36	45.61
13.86	48.46	31.02	46.56
14.52	48.46	31.68	46.56
15.18	48.46	32.34	48.94
15.84	47.99	33	49.41
16.5	48.46		

ตาราง ก.17 แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 2 ของไม้ใช้สารหล่อลื่น

ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)	ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)
0	0	17.1342	43.72
0.6346	44.67	17.7688	42.77
1.2692	37.54	18.4034	43.72
1.9038	52.27	19.038	46.09
2.5384	41.82	19.6726	45.62
3.173	46.57	20.3072	43.72
3.8076	44.67	20.9418	43.72
4.4422	44.67	21.5764	45.14
5.0768	45.14	22.211	43.72
5.7114	44.67	22.8456	42.77
6.346	44.67	23.4802	43.24
6.9806	44.67	24.1148	42.29
7.6152	45.14	24.7494	44.67
8.2498	45.14	25.384	45.14
8.8844	45.62	26.0186	41.34
9.519	44.19	26.6532	43.72
10.1536	46.57	27.2878	42.77
10.7882	45.62	27.9224	46.57
11.4228	42.77	28.557	46.09
12.0574	46.57	29.1916	46.57
12.692	45.62	29.8262	46.09
13.3266	43.24	30.4608	42.77
13.9612	42.77	31.0954	42.77
14.5958	43.24	31.73	43.72
15.2304	42.77	32.3646	40.86
15.865	43.72	33	48.47
16.4996	43.72		

ตาราง ก.18 แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 3 ของไม้ใช้สารหล่อลื่น

ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)	ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)
0	0	16.8246	47.04
0.6471	45.62	17.4717	47.04
1.2942	50.37	18.1188	47.52
1.9413	45.14	18.7659	47.04
2.5884	47.52	19.413	47.52
3.2355	46.57	20.0601	46.57
3.8826	47.04	20.7072	46.57
4.5297	46.57	21.3543	47.04
5.1768	46.57	22.0014	47.04
5.8239	46.57	22.6485	47.04
6.471	47.04	23.2956	47.04
7.1181	46.57	23.9427	46.57
7.7652	46.57	24.5898	46.09
8.4123	47.04	25.2369	45.14
9.0594	47.04	25.884	47.04
9.7065	47.52	26.5311	46.57
10.3536	47.52	27.1782	47.04
11.0007	47.52	27.8253	47.04
11.6478	47.52	28.4724	47.04
12.2949	47.52	29.1195	46.57
12.942	47.04	29.7666	47.04
13.5891	47.52	30.4137	46.09
14.2362	47.52	31.0608	46.57
14.8833	47.52	31.7079	48.94
15.5304	47.04	32.355	49.42
16.1775	47.52	33	54.17

ตาราง ก.19 แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 4 ของไม้ใช้สารหล่อลื่น

ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)	ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)
0	0	16.8246	44.66
0.6471	47.51	17.4717	44.66
1.2942	43.24	18.1188	44.66
1.9413	41.34	18.7659	45.61
2.5884	43.71	19.413	44.19
3.2355	42.29	20.0601	44.19
3.8826	42.76	20.7072	44.19
4.5297	42.76	21.3543	43.71
5.1768	43.24	22.0014	44.19
5.8239	43.24	22.6485	44.66
6.471	43.24	23.2956	43.71
7.1181	43.24	23.9427	43.24
7.7652	43.24	24.5898	42.76
8.4123	46.56	25.2369	42.76
9.0594	46.09	25.884	43.24
9.7065	44.19	26.5311	42.76
10.3536	44.66	27.1782	43.71
11.0007	44.66	27.8253	43.24
11.6478	44.66	28.4724	43.24
12.2949	45.61	29.1195	43.24
12.942	44.66	29.7666	43.24
13.5891	45.14	30.4137	42.76
14.2362	44.66	31.0608	43.71
14.8833	45.14	31.7079	46.09
15.5304	45.14	32.355	47.51
16.1775	45.61	33	49.89

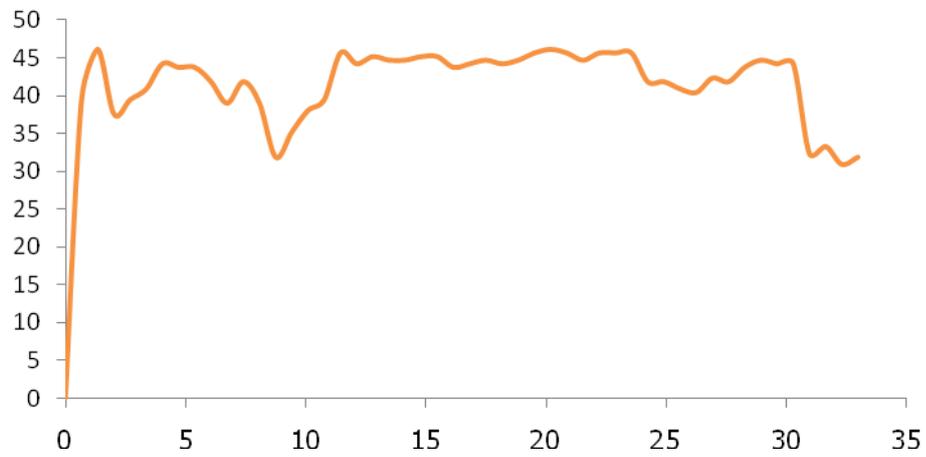
ตาราง ก.20 แสดงค่าแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 5 ของไม้ใช้สารหล่อลื่น

ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)	ระยะในการกด (mm)	แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)
0	0	16.8375	45.61
0.6735	49.89	17.511	47.04
1.347	48.94	18.1845	45.14
2.0205	43.24	18.858	46.09
2.694	46.09	19.5315	45.61
3.3675	47.99	20.205	44.66
4.041	46.56	20.8785	46.56
4.7145	46.09	21.552	47.04
5.388	45.61	22.2255	47.99
6.0615	44.66	22.899	47.51
6.735	45.61	23.5725	46.09
7.4085	44.66	24.246	47.04
8.082	45.61	24.9195	45.61
8.7555	46.09	25.593	47.04
9.429	44.66	26.2665	45.61
10.1025	45.61	26.94	47.04
10.776	45.61	27.6135	46.56
11.4495	45.61	28.287	47.99
12.123	45.14	28.9605	46.56
12.7965	45.61	29.634	46.09
13.47	44.66	30.3075	47.51
14.1435	45.14	30.981	48.46
14.817	45.61	31.6545	45.61
15.4905	45.61	32.328	48.94
16.164	45.61	33	52.26

ภาคผนวก ข

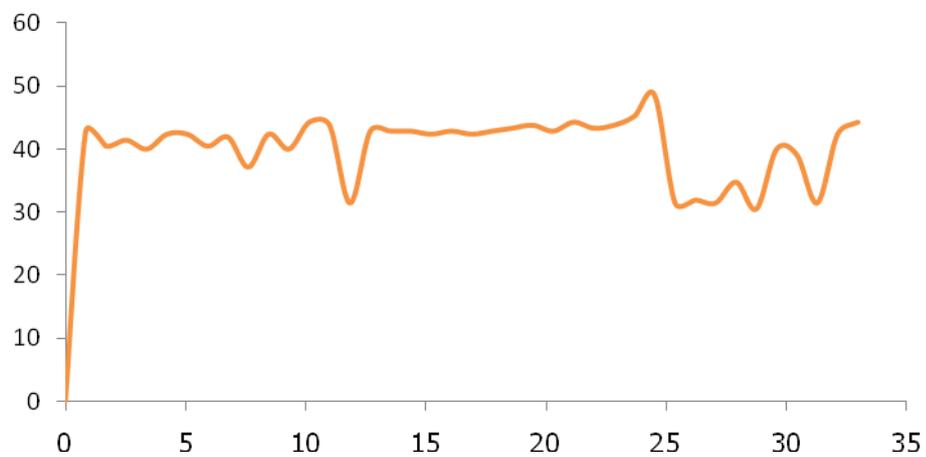
กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง

แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)



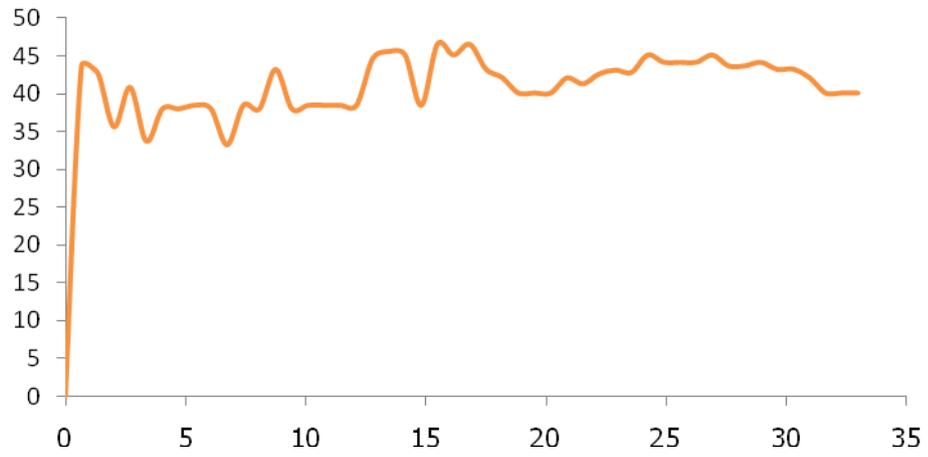
รูปที่ ข.1 กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 1 ของน้ำมันแร่

แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)



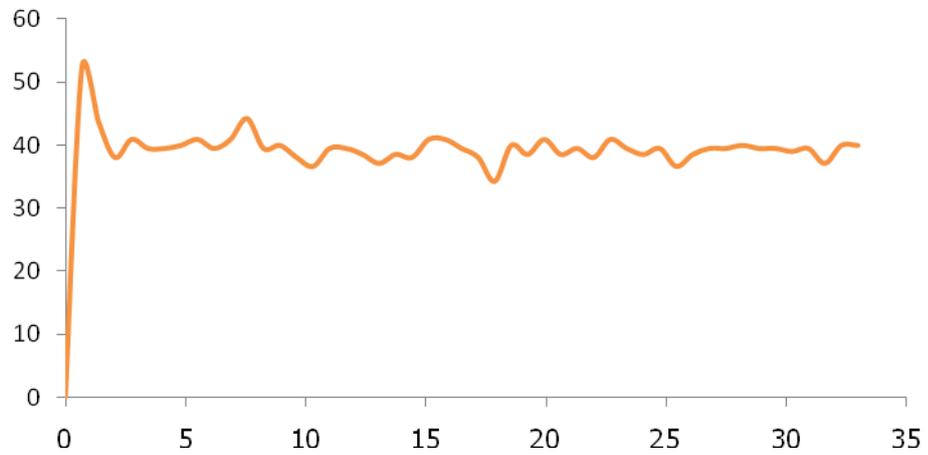
รูปที่ ข.2 กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 2 ของน้ำมันแร่

แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)



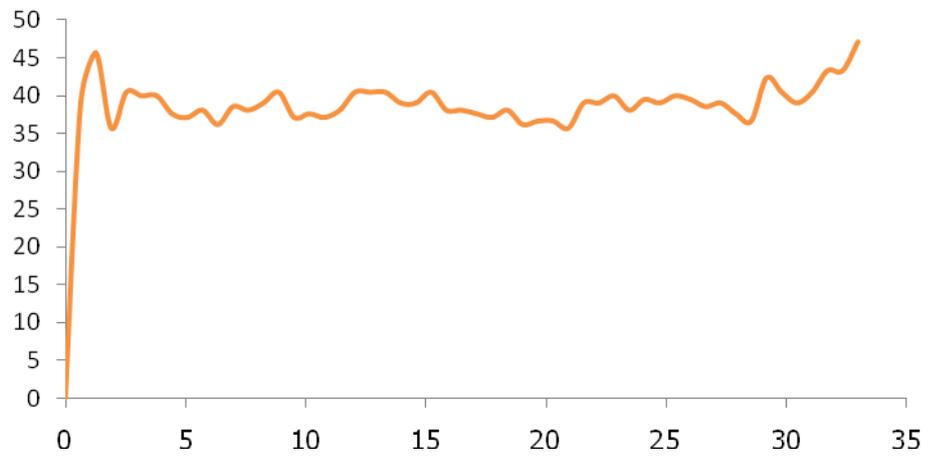
รูปที่ ข.3 กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 3 ของน้ำมันแร่

แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)



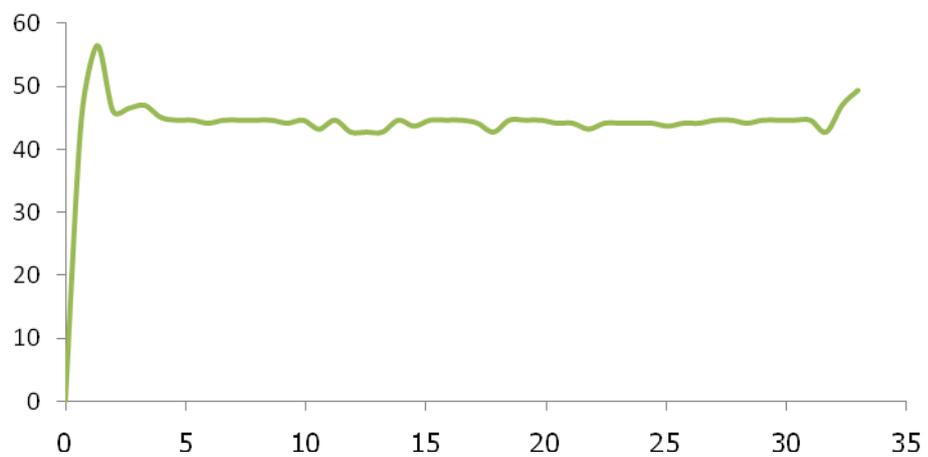
รูปที่ ข.4 กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 4 ของน้ำมันแร่

แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)



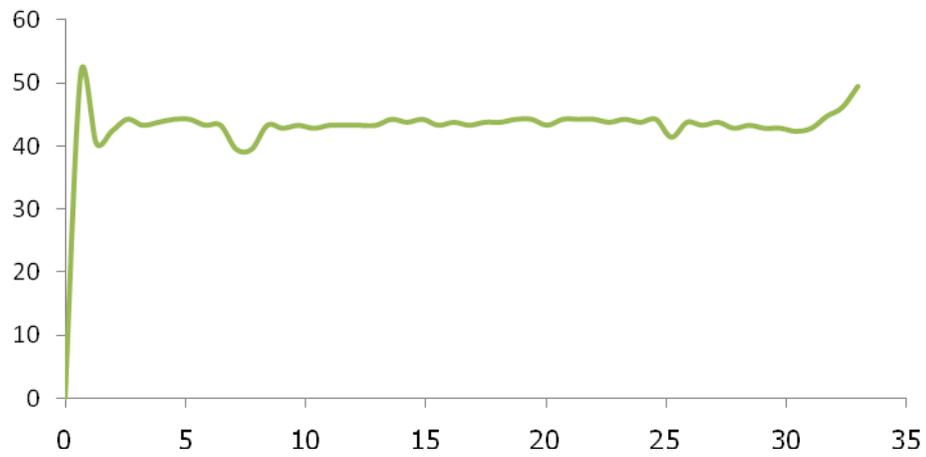
รูปที่ ข.5 กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 5 ของน้ำมันแร่

แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)



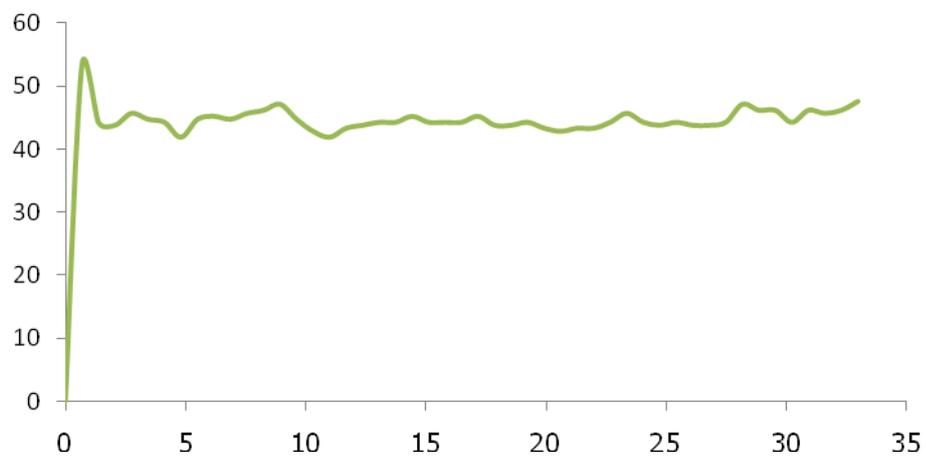
รูปที่ ข.6 กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 1 ของน้ำมันถั่วเหลือง

แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)



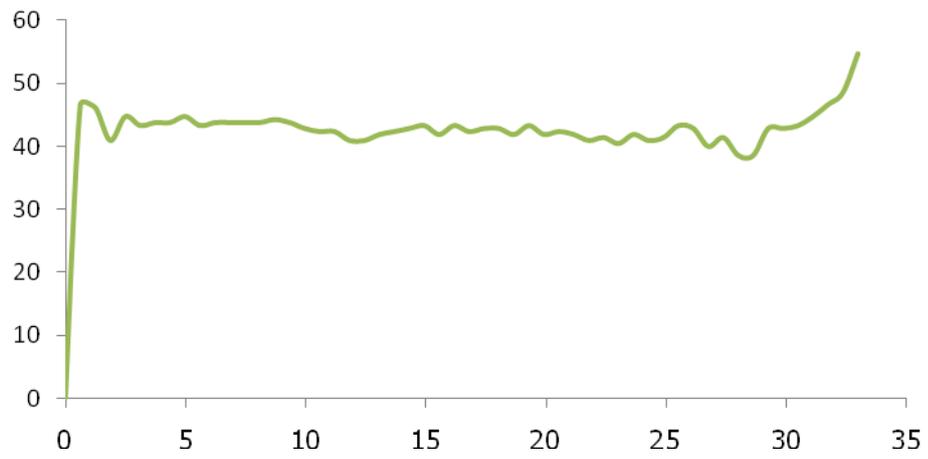
รูปที่ ข.7 กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 2 ของน้ำมันถั่วเหลือง

แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)



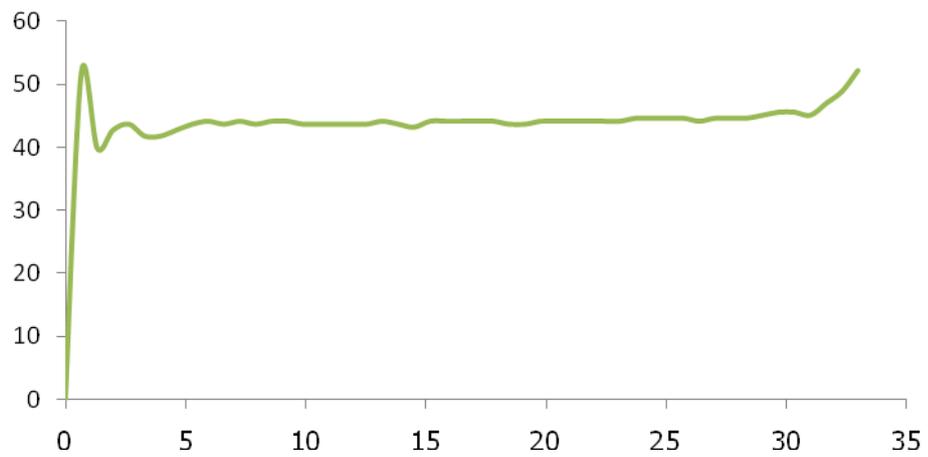
รูปที่ ข.8 กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 3 ของน้ำมันถั่วเหลือง

แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)



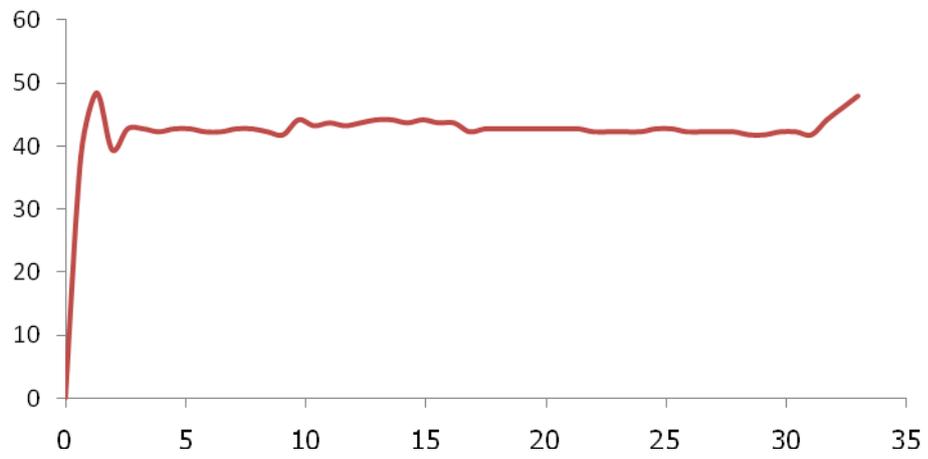
รูปที่ ข.9 กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 4 ของน้ำมันถั่วเหลือง

แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)



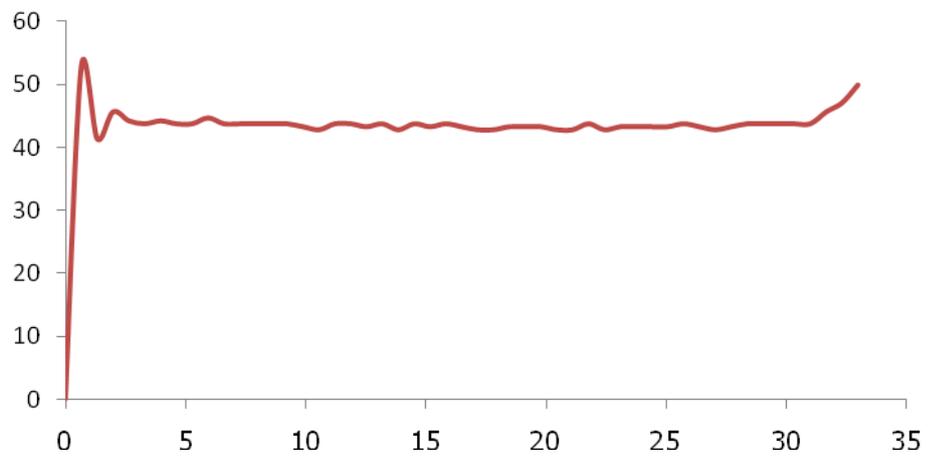
รูปที่ ข.10 กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 5 ของน้ำมันถั่วเหลือง

แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)



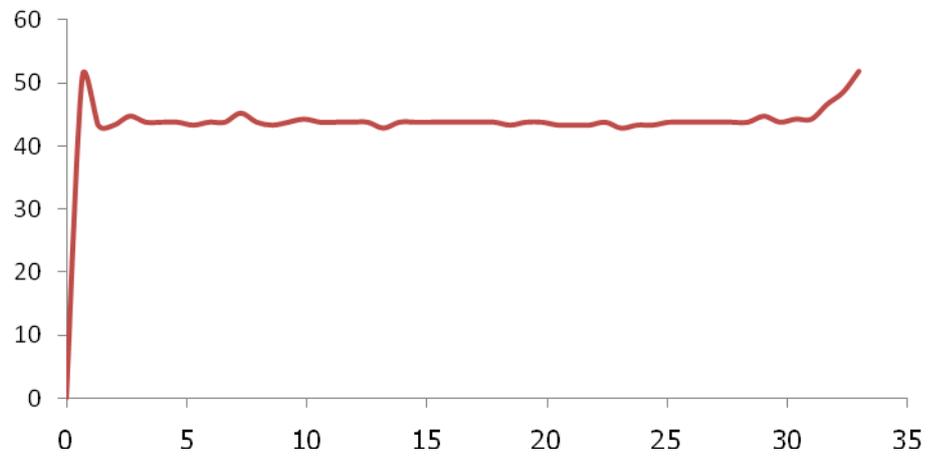
รูปที่ ข.11 กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 1 ของน้ำมันมะพร้าว

แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)



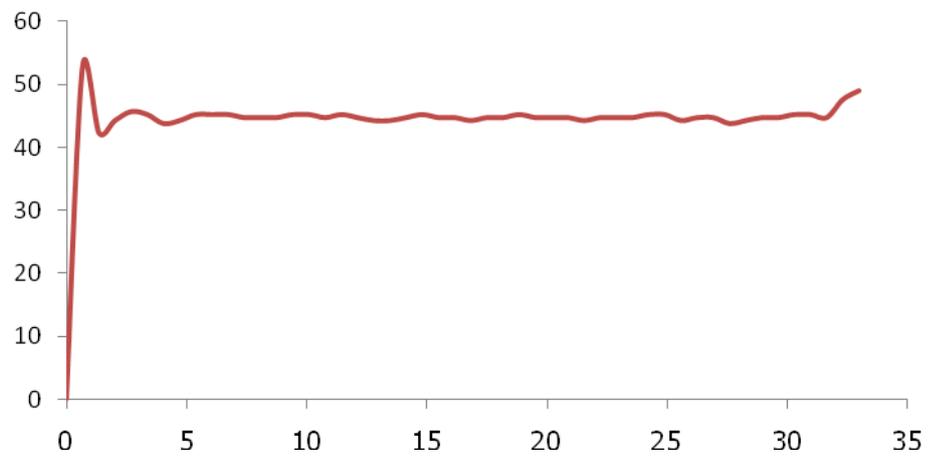
รูปที่ ข.12 กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 2 ของน้ำมันมะพร้าว

แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)



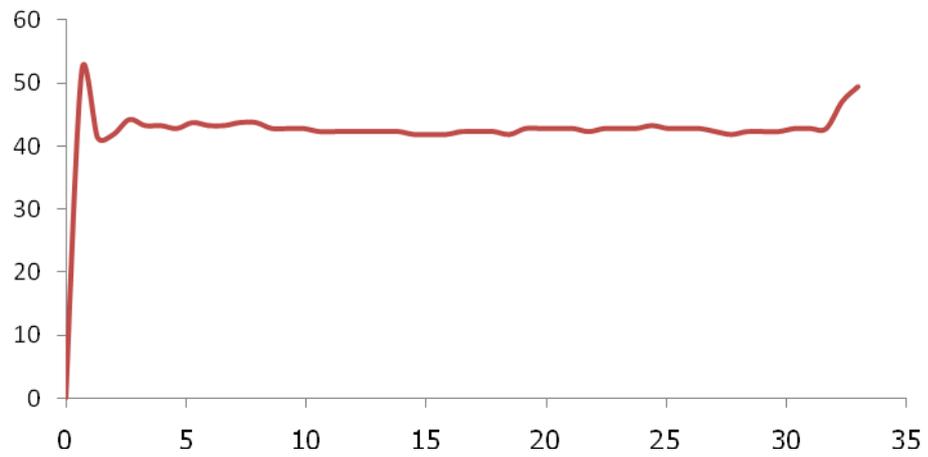
รูปที่ ข.13 กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 3 ของน้ำมันมะพร้าว

แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)



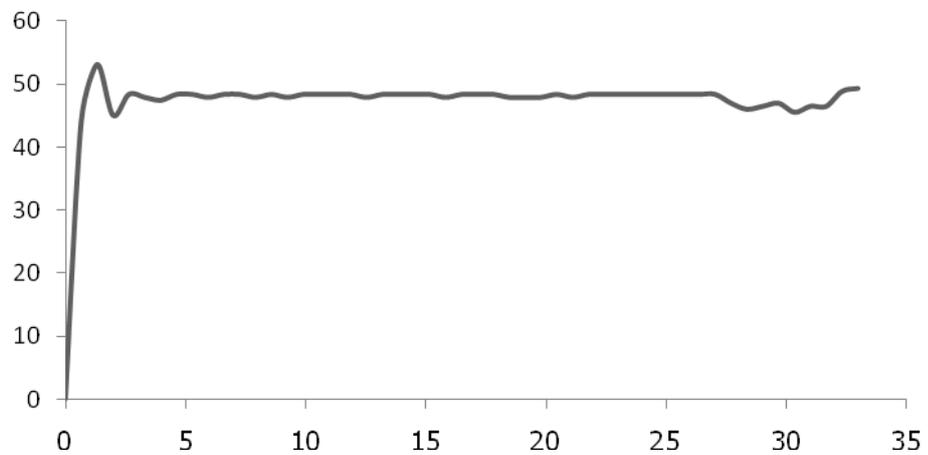
รูปที่ ข.14 กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 4 ของน้ำมันมะพร้าว

แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)



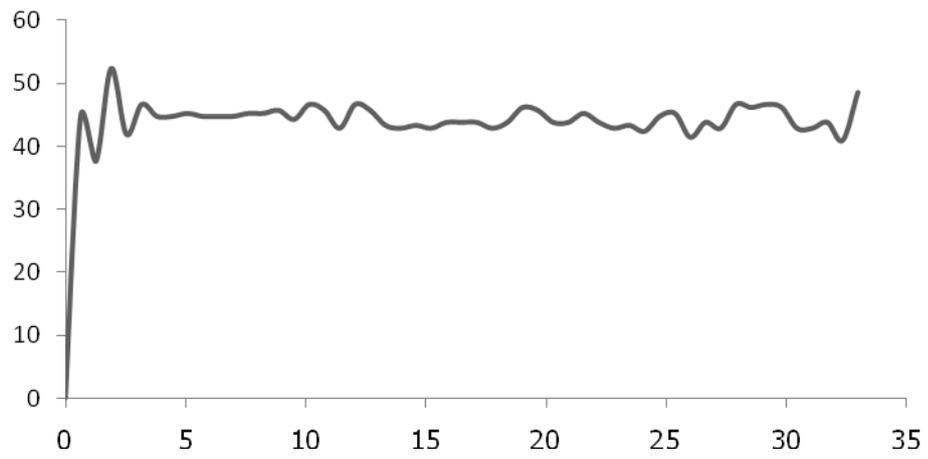
รูปที่ ข.15 กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 5 ของน้ำมันมะพร้าว

แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)



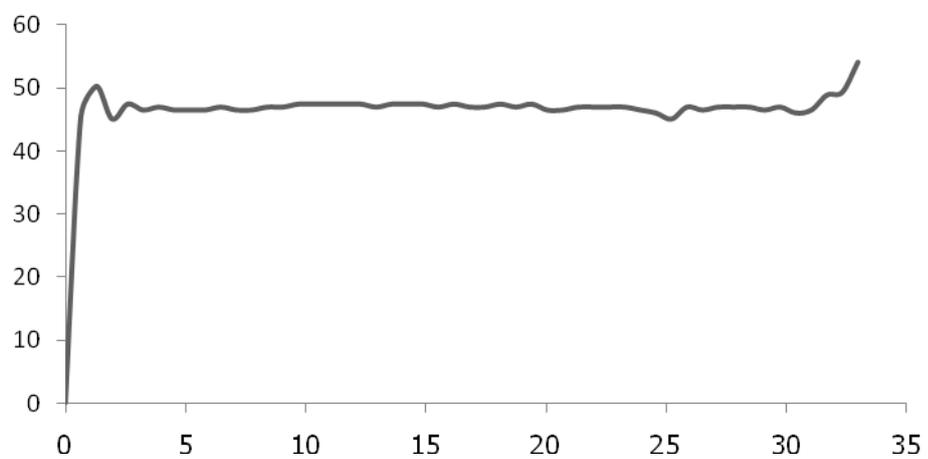
รูปที่ ข.16 กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 1 ของไม้ใช้สารหล่อลื่น

แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)



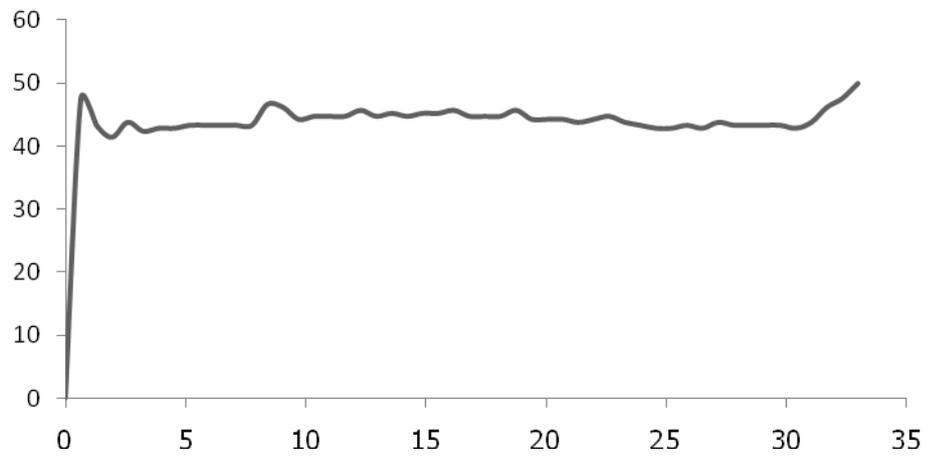
รูปที่ ข.17 กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 2 ของไม้ใช้สารหล่อลื่น

แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)



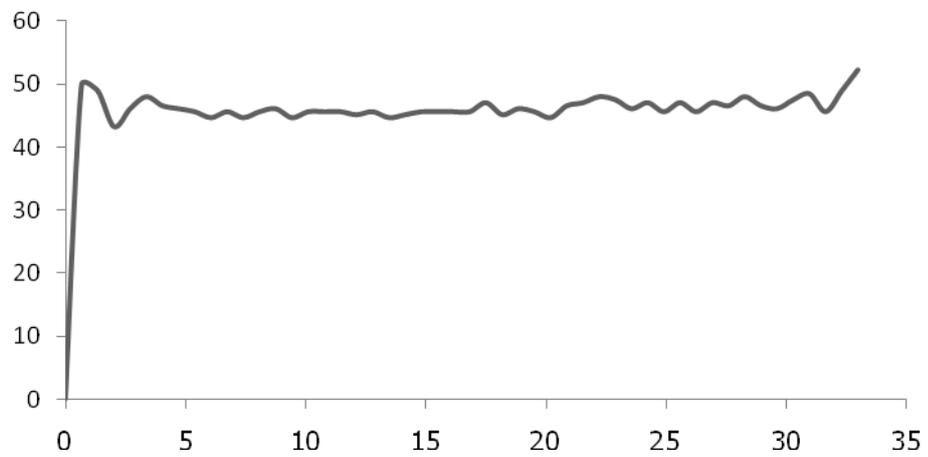
รูปที่ ข.18 กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 3 ของไม้ใช้สารหล่อลื่น

แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)



รูปที่ ข.19 กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 4 ของไม้ใช้สารหล่อลื่น

แรงในการอัดขึ้นรูป (kN)



รูปที่ ข.20 กราฟแรงในการอัดขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ชั้นที่ 5 ของไม้ใช้สารหล่อลื่น

ภาคผนวก ค

ค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ ค.1 แสดงค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลอง ของน้ำมันแร่

ชั้นงานที่	ค่าความหยาบผิวของชั้นงาน (Ra : μm)											
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8	จุดที่ 9	จุดที่ 10	จุดที่ 11	จุดที่ 12
1	0.63	1.03	0.27	0.37	0.18	0.54	0.91	0.46	0.16	1.06	0.46	0.52
2	0.36	0.97	2.07	0.30	0.71	0.85	1.98	0.43	0.31	0.36	0.56	0.23
3	0.39	0.34	0.24	0.84	0.38	0.30	0.25	0.84	0.54	0.83	0.98	0.94

ตารางที่ ค.2 แสดงค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลอง ของน้ำแก้วเหลือง

ชั้นงานที่	ค่าความหยาบผิวของชั้นงาน (Ra : μm)											
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8	จุดที่ 9	จุดที่ 10	จุดที่ 11	จุดที่ 12
1	0.07	0.24	0.10	0.09	0.11	0.18	0.23	0.35	0.33	0.51	0.50	0.34
2	0.15	0.11	0.60	0.17	0.28	0.21	0.27	0.41	0.40	0.29	0.25	0.14
3	0.11	0.62	0.89	0.15	0.65	0.65	0.35	0.48	0.13	0.22	0.45	0.25

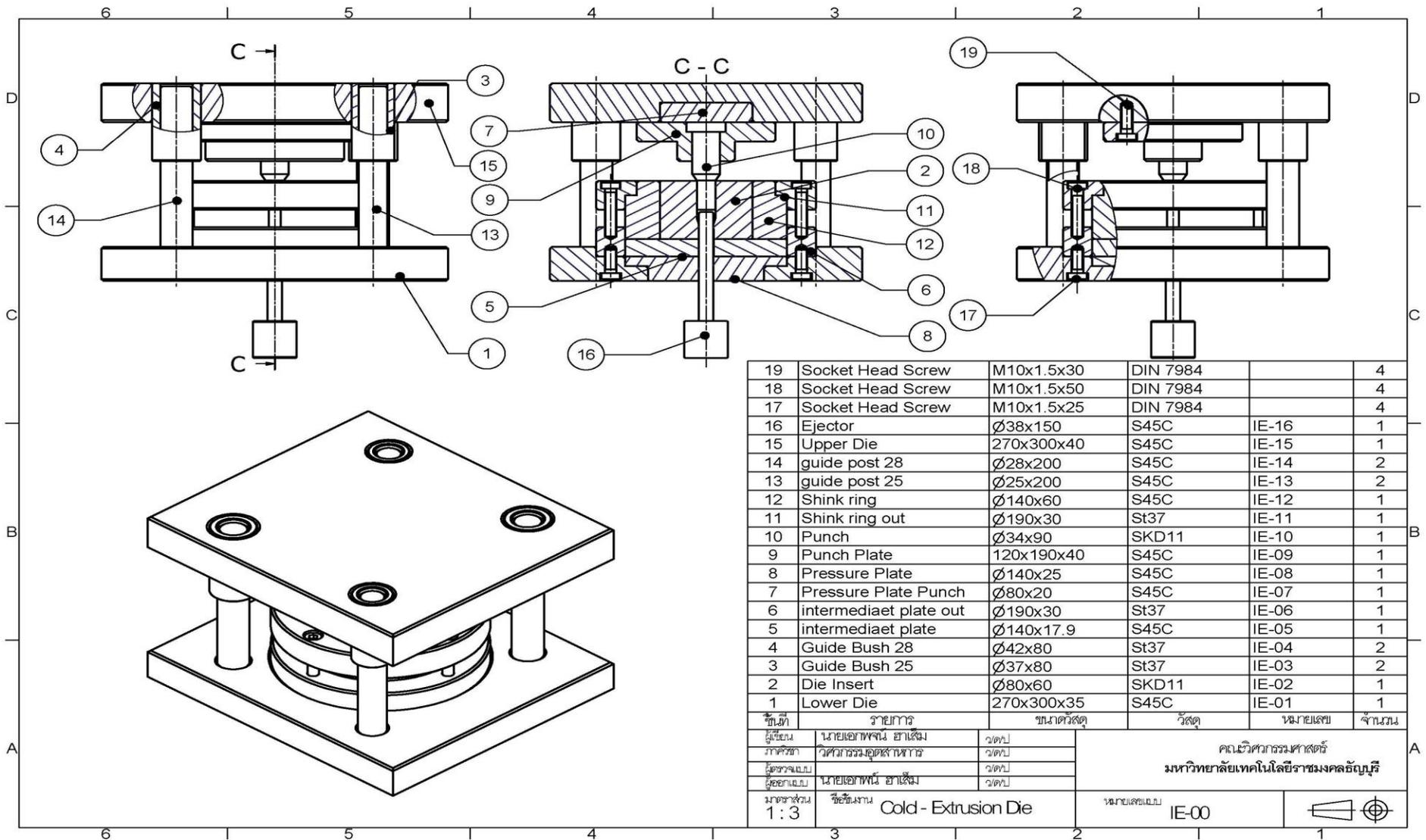
ตารางที่ ก.3 แสดงค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลอง ของน้ำมะพร้าว

ชั้นงานที่	ค่าความหยาบผิวของชั้นงาน (Ra : μm)											
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8	จุดที่ 9	จุดที่ 10	จุดที่ 11	จุดที่ 12
1	0.41	0.44	0.98	0.33	1.28	0.67	0.49	0.47	1.04	0.17	0.43	0.62
2	0.40	0.20	0.28	0.24	0.23	0.43	0.37	0.21	0.31	0.37	0.40	0.52
3	0.29	0.67	1.16	0.58	0.42	0.19	1.13	0.34	1.21	0.38	0.90	0.60

ตารางที่ ก.4 แสดงค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลอง ไม่ใช่สารหล่อลื่น

ชั้นงานที่	ค่าความหยาบผิวของชั้นงาน (Ra : μm)											
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8	จุดที่ 9	จุดที่ 10	จุดที่ 11	จุดที่ 12
1	1.22	0.74	1.01	0.81	1.65	0.63	0.86	0.53	0.44	0.23	0.59	1.29
2	1.13	0.14	0.47	1.15	0.30	0.12	0.50	0.37	0.32	0.55	0.65	0.89
3	0.78	1.14	0.89	1.52	0.38	0.12	0.81	0.23	0.28	0.27	0.40	0.18

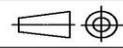
ภาคผนวก ง
รายละเอียดแบบแม่พิมพ์



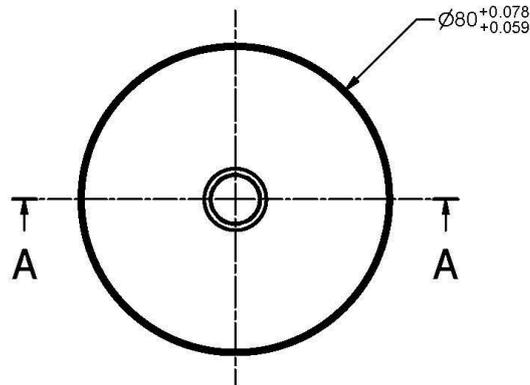
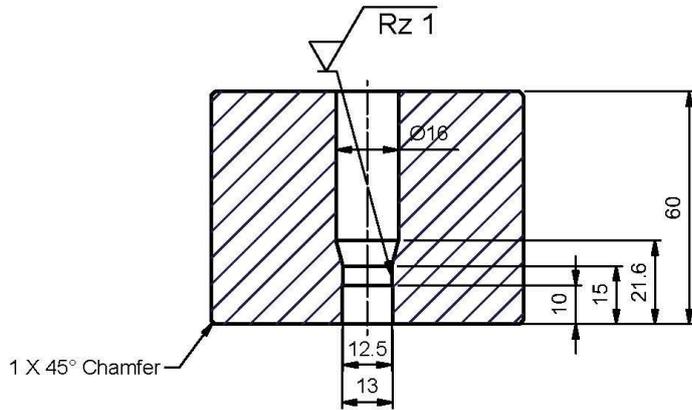
19	Socket Head Screw	M10x1.5x30	DIN 7984		4
18	Socket Head Screw	M10x1.5x50	DIN 7984		4
17	Socket Head Screw	M10x1.5x25	DIN 7984		4
16	Ejector	∅38x150	S45C	IE-16	1
15	Upper Die	270x300x40	S45C	IE-15	1
14	guide post 28	∅28x200	S45C	IE-14	2
13	guide post 25	∅25x200	S45C	IE-13	2
12	Shink ring	∅140x60	S45C	IE-12	1
11	Shink ring out	∅190x30	St37	IE-11	1
10	Punch	∅34x90	SKD11	IE-10	1
9	Punch Plate	120x190x40	S45C	IE-09	1
8	Pressure Plate	∅140x25	S45C	IE-08	1
7	Pressure Plate Punch	∅80x20	S45C	IE-07	1
6	intermediaet plate out	∅190x30	St37	IE-06	1
5	intermediaet plate	∅140x17.9	S45C	IE-05	1
4	Guide Bush 28	∅42x80	St37	IE-04	2
3	Guide Bush 25	∅37x80	St37	IE-03	2
2	Die Insert	∅80x60	SKD11	IE-02	1
1	Lower Die	270x300x35	S45C	IE-01	1

ชื่อวิชา	วิทยาการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลข	จำนวน
ผู้เขียน	นายเอกพันธ์ ฮาเดิม	ว/ด/ป			
ภาควิชา	วิศวกรรมโลหการ	ว/ด/ป			
ผู้ตรวจแบบ		ว/ด/ป			
ผู้สอนแบบ	นายเอกพันธ์ ฮาเดิม	ว/ด/ป			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หน่วยเลขแบบ			
1:3	Cold - Extrusion Die	IE-00			

คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

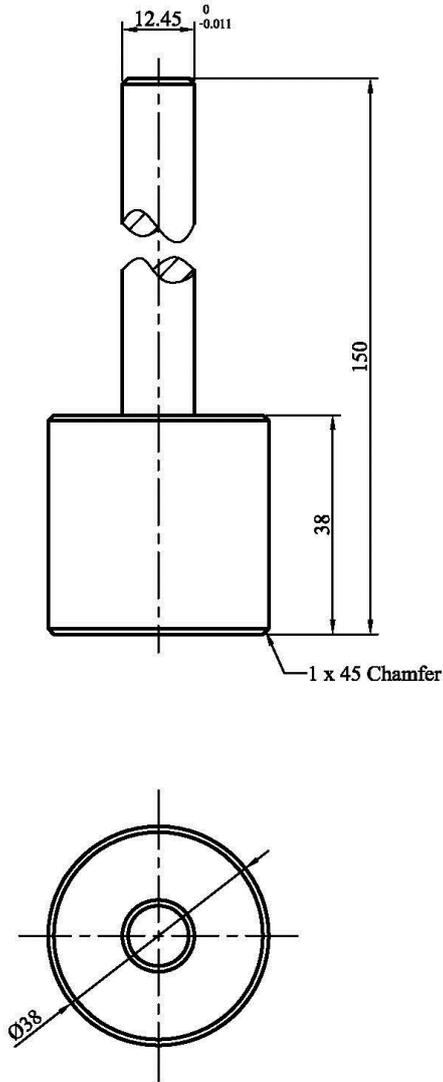


Rz 25

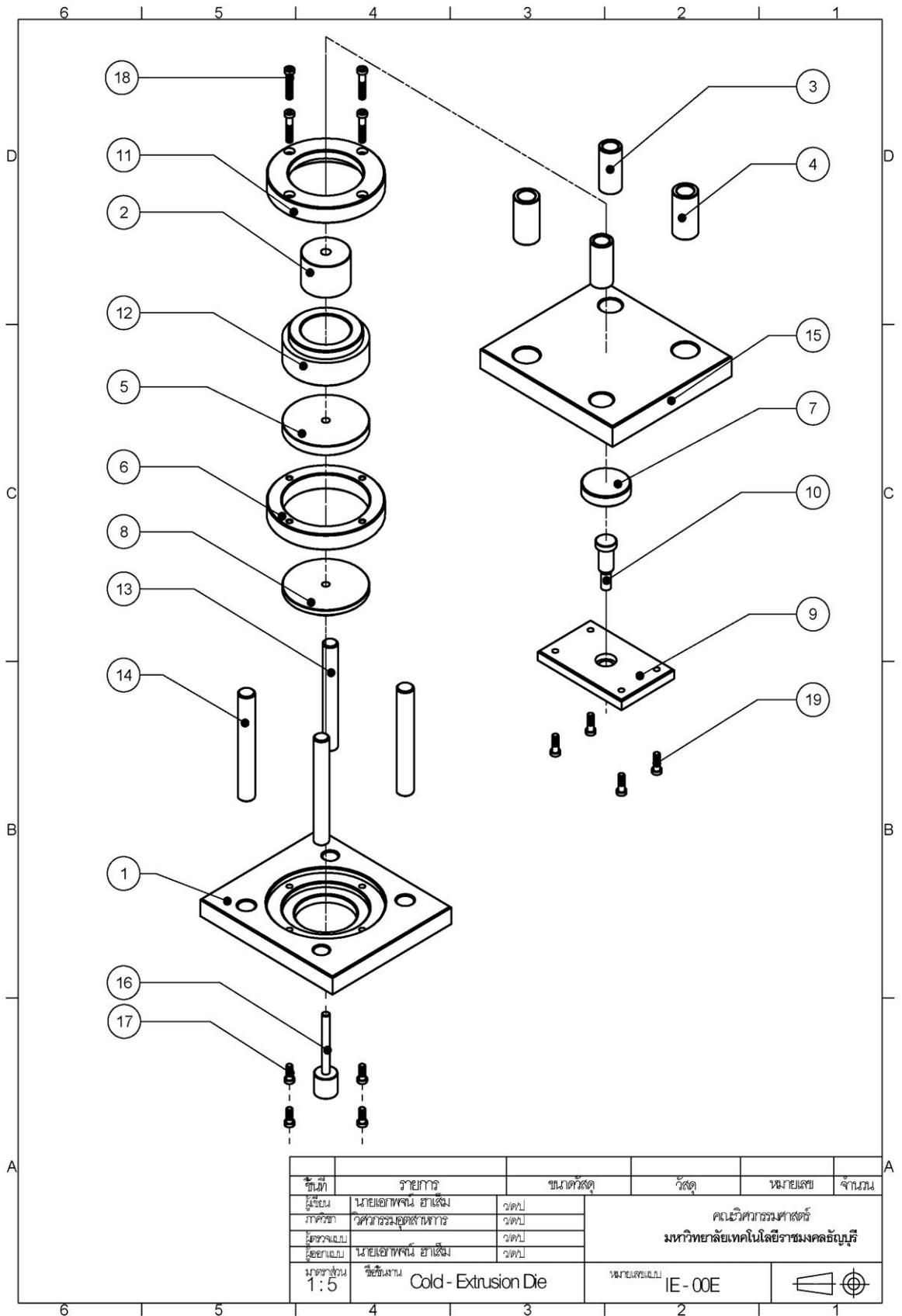


2	Die Insert	Ø80x60	SKD11	IE-02	1
ชื่อสินค้า	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลข	จำนวน
ผู้เขียน	นายเอกพันธ์ ฮาแจ้ง	ว/ด/ป	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ว/ด/ป			
ผู้ตรวจแบบ		ว/ด/ป			
ผู้ออกแบบ	นายเอกพันธ์ ฮาแจ้ง	ว/ด/ป			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1:1.5	Cold Extrusion Die	IE-02			

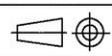
Rz 25



16	Ejector	Ø38 x 150	S45C	IE - 16	1
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	เอกพจน์ ฮาเส็ม		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม				
ผู้ออกแบบ	เอกพจน์ ฮาเส็ม				
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1 : 1	Cold - Extrusion Die	IE - 16			

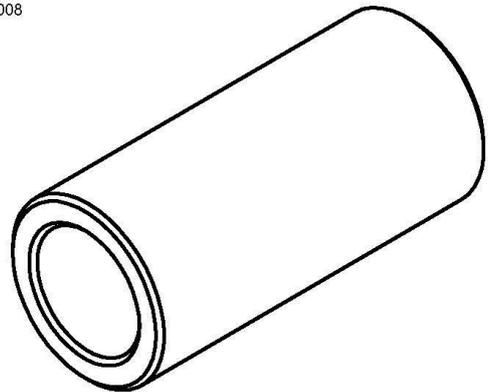
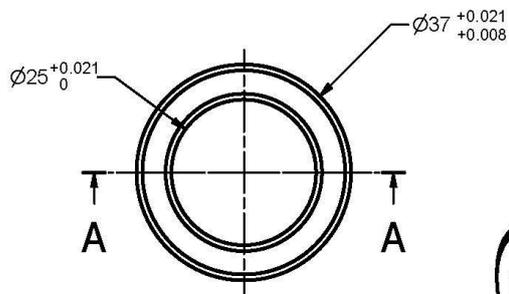
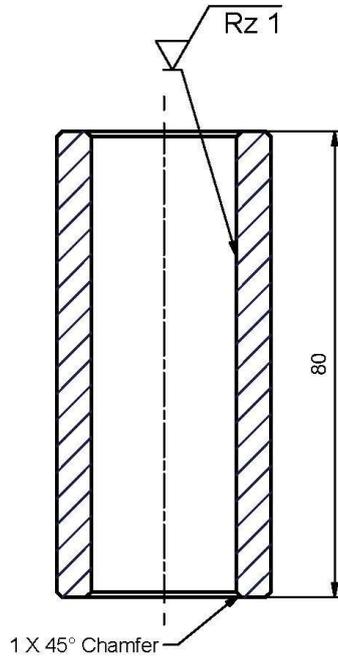


ชื่อผู้จัดทำ	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลข	จำนวน
ผู้เขียน	นายเอกพงษ์ ฮาเซ็ม	วตป			
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	วตป			
ผู้ตรวจแบบ		วตป			
ผู้ออกแบบ	นายเอกพงษ์ ฮาเซ็ม	วตป			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	Cold-Extrusion Die		หมายเลขแบบ	IE-00E
1:5					

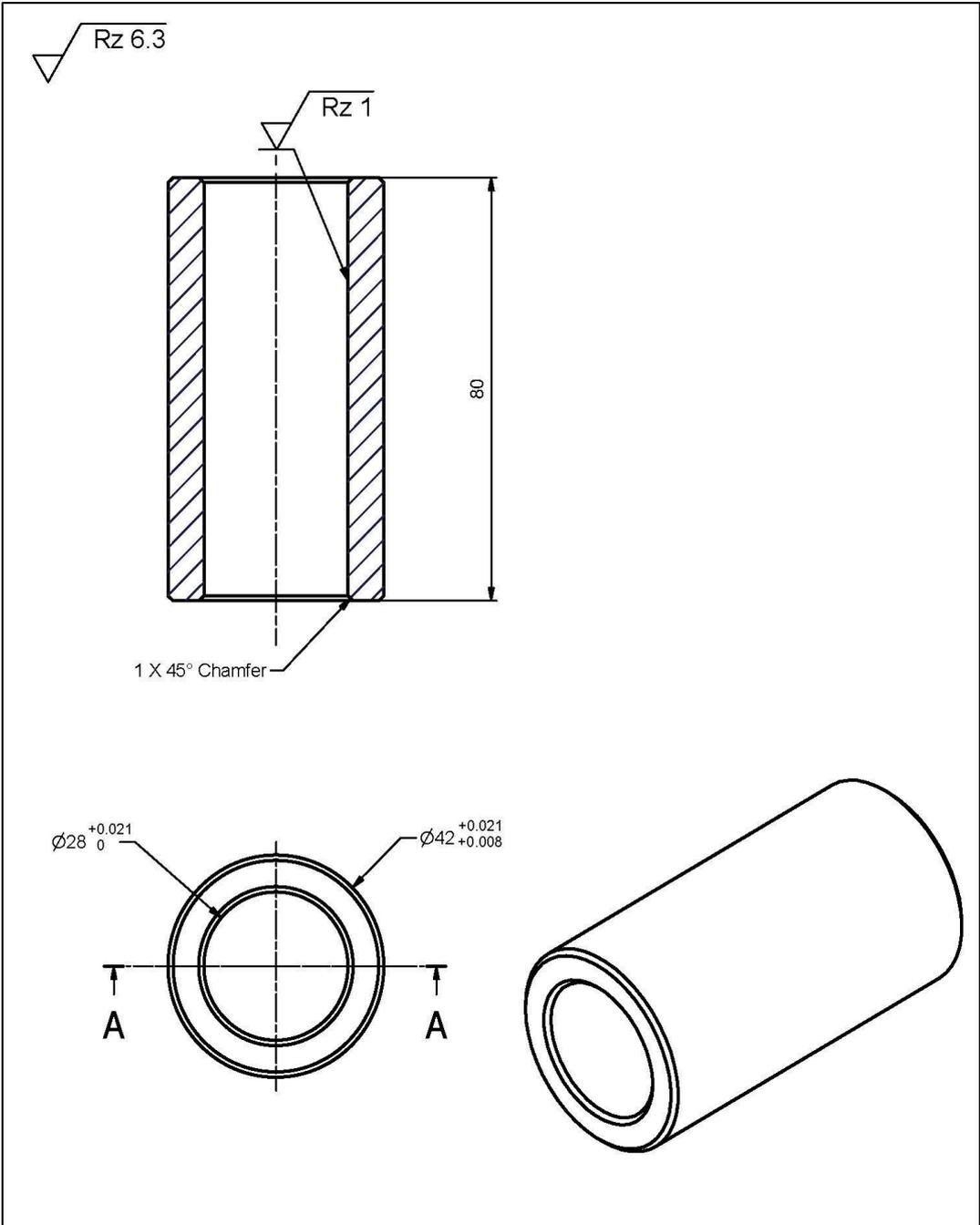


คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Rz 6.3

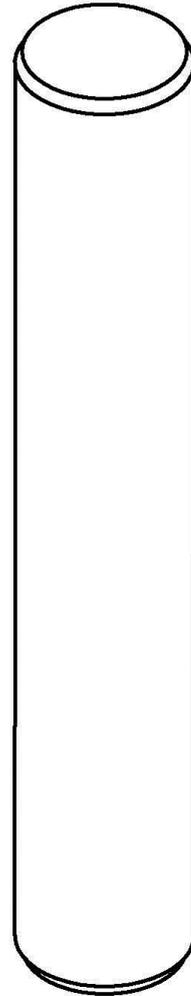
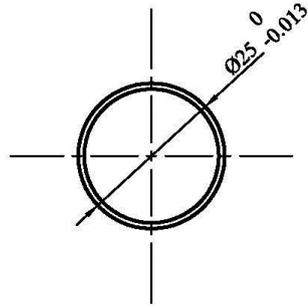


3	Guide Bush 25	$\varnothing 37 \times 80$	St37	IE-03	2
ชื่อ	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลข	จำนวน
ผู้เขียน	นายเอกพงษ์ ฮาเต็ม	ว/ด/ป	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ว/ด/ป			
ผู้ตรวจแบบ		ว/ด/ป			
ผู้ออกแบบ	นายเอกพงษ์ ฮาเต็ม	ว/ด/ป			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเหตุแบบ			
1:1	Cold Extrusion Die	IE-03			

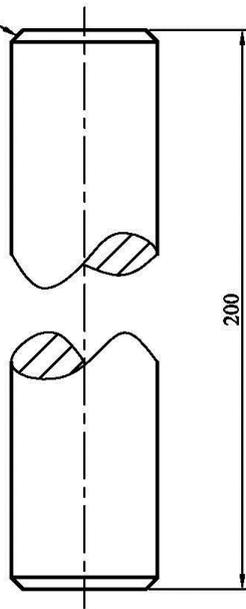


4	Guide Bush 28	Ø42x80	St37	IE-04	2
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลข	จำนวน
ผู้เขียน	นายเอกพันธ์ ฮ้าเซ็ม	ว/ด/ป	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ว/ด/ป			
ผู้ตรวจแบบ		ว/ด/ป			
ผู้ออกแบบ	นายเอกพันธ์ ฮ้าเซ็ม	ว/ด/ป			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1:1	Cold Extrusion Die	IE-04			

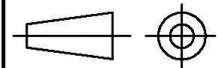
Rz 6.3



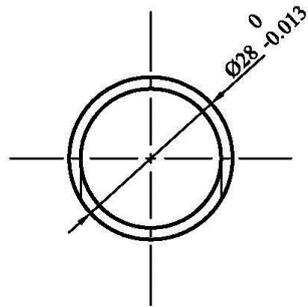
2x45 Chamfer



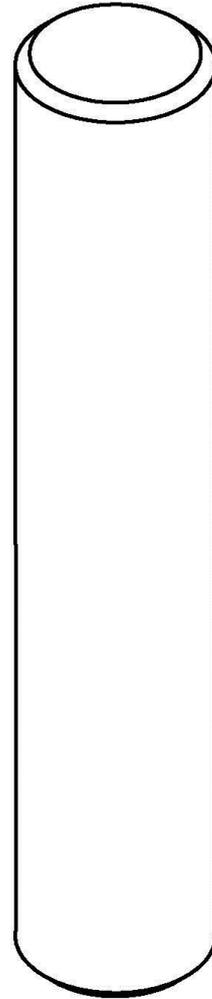
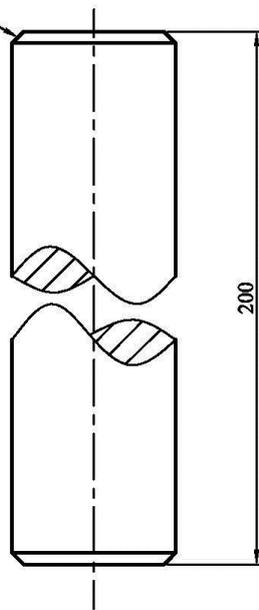
13	Guide Post 25	Ø25 x 200	S45C	IE - 13	2
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ชื่อ - นามสกุล	วิชากร วารุภา		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ				
	วิชากร วารุภา				
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1 : 1	Cold - Extrusion Die	IE - 13			



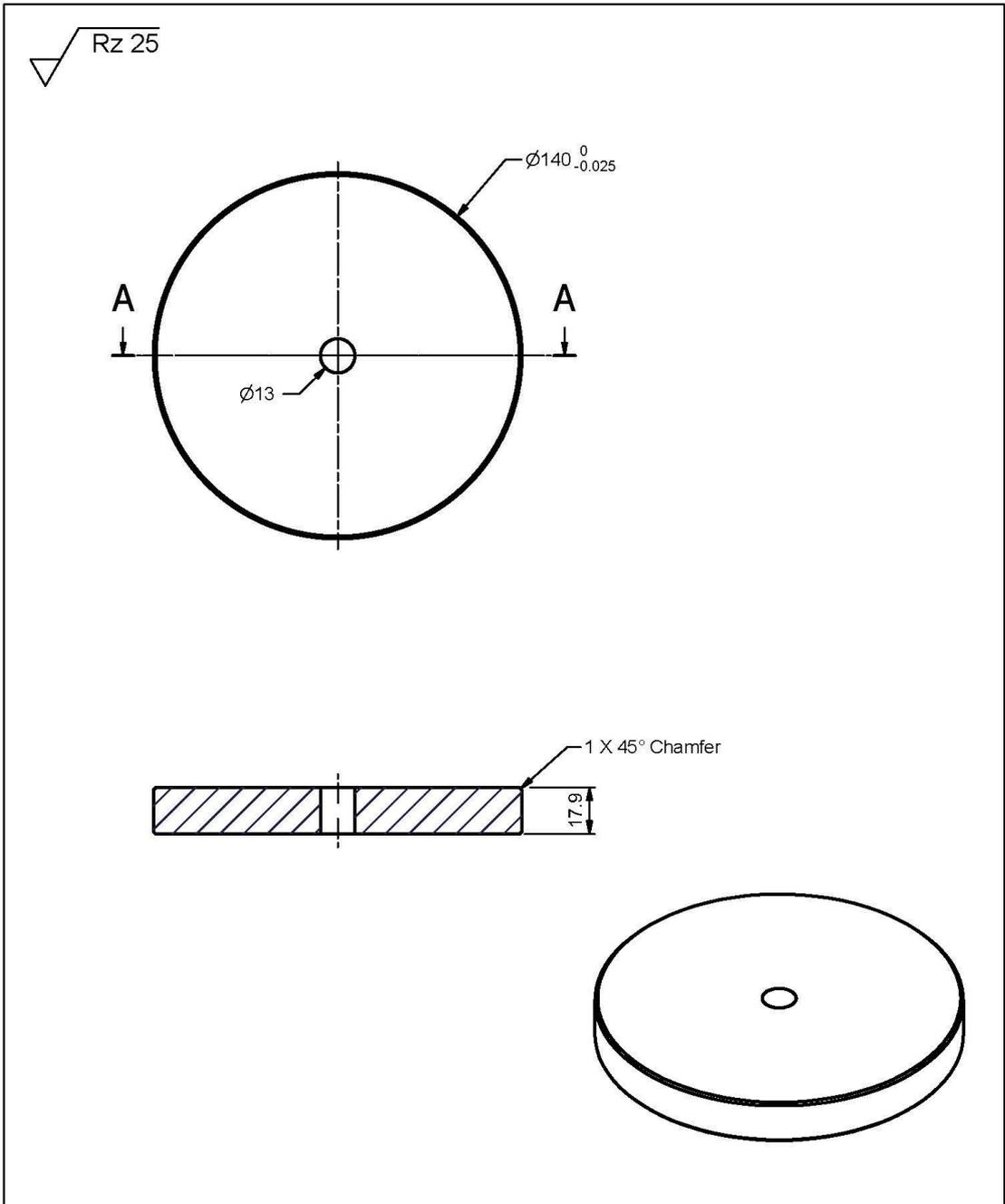
Rz 6.3



2x45 Chamfer

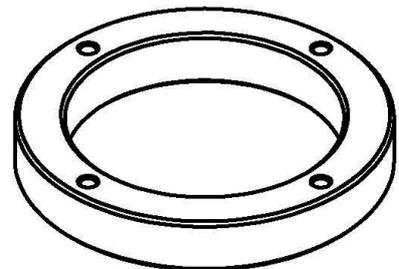
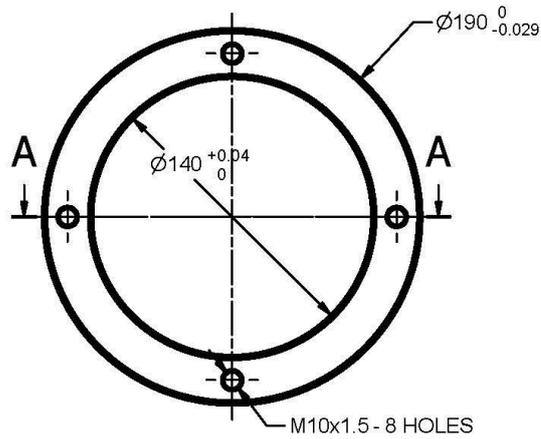


14	Guide Post 28	Ø28 x 200	S45C	IE - 14	2
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ชื่อ - นามสกุล	วิชากร วรูกา		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม				
	วิชากร วรูกา				
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1 : 1	Cold - Extrusion Die	IE - 14			

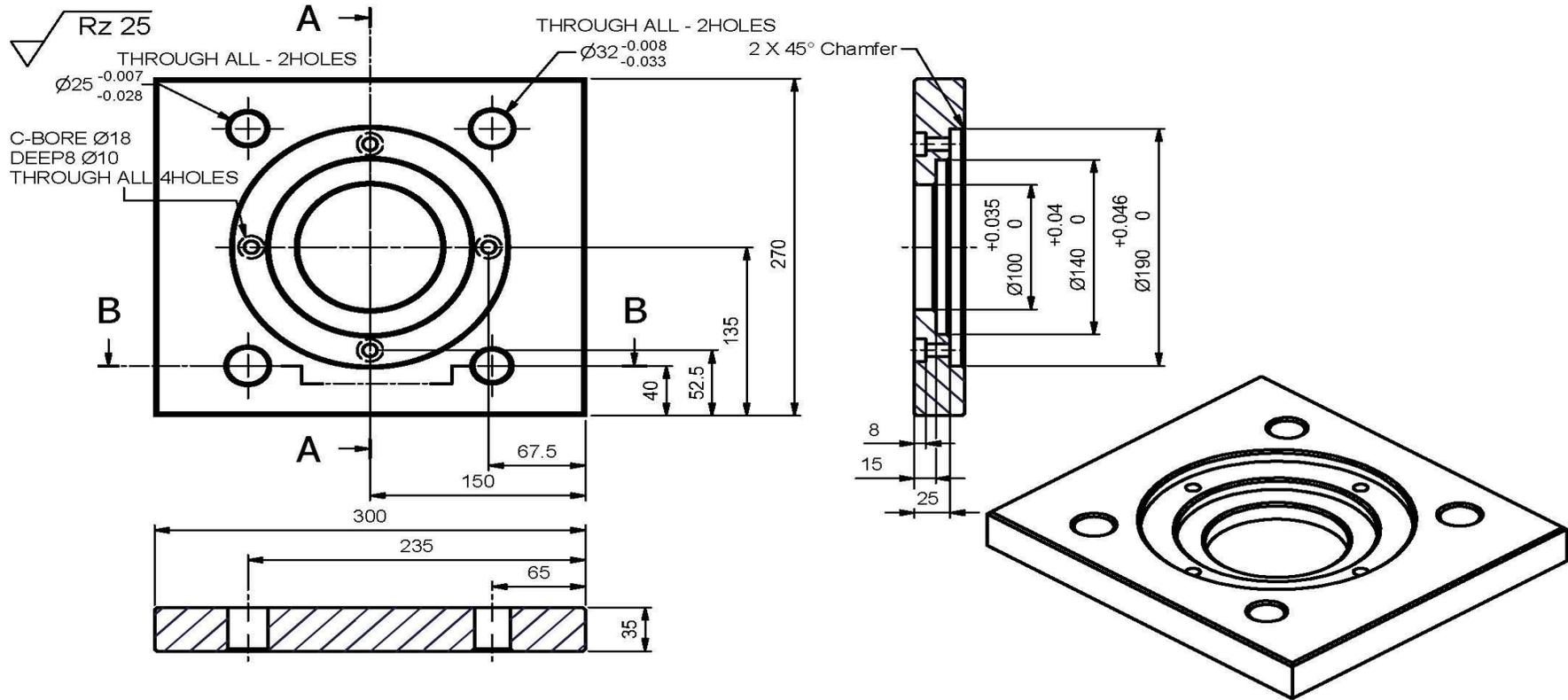


5	Intermediate Plate	$\phi 140 \times 17.9$	S45C	IE-05	1
ชิ้นนี้	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลข	จำนวน
ผู้เขียน	นายวิชากร วารุก	ว/ด/ป	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ว/ด/ป			
ผู้ตรวจแบบ		ว/ด/ป			
ผู้ออกแบบ	นายวิชากร วารุก	ว/ด/ป			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1:2	Cold Extrusion Die	IE-05			

Rz 25

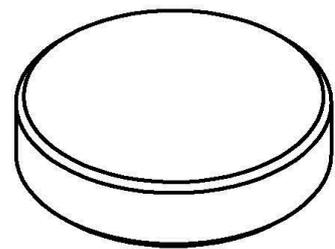
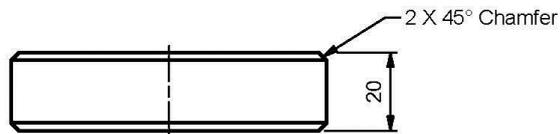
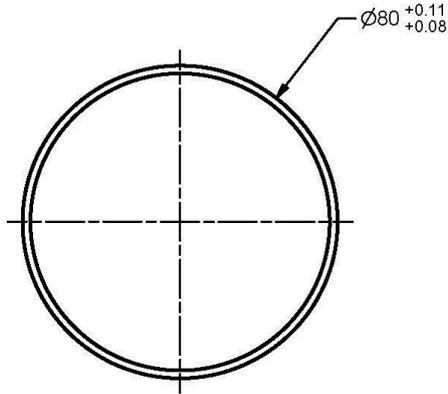


6	Intermediact Plate Out	$\phi 190 \times 30$	S37	IE-06	1
ชื่อสินค้า	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลข	จำนวน
ผู้เขียน	นายวิรัชการ วาสุภา	ว/ด/ป	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ว/ด/ป			
ผู้ตรวจแบบ		ว/ด/ป			
ผู้ออกแบบ	นายวิรัชการ วาสุภา	ว/ด/ป			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1:3	Cold Extrusion Die	IE-06			



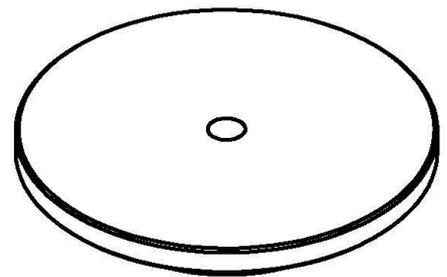
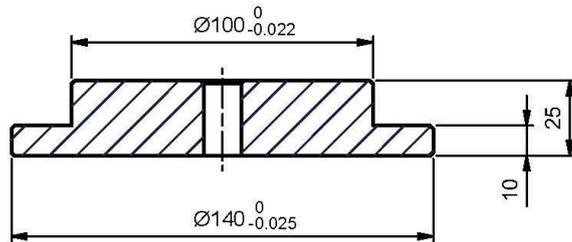
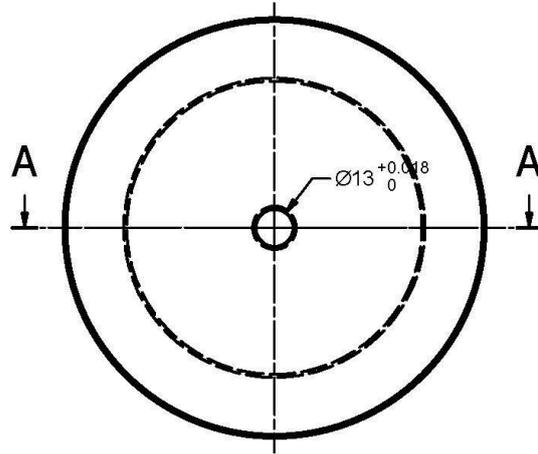
1	Lower Die	270x300x35	S45C	IE-01	1
ชื่อ	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลข	จำนวน
ผู้เขียน	นายวิฑิตกร วารุก	ว/ด/ป	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ว/ด/ป			
ผู้ตรวจแบบ		ว/ด/ป			
ผู้ออกแบบ	นายวิฑิตกร วารุก	ว/ด/ป			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1:4	Cold Extrusion Die	IE-01			

Rz 25



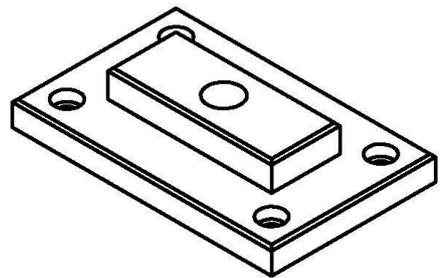
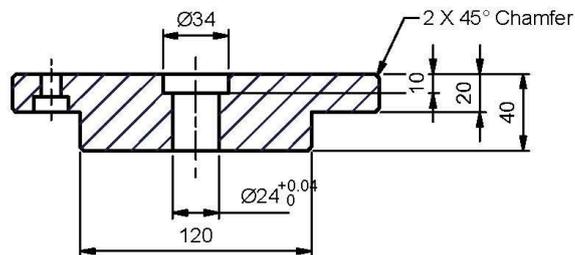
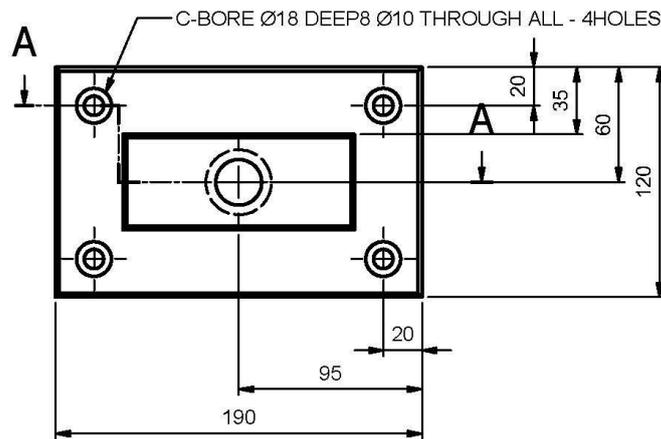
7	Pressure Plate Punch	Ø80x20	S45C	IE-07	1
ชื่อสินค้า	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลข	จำนวน
ผู้เขียน	นายกฤษฏา แจงอรุณ	ว/ด/ป	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ว/ด/ป			
ผู้ตรวจแบบ		ว/ด/ป			
ผู้ออกแบบ	นายกฤษฏา แจงอรุณ	ว/ด/ป			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1:1.5	Cold Extrusion Die	IE-07			

Rz 25



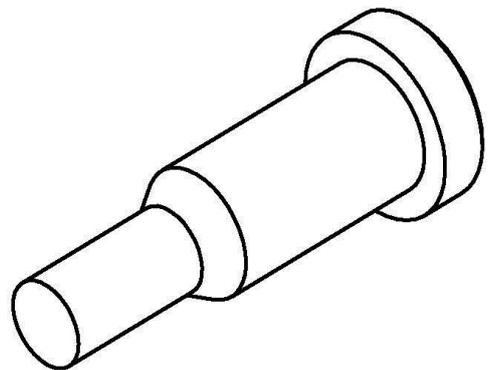
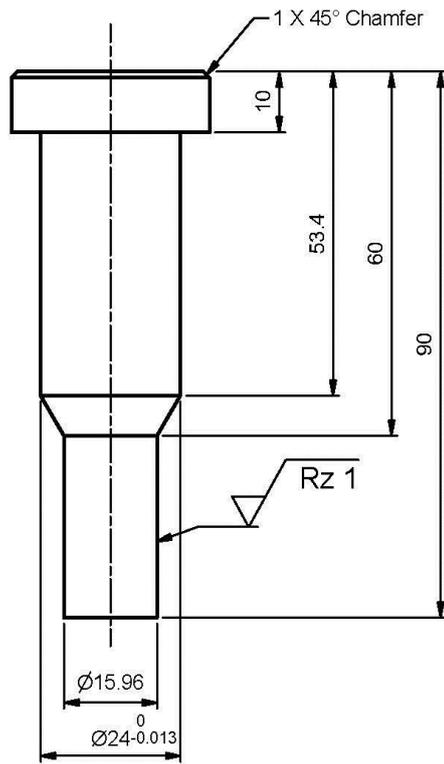
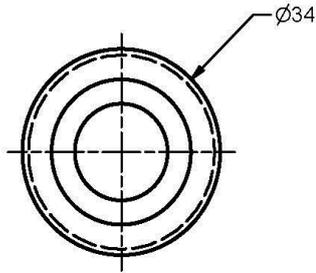
8	Pressure Plate	Ø140x25	S45C	IE-08	1
ชิ้นนี้	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลข	จำนวน
ผู้เขียน	นายวิษณุกร วารุกา	ว/ด/ป	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ว/ด/ป			
ผู้ตรวจแบบ		ว/ด/ป			
ผู้ออกแบบ	นายวิษณุกร วารุกา	ว/ด/ป			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1:2	Cold Extrusion Die	IE-08			

Rz 25



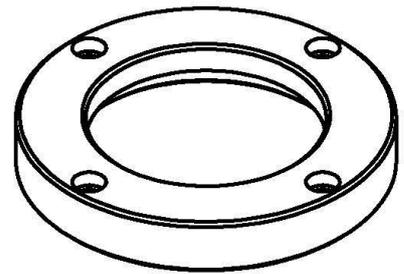
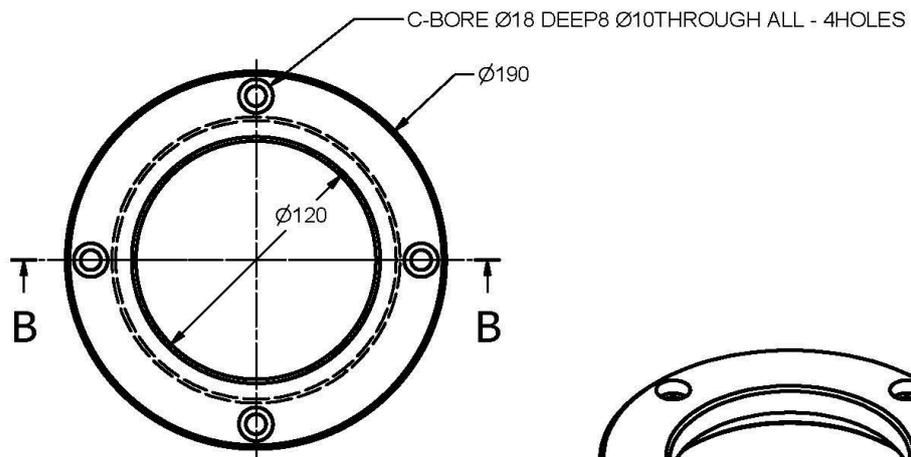
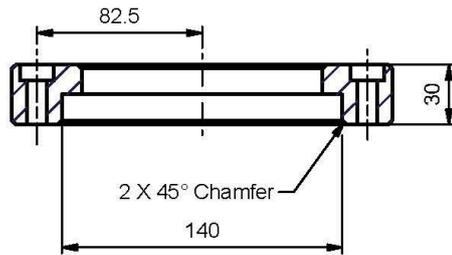
9	Punch Plate	120x140x40	S45C	IE-09	1
ผู้เขียน	นายเกษยา แจ็งอุณ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลข	จำนวน
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี			
ผู้ตรวจแบบ	ว/ตป				
ผู้ออกแบบ	นายเกษยา แจ็งอุณ				
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1:3	Cold Extrusion Die	IE-09			

Rz 25

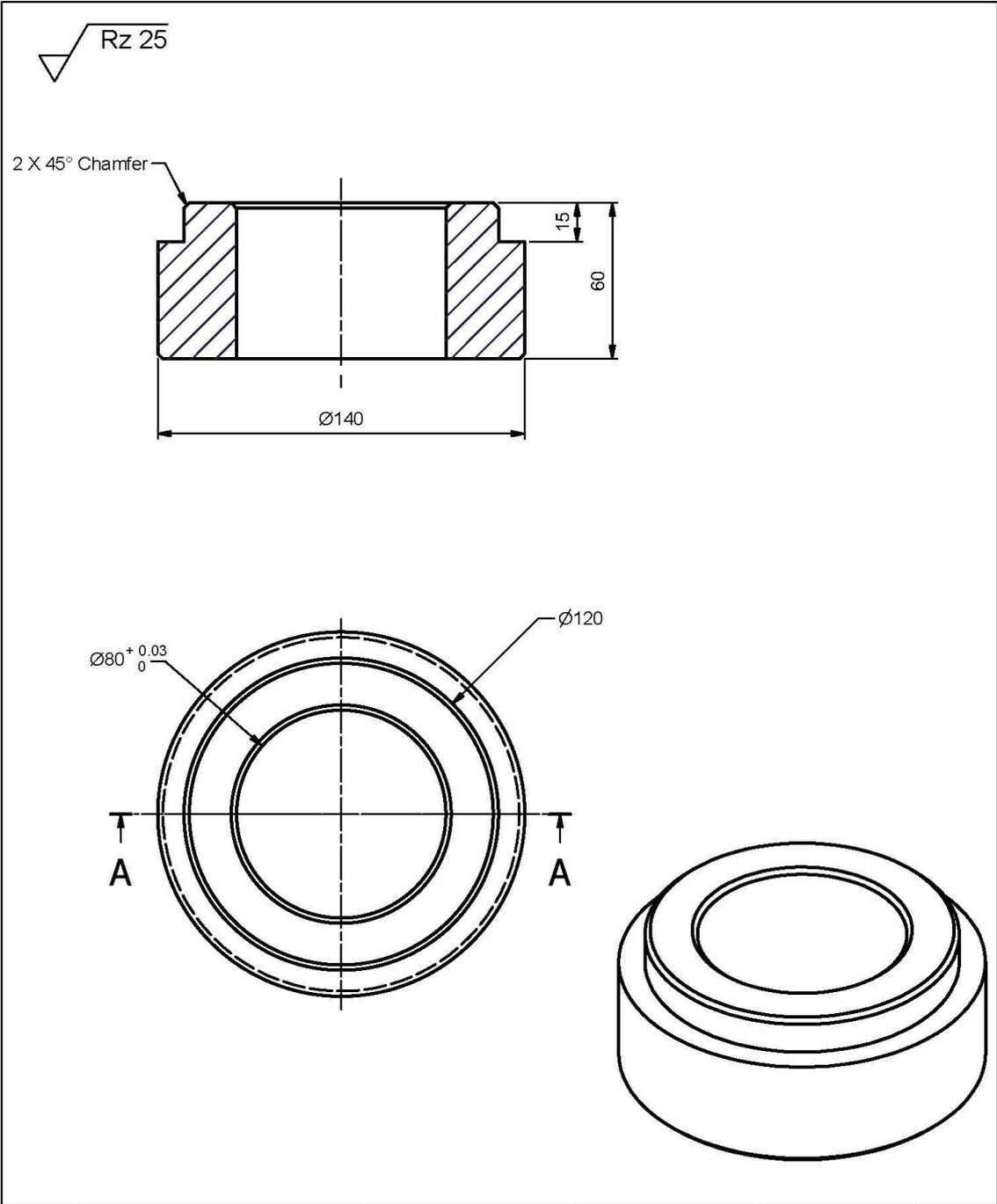


10	Punch	Ø34x90	SKD11	IE-10	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลข	จำนวน
ผู้เขียน	นายภาณุภา แจงอรุณ	จัดทำ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	จัดทำ			
ผู้ตรวจแบบ		จัดทำ			
ผู้ออกแบบ	นายภาณุภา แจงอรุณ	จัดทำ			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1:1	Cold Extrusion Die	IE-10			

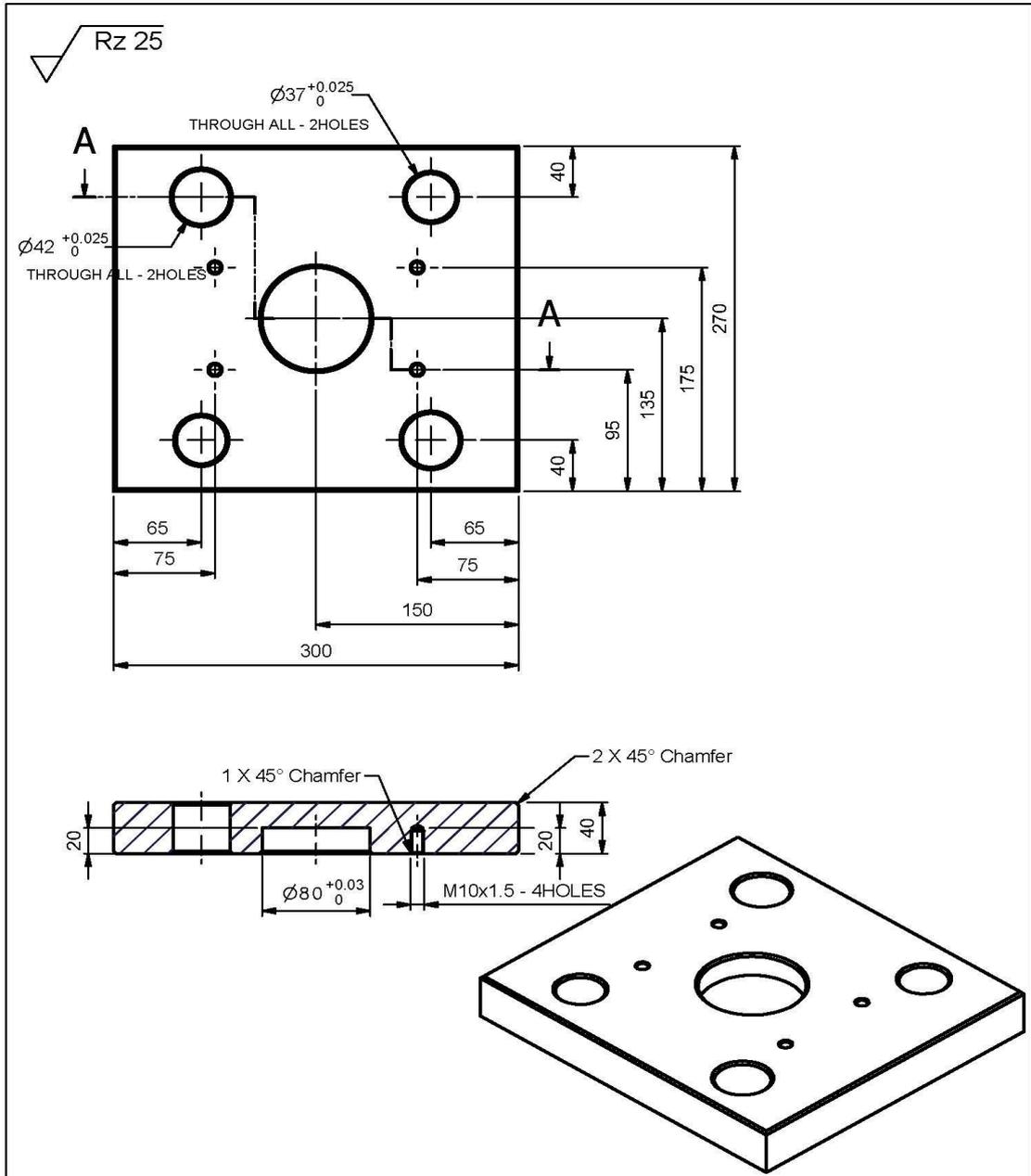
Rz 25



11	Shink ring out	Ø190x30	S37	IE-11	1
ชื่อสินค้า	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลข	จำนวน
ผู้เขียน	นายเกษม ใจจรูญ	ว/ด/ป	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม	ว/ด/ป			
ผู้ตรวจแบบ		ว/ด/ป			
ผู้ออกแบบ	นายเกษม ใจจรูญ	ว/ด/ป			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1:3	Cold Extrusion Die	IE-11			



12	Shink ring		Ø140x60	S45C	IE-12	1
ชื่อ	ฉายภาพ		ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลข	จำนวน
ผู้เขียน	นายทฤษฎา แจ็งอรุณ	ว/ด/ป	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี			
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ว/ด/ป				
ผู้ตรวจแบบ		ว/ด/ป				
ผู้ออกแบบ	นายทฤษฎา แจ็งอรุณ	ว/ด/ป				
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ				
1:2	Cold Extrusion Die	IE-12				



15	Upper Die	270x300x40	S45C	IE-15	1
ชื่อ	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลข	จำนวน
ผู้เขียน	นายภาณุพงศ์ แจ่มจรัส	ว/ด/ป	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ว/ด/ป			
ผู้ตรวจแบบ		ว/ด/ป			
ผู้ออกแบบ	นายภาณุพงศ์ แจ่มจรัส	ว/ด/ป			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1:4	Cold Extrusion Die	IE-15			

ภาคผนวก จ
การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ



สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศรีปทุม
 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
 ขอเรียนเชิญเข้าร่วมการสัมมนา

IE Network Conference 2012

การประชุมวิชาการรายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2555
 17 - 19 ตุลาคม 2555 ณ โรงแรมเมธาวลัย ชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

สาขาวิชาในการประชุม

1. Operations Research
2. Production and Operation Management
3. Work Study, Plant Layout, Safety Engineering and Ergonomics
4. Quality Management and Statistical Applications
5. Energy and Environmental Management
6. Materials, Production, and Manufacturing Engineering
7. Logistics and Supply Chain Management
8. Innovation Management and Industrial Technology Transfer
9. Maintenance Management
10. Engineering Economy and Cost Management
11. Others that Related to Industrial Engineering
12. Special Topic: ASEAN Economic Community

กำหนดการสำคัญ

เปิดรับบทคัดย่อ	14 ก.พ. - 30 เม.ย. 55
ประกาศผลพิจารณาบทคัดย่อ	14 พ.ค. 55
วันสุดท้ายของการส่งบทความฉบับสมบูรณ์	30 มิ.ย. 55
ประกาศผลพิจารณาบทความฉบับสมบูรณ์	31 ก.ค. 55
วันสุดท้ายของการส่งบทความฉบับแก้ไข	31 ส.ค. 55
การลงทะเบียนล่วงหน้า	1 ก.ค. - 31 ส.ค. 55
ประชุมวิชาการ	17-19 ต.ค. 55



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
 SRIPATUM
 สอนภาษาอังกฤษเพิ่มเติม
 ผศ.ดร. สุทธิมาศ เกษราพงศ์, ผศ.ราวีล มณีศรี
 สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศรีปทุม
 โทรศัพท์: 0-2579-1111x1315 และ x2177 โทรสาร: 0-2579-1111x2147
 เว็บไซต์: <http://ienetwork2012.spu.ac.th> อีเมล: ienetwork2012@spu.ac.th

อิทธิพลของตัวแปรในการอัดขึ้นรูปเย็นต่อการไหลตัวของโลหะ และ โครงสร้างมหภาค ของอลูมิเนียมผสม

The Influence of Parameters of the Cold Extrusion on Metal Flow and Macrostructure of Aluminium Alloys

มนตรี น่วมจิตร¹ วิสุทธิ์ ยี่ไถ่² สมชาย เอี่ยมเจริญ³ ศิริชัย ต่อสกุล^{4*}

^{1,2,3,4} ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปทุมธานี 12110, E-mail: storsakul@yahoo.com

¹ Montree Nuamchit ² Wisuth Yeetho ³ Somchai Iemcharoen ^{4*} Sirichai Torsakul

^{1,2,3,4} Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology

Thanyaburi, Phatumthani 12110

E-mail: storsakul@yahoo.com

บทคัดย่อ

การอัดขึ้นรูปเย็นอลูมิเนียม ที่สภาวะอุณหภูมิห้องนั้น หรือเรียกว่า Cold - Extrusion จะให้รูปร่างและคุณภาพผิวที่ดีกว่าการดันขึ้นรูปร้อนซึ่งสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้อย่างมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้นำเสนอผลกระทบเนื่องจากการใช้สารหล่อลื่นที่หาได้จากธรรมชาติที่มีราคาถูกกว่าน้ำมันสังเคราะห์ โดยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษากลไกในการอัดขึ้นรูปเย็นอะลูมิเนียม จากผลกระทบของสารหล่อลื่นตามธรรมชาติในการอัดขึ้นรูปเย็น เพื่อสามารถนำสารหล่อลื่นตามธรรมชาติในการอัดขึ้นรูปเย็นไปใช้งานได้อย่างถูกต้องตามลักษณะของงาน ผลการทดลองพบว่าสารหล่อลื่นสามารถลดแรงอัดขึ้นรูป ซึ่งแรงที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปเย็นมีความแตกต่างกับไม่ได้ใช้สารหล่อลื่นประมาณ 0.58 ตัน ดังนั้นสารหล่อลื่นมีอิทธิพลต่อแรงที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปในส่วนของคุณค่าความหยาบผิวพบว่า น้ำมันถั่วเหลืองมีความหยาบผิวน้อยที่สุด ซึ่งมีค่าความแตกต่างจากการที่ไม่ใช้สารหล่อลื่นอยู่ 0.34 μm ดังนั้นสารหล่อลื่นมีอิทธิพลต่อคุณภาพผิวชิ้นงาน และจากการไหลตัวของวัสดุไม่ได้มีความแตกต่างกันมากในบริเวณภายในของเนื้อวัสดุ ซึ่งนั่นแสดงให้เห็นว่าสารหล่อลื่นนั้นไม่ได้มีอิทธิพลต่อการไหลตัวของเนื้อวัสดุ

คำหลัก การอัดขึ้นรูปเย็น สารหล่อลื่น ความหยาบผิว

Abstract

Cold extrusion of aluminum under room temperature provides better shape and surface finish than hot extrusion and may to reduce production cost of the extrusion process. This research presents the effect of different natural lubricants in the cold extrusion process, it cheaper and easily to find than synthetic base oil. The purpose of this study was to examine mechanisms of cold extrusion and to study the using of different natural lubricants. The results shown that lubricants can reduce the

extrusion force, mineral oil was the best minimum for extrusion force as different as non-lubricants were 0.58 ton and lubricants could reduce roughness surface. Soy oil was the best minimum for roughness surface was 0.34 μm and materials flowing was similar between using lubricants and non using lubricants, so lubricant is non effective for materials flowing.

Keywords: Cold extrusion, Lubricant, Surface roughness

1. บทนำ

ในกระบวนการดัดขึ้นรูป พื้นที่หน้าตัดของแท่งโลหะจะถูกกด หรือถูกเปลี่ยนโดยใช้แรงกดให้แท่งโลหะไหลผ่านแม่พิมพ์ที่มีรูปร่างแน่นอน ซึ่งสิ่งสำคัญที่ต้องการจากกระบวนการนี้คือเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมทางกลตามต้องการคุณสมบัติของโลหะที่ปราศจากข้อบกพร่อง และ รูปร่างของผลิตภัณฑ์ตามต้องการ กระบวนการดัดขึ้นรูปสามารถทำได้ที่อุณหภูมิปกติของวัสดุคือ การดัดขึ้นรูปสภาพเย็น (cold extrusion) หรือทำให้วัสดุมีอุณหภูมิสูงขึ้น (hot extrusion) ตามสภาวะที่เหมาะสมในการดัดขึ้นรูป กระบวนการดัดขึ้นรูปในปัจจุบันแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ การดัดขึ้นรูปโดยตรง(direct extrusion) และการดัดขึ้นรูปโดยอ้อม (indirect extrusion) [1] โลหะส่วนใหญ่สามารถทำการดัดขึ้นรูปได้หลายวิธี ตามความเหมาะสม ซึ่งโลหะทั่วไปที่สามารถดัดขึ้นรูปได้ที่อุณหภูมิปกติคือ ตะกั่ว อลูมิเนียม และทองแดง การดัดขึ้นรูปในสภาพเย็นของโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก (cold extrusion of non-ferrous components) สามารถทำได้ง่ายเพราะ ใช้แรงในการขึ้นรูปหรือทำให้โลหะเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อยกว่าโลหะกลุ่มเหล็กตัวแปรหลักๆในกระบวนการดัดขึ้นรูป คือ อัตราส่วนการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดมุมตาย (dies angle) ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของตายกับชิ้นงานและความเร็วในการดัดขึ้นรูป ในส่วนของความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสมีผลกระทบโดยตรงกับแรงที่ใช้ในการดัดขึ้นรูป และความเสียหายที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ เช่น การเกิดรอยร้าวภายในบางครั้ง ในทางทฤษฎีเราสามารถ กำหนดอัตราส่วนการลดขนาด และสภาวะความเสียดทานที่แน่นอนเพื่อที่จะใช้แรงในการดัดขึ้นรูปและความเค้นที่น้อยที่สุดได้ แต่ในทางปฏิบัติแล้ว ไม่สามารถนำกระบวนการดัดขึ้นรูปที่มุมตายนี้ไปใช้ได้ เพราะจะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติอย่างอื่นประกอบกันด้วยเช่น คุณภาพผิว ความเที่ยงตรงของขนาด การบิดเบี้ยวของชิ้นงานภายหลังการดัดขึ้นรูป ซึ่งกรณีนี้ถ้าการบิดเบี้ยวมีมากก็หมายความว่าชิ้นงานจะไม่สามารถใช้งานได้ ส่งผลต่อต้นทุนในกระบวนการผลิตที่เพิ่มขึ้นได้ ค่าความแข็งเป็นเกณฑ์อย่างหนึ่งที่ใช้ในการเลือกวัสดุ เพื่อที่จะได้ชิ้นงานที่ทนต่อการสึกหรอและเครื่องมือที่มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน [2] Onawola, O.O. and Adeyemi, M.B. [3] ได้ศึกษาการอัดขึ้นรูปอลูมิเนียม โดยให้ความสนใจตัวแปรด้านอุณหภูมิ และอัตราการขึ้นรูปต่ำ หรือเรียกว่า Low strain rate ในงานอัดขึ้นรูปอ่อน ซึ่งได้ให้อุณหภูมิช่วง 30-250 องศาเซลเซียส Caminaga, C. and et al. [4] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาสารหล่อลื่นมาใช้ในงานอัดขึ้นรูปเย็นของแท่งเหล็ก โดยศึกษาเปรียบเทียบผลลัพธ์จากแรงในการขึ้นรูป และคุณภาพของชิ้นงาน Chen, D. C. and et al. [5] ทำการวิเคราะห์การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์แบบสามมิติของกระบวนการขึ้นรูปแท่งอลูมิเนียม โดยการใช้โปรแกรม DEFORMTM 3D Ishikawa, T. and et al. [6] ทำการศึกษารูปร่างของอลูมิเนียมผสมบริเวณผิว และโครงสร้าง ในการอัดขึ้นรูป โดยทำการทดลองเปรียบเทียบกับการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

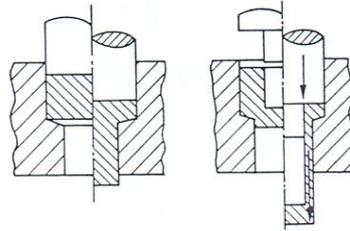
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการดัดขึ้นรูปแท่งอลูมิเนียมโดยใช้สารหล่อลื่นตามธรรมชาติเพื่อลดความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส ตัวแปรของสารหล่อลื่นตามธรรมชาติที่นำมาศึกษาคือชนิดของสารหล่อลื่นจากธรรมชาติที่มีความแตกต่างกันจะส่งผลกระทบต่ออย่างไรกับค่าความแข็งของแท่งอลูมิเนียม และการไหลตัวของวัสดุว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใดภายหลังจากผ่านกระบวนการดัดขึ้นรูป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการอัดขึ้นรูป

การอัดขึ้นรูปเป็นกระบวนการขึ้นรูปภายในเนื้อโลหะ โดยการใช้แรงที่สูงกดลงบนเนื้อโลหะให้เกิดการไหลตัว การขึ้นรูปจะเป็นไปภายใต้อุณหภูมิปกติ ซึ่งก็คือการอัดขึ้นรูปเย็น งานที่ได้จะมีผิวสวยและมีขนาดความเที่ยงตรงสูงในบางกรณีของการขึ้นรูปเย็นต้องใช้แรงในการขึ้นรูปสูง เช่น งานที่มีเกรดการขึ้นรูปโต เพื่อเป็นการลดแรง การขึ้นรูปก็จะเปลี่ยนเป็นการอัดขึ้นรูปร้อน โดยให้ความร้อนวัสดุดิบที่อุณหภูมิขึ้นรูป ผลผลิตที่ได้รับจะมีขนาดความเที่ยงตรงลดลง การเกิดสะเก็ดเนื่องจากการเผาทำให้ชิ้นงานมีผิวหยาบ

การอัดขึ้นรูปแบบตาม การเคลื่อนตัวของตัวกดและการไหลของเนื้อโลหะมีทิศทางเดียวกัน เนื้อโลหะจะถูกกดด้วยแรงดันสูงให้ไหลตัวไปทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของตัวกด รูปร่างภายนอกของงานเป็นไปตามรูปร่างภายในของแม่พิมพ์ ดังแสดงใน รูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงรูปแบบอัดขึ้นรูปแบบตาม [7]

2.2 แรงที่ใช้ในการขึ้นรูป

$$F = \frac{A_0 \times k_{fm} \times \epsilon_h}{n_f}$$

F คือ แรงกดไหล หน่วยเป็นนิวตัน (N)

A_0 คือ พื้นที่หน้าตัดชิ้นงานดิบก่อนอัด หน่วย

เป็นตารางมิลลิเมตร (mm^2)

k_{fm} คือ ความเค้นในการฟอร์มตัวเฉลี่ย หน่วยเป็นนิวตัน/ตารางมิลลิเมตร (N/mm^2)

ϵ_h คือ เกรดในการฟอร์มตัว

n_f คือ ประสิทธิภาพในการฟอร์มตัว

2.2 สารหล่อลื่น

แต่ละสารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดลองนั้นมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป เช่น ค่าความหนืด ความหนาแน่น เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 1

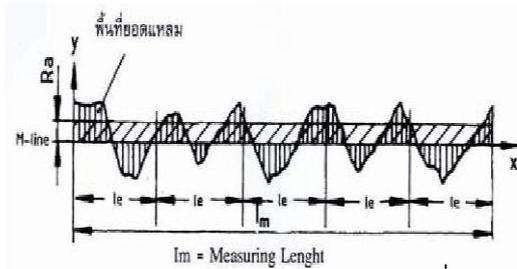
ตารางที่ 1 แสดงค่าความหนืด และความหนาแน่นของสารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดลอง [8]

สารหล่อลื่น	ความหนืด (cSt)	ความหนาแน่น (g/cm^3)
น้ำมันแร่	30.6	0.865
น้ำมันถั่วเหลือง	57.2	0.918
น้ำมันมะพร้าว	51.9	0.915

2.3 คุณภาพผิวงาน

การวัดค่าความหยาบละเอียดของผิวงานตามมาตรฐานของ ISO 4287 การวัดค่าความหยาบละเอียดของผิวงานที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปมาแล้ว ในหน่วยนี้จะ กล่าวถึงเฉพาะค่าความหยาบ Ra เท่านั้น

กรณีค่าความหยาบ Ra หมายถึง ค่าความหยาบผิวที่หาได้จากการรวมพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นเหนือเส้นกึ่งกลาง (M-Line) กับพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นใต้เส้นกึ่งกลางหารด้วยความยาวเฉลี่ย (Lm) โดยที่ค่าของ Ra มีหน่วยวัดเป็นไมโครเมตรดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 การวัดค่าความหยาบ Ra [9]

3. อุปกรณ์และวิธีทำการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ในการทดสอบ

ลำดับที่	รายละเอียด
1	เครื่องอัดไฮดรอลิกสัขนาด 80 ตัน
2	แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปเย็นอลูมิเนียม
3	น้ำมันแร่, น้ำมันถั่วเหลือง, น้ำมันมะพร้าว
4	อุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณ (Mini data logger)
5	อุปกรณ์วัดความหยาบผิว (Surface roughness)
6	เครื่องชั่งหลัก
7	กล้อง microscope

3.2 วิธีทำการทดลอง

- ทำการคำนวณหาการลดขนาดและความยาวของชิ้น

ทดสอบ แรงในการขึ้นรูป

เกรตการฟอร์มตัว

$$\epsilon_r = \left(\ln \frac{A_0}{A} \right) \times 100\%$$

$$= \left(\ln \frac{201.06}{122.76} \right) \times 100\%$$

$$= 49\%$$

แรงขึ้นรูป F

$$F = \frac{A_{0x} \times k_{fm} \times \epsilon_h}{n_F}$$

$$= \frac{201.06 \times 225.83 \times 0.49}{0.5}$$

$$= 44497.3 \text{ N}$$

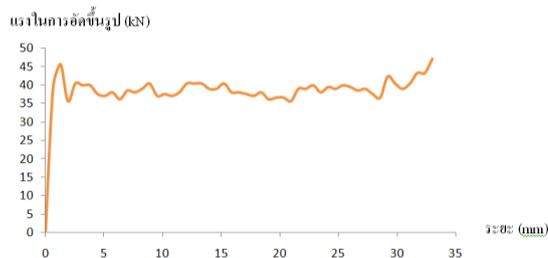
$$= 4.53 \text{ T}$$

- เตรียมชิ้นงานในการทดสอบตัดชิ้นงานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 16 มม. ด้วยการเลื่อยมือ
- ทำการกลึงปาดหน้าชิ้นงานโดยให้ความยาวอยู่ที่ 37 มม.
- ทำการประกอบติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องเพลสไฮดรอลิกส์ 80ตัน และทำการปรับตั้ง (Limit switch) ตามความลึกของชิ้นงาน
- ทดสอบการอัดขึ้นรูป
- เตรียมชิ้นงานที่จะทำการอัด ใส่น้ำมันหล่อลื่น
- ทำการอัดขึ้นรูปและบันทึกแรงที่ใช้ในการขึ้นรูป
- วิเคราะห์ผลการทดสอบ

4. ผลการทดลองและการวิจารณ์

4.1 ผลการทดลอง

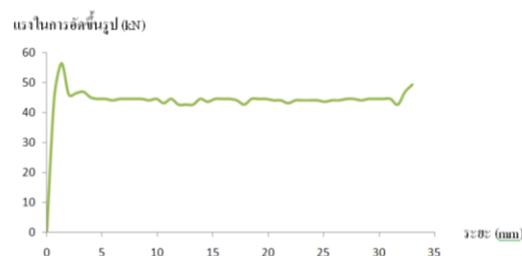
กราฟแสดงแรงอัดขึ้นรูปโดยใช้น้ำมันแร่เป็นสารหล่อลื่น ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟแสดงแรงที่ได้จากการใช้น้ำมันแร่เป็นสารหล่อลื่น

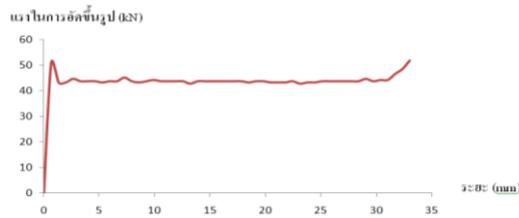


กราฟแสดงแรงอัดขึ้นรูปโดยใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นสารหล่อลื่น ดังแสดงในรูปที่ 9



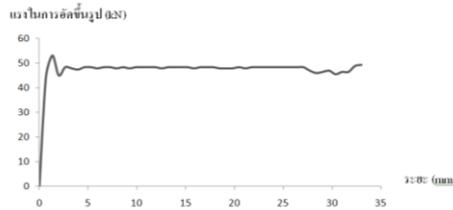
รูปที่ 9 กราฟแสดงแรงที่ได้จากการใช้น้ำมันถั่วเหลือง เป็นสารหล่อลื่น

กราฟแสดงแรงอัดขึ้นรูปโดยใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นสารหล่อลื่น ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 กราฟแสดงแรงที่ได้จากการใช้น้ำมันมะพร้าว เป็นสารหล่อลื่น

กราฟแสดงแรงอัดขึ้นรูปโดยใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นสารหล่อลื่น ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 กราฟแสดงแรงที่ได้จากไม่ใช้สารหล่อลื่น

การวิเคราะห์ความหยาบผิวที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานสามารถตรวจสอบได้ดังแสดงในรูปที่ 12

(a)

(b)

รูปที่ 12 วิธีการวัดค่าความหยาบผิว (a) และค่า Ra ที่อ่านได้จากเครื่องวัดค่าความหยาบผิว (b)

ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดลองการในการวัดค่าความหยาบผิว และนำมาเปรียบเทียบในแต่ละสารหล่อลื่น

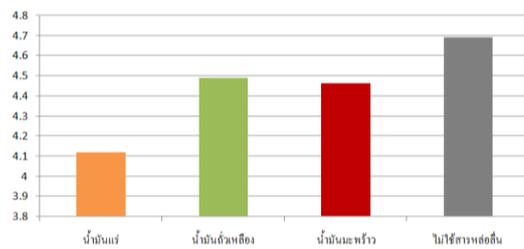
ชิ้นงานที่	ค่าความหยาบผิว (μm)			
	น้ำมันแร่	น้ำมันถั่วเหลือง	น้ำมันมะพร้าว	ไม่ใช้สารหล่อลื่น
1	0.55	0.25	0.61	0.83
2	0.76	0.27	0.33	0.54
3	0.57	0.41	0.65	0.58

เฉลี่ย	0.63	0.31	0.53	0.65
--------	------	------	------	------

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลได้ดังแสดงในรูปที่ 13

แรงในการอัดขึ้นรูปเฉลี่ย (ตัน)

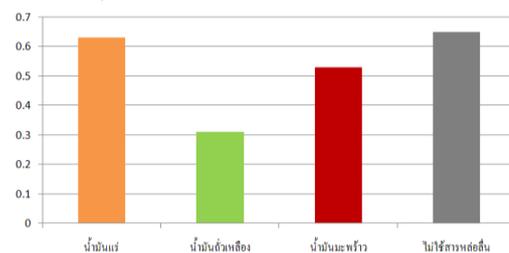


รูปที่ 13 กราฟเปรียบเทียบแรงในการขึ้นรูปของแต่ละสารหล่อลื่น

จากรูปที่ 13 สามารถศึกษาผลกระทบของตัวแปรคือ สภาพการหล่อลื่นของชิ้นงานโดยเปรียบเทียบ ดังนี้คือ น้ำมันแร่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมะพร้าว และไม้ใช้สารหล่อลื่นในการขึ้นรูป เมื่อเปรียบเทียบแรงกดในการขึ้นรูปของชิ้นงานจะได้ค่าของแรงกดของแต่ละสารหล่อลื่นโดยเรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ ไม้ใช้สารหล่อลื่น > น้ำมันถั่วเหลือง > น้ำมันมะพร้าว > น้ำมันแร่ จะได้ว่าสารหล่อลื่นต่างชนิดกันจะมีผลต่อการขึ้นรูป ดังนั้นจากการศึกษาครั้งนี้พบได้ว่าการใช้แรงอัดในการขึ้นรูปสารหล่อลื่นน้ำมันแร่ให้ผลที่ดีที่สุด โดยใช้แรงน้อยสุดคือ 40.4172 kN หรือประมาณ 4.12 T

การวิเคราะห์ความหยาบผิวที่เกิดขึ้นหลังการขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 14

ค่าความหยาบผิว (μm)



รูปที่ 14 กราฟเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวของชิ้นงานในแต่ละสารหล่อลื่น

จากรูปที่ 14 เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวของแต่ละสารหล่อลื่นโดยเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ ไม้ใช้สารหล่อลื่น > น้ำมันแร่ > น้ำมันมะพร้าว > น้ำมันถั่วเหลือง จะเห็นได้ว่าการที่ไม่ใช้สารหล่อลื่นในการอัดขึ้นรูปเย็นอลูมิเนียมนั้นจะทำให้ผิวของชิ้นงานมีความหยาบมาก ตรงกันข้ามกับสารหล่อลื่นน้ำมันถั่วเหลืองซึ่งให้ค่าความหยาบผิวน้อยที่สุด คือ 0.31 μm เพราะฉะนั้นสารหล่อลื่นยังมีความหนืดมากเท่าไรผิวก็จะมากขึ้นมากเท่านั้นแต่ในทางตรงกันข้ามก็จะใช้แรงในการอัดมากขึ้น

การวิเคราะห์การไหลตัวของวัสดุ

การศึกษาการไหลตัวของวัสดุ ทำได้โดยการนำชิ้นงานไปทำการกัดผ่าครึ่ง แล้วทำการขัดให้เรียบ จึงนำไปกัดกรดแล้วนำไปส่องดูที่กล้อง microscope เพื่อดูการไหลตัวของวัสดุ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดลองในการดูการไหลตัว และนำมาเปรียบเทียบแต่ละสารหล่อลื่น

ช่วงของชิ้นงาน	การไหลตัวของวัสดุ ค่าเฉลี่ยของ SDC			
	น้ำมันแม่	น้ำมันถั่วเหลือง	น้ำมันปะท้าว	ไม่ใช้สารหล่อลื่น
ก่อนเปลี่ยนขนาด				
ช่วงเปลี่ยนขนาด				
เปลี่ยนขนาดแล้ว				

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า ในแต่ละสารหล่อลื่นนั้นทิศทางการไหลตัวของอลูมิเนียมนั้นก็จะมีทิศทางเดียวกัน จะสังเกตเห็นว่าก่อนที่จะมีการเปลี่ยนขนาดของขอบเกรนของเนื้ออลูมิเนียมจะมีลักษณะค่อนข้างใหญ่ และมีขนาดใกล้เคียงกันทั้งบริเวณ เมื่อทำการอัดขึ้นรูปในช่วงของระหว่างเปลี่ยนขนาดนั้น จะสังเกตเห็นว่าขอบเกรนจะค่อยๆอัดตัวกัน บริเวณขอบผิวของอลูมิเนียม และจะอัดแน่นเข้าสู่ศูนย์กลางลดลง นั่นคือการเสียรูปร่างอย่างถาวรเนื่องจากในผลึกอลูมิเนียมมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยกลไกเลื่อนไถล ส่งผลให้ขอบเกรนบริเวณผิวของอลูมิเนียมที่อัดตัวเล็กลงส่งผลให้ความหนาแน่นมากขึ้น จากนั้นเมื่อถึงช่วงเปลี่ยนขนาดแล้ว จะพบว่าบริเวณผิวของชิ้นงานขอบเกรนอัดตัวแน่นแต่บริเวณแกนในของอลูมิเนียมขอบเกรนยังมีขนาดใหญ่กว่าบริเวณขอบผิว นั่นก็คือบริเวณแกนในแทบจะไม่มีผลกระทบต่ออัด ดังนั้นจากการศึกษาการไหลตัวของสารหล่อลื่นทั้ง 3 ชนิด เมื่อเทียบกับไม่ใช้สารหล่อลื่น จะไม่เห็นความแตกต่างกันเลย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสารหล่อลื่นไม่มีผลต่อการไหลตัวของวัสดุ

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองเราจะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อทำการทดลองอัดขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบโดยใช้สารหล่อลื่นจากธรรมชาติที่แตกต่างกันนั้น สามารถสรุปได้ว่า แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปเย็นนั้นจะสังเกตเห็นได้ว่าสารหล่อลื่นจากธรรมชาติที่ให้ค่าน้อยที่สุดเป็นน้ำมันแร่ ซึ่งมีค่าความแตกต่างกับไม่ใช้สารหล่อลื่น 0.58 ตัน ดังนั้นสารหล่อลื่นมีอิทธิพลต่อแรงที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป ค่าความหยาบหรือคุณภาพผิวงานพบว่าสารหล่อลื่นธรรมชาติที่ให้ค่าความหยาบผิวน้อยที่สุด คือ น้ำมันถั่วเหลือง และส่วนการไหลตัวของวัสดุเมื่อนำชิ้นงานไปส่องดูโครงสร้างหลังการทดสอบแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันมากในบริเวณภายในของเนื้อวัสดุ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารหล่อลื่นไม่มีอิทธิพลต่อการไหลตัวของเนื้อวัสดุเลย ดังนั้นสารหล่อลื่นตามธรรมชาติที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปเย็นอลูมิเนียม ควรเลือกน้ำมันถั่วเหลืองเนื่องจากผิวชิ้นงานที่มีคุณภาพดีกว่าและแรงที่ต่างกันไม่มากนัก

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มทร.ธัญบุรี งบประมาณประจำปี 2555 และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Lange, K. (1985). Metal Forming Handbook., New York : McGraw-Hill.
- [2] Schuler GmbH. (1998). Metal Forming Handbook. Berlin: Springer.
- [3] Onawola, O.O. and Adeyemi, M.B., 2003, Warm compression and extrusion tests of aluminium, Journal of Materials Processing Technology 136: pp. 7–11.
- [4] Caminaga, C. Neves, F.O. Gentile, F.G. and Button, S.G., 2007, Study of alternative lubricants to the cold extrusion of steel shafts, Journal of Materials Processing Technology 182: pp. 432–439.
- [5] Chen, D.C. Syu, S.K. Wu, C.H. and Lin, S.K., 2007, Investigation into cold extrusion of aluminum billets using three-dimensional finite element method, Journal of Materials Processing Technology 192–193:pp. 188–193.
- [6] Ishikawa, T. Sano, H. Yoshida, Y. Yukawa, N. Sakamoto, J. and Tozawa, Y., 2006, Effect of Extrusion Conditions on Metal Flow and Microstructures of Aluminum Alloys, CIRP Annals -Manufacturing Technology, Volume 55, Issue 1, Page: 275-278.
- [7] ตำรา ชัยธีรานันท์ศิริ. 2538. การขึ้นรูปโลหะ.
กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
- [8] เกษม ธรรมโกศล. 2546. อิทธิพลของสารหล่อลื่น
ของแข็งต่อการหล่อขึ้นแบบเทอร์โมอิลาสโตไฮดรอลิก
ไดนามิกส์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [9] ชีระชัย เจ้าสกุล. 2541. เขียนแบบเทคนิค 1,
บริษัท ดวงกลมสมัย จำกัด, กรุงเทพมหานคร