

การศึกษาอิทธิพลของสารหล่อลื่นต่อรูปทรงชิ้นงานในกระบวนการตัดแบบอัด

INFLUENCE OF LUBRICANT ON WORKPIECE SHAPES IN COMPRESSION
BENDING PROCESS



กฤตภาส นวลยง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

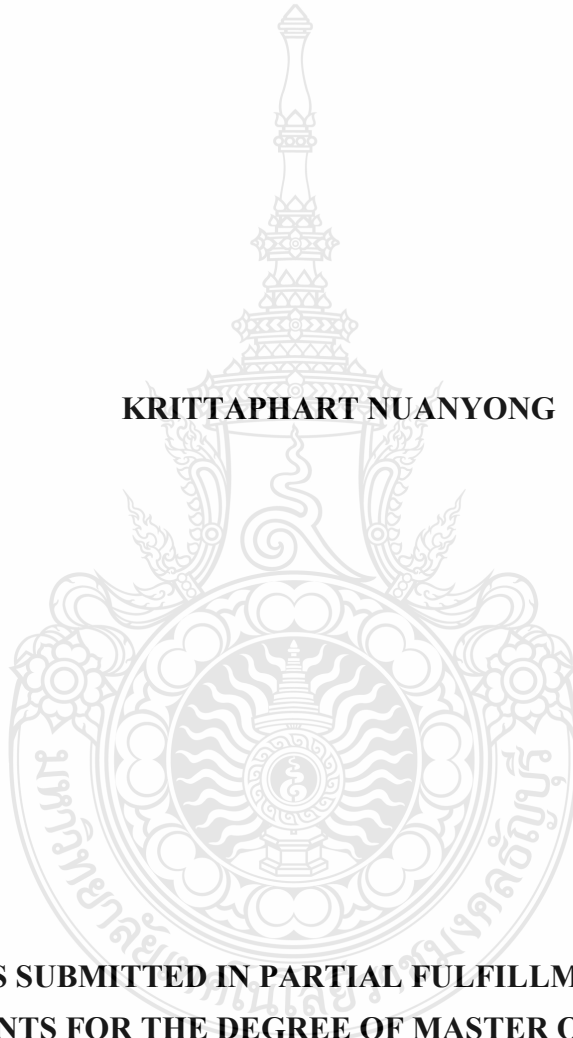
การศึกษาอิทธิพลของสารหล่อลื่นต่อรูปทรงชิ้นงานในกระบวนการตัด
แบบอัด

กฤตภาส นวลยง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

**INFLUENCE OF LUBRICANT ON WORKPIECE SHAPES IN COMPRESSION
BENDING PROCESS**

KRITTAPHART NUANYONG



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
PROGRAM IN MANUFACTURING ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI
ACADEMIC YEAR 2014
COPYRIGHT OF RAJAMANGALA UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY THANYABURI**

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาอิทธิพลของสารหล่อลื่นต่อรูปทรงชิ้นงานในการบวนการตัดแบบอัด
Influence of Lubricant on Workpiece Shapes in Compression Bending Process
ชื่อ - นามสกุล ร้อยโทกฤตภาส นวลยง
สาขาวิชา วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริชัย ต่อสกุล,Dr.-Ing.
ปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์กุลชาติ จุลเพ็ญ, D.Eng.)
..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชัย จันทรัมย์, Ph.D.)
..... กรรมการ
(อาจารย์ชัยยะ ปราณิตพลกรัง, D.Eng.)
..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริชัย ต่อสกุล,Dr.-Ing.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)
วันที่ 28 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2557

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาอิทธิพลของสารหล่อลื่นต่อรูปทรงชิ้นงานในกระบวนการตัดแบบอัด
ชื่อ - นามสกุล	ร้อยโทกฤตภาส นวลยง
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริชัย ต่อสกุล, Dr.-Ing.
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

กระบวนการตัดด้วยแม่พิมพ์ตัดแบบอัดนั้นมักเกิดข้อบกพร่องของชิ้นงานหลังการตัดแบบอัด เช่น เกิดการติดตัวกลับหลังจากคลายแรงที่ใช้ในการตัดขึ้นรูป เกิดรอยย่น รอยบุบ และรอยฉีกขาด เป็นต้น สำหรับการศึกษาวิจัยนี้มีจุดประสงค์ศึกษากระบวนการตัดด้วยแม่พิมพ์ตัดแบบอัด ซึ่งนำเอาสารหล่อลื่นมาใช้ในกระบวนการตัดขึ้นรูป

การทดลองนี้ใช้วัสดุเหล็กทอกลม เหล็กเส้นกลม และเหล็กแผ่น เกรด DIN St 37 มาทำการทดลองตัดขึ้นรูปชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ตัดแบบอัด ตัวแปรการทดลองประกอบด้วยมุมตัดชิ้นงานเท่ากับ 30, 60 และ 90 องศา และสารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดลองได้แก่ น้ำมันสังเคราะห์ (FORMOL 10 S) น้ำมันกึ่งสังเคราะห์ (NEOCUT KCB) น้ำมันมะพร้าว และไม่ใช้สารหล่อลื่น ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการติดตัวกลับ ความเครียดที่ผิว ความหยาบผิว และลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการตัดขึ้นรูป

ผลการทดลองโดยสรุปดังนี้ พบว่าสารหล่อลื่นไม่มีผลต่อการติดตัวกลับ แต่มุมตัดมีผลต่อการติดตัวกลับของเหล็กทั้ง 3 รูปทรงมากที่สุด การเพิ่มมุมตัดส่งผลทำให้การติดตัวกลับเพิ่มสูงขึ้น โดยสารหล่อลื่นน้ำมันสังเคราะห์ (FORMOL 10 S) มีผลทำให้ค่าการติดตัวกลับมากที่สุด โดยเหล็กแผ่นที่มุมตัด 90 องศา มีค่าการติดตัวกลับมากที่สุดเท่ากับ 15.67 % และเหล็กทอกลมมุมตัด 30 องศา มีค่าการติดตัวกลับน้อยที่สุด เท่ากับ 5.67 การเพิ่มมุมตัดส่งผลให้ค่าความเครียดผิวเพิ่มสูงขึ้น แต่การใช้ น้ำมันสังเคราะห์ FORMOL 10 S ส่งผลทำให้เกิดค่าความเครียดผิวน้อยที่สุด โดยเหล็กทอกลมมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.142 และเหล็กแผ่นมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.030 ทั้งนี้สารหล่อลื่นน้ำมันสังเคราะห์ FORMOL 10 S ช่วยลดค่าความหยาบผิวได้ดีที่สุด พบค่าความหยาบผิวน้อยที่สุดเท่ากับ 0.29 Ra ที่ในการตัดเหล็กแผ่นมุมตัด 30 องศา

คำสำคัญ: การตัดแบบอัด การติดตัวกลับ ความเครียดผิว

Thesis Title	Influence of Lubricant on Workpiece Shapes in Compression Bending Process
Name - Surname	Lt. Krittaphart Nuanyong
Program	Manufacturing Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Sirichai Torsakul, Dr.-Ing.
Academic Year	2014

ABSTRACT

The compression bending process is one of the most common processes which have been used to perform the shape of products. However, several prior researches illustrate same basic defects which normally occur in the process, such as spring – back after forming force has been removed, wrinkle, dent or, even if, tearing off.

The objective of the research aims to study the influence of lubrications to the process's ability in terms of effects and performance on type of lubrication. Lubrication, which had been used in experiments, can be divided into 3 categories by the aspects; synthetic, semi – synthetic and natural oil (coconut oil). Steel had been used as a raw – material which has 3 different cross – sections; tube, round bar and sheet. In experiments, those raw – materials were shaped by the compressive bending die set which can adjust the bending angle between 30, 60 and 90 degrees. The results were collected and measured in terms of spring – back, surface stain, surface roughness and physical aspects.

The results can be concluded that spring – back was affected directly by the bending angle. Having increased the bending angle, spring – back was increased. The sheet with 90 degrees of bending angle showed the highest amount of spring – back which up to 15.67%. In contrast, the round bar with 30 degrees of bending angle showed just around 5.67% which was the lowest amount of spring – back. Lubrications can help to decrease the amount of spring – back when compared to dry process. Spring – back can not be dropped significantly if the synthetic oil was applied. As a matter of fact that the surface stain can be risen sharply by an increase of the bending angle, but, in experiments, lubrication can diminish this effect, especially the synthetic oil, therefore, the highest surface stain belonged to the sheet and the lowest fell into the tube that were 0.030 and 0.142 respectively. Finally, the surface roughness can be decreased by lubrications. The synthetic oil had a greatest domination in this area where 0.29 Ra was a lowest surface roughness which can be found in the experiment.

Keywords: compression bending process, springback, strain

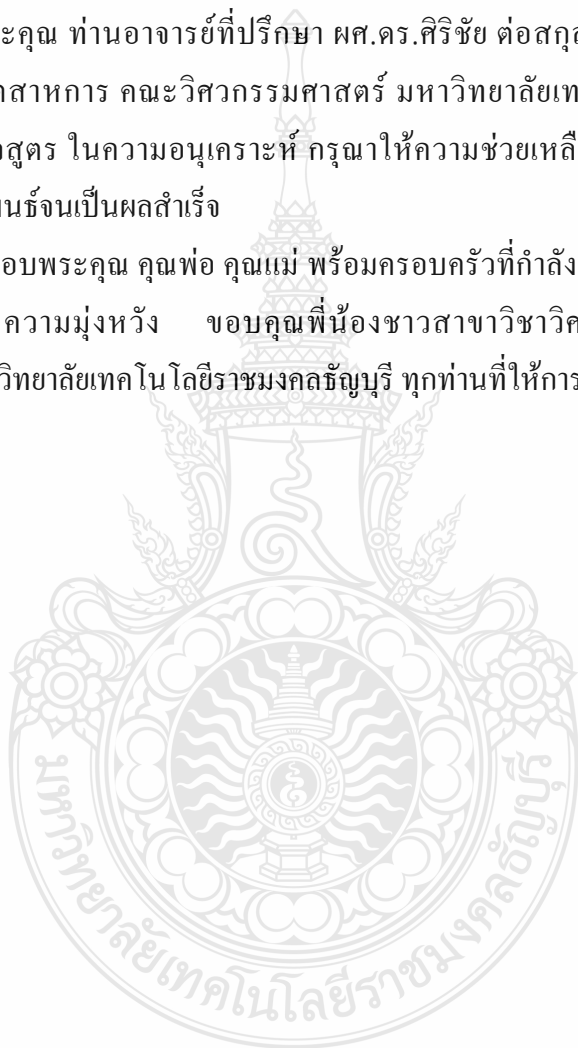
กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทุนวิจัยมหัศจรรย์ สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.): ระดับปริญญาโท ประจำปี 2556 และ ขอขอบคุณบริษัท เน็กซ์ เฟอร์นิชิ่ง จำกัด ในการอนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบผลการวิจัยทั้งหมด รวมทั้งอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ศิริชัย ต่อสกุล สาขาวิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี คณาจารย์ประจำหลักสูตร ในความอนุเคราะห์ กรุณาให้ความช่วยเหลือใน คำแนะนำ คำปรึกษา ในการทำวิจัยวิทยานิพนธ์จนเป็นผลสำเร็จ

สุดท้ายขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พร้อมครอบครัวที่กำลังใจในการศึกษา การทำวิจัย จนเป็นผลสำเร็จตามความมุ่งหวัง ขอขอบคุณพี่น้องชาวสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ทุกท่านที่ให้การช่วยเหลือในการทำวิจัยจนสำเร็จไปได้ด้วยดี

กฤตภาส นวลขง



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญรูป	(10)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(14)
บทที่ 1 บทนำ	16
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	16
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	17
1.3 ขอบเขตของโครงการ	17
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	18
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
2.1 นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้อง	19
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
2.3 การขึ้นรูปแบบเย็น (Cold Working)	21
2.4 การดัดโลหะ (Metal Bending)	22
2.5 การดัดตัวกลับของชิ้นงาน (Spring Back)	27
2.6 สมการสำคัญในการดัด	28
2.7 การเปลี่ยนรูปทรงของวงกลมกริด (Changing the shape of the Grid)	33
2.8 เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel)	37
2.9 สารหล่อลื่น	39
2.10 แรงเสียดทาน	42
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	43
3.1 แผนการดำเนินงาน	43
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	50
3.4 การทดสอบการตัดและการผลัดชิ้นงาน	56
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	66
4.1 ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การคิดตัวกลับระหว่างสารหล่อลื่นและรูปทรงของชิ้นงาน	66
4.2 ความสัมพันธ์ความเครียดที่ผิวระหว่างสารหล่อลื่นและมุมตัดชิ้นงานทดสอบ	70
4.3 ความสัมพันธ์ของความหยาบผิวระหว่างสารหล่อลื่นและมุมตัดชิ้นงานทดสอบ	79
4.4 ผลการทดสอบทางกายภาพของการตัดชิ้นงาน โลหะ	82
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	88
5.1 สรุปผล	88
5.2 ข้อเสนอแนะ	89
รายการอ้างอิง	90
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	93
ภาคผนวก ข ใบรับรองผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ	101
ภาคผนวก ค เอกสารเผยแพร่ ดีพิมพ์	106

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	การกำหนดค่า C (ระยะจากผิวด้านในจนถึงเส้นแกนกลาง)	31
ตารางที่ 2.2	แสดงปริมาณคาร์บอนกับลักษณะการใช้งาน	38
ตารางที่ 2.3	สมบัติทางกลของเหล็ก St 37	38
ตารางที่ 2.4	แสดงปริมาณคาร์บอนกับลักษณะการใช้งาน	39
ตารางที่ 3.1	แผนการดำเนินงานของโครงการ	43
ตารางที่ 3.2	การประเมินข้อบกพร่องทางกายภาพของเหล็กทั้ง 3 รูปทรง	56
ตารางที่ 3.3	บันทึกผลการทดสอบความหนาของเหล็กที่ทอกลวงที่มีความหนา 0.5 มม. ที่ใช้สารหล่อลื่นและไม่ใช้สารหล่อลื่น	57
ตารางที่ 3.4	บันทึกผลความหนาของผนังหน้าตัดส่วนโค้งของเหล็กแผ่นความหนา 2 มม. ที่ใช้สารหล่อลื่นและไม่ใช้สารหล่อลื่น	58
ตารางที่ 3.5	บันทึกกองสารติดกลับ, ค่าคงที่ของการติดตัวกลับ และเปอร์เซ็นต์การติดกลับของโลหะในแต่ละองศาของเหล็กชนิดต่างๆ ที่ใช้น้ำมันมะพร้าว	59
ตารางที่ 3.6	บันทึกกองสารติดกลับ, ค่าคงที่ของการติดตัวกลับ และเปอร์เซ็นต์การติดกลับของโลหะในแต่ละองศาของเหล็กชนิดต่างๆ ที่ใช้น้ำมันก๊าดสังเคราะห์	59
ตารางที่ 3.7	บันทึกกองสารติดกลับ, ค่าคงที่ของการติดตัวกลับ และเปอร์เซ็นต์การติดกลับของโลหะในแต่ละองศาของเหล็กชนิดต่างๆ ที่ใช้น้ำมันสังเคราะห์	60
ตารางที่ 3.8	บันทึกกองสารติดกลับ, ค่าคงที่ของการติดตัวกลับ และเปอร์เซ็นต์การติดกลับของโลหะในแต่ละองศาของเหล็กชนิดต่างๆ ที่ไม่ใช้สารหล่อลื่น	60
ตารางที่ 3.9	บันทึกผลค่าความเครียดเทียบเท่าส่วนโค้งด้านในของเหล็กที่ทอกลวงที่ใช้สารหล่อลื่นและไม่ใช้สารหล่อลื่น	62
ตารางที่ 3.10	บันทึกผลค่าความเครียดเทียบเท่าส่วนโค้งด้านนอกของเหล็กที่ทอกลวงใช้สารหล่อลื่นและไม่ใช้สารหล่อลื่น	62
ตารางที่ 3.11	บันทึกผลค่าความเครียดเทียบเท่าส่วนโค้งด้านในของเหล็กแผ่นที่ใช้สารหล่อลื่นและไม่ใช้สารหล่อลื่น	62
ตารางที่ 3.12	บันทึกผลค่าความเครียดเทียบเท่าส่วนโค้งด้านนอกของเหล็กแผ่นที่ใช้สารหล่อลื่นและไม่ใช้สารหล่อลื่น	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.1 การประเมินข้อบกพร่องทางกายภาพในกระบวนการตัด โดยไม่ใช้สารหล่อลื่น	85
ตารางที่ 4.2 การประเมินข้อบกพร่องทางกายภาพในกระบวนการตัด โดยใช้น้ำมันสังเคราะห์	86
ตารางที่ 4.3 การประเมินข้อบกพร่องทางกายภาพในกระบวนการตัด โดยใช้น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	86
ตารางที่ 4.4 การประเมินข้อบกพร่องทางกายภาพในกระบวนการตัด โดยใช้น้ำมันมะพร้าว	87
ตารางที่ ก.1 บันทึกผลการวัดองศาหลังการตัด และเปอร์เซ็นต์การติดตัวกลับของเหล็กท่อกลม	94
ตารางที่ ก.2 บันทึกผลการวัดองศาหลังการตัด และเปอร์เซ็นต์การติดตัวกลับของเหล็กเส้นกลม	95
ตารางที่ ก.3 บันทึกผลการวัดองศาหลังการตัด และเปอร์เซ็นต์การติดตัวกลับของเหล็กแผ่น	96
ตารางที่ ก.4 บันทึกผลการคำนวณหาค่าคงที่ของการติดตัวกลับ (K) มุมตัด 30 องศา	97
ตารางที่ ก.5 บันทึกผลการคำนวณหาค่าคงที่ของการติดตัวกลับ (K) มุมตัด 60 องศา	97
ตารางที่ ก.6 บันทึกผลการคำนวณหาค่าคงที่ของการติดตัวกลับ (K) มุมตัด 90 องศา	97
ตารางที่ ก.7 ตารางบันทึกขนาดวงกลมกริดหลังการตัด และค่าความเครียดหลักความเค้นของเหล็กท่อกลม	98
ตารางที่ ก.8 ตารางบันทึกขนาดวงกลมกริดหลังการตัด และค่าความเครียดหลักความเค้นของเหล็กแผ่น	98
ตารางที่ ก.9 ตารางบันทึกผลการคำนวณความเครียดเทียบเท่าของเหล็กท่อกลม	99
ตารางที่ ก.10 ตารางบันทึกผลการคำนวณความเครียดเทียบเท่าของเหล็กแผ่น	100

สารบัญรูป

	หน้า	
รูปที่ 1.1	กระบวนการตัดด้วยดายอัดหมุน(Bend Die) (ก) ภาพตัดด้านหน้าของดายอัด (ข) ภาพตัดด้านข้างของส่วนประกอบดายอัด	17
รูปที่ 2.1	นิยามศัพท์ในการตัด	23
รูปที่ 2.2	ลักษณะของการตัดท่อแบบ Mandrel Bending	24
รูปที่ 2.3	การตัดแบบ Ram Bending	25
รูปที่ 2.4	การตัดแบบ 3-Roll Bending	25
รูปที่ 2.5	การตัดแบบ Rotary Draw Bending	26
รูปที่ 2.6	Compression Bending	26
รูปที่ 2.7	การคืนกลับ (Spring Back)	28
รูปที่ 2.8	มอดูลส์หน้าตัดของพื้นที่หน้าตัดที่ควรทราบ	29
รูปที่ 2.9	การคำนวณความยาวเบื้องต้นของโลหะแผ่นตามหลักการ Ostergard	31
รูปที่ 2.10	แบบท่อโค้ง	32
รูปที่ 2.11	หน้าตัดของเหล็กท่อกลวง และตัวแปรในการคำนวณความหนาของผนัง	32
รูปที่ 2.12	กริดวงกลมบนโลหะแผ่นขณะที่ยังไม่เปลี่ยนรูป และเปลี่ยนรูป	34
รูปที่ 2.13	แบบกริดที่เปลี่ยนไปจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับโลหะแผ่น	35
รูปที่ 2.14	กริดแบบวงกลมผสมสี่เหลี่ยม (Combination)	35
รูปที่ 3.1	เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์	44
รูปที่ 3.2	ตลับเมตร	44
รูปที่ 3.3	ไมโครมิเตอร์	45
รูปที่ 3.4	ใบวัดองศาแบบแม่เหล็ก Magnetic Protractor	45
รูปที่ 3.5	กล้อง Dino	46
รูปที่ 3.6	เครื่องตัดเหล็กมีลัดติฟังก์ชัน	46
รูปที่ 3.7	ตู้ไฟฟ้าสำหรับทำลายกริด	47
รูปที่ 3.8	ตัวกดที่ใช้งานเพื่อทำลายกริดบนเหล็กแผ่น เหล็กท่อกลวงและเหล็กเส้น	47
รูปที่ 3.9	แผ่นฟิล์มทำลายกริด	48

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 3.10	น้ำยาทำความสะอาด (CLEANER) และน้ำยาเติกริดสำหรับใช้กับเหล็ก (ELECTROLYTE)	48
รูปที่ 3.11	น้ำมันมะพร้าว	49
รูปที่ 3.12	น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	49
รูปที่ 3.13	น้ำมันสังเคราะห์	49
รูปที่ 3.14	แม่พิมพ์ตัดที่ใช้ตัดขึ้นรูปทั้ง 3 รูปทรงประกอบด้วย เหล็กท่อกวาง, เหล็กเส้น และเหล็กแผ่น	50
รูปที่ 3.15	เหล็กท่อกวาง	50
รูปที่ 3.16	เหล็กแผ่น	51
รูปที่ 3.17	เหล็กเส้น	51
รูปที่ 3.18	การเช็ดทำความสะอาดผิวของเหล็กแผ่น โดยใช้น้ำยาทำความสะอาด (CLEANER)	51
รูปที่ 3.19	การเช็ดทำความสะอาดแผ่นฟิล์มทำลายกริด	52
รูปที่ 3.20	การเทน้ำยาคัดกริด (112A ELECTROLYTE) ก่อนการฉีด	52
รูปที่ 3.21	การกดลูกกลิ้งเพื่อทำลายกริดบนเหล็กแผ่น	53
รูปที่ 3.22	การเช็ดที่ผิวของเหล็กแผ่นหลังจากการฉีด	53
รูปที่ 3.23	ตัวอย่างเหล็กแผ่นเติกริด	53
รูปที่ 3.24	การตั้งองศาการตัดที่ตัวแม่พิมพ์ที่มุม 30 องศา	54
รูปที่ 3.25	การทาน้ำมันมะพร้าวที่แม่พิมพ์ตัด	54
รูปที่ 3.26	การทาน้ำมันมะพร้าวที่เหล็กแผ่น	55
รูปที่ 3.27	เหล็กแผ่นขณะทำการตัด	55
รูปที่ 3.28	เหล็กแผ่นที่ได้จากการตัดที่มุม 30, 60 และ 90 องศา	55
รูปที่ 3.29	ส่วนโค้งนอกและส่วนโค้งในของเหล็กท่อกวางที่จะนำมาคำนวณความเครียด	63
รูปที่ 3.30	ลักษณะของวงกลมลายกริดที่เกิดการหดตัวและขยายตัว	64
รูปที่ 4.1	ชิ้นงานทดสอบหลังจากการการตัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัด	66

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การติดตัวกลับระหว่างรูปทรงของชิ้นงานและสารหล่อลื่นที่ใช้ในการตัดด้วยมุมตัด 30 องศา	67
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การติดตัวกลับระหว่างรูปทรงของชิ้นงานและสารหล่อลื่นที่ใช้ในการตัดด้วยมุมตัด 60 องศา	68
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การติดตัวกลับระหว่างรูปทรงของชิ้นงานและสารหล่อลื่นที่ใช้ในการตัดด้วยมุมตัด 90 องศา	69
รูปที่ 4.5 ตำแหน่งวัดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกริดวงกลม	70
รูปที่ 4.6 ความเครียดที่เกิดขึ้นผิวชิ้นงานในการตัดเหล็กท่อด้วยมุมตัด 30 องศา	70
รูปที่ 4.7 ความเครียดที่เกิดขึ้นผิวชิ้นงานในการตัดเหล็กท่อด้วยมุมตัด 60 องศา	71
รูปที่ 4.8 ความเครียดที่เกิดขึ้นผิวชิ้นงานในการตัดเหล็กท่อด้วยมุมตัด 90 องศา	72
รูปที่ 4.9 ความเครียดที่เกิดขึ้นผิวชิ้นงานในการตัดเหล็กเส้นด้วยมุมตัด 30 องศา	73
รูปที่ 4.10 ความเครียดที่เกิดขึ้นผิวชิ้นงานในการตัดเหล็กเส้นด้วยมุมตัด 60 องศา	74
รูปที่ 4.11 ความเครียดที่เกิดขึ้นผิวชิ้นงานในการตัดเหล็กเส้นด้วยมุมตัด 90 องศา	75
รูปที่ 4.12 ความเครียดที่เกิดขึ้นผิวชิ้นงานในการตัดเหล็กแผ่นด้วยมุมตัด 30 องศา	76
รูปที่ 4.13 ความเครียดที่เกิดขึ้นผิวชิ้นงานในการตัดเหล็กแผ่นด้วยมุมตัด 60 องศา	77
รูปที่ 4.14 ความเครียดที่เกิดขึ้นผิวชิ้นงานในการตัดเหล็กแผ่นด้วยมุมตัด 90 องศา	78
รูปที่ 4.15 ความหยาบผิว Ra ของเหล็กท่อกกลม	79
รูปที่ 4.16 ความหยาบผิว Ra ของเหล็กเส้นกลม	80
รูปที่ 4.17 ความหยาบผิว Ra ของเหล็กแผ่น	81
รูปที่ 4.18 ตำแหน่งการวัดความหนาผนังส่วนโค้งของเหล็กท่อกกลม	82
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างสารหล่อลื่นกับมุมตัดที่มีผลต่อความหนาจุด B1 ของเหล็กท่อกกลม	83
รูปที่ 4.20 ตำแหน่งการวัดความหนาผนังส่วนโค้งของเหล็กแผ่น	84
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างสารหล่อลื่นกับมุมตัดที่มีผลต่อความหนาจุด B1 ของเหล็กแผ่น	84
รูปที่ 4.22 ข้อบกพร่องทางกายภาพในกระบวนการตัดโดยไม่ใช้สารหล่อลื่นในเหล็กทั้ง 3 รูปทรง	85

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.23 ซื่อบกพร่องทางกายภาพในกระบวนการตัดโดยใช้น้ำมันสังเคราะห์ในเหล็ก ทั้ง 3 รูปทรง	86
รูปที่ 4.24 ซื่อบกพร่องทางกายภาพในกระบวนการตัดโดยใช้น้ำมันกึ่งสังเคราะห์ใน เหล็กทั้ง 3 รูปทรง	87
รูปที่ 4.25 ซื่อบกพร่องทางกายภาพในกระบวนการตัดโดยใช้น้ำมันมะพร้าวในเหล็กทั้ง 3 รูปทรง	87



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

d_0	ขนาดกริดเริ่มต้น
d_1	ความยาวของกริดที่เปลี่ยนไป
d_2	ความกว้างของกริดที่เปลี่ยนไป
K_a	ค่าคงที่ของการคิดตัวกลับ
l_e	ความยาวอ้างอิง
l_m	ความยาวประเมิน
P_1	ค่าสูงสุดของ Peak ลำดับที่ 1
P_2	ค่าสูงสุดของ Peak ลำดับที่ 2
P_3	ค่าสูงสุดของ Peak ลำดับที่ 3
P_4	ค่าสูงสุดของ Peak ลำดับที่ 4
P_5	ค่าสูงสุดของ Peak ลำดับที่ 5
R_a	ค่าความเบี่ยงเบนเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ของรูปหน้าตัด
R_p	ค่าความหยابผิวขนาดยอดสูงสุด
R_v	ค่าความหยابผิวขนาดหลุมลึกสุด
R_y	ค่าความสูงมากที่สุดของส่วนผิปกติ
R_z	ค่าความสูงของส่วนผิปกติสิบลจุด
r_1	รัศมีการตัดของแม่พิมพ์
r_2	รัศมีการตัดของชิ้นงานหลังการคิดตัวกลับ
T	ความหนาของชิ้นงานตัด
t_0	ความหนาของชิ้นงานเริ่มต้น
t_1	ความหนาของชิ้นงานสุดท้าย
V_1	ค่าความลึกของแอ่ง ลำดับที่ 1
V_2	ค่าความลึกของแอ่ง ลำดับที่ 2
V_3	ค่าความลึกของแอ่ง ลำดับที่ 3
V_4	ค่าความลึกของแอ่ง ลำดับที่ 4
V_5	ค่าความลึกของแอ่ง ลำดับที่ 5

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

α_1	มุมตัดเริ่มต้น (ก่อนการตัดตัวกลับ)
α_2	มุมตัดหลังการตัดตัวกลับ
ε	ค่าความเครียดเทียบเท่า
ε_1	ค่าความเครียดหลัก
ε_2	ค่าความเครียดรอง
ε_3	ความเครียดที่ความหนา



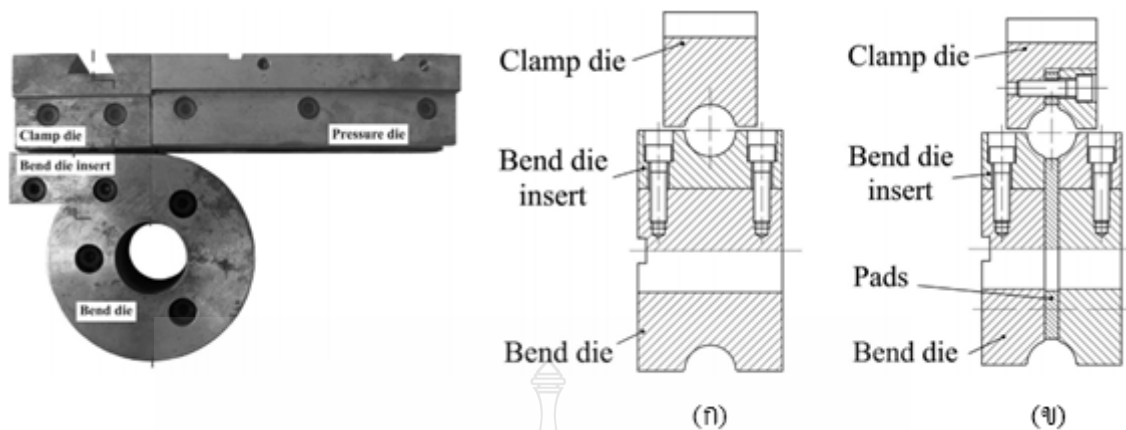
บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันงานตัดขึ้นรูปโลหะได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอุตสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์ ผลิตเครื่องเรือน ก่อสร้าง งานตัดท่อ และอื่นๆ แต่ในการตัดขึ้นรูปโลหะนั้นมักจะพบข้อบกพร่องเกิดขึ้นหลังการตัด เช่น ผิวชิ้นงานไม่เรียบ ความหนาของชิ้นงานตลอดการตัดไม่สม่ำเสมอ การติดตัวกลับของชิ้นงาน และความเครียด เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำสารหล่อลื่นมาทำการทดลอง เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารหล่อลื่นที่มีผลต่อกระบวนการตัด และสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นหลังจากการตัดได้หรือไม่

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

งานขึ้นรูปโลหะเป็นกระบวนการผลิตประเภทหนึ่ง que เปลี่ยนวัสดุประเภทโลหะให้เป็นผลิตภัณฑ์ตามรูปร่างที่ต้องการ ซึ่งเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนรูปร่างของวัสดุอย่างถาวร (Plastic Deformation) หรือในทางวิชาการจะเรียกกระบวนการนี้ว่า การเปลี่ยนรูปโลหะในช่วงเวลาการเปลี่ยนรูปถาวร (Deformation Process) ซึ่งเป็นการขึ้นรูปขณะที่วัสดุเป็นสถานะของแข็ง โดยอาศัยแม่พิมพ์เป็นเครื่องมือเฉพาะในการขึ้นรูป ทำให้ไม่เกิดเสียหายของวัสดุ เช่น กระบวนการตัด กระบวนการลากขึ้นรูป การตีขึ้นรูป กระบวนการขึ้นรูปโลหะก้อน กระบวนการอัดขึ้นรูป และกระบวนการรีด เป็นต้น [1,2] ซึ่งกระบวนการประเภทหนึ่งที่นิยมกันมากในอุตสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์ คือ กระบวนการตัดด้วยแม่พิมพ์ตัดแบบอัด (Bend Die) ดังรูปที่ 1.1 [2] ชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการตัดยังเกิดข้อบกพร่อง ความเสียหายให้เห็นอยู่ทั่วไป เช่น การเกิดรอยย่น รอยบุบ เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานตลอดการตัดไม่สม่ำเสมอ และรอยฉีกขาด เป็นต้น [3] อย่างไรก็ตามปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่เกิดกับกระบวนการตัดขึ้นรูปโลหะ คือ โลหะเกิดการติดตัวกลับหลังจากคลายแรงที่ใช้ในการตัดขึ้นรูปออกจากชิ้นงานแล้ว ทำให้ชิ้นงานตัดไม่เป็นไปตามองศาที่ต้องการ จนไม่สามารถนำไปใช้ตามวัตถุประสงค์ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งการติดกลับอาจมีสาเหตุมาจากคุณสมบัติของวัสดุ องศาที่ใช้ในการตัด ความหนาของชิ้นงาน ปริมาณการเสีจรูปในช่วงพลาสติก รูปร่างของแม่พิมพ์ แรงเสียดทาน พฤติกรรมความเครียดในระหว่างกระบวนการตัด ความเร็วในการขึ้นรูป และเงื่อนไขอื่นๆ ที่ใช้ในกระบวนการตัด เป็นต้น[4]



รูปที่ 1.1 กระบวนการตัดด้วยคายัดหมุน(Bend Die) (ก) ภาพตัดด้านหน้าของคายัด (ข) ภาพตัดด้านข้างของส่วนประกอบคายัด [2]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นความสำคัญที่จะหาแนวทางในการแก้ปัญหา โดยทำการทดลองศึกษาอิทธิพลของสารหล่อลื่นที่มีผลต่อการตัดขึ้นรูป เพื่อให้ทราบว่าสารหล่อลื่นมีส่วนช่วยลดข้อบกพร่องต่างๆที่เกิดดังที่กล่าวมา และสามารถนำไปพัฒนาในกระบวนการตัดได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารหล่อลื่นที่มีผลต่อการติดตัวกลับของเหล็กแต่ละรูปทรง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาองค์การในการตัดต่อการติดตัวกลับและความเครียดในการขึ้นรูปแบบอัด

1.3 ขอบเขต

- 1.3.1 ทำการทดลองขึ้นงานรูปทรงต่างๆดังนี้
 - 1) เหล็กท่อกลาง St37 ความหนา 0.5 มม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 15.8 มม. ยาว 500 มม.
 - 2) เหล็กเส้นกลมผิวเรียบ SR24 เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. ยาว 500 มม.
 - 3) เหล็กแผ่น S137 กว้าง 25 มม. ยาว 500 มม. หนา 2 มม.
- 1.3.2 ทำการทดลองตัดที่ มุม 30, 60, 90 องศา ตามลำดับ
- 1.3.3 ทำการทดลองชนิดสารหล่อลื่นชนิดต่างๆ ดังนี้

- 1) น้ำมันมะพร้าว
- 2) น้ำมันกึ่งสังเคราะห์
- 3) น้ำมันสังเคราะห์
- 4) ไม่ใช่สารหล่อลื่น

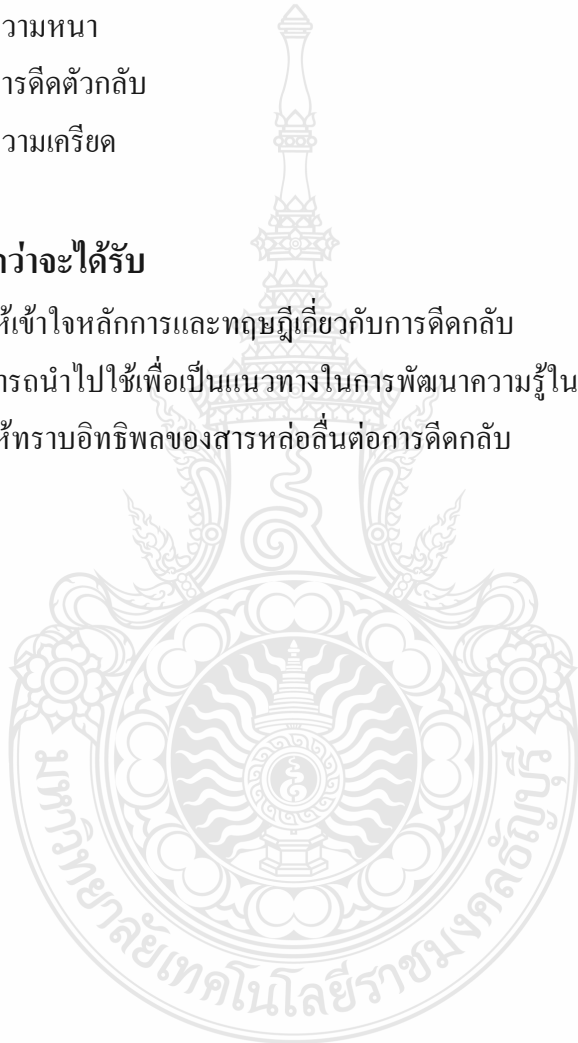
1.3.4 เครื่องตัดแบบอัตโนมัติใช้ระบบไฮดรอลิกส์ควบคุมกำลัง 3 แรงม้า

1.3.5 ศึกษาและวิเคราะห์ดังนี้

- 1) ความหนา
- 2) การตัดตัวกลับ
- 3) ความเครียด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทำให้เข้าใจหลักการและทฤษฎีเกี่ยวกับการตัดกลับ
- 1.4.2 สามารถนำไปใช้เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาความรู้ในการตัดขึ้นรูปโลหะ
- 1.4.3 ทำให้ทราบอิทธิพลของสารหล่อลื่นต่อการตัดกลับ



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงการนี้จะศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีต่างๆ ดังนี้ เช่น ทฤษฎีการตัด ทฤษฎีการคิดกลับ ทฤษฎีของเหล็ก และทฤษฎีสารหล่อลื่น เป็นต้น ซึ่งทฤษฎีต่างๆ ที่กล่าวมานั้นจะใช้เป็นแนวทางในการศึกษาเรื่องต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานโครงการนี้

2.1 นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การดัดโลหะ (Bending) คือ การดัดเป็นกรรมวิธีการหนึ่งของการขึ้นรูปโลหะแบบไร้เศษ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์ ก่อสร้าง [5]

2.1.2 การติดตัวกลับของชิ้นงาน (Spring Back) คือ เมื่อได้ทำการงอชิ้นงานแล้วจะมีความเค้นเกิดขึ้นในบริเวณที่ทำการงอ และความเค้นที่เกิดขึ้นนี้จะมีค่าแตกต่างกันคือไม่เหมือนกันทุกจุด ซึ่งจะเป็นผลทำให้เกิดการกระเด็นตัวกลับของชิ้นงาน [6]

2.1.3 กริด (Grid) คือ การคำนวณหาความเครียดตามแบบกริด (Grid Pattern) จะทำการสร้างโดยการกัดกรด และปล่อยกระแสไฟฟ้าที่บริเวณส่วนที่เป็นพื้นผิวหน้าของโลหะเพื่อให้เกิดแถวเรียงต่อกันเป็นพื้นที่ของจุดทดสอบ [7]

2.1.4 สารหล่อลื่น คือ สารที่ทำหน้าที่เคลือบผิวโลหะ หรือชิ้นงานที่มีการเคลื่อนที่ เพื่อไม่ให้เกิดการเสียดสีกันโดยตรง หรือเพื่อเป็นการลดการสึกหรอของชิ้นงาน [8]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 อักษรยุทธ์ พิเศษฐวานิช 2553 ทำการทดลองตัดเหล็กท่อกวาง เหล็กเส้นกลมผิวเรียบ และเหล็กแผ่น จะกำหนดองศาในการตัดตามขอบเขตความสามารถในการตัดของแม่พิมพ์ตัดมัลติฟังก์ชัน ซึ่งสามารถตัดเหล็กได้สูงสุดเท่ากับ 90 องศา ดังนั้นจึงทำการทดลองตัดที่องศาในการตัดเท่ากับ 15 องศา จนถึง 90 องศา โดยการทดลองจะเตรียมเหล็กท่อกวางเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 15.8 มิลลิเมตร ความหนาของผนังท่อเท่ากับ 0.4 มิลลิเมตร เหล็กเส้นกลมผิวเรียบเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร และเหล็กแผ่นกว้าง 25 มิลลิเมตร ความหนา 2 มิลลิเมตร ซึ่งเหล็กทั้ง 3 ประเภทจะใช้เวลาตัดเท่ากับ 1,000 มิลลิเมตร ซึ่งในการตัดเหล็กสำหรับงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาคัดตัวกลับของเหล็กทั้ง 3 ประเภท แต่ผลกระทบอันเนื่องมาจากความเค้นก่อให้เกิดข้อบกพร่องต่างๆ ที่สามารถศึกษาได้จึงทำการศึกษาเพิ่มในส่วนของหน้าตัดที่บัพของเหล็กท่อกวาง และความหนา

ของส่วนโค้งที่แตกต่างกันในแต่ละบริเวณของเหล็กท่อกลวง นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาเปอร์เซ็นต์ความเครียดบริเวณส่วนโค้งของเหล็กท่อกลวงโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกริดแบบผสมมาช่วยในการคำนวณหาความเครียดหลัก และความเครียดรอง นอกจากนี้เพื่อเป็นการศึกษาหลักการไฟไนต์เอลิเมนต์จึงทำการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไม่เชิงเส้นของเหล็กทั้ง 3 ประเภทที่ผ่านกระบวนการตัดแบบ Compression ซึ่งผลเฉลยจากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์จะมีดังนี้ ผลเฉลยการคิดตัวกลับของวัสดุ อัตราเปอร์เซ็นต์ความเครียดบริเวณส่วนโค้งของเหล็กท่อกลวง และความหนาของผนังเหล็กท่อกลวงบริเวณส่วนโค้ง ที่น่าสนใจยิ่งคือการสอบเทียบโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ก่อนที่จะนำวิธีการ หรือ ผลการวิเคราะห์ไปใช้งาน ด้วยวิธีการคำนวณความหนาของผนังท่อบริเวณส่วนโค้งเปรียบเทียบกับการวัดความหนาโดยเครื่องมือวัด และผลการวิเคราะห์ความหนาที่ได้จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ [9]

2.2.2 นายภาณุภูมิ ศรีธาวงษ์ นายศรชัย สายกระสุน และนายสมเกียรติ สภาไพชิต 2552 ปฏิญาณิพนธ์ฉบับนี้เป็นการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ตัดโลหะแผ่น ขนาด 200x160x150 มิลลิเมตร โดยใช้แรงในการตัดขนาด 5 ตัน ทำการตัดเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ความหนา 1 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร เพื่อศึกษาแรงที่ใช้ในการตัด คุณภาพผิวขอบชิ้นงานและสึกหรอของคมตัด ด้วยการสร้างแผ่นฟิล์มของสารหล่อลื่น 3 ชนิด คือสารหล่อลื่นชนิดสังเคราะห์ สารหล่อลื่นชนิดกึ่งสังเคราะห์ และสารหล่อลื่นชนิดน้ำมัน เพื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้สารหล่อลื่น ซึ่งในการทดสอบใช้เครื่องบีบระบบกลไก (Mechanical Press) ขนาด 16 ตัน และใช้ความเร็วในการตัด 120 ครั้งต่อนาที ในการทดสอบ [8]

2.2.3 S.K. Panthi [10] ได้กล่าวว่าการตัดโลหะแผ่นก่อให้เกิดความเครียดสูงส่งผลกระทบต่อ การคิดตัวกลับอันเนื่องมาจากการคืนตัวแบบยืดหยุ่น ยังคงมีความพยายามลดการคิดตัวกลับของโลหะแผ่นอยู่มากมาย หนึ่งในนั้นคือการออกแบบแม่พิมพ์โดยการปรับเปลี่ยนมุมคด [11] นอกจากนี้ตัวแปรที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการคิดตัวกลับได้แก่ ชนิดของวัสดุ [12] ปัจจุบันได้มีการนำเอาวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์มาช่วยในการวิเคราะห์พฤติกรรมของการเกิดการคิดตัวกลับ และความเครียดที่เกิดขึ้นเพื่อช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ตัด [13,14] ส่วน Wagoner [15] ได้พิสูจน์ตัวแปรอื่นที่น่าสนใจที่มีอิทธิพลต่อการคิดตัวกลับของวัสดุ ได้แก่ ความแตกต่างของความเครียดที่เกิดขึ้น ความเสียหายอนุกรม และการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในการตัดขึ้นรูป

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าตัวแปรอีกอย่างที่น่าสนใจได้แก่สารหล่อลื่น ซึ่งยังไม่มียานวิจัยที่ชัดเจน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาอิทธิพลของสารหล่อลื่นที่มีผลต่อกระบวนการตัด และสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นหลังการตัดได้หรือไม่ โดยทำการทดลองศึกษาอิทธิพลของสารหล่อลื่นที่มีผลต่อการคิดตัวกลับในการตัดขึ้นรูป เพื่อให้ทราบว่าสารหล่อลื่นมีผลต่อการลดการคิดกลับและศึกษา

องศาในการตัดที่แตกต่างกันเพื่อให้ทราบถึงองศาในการตีคดกลับ และสามารถนำไปช่วยในการออกแบบผลิตภัณฑ์ในโรงงานอุตสาหกรรมและเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในการตัดขึ้นรูปโลหะแบบอัดเพื่อให้ได้มุมการตัดที่ต้องการตามจุดประสงค์ของการใช้งาน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาคิดค้นตัวกลับของชิ้นงานที่มีรูปทรงแตกต่างกัน

2.3 การขึ้นรูปแบบเย็น (Cold Working) [16]

การขึ้นรูปแบบเย็น (Cold Working) หมายถึง การขึ้นรูปวัสดุโดยใช้แม่พิมพ์ และขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่ำ (Low Temperature) และไม่ทำให้เกิดผลึกใหม่ โดยส่วนใหญ่จะเป็นการแปรรูปวัสดุที่อุณหภูมิห้อง (โดยประมาณ 20°C ถึง 25°C) หรือ สูงเล็กน้อยแต่ต้องต่ำกว่าอุณหภูมิของการตกผลึกใหม่ (Recrystallisation Temperature) เพื่อให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนรูปถาวร (Plastic Deformation) ซึ่งการขึ้นรูปเย็นโลหะจะมีความแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์ปกติ ดังนั้นจะต้องใช้กำลัง แรงในการขึ้นรูปสูงมากเพื่อให้เกิดความเค้น (Stress) ในโลหะจนเกินจุดอีลาสติก (Elastic Limit) หรือ จุดคราก (Yield Point) กรณีถ้าปล่อย หรือ ลดแรงที่กดออกโลหะก็จะคืนเข้ารูปเดิมไม่เกิดการแปรรูปจะเห็นว่าการขึ้นรูปเย็นมีข้อยุ่งยากกว่าการขึ้นรูปร้อนแต่จะมีส่วนคืออยู่ 2 ประการคือ สามารถควบคุมขนาดของโลหะในช่วงสุดท้ายได้แน่นอน และผิวของโลหะสะอาดและเป็นมันเรียบแต่ก็มีข้อด้อยที่พบเห็นได้อย่างชัดเจนคือ เกิดความเค้น (Stress) ความเครียด (Strain) มาก และเกรน (Grain) ของโลหะเกิดการแตกหักได้ง่าย โดยทั่วไปจะแบ่งประเภทของการเปลี่ยนรูปของโลหะหรือของวัสดุออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

2.3.1 การเปลี่ยนรูปในช่วงพลาสติก (Plastic Deformation) [17]

การเปลี่ยนรูปในช่วงพลาสติกกล่าวคือ เมื่อวัสดุได้รับความเค้นในระดับต่ำกว่าขีดจำกัดของความยืดหยุ่น (Elastic Limit) การเสียรูปร่าง หรือ ความเครียดจะเกิดขึ้นชั่วคราว เมื่อปลดความเค้น หรือ แรงกระทำออกวัสดุจะกลับคืนรูปเดิม แต่หากวัสดุได้รับความเค้นเลยขีดจำกัดความยืดหยุ่น การเปลี่ยนแปลงรูปร่างจะเกิดขึ้นอย่างถาวรเรียกว่า (Plastic Deformation) ซึ่งเมื่อปลดความเค้น หรือ แรงแล้ววัสดุจะไม่กลับคืนรูปเดิม

2.3.2 การเปลี่ยนรูปในช่วงยืดหยุ่น (Elastic Deformation) [17]

การเปลี่ยนรูปอีลาสติก (Elastic Deformation Property) หมายถึง การเปลี่ยนรูปที่สามารถคืนตัวได้อย่างสมบูรณ์ (Reversible) เมื่อแรงกระทำนั้นถูกปลดออก เช่น เมื่อดึงวัสดุจะยืดตัวออกจนถึงระยะหนึ่งแล้วก็หยุดเมื่อปลดแรงวัสดุก็จะหดตัวสู่ความยาวเดิม หรือ การจับยึดกันของพันธะอะตอม (Atomic Bonds) จะไม่หลุดออกจากกันแต่เมื่อปลดแรงออกอะตอมก็จะกลับสู่ตำแหน่งที่สมดุล นั่นหมายความว่า การเปลี่ยนแปลงรูปร่างจะมีการยืดหยุ่นกลับได้ ส่วนใหญ่การ

เปลี่ยนรูปแบบฮิสตริกเกิดจากแรงกระทำที่ไม่สูงนัก และการเปลี่ยนรูปดังกล่าวมักจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของแรง โดยปกติเรามักจะถือว่าการ เปลี่ยนรูปในช่วงฮิสตริกนี้ จะเกิดขึ้นโดยทันทีเมื่อมีแรงกระทำ แต่ที่จริงแล้วการเปลี่ยนแปลงไม่ว่าจะเป็นเมื่อถูกแรงกระทำ หรือ การคืนรูปเมื่อหยุดแรงกระทำล้วนต้องใช้ระยะเวลาหนึ่งเสมอ ในโลหะส่วนมากระยะเวลาที่จะสั้นมากจนวัดไม่ได้แต่ในวัสดุบางชนิด เช่น ยาง ส่วนที่เปลี่ยนช้าๆ คือขึ้นกับเวลา (Time Dependent) นี้อาจมีมากพอจนวัดได้ คุณสมบัติการเปลี่ยนรูปโดยขึ้นกับเวลานี้ เรียกว่า การเปลี่ยนรูปที่ขึ้นกับเวลา (Anelasticity) แต่ก็ยังเป็นส่วนหนึ่งของการเปลี่ยนรูปแบบฮิสตริก เพราะจะคืนตัวโดยสมบูรณ์ได้ในที่สุด

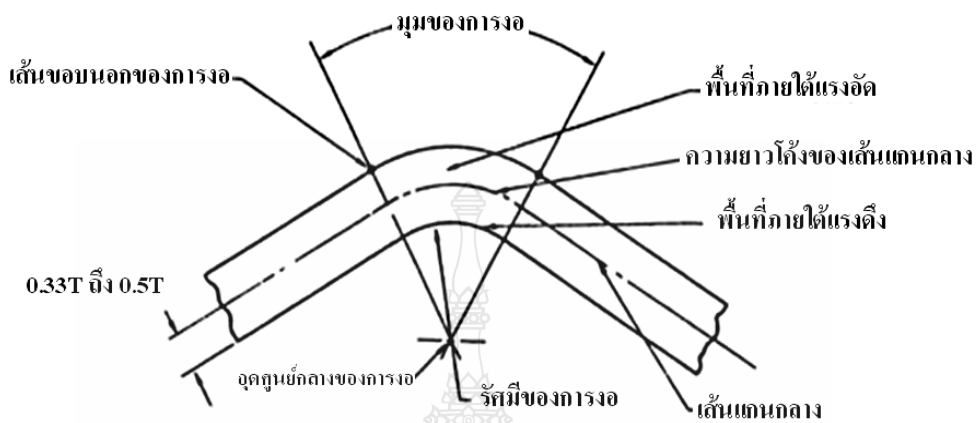
จากที่กล่าวข้างต้นการขึ้นรูปแบบเย็นเป็นกระบวนการขึ้นรูปเพื่อให้วัสดุ หรือ โลหะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างชนิดถาวรในที่อุณหภูมิค่าทั้งนี้โดยไม่ทำให้เกิดผลึกใหม่ขึ้น การขึ้นรูปแบบเย็นหลักๆ จะประกอบไปด้วย การดัดงอ (Bending) การรีดเย็น (Cold Rolling) การอัดรีด (Extruding) การบีบงอ (Squeezing) การรีดขึ้นรูป (Shear Spinning) ฯลฯ [16]

2.4 การตัดโลหะ (Bending)

การตัดเป็นกรรมวิธีการหนึ่งของการขึ้นรูปโลหะแบบไร้เศษ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์ ก่อสร้าง ฯลฯ [5,9] การตัดส่วนใหญ่ใช้ในงานโลหะแผ่น (Sheet Metal) งานลวด (Wire) งานท่อ (Pipe) และ โลหะแท่ง (Rod) การเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรของโลหะอยู่ที่บริเวณรัศมีการตัด บริเวณนี้จะเกิดข้อบกพร่องได้ง่ายเช่น การย่น การแตก การบิดเบี้ยวของหน้าตัด โดยรับอิทธิพลจากความเค้นในกระบวนการตัด ความเค้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ความเค้นอัด (Compressive Stress) ความเค้นดึง (Tensile Stress) โดยตามทฤษฎีความเค้นอัดจะเกิดที่ด้านใน ส่วนรัศมีการตัด ความเค้นดึงเกิดที่ด้านนอกรัศมีการตัด

นิยามคำศัพท์ที่ใช้ในงานตัดโลหะดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งแนวระนาบบนเส้นแกนกลาง (Neutral Plane) เป็นระนาบที่แบ่งบริเวณในการเกิดความเค้นดึงและความเค้นอัด เส้นแกนกลางนี้ยังใช้ประโยชน์ในการหาความยาวเริ่มต้นได้ด้วย เนื่องจากจะเกิดการเปลี่ยนแปลงความยาวเล็กน้อยหลังจากการตัด ความยาวของเส้นแกนกลางจะเท่ากับความยาวเดิมของชิ้นงาน ส่วนความยาวด้านนอกรัศมีการเพิ่มจะมีความยาวเพิ่มขึ้น และความยาวด้านในรัศมีการตัดจะมีความยาวลดลง นั่นคือความยาวของเส้นแกนกลางจะแสดงถึงความยาวที่แท้จริงของชิ้นงาน ซึ่งขนาดที่แท้จริงของชิ้นงานจะหาได้จากเส้นแกนกลางหลังจากการตัดแล้ว มุมตัด (Bend Angle) คือ องศาที่นับจากโลหะเริ่มต้นถูกตัดเป็นมุมขึ้นไป รัศมีการตัด (Bend Radius) หมายถึงรัศมีการตัดทางด้านใน แต่การตัดในกรณีโลหะ

แผ่นก็มีข้อจำกัดเกี่ยวกับมุมที่ถูกยกเว้นสำหรับกระบวนการคือ มุม 0 องศา และมุม 360 องศา เพราะถ้าชิ้นงานถูกงอที่มุม 360 องศาจะทำให้กลายเป็นการพับขอบไป [5,9]

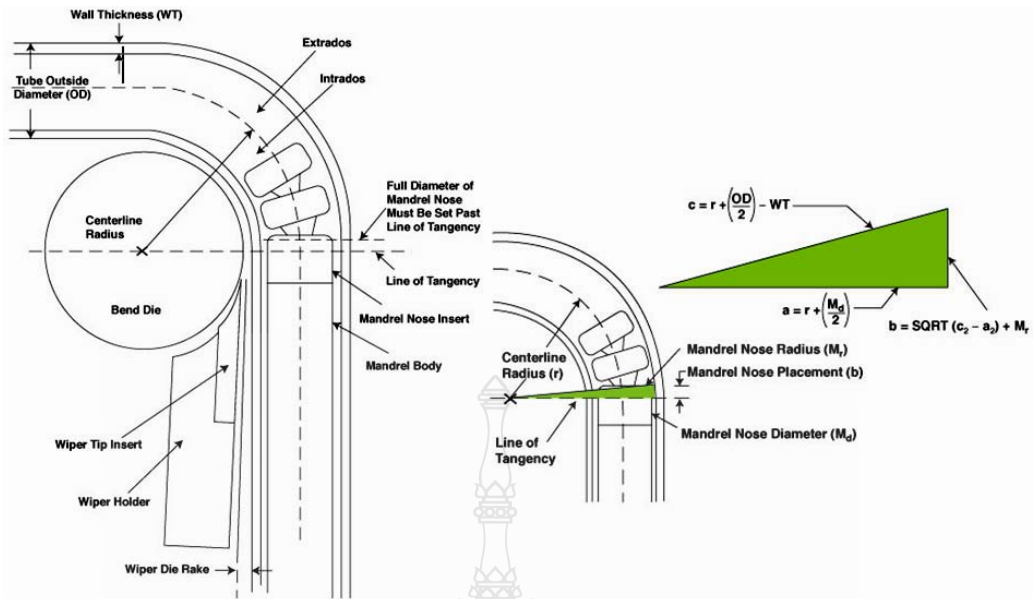


รูปที่ 2.1 นิยามศัพท์ในการตัด [5,9]

การตัดท่อโดยทั่วไป รัศมีคัตน้อยสุดจะมีค่าเป็น 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ การตัดท่อสามารถใช้ความร้อนเข้าช่วยได้ เรียกว่า การตัดร้อน (Hot Bending) หรือ ไม่ใช้ความร้อนเข้าช่วยจะเรียกว่า การตัดเย็น (Cold Bending) ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของการตัดท่อเป็น 4 ประเภทหลักๆ และการตัดที่ได้จากการประยุกต์จากการตัดประเภทหลักๆ อีก 1 ประเภท คือการตัดแบบ Compression Bending ซึ่งในงานวิจัยเล่มนี้จะให้ความสำคัญกับการตัดประเภท Compression Bending เป็นพิเศษเนื่องจากงานวิจัยเล่มนี้ใช้การตัดประเภทดังกล่าว ซึ่งประเภทของการตัดท่อจะมีดังนี้ [18,19]

2.4.1 การตัดประเภท Mandrel Bending

เป็นระบบการตัดท่อชนิดหนึ่ง การตัดท่อแบบนี้จะช่วยให้อัตราการตัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันโดยตลอด อีกทั้งการตัดแบบนี้ยังช่วยลดข้อจำกัดของการตัดท่อได้ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม การตัดแบบ Mandrel Bending นั้นสามารถสร้างส่วนโค้งในการตัดได้มากกว่าการตัดที่ไม่ได้ใช้แรงกด หรือ แรงอัด อีกทั้งยังทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ทำการตัดมีลักษณะที่เป็นวงเต็มตลอดความยาวท่อแม้ว่าจะเป็นส่วนของรัศมีโค้งก็ตาม ซึ่งในอุตสาหกรรมการตัดได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับดาของการตัดแบบ Mandrel แต่ชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆของการตัดแบบนี้ยังประยุกต์ใช้ในการตัดได้ไม่มาก [18,19]

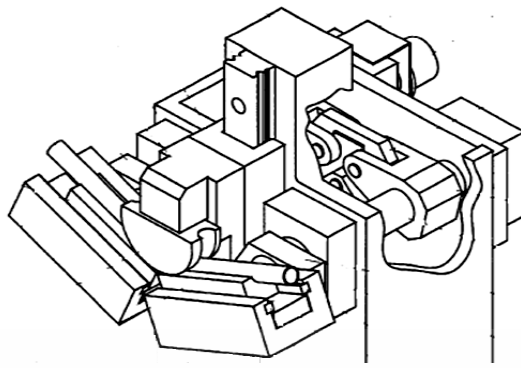


รูปที่ 2.2 ลักษณะของการตัดท่อแบบ Mandrel Bending [19]

ความแตกต่างของการตัดแบบ Mandrel Bending กับการตัดโดยทั่วไปคือ การตัดแบบนี้ช่วยในการไหลตัวแบบอัดแน่นของการตัดท่อเพิ่มขึ้น 25 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ท่อที่ตัดมีเส้นผ่านศูนย์กลางเหมือนกันตลอดความยาว แต่การตัดแบบอื่นจะทำให้ท่อที่ตัดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อไม่สม่ำเสมอโดยเฉพาะส่วนโค้งจะมีรอยตัด และเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเล็กกว่าส่วนอื่น

2.4.2 การตัดประเภท Ram or Push Bending

กระบวนการตัดท่อแบบนี้ได้ใช้ระบบไฮดรอลิกส์มาทำให้แม่พิมพ์ค้ายเคลื่อนที่ลงมาตรงที่ท่อ ซึ่งท่อจะถูกรองรับด้วยปีกของค้าย โดยที่ปีกของค้ายแยกออกเป็นด้าน และมีลักษณะเป็นโค้งลงตรงศูนย์กลางของการตัดท่อ ซึ่งท่อจะมีการเคลื่อนเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่บริเวณแม่พิมพ์นี้ โดยปีกค้ายแต่ละด้านจะเป็นตัวช่วยรองรับท่อทั้ง 2 ข้าง ดังรูปที่ 2.3 กระบวนการตัดแบบนี้เหมาะสมอย่างมากต่ออุตสาหกรรมที่ต้องการผลิตปริมาณมาก และต้องการความรวดเร็วในการผลิต [20]



รูปที่ 2.3 การดัดแบบ Ram Bending [20]

2.4.3 การดัดประเภท 3-Roll Bending

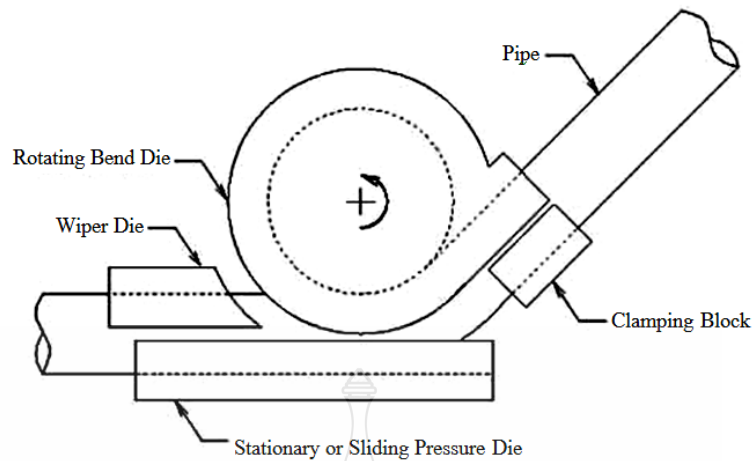
เป็นวิธีการม้วนดัดใช้สำหรับการดัดชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ หรือ รัศมีขนาดใหญ่ โดย ลูกดัดทั้ง 3 ลูกจะถูกจัดวางในรูปทรงพีระมิดดังรูปที่ 2.4 ลูกดัดทั้ง 2 ลูกจะถูกยึดติดให้อยู่กับที่ วิธีการนี้คล้ายกับวิธีการดัดแบบ Ram Bending แต่การทำงานต้องให้ลูกกลิ้งทั้งสองข้างหมุนก่อนแล้วจึงจะสามารถดัดชิ้นงานได้เรียกว่า Pipe Rolls [21]



รูปที่ 2.4 การดัดแบบ 3-Roll Bending [21]

2.4.4 Rotary Draw Bending

เป็นกระบวนการดัดท่อที่นิยมใช้มากที่สุดเกี่ยวกับการดัดท่อ ซึ่งการดัดแบบนี้จะรักษาชิ้นงานสำเร็จ และเส้นผ่านศูนย์กลางให้คงที่ ท่อที่ถูกดัดจะถูกลากผ่านลูกกลิ้งที่ติดอยู่กับที่ดัดบนคานาที่ติดแน่นดังรูปที่ 2.5 [18]

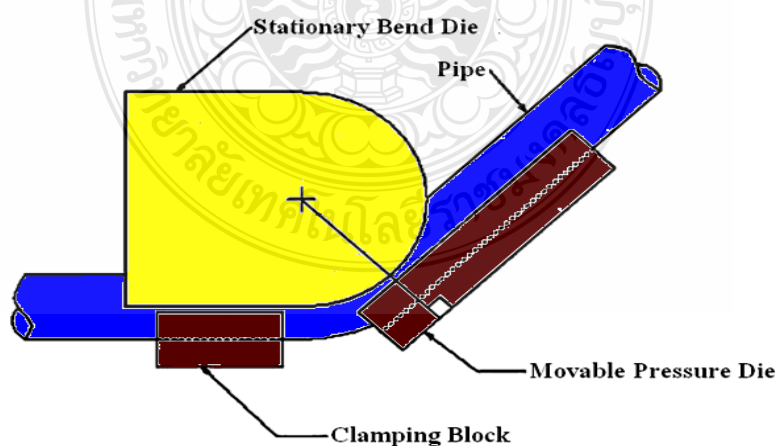


รูปที่ 2.5 การดัดแบบ Rotary Draw Bending [18]

วิธีการดัดแบบ Rotary Draw Bending เหมาะสำหรับการดัดงานเหล็กสำหรับคัตราง น้ำ รางทราย อุปกรณ์เครื่องยนต์ ลูกกรอก เครื่องเรือน เฟอร์นิเจอร์ และชิ้นงานดัดประเภทอื่นๆ อีกมากมาย ซึ่งลูกดัดจะเคลื่อนที่ไปขณะทำการดัดด้วย

2.4.5 การดัดประเภท Compression Bending

เป็นประเภทของการดัดชนิดหนึ่งซึ่งกล่าวไว้ว่าใช้แรงในการอัดตลอดจนเป็นการประยุกต์มาจากการดัดประเภท Rotary Draw Bending การดัดประเภทนี้ชิ้นงานโลหะที่จะหมุน หรือ เลื่อนไปรอบๆ โดยลิ้มดัด (Pressure Die) ตามรัศมีการดัดของแม่พิมพ์ดัด (Bend Die) ซึ่งติดอยู่กับที่ [22]



รูปที่ 2.6 Compression Bending [22]

2.5 การติดตัวกลับของชิ้นงาน (Spring Back)

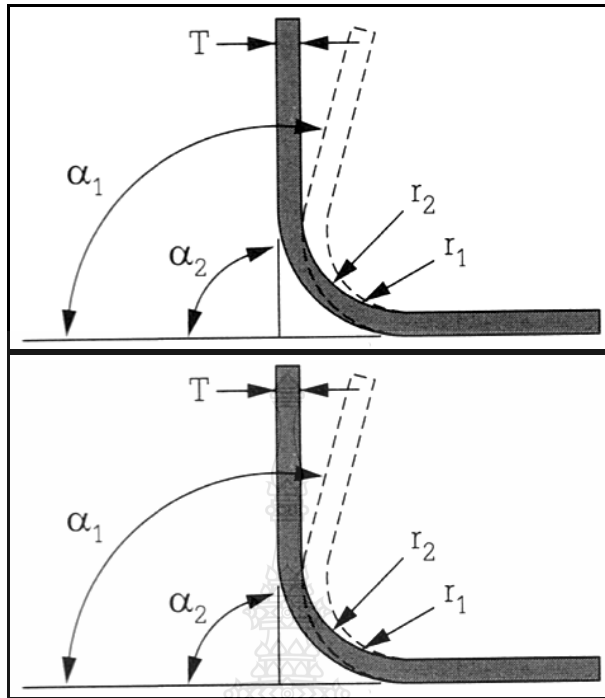
หลังจากทำการตัดตามมุม และรัศมีของแม่พิมพ์ตัดประเภทใดประเภทหนึ่งแล้ว จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของมุม และรัศมีเล็กน้อยหลังจากการพับ เรียกว่า การติดตัวกลับของวัสดุ โดยการติดตัวกลับเกิดจากการคืนตัวในช่วงการเปลี่ยนรูปอย่างไม่ถาวร หรือช่วงการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น (Elastic Deformation) ของวัสดุ ซึ่งความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณที่ตัด คือความเค้นดึงจะเกิดขึ้นสูงสุดที่ขอบด้านนอกของรัศมีการตัด และลดลงตามแนวความหนาจนเป็นศูนย์ที่เส้นแกนกลางของโลหะแผ่น เช่นเดียวกับความเค้นอัดสูงสุดจะเกิดที่ผิวโค้งด้านในของรัศมีการตัด และลดลงจนเป็นศูนย์ที่เส้นแกนกลาง ในส่วนที่ไกลออกไปจนถึงผิวโค้งนอกสุด และในสุดค่าความเค้นที่เกิดขึ้นทั้งแรงดึงและแรงอัดจะเกินค่าความแข็งแรงครากทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร แต่เมื่อแม่พิมพ์เปิดออกส่วนที่เป็นแถบการเปลี่ยนรูปแบบไม่ถาวรพยายามคืนตัว แต่ไม่สามารถกระทำได้ทั้งหมด เนื่องจากถูกยึดไว้ด้วยส่วนที่เปลี่ยนรูปถาวรไปแล้วทางด้านนอก ดังนั้นจึงเกิดการคืนตัวได้บางส่วนเพื่อสร้างความสมดุลระหว่างส่วนที่เปลี่ยนรูปถาวร และส่วนที่เป็นเปลี่ยนรูปแบบไม่ถาวร [6]

ค่าการติดตัวกลับของวัสดุจะเพิ่มขึ้นตามค่าความแข็งแรงคราก (Yield Strength) ค่าคงที่ของความแข็ง (Strain Hard Exponent) รัศมีการตัด และการติดตัวกลับของวัสดุจะลดลงเมื่อค่า Young Modulus และความหนาของวัสดุเพิ่มขึ้น การคาดเดาการติดตัวกลับของวัสดุสามารถประมาณได้จากค่าคงที่ของการติดตัวกลับ (Spring Back ; K(T)) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ[6]

$$K = \alpha_2 / \alpha_1 = (r_1 + 0.5T) / (r_2 + 0.5T) \quad (2.1)$$

โดยที่

- K = ค่าคงที่ของการติดตัวกลับ
- α_1 = มุมตัดเริ่มต้น (ก่อนการติดตัวกลับ)
- α_2 = มุมตัดหลังการติดตัวกลับ
- r_1 = รัศมีการตัดของแม่พิมพ์
- r_2 = รัศมีการตัดของชิ้นงานหลังการติดตัวกลับ
- T = ความหนาของชิ้นงานตัด



รูปที่ 2.7 การดีดกลับ (Spring Back) [6]

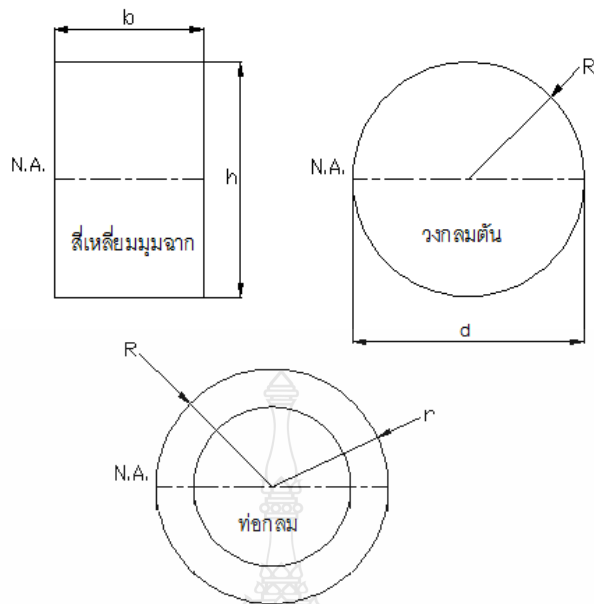
2.6 สมการสำคัญในการตัด [23]

2.6.1 การคำนวณความเค้นดัด หรือ โมเมนต์ดัด

ความเค้นดัด หรือ โมเมนต์ดัดคือ ผลบวกทางพีชคณิตของโมเมนต์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนัก ณ หน้าตัดของคานาด้านใดด้านหนึ่ง โดยหน้าตัดนั้นต้องตั้งได้ฉากกับแนวศูนย์กลางความยาวคาน ซึ่งมีสมการที่ 2.8 ดังนี้

$$\sigma_b = Mc / I \text{ N/mm}^2 = M / S \text{ N/mm}^2 \quad (2.2)$$

- โดย
- M = โมเมนต์ดัด Nm
 - c = ระยะจากแกนสะเทินถึงผิวนอกที่มีแรงกระทำ mm
 - I = โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัด mm⁴
 - S = มอดูลัสของหน้าตัด (S = I / C)



รูปที่ 2.8 มอดูลัสหน้าตัดของพื้นที่หน้าตัดที่ควรถราบ [23]

ในกรณีที่หน้าตัดของวัสดุมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก วงกลมตัน ท่อกลม สมการหน้าตัดของ S จะเปลี่ยนแปลงไปดังสมการต่อไปนี้

- กรณีที่หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก

$$S = (bh^2) / 6 \quad (2.3)$$

โดย b = ความกว้างของหน้าตัด

h = ความสูงของหน้าตัด

กรณีที่หน้าตัดเป็นวงกลมตัน

$$S = (\pi R^4) / 4 = (\pi d^3) / 32 \quad (2.4)$$

โดย R = รัศมีความโค้งนอกของหน้าตัดวงกลมตัน

h = เส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมตัน

- กรณีที่หน้าตัดเป็นท่อกลม

$$S = (\pi / 4R) \times (R^4 - r^4) \quad (2.5)$$

โดย R = รัศมีความโค้งนอกของหน้าตัดวงกลมตัน
 r = รัศมีความโค้งในของหน้าตัดวงกลมตัน
 โมเมนต์ คือผลของแรงที่มีผลต่อการหมุนของวัตถุ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของแรง และระยะระหว่างแนวแรงกับจุดหมุน เกิดความได้เปรียบเชิงกล ซึ่งมีสมการที่ 2.12 ดังต่อไปนี้

$$M_A = F \times R \quad (2.6)$$

โดย M_A = โมเมนต์รอบจุดเอ (A)
 F = ขนาดของแรง
 R = การกระจัดจากจุดหมุนถึงจุดที่แรงกระทำ

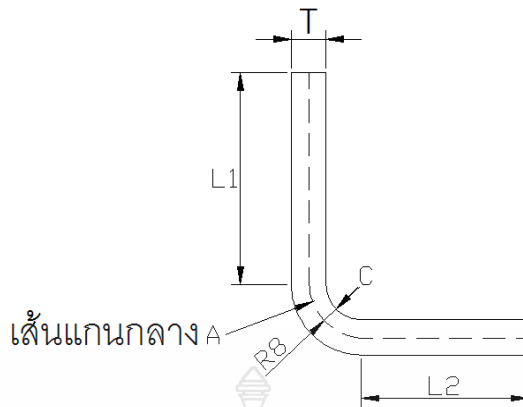
2.6.2 การคำนวณความยาวส่วนโค้งโลหะแผ่นตามหลักการของ Ostergaard [23]

เมื่อตัดชิ้นงาน ความยาวของโลหะวัดที่เส้นแกนกลางจะมีความยาวเท่ากับความยาวของโลหะเริ่มต้น เส้นแกนกลางก่อนพับจะอยู่กึ่งกลางความหนาของโลหะ เมื่อทำการตัดเส้นแกนกลางจะเข้าใกล้รัศมีด้านในของการตัด คำนวณได้จากสมการดังนี้

$$A = (\alpha / 360) \times [2\pi(r + C)] \quad (2.7)$$

$$L_o = L_1 + A + L_2 \quad (2.8)$$

โดย A = ความยาวรัศมีของเส้นแกนกลาง
 C = รัศมีของส่วนโค้งใน
 R = รัศมีในการตัด
 α = องศาในการตัด
 L_o = ความยาวเริ่มต้น
 L_1 = ความยาวด้านที่ 1
 L_2 = ความยาวด้านที่ 2



รูปที่ 2.9 การคำนวณความยาวเบื้องต้นของโลหะแผ่นตามหลักการ Ostergard [23]

ตารางที่ 2.1 การกำหนดค่า C (ระยะจากผิวด้านในจนถึงเส้นแกนกลาง) [23]

รัศมีการตัด	C
$r < 2T$	0.33T
$r = 2T$ ถึง $3T$	0.4T
$r > 4T$	0.5T

2.6.3 การคำนวณความยาวส่วนโค้งของท่อ

การคำนวณความยาวส่วนโค้งของโลหะท่อสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.9 และค่าตัวแปรดังแสดงไว้ดังรูปที่ 2.49

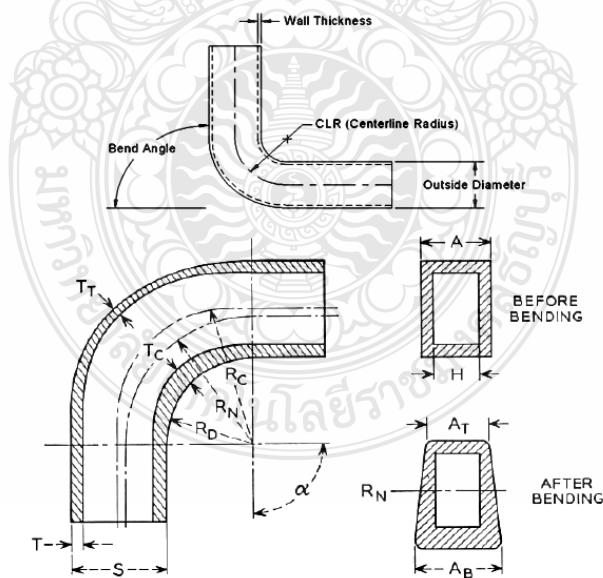
$$L = (\pi \times r \times \phi) / 180 \quad (2.9)$$

- โดย
- L = ความยาวส่วนโค้งของโลหะท่อ
 - r = รัศมีความโค้งของโลหะท่อ (วัดที่เส้นแกนกลาง)
 - ϕ = องศาในการตัดโลหะท่อ

รูปที่ 2.10 แบบท่อโค้ง [23]

2.6.4 การคำนวณความหนาผนังบริเวณส่วนโค้งนอกของเหล็กท่อ

การคำนวณความหนาของผนังที่น้อยที่สุด (T_T) ที่บริเวณส่วนโค้งนอกของเหล็กท่อ ดังสมการที่ 2.10 ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งเหล็กท่อกว้างหน้าตัดกลม และหน้าตัดสี่เหลี่ยม โดยการใช้สมการนี้ จำเป็นต้องทราบเส้นศูนย์กลางของท่อที่ทำการคด รัศมีของลูกคด ฯลฯ ดังรูปที่ 2.50 ซึ่งในการคำนวณความหนาของผนังจะใช้สมการที่ 2.10 และ 2.11 ดังนี้



รูปที่ 2.11 หน้าตัดของเหล็กท่อกว้าง และตัวแปรในการคำนวณความหนาของผนัง [24]

$$CLR, R_C = 4 \times OD \quad (2.10)$$

$$T_T = ATR_C / [A_T \times (R_D + S - 0.5T)] \quad (2.11)$$

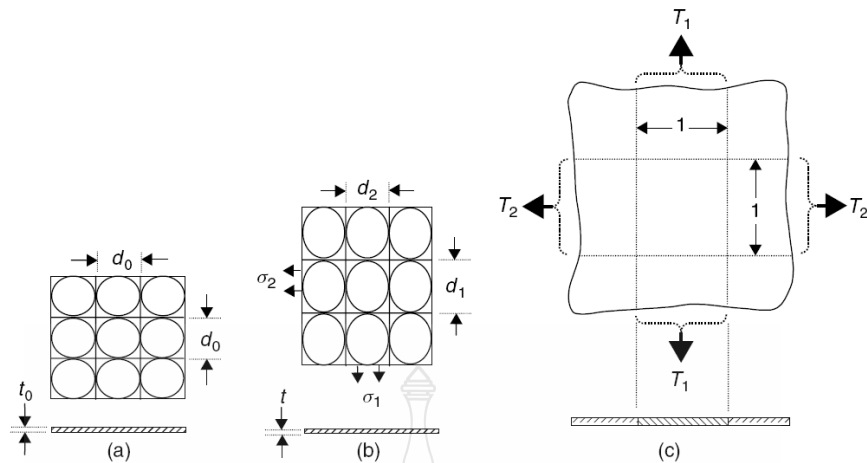
- โดย R_C = เส้นศูนย์กลางของรัศมีส่วนโค้งของท่อ (Center Line Radius : CLR)
 OD = ความโตนอกสุดของท่อ
 T_T = ความหนาของผนังบริเวณส่วนโค้งหลังจากการตัด
 A = ความสูงโดยปกติของท่อ
 T = ความหนาโดยปกติของท่อ
 A_T = ความสูงของท่อหลังจากการตัด
 R_D = รัศมีส่วนโค้งของแม่พิมพ์ (ลูกตัด)
 S = ความกว้างโดยปกติของท่อ

2.7 การเปลี่ยนรูปทรงของวงกลมกริด (Changing the shape of the Grid) [7]

การคำนวณหาความเครียดตามแบบกริด (Grid Pattern) จะทำการสร้างโดยการกัดกรดและปล่อยกระแสไฟฟ้าที่บริเวณส่วนที่เป็นพื้นผิวหน้าของโลหะเพื่อให้เกิดแถวเรียงต่อกันเป็นพื้นที่ของจุดทดสอบ ซึ่งกริดนั้นต้องมีความถูกต้องแม่นยำก่อนที่จะขึ้นรูปโลหะให้เป็นรูปร่างสุดท้ายโดยใช้แรงขึ้นรูป ซึ่งกริดที่ใช้สร้างบนชิ้นงานโลหะทั่วไปจะมีรูปแบบ สี่เหลี่ยม วงกลม วงรี และวงกลมผสมกับสี่เหลี่ยม (Combination) และกริดที่เป็นรูปร่างต่างๆ จะเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปหลังจากทำการขึ้นรูปโลหะ

2.7.1 การเปลี่ยนรูปของโลหะในระนาบความเค้น (Deformation of Metal in Plane - Stress)

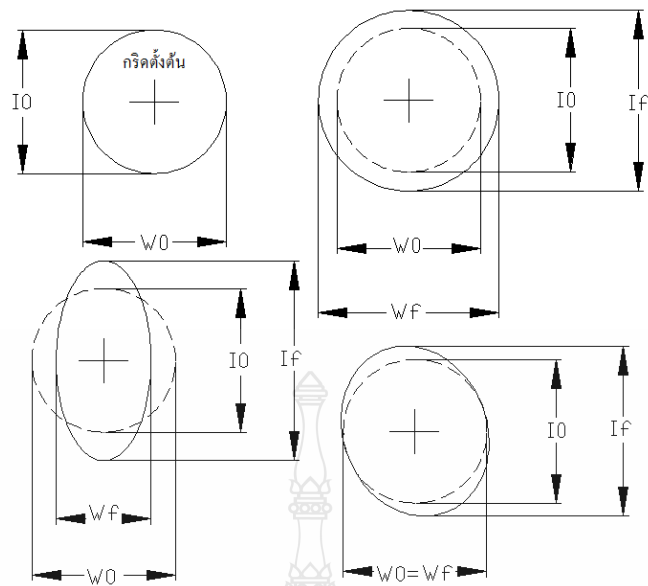
ในขณะที่มีการเปลี่ยนรูปบนระนาบความเค้น (Plane Stress) ของวัสดุซึ่งกำลังประยุกต์ใช้กับทฤษฎีสัดส่วนการเปลี่ยนรูปในรูปที่ 2.4 ลักษณะที่ยังไม่มีการเปลี่ยนรูปที่ความหนา t_0 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง d_0 หรือตารางขนาด d_0 แสดงในรูปที่ 2.12 [7]



รูปที่ 2.12 กริดวงกลมบนโลหะแผ่นขณะที่ยังไม่เปลี่ยนรูป และเปลี่ยนรูป [7]

- ดังนั้นในระหว่างการเปลี่ยนรูปร่างวงกลมจะเปลี่ยนไปเป็นวงรีแกนหลัก (Major) คือ d_1 แกนรอง (Minor) คือ d_2 ถ้าปรับตารางสี่เหลี่ยมให้เข้ากับทิศทางหลักของกริดวงกลม จะกลายเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า
- ส่วนความหนา คือ t
- ความเค้นที่ทำให้เปลี่ยนรูปคือ σ_1 และ σ_2 [7]

การเปลี่ยนรูปร่างไปของกริดอาจมีรูปร่างหลายลักษณะนอกเหนือจากวงรี อาทิเช่น กริดวงกลมใหม่อาจจะใหญ่กว่าวงกลมเดิม หรือเกิดการเอียงกันระหว่างกริดเดิมกับกริดใหม่ โดย กริดจะเปลี่ยนรูปหลังจากการขึ้นรูปโลหะแล้ว ซึ่งสามารถยกตัวอย่างในการเปลี่ยนรูปร่างของกริด ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แบบกริดที่เปลี่ยนไปจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับโลหะแผ่น [25]

ซึ่งในงานวิจัยเล่มนี้จะใช้กริดวงกลมที่มีความกว้าง 2.5 มิลลิเมตร และความยาว 2.5 มิลลิเมตร หรือ เรียกอีกอย่างว่าเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นกริดแบบวงกลมผสมกับสี่เหลี่ยม (Combination) คือมีสี่เหลี่ยมล้อมรอบกริดวงกลมสี่วง ซึ่งรูปร่างของกริดได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 กริดแบบวงกลมผสมสี่เหลี่ยม (Combination) [9]

2.7.2 การคำนวณค่าความเครียดเทียบเท่า[7,25]

การคำนวณค่าความเครียดส่วนโค้งของเหล็กที่อกลวง และเหล็กแผ่น จากการสร้างกริดวงกลม บนพื้นผิวเหล็กที่อกลวง โดยใช้กริดขนาดมาตรฐานวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร จะพบว่าหลังจากเหล็กที่อกลวงผ่านกระบวนการตัดรูปร่างของกริดจะเปลี่ยนไป ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาความเครียดหลัก (ε_1) และความเครียดรอง (ε_2) เพื่อหาความเครียดเทียบเท่า ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 2.12 – 2.13

สมการที่ใช้คำนวณความเครียดต่างๆดังนี้

ค่าความเครียดหลัก $\varepsilon_1 = \ln \frac{d_1}{d_0}$ (2.12)

ค่าความเครียดรอง $\varepsilon_2 = \ln \frac{d_2}{d_0}$ (2.13)

ค่าความเครียดที่ความหนา $\varepsilon_3 = \ln \frac{t_1}{t_0}$ (2.14)

ค่าความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain) $\bar{\varepsilon} = \sqrt{\frac{2}{3}(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2)}$ (2.15)

เมื่อ

d_1 = การเปลี่ยนรูปกริดวงกลมขนาดของแกนหลัก(Major)

d_2 = การเปลี่ยนรูปกริดวงกลมขนาดของแกนรอง(Minor)

t_0 = ความหนาของชิ้น

t_1 = การเปลี่ยนแปลงของความหนาของชิ้นหลังจากการขึ้นรูป

2.8 เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel) [26]

เหล็กกล้าคาร์บอน เป็นเหล็กที่ผ่านกรรมวิธีการผลิต ให้มีส่วนผสมของคาร์บอนระหว่าง 0.02 % - 1.5 % โดยมีธาตุอื่นที่ขจัดออกไม่หมดผสมอยู่น้อยมากจนไม่มีผลต่อคุณสมบัติของเหล็ก เหล็กกล้าชนิดนี้มีคุณสมบัติทางความแข็งแรง (Strength) และความอ่อนตัว (Ductility) ที่เปลี่ยนแปลงได้กว้างมากตามปริมาณของคาร์บอนที่มีอยู่ในเหล็กทำให้เหมาะที่จะเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมของลักษณะงาน การนำเหล็กคาร์บอนไปใช้งานอุตสาหกรรมต่างๆจึงขึ้นอยู่กับปริมาณของคาร์บอน เหล็กกล้าคาร์บอนยังแบ่งตามปริมาณคาร์บอนที่ผสมอยู่ได้อีก 3 ชนิด คือ

2.7.1 เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ หรือเรียกว่า เหล็กเหนียว (Mild Steel) เป็นเหล็กที่มีคาร์บอนไม่เกิน 0.30 % และยังมีธาตุอื่นผสมอยู่ด้วย แต่มีปริมาณน้อยที่หลงเหลือมาจากกระบวนการผลิต เช่น แมงกานีส ซิลิกอน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน คุณสมบัติเหนียวแต่มีความแข็งแรงน้อย สามารถนำไปตัด กลึง กัด ไส เจาะได้ง่าย และยังเป็นเหล็กที่อ่อน จึงสามารถรีด ปั่นขึ้นรูป หักงอ หรือตีให้เป็นแผ่นบางได้ง่าย เหล็กชนิดนี้จึงเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความเค้นแรงดึงสูงนัก ไม่สามารถนำไปชุบแข็งได้ แต่ถ้าต้องการชุบแข็งต้องใช้วิธีเติมคาร์บอนที่ผิวก่อน เพราะมีคาร์บอนน้อย นำไปใช้งานต่างๆ เช่น หมุดย้ำ สกรู ลวด สลักเกลียว ตัวถังรถยนต์ เหล็กแผ่นหม้อน้ำ เหล็กเคลือบฉนวนในกระป๋องบรรจุอาหาร ชิ้นส่วนเครื่องจักร บานพับประตู เหล็กเคลือบสังกะสีใช้เป็นแผ่นสังกะสีมุงหลังคา เหล็กเส้นในงานก่อสร้าง ท่อน้ำประปา เป็นต้น

2.8.2 เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel) เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางเป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.70 % เหล็กกล้าชนิดนี้มีความแข็งแรงและความเค้นแรงดึงมากกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ จึงมีความแข็งแรงปานกลาง แต่จะมีความเหนียวน้อยกว่า สามารถนำไปแปรรูปได้ดีและชุบผิวแข็งได้ เพื่อป้องกันการสึกหรอที่ผิวหน้า เหล็กกล้าประเภทนี้สามารถอบชุบด้วยกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อเพิ่มความแข็งแรงได้ นำไปใช้กับงานที่ต้องการความเค้นดึงปานกลาง เช่น ค้อน เฟือง สปริง รางรถไฟ ก้านสูบ สลักเกลียว สกรู เพลา ท่อเหล็ก ไขควง คราด โกลนา เป็นต้น [26]

เหล็ก DIN St 37 คือ เหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าชนิดนี้สามารถแบ่งได้ตามลักษณะการใช้งานเป็น 2 ประเภทดังนี้ อย่างแรกคือ เหล็กที่นำไปใช้งานได้เลยโดยไม่ต้องผ่านกรรมวิธีการปรับปรุงสมบัติโดยใช้ความร้อนจะใช้อักษรนำหน้าว่า S และตามด้วยตัวเลขซึ่งบอกถึงความสามารถที่จะทนแรงดึงได้สูงสุดของเหล็กชนิดนี้มีหน่วยเป็น กก / มม² อย่างที่สองคือ เหล็กที่ต้องผ่านกรรมวิธีการปรับปรุงสมบัติโดยใช้ความร้อนก่อนที่จะใช้งาน เหล็กชนิดนี้จะนำหน้าด้วย

อักษร C และตามด้วยตัวเลขที่แสดงปริมาณเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอน (จะต้องหารด้วย 100 เสมอ) ดังนั้นเหล็ก St 37 หมายถึงเหล็กกล้าคาร์บอนที่สามารถทนแรงดึงได้สูงสุด 370 กก / มม²

2.8.3 เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel) เหล็กกล้าคาร์บอนสูงหรืออาจเรียกว่าเหล็กกล้าแข็งเป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 1.40 % เหล็กกล้าชนิดนี้มีความแข็งแรงความแข็งและความเค้นแรงดึงสูง สามารถทำการชุบแข็งให้ชิ้นงานทนต่อการเสียดสีได้ แต่เมื่อชุบแข็งแล้วจะแข็งเปราะ จึงเหมาะกับการใช้งานที่ต้องต้านทานต่อการสึกหรอจากการใช้งาน เหล็กกล้าประเภทนี้สามารถอบชุบให้แข็งแรงก่อนนำไปใช้งาน เช่น แม่พิมพ์ เหล็กตัด ใบมีดตัด มีดกลึง ใบเลื่อยตัดเหล็ก ดอกสว่าน เหล็กสกัด แบร็งกลูกปืน ตะไบ ขวาน เหล็กเครื่องมือต่างๆ เป็นต้น[26]

ตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณคาร์บอนกับลักษณะการใช้งาน [26]

Carbon	Silicon	Manganese	Phosphorus	Chromium
≤ 0.17	-	-	≤ 0.04	-

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกลของเหล็ก St 37 [27]

Material	Elastic modulus (MN/m ²)	Tensile strength (MN/m ²)	Yield strength (MN/m ²)	Shear strength (MN/m ²)	Modulus of rigidity (MN/m ²)
St 37	210,000	370	240	140	80,000

ตารางที่ 2.4 แสดงปริมาณคาร์บอนกับลักษณะการใช้งาน [26]

ชนิดของเหล็กกล้าคาร์บอน	ปริมาณคาร์บอน (%)	ลักษณะการใช้งาน
คาร์บอนต่ำ	0.02 – 0.10	- ใช้ในงานที่รับกำลังไม่มาก เช่น แผ่นเหล็ก หมุดย้ำ ตะปู
	0.10 – 0.20	- เหล็กโครงสร้างอาคาร สลักเกลียวรับน้ำหนัก ใบเลื่อย
	0.20 – 0.30	- เพลาล้อ เกียร์ ข้อเหวี่ยง คาน เหล็กเสี้ยนงานก่อสร้าง
คาร์บอนปานกลาง	0.30 – 0.40	- สลักเกลียวชุบแข็ง สกรู อะไหล่เครื่องยนต์ เพลาล้อ
	0.40 – 0.50	- ชิ้นส่วนชุบแข็ง เปลา ข้อเหวี่ยง เกียร์ เหล็กเดี่ยว ข้อต่อ
	0.50 – 0.60	- เกียร์น้ำมันแข็ง
	0.60 – 0.70	- แหวนยึด หัวเจาะสว่าน เหล็กเครื่องมือคาร์บอนต่ำ
คาร์บอนสูง	0.70 – 0.80	- ประแจ เลื่อย ค้อน เหล็กเครื่องมือคาร์บอนปานกลาง
	0.80 – 0.90	- เหล็กทางเกษตร เหล็กสปริง สว่านหิน เครื่องเจาะ
	0.90 – 1.00	- เหล็กสปริง มีด แม่พิมพ์ เหล็กคราดพรวนดิน
	1.00 – 1.10	- เครื่องกัด หัวเจาะ ใบตัด แบร็งลูกปืน
	1.10 – 1.20	- เครื่องมือตัด เครื่องกัด หัวเจาะ ใบตัด
	1.20 – 1.30	- ตะไบ เครื่องมือตัด
	1.30 – 1.40	- ใบเลื่อย หัวเจาะ อุปกรณ์เครื่องมือ

2.9 สารหล่อลื่น [8]

สารหล่อลื่น ทำหน้าที่ลดการเสียดทานและความร้อนของผิวสัมผัสของวัตถุในการเคลื่อนที่ ซึ่งระหว่างการเคลื่อนที่ได้เกิดความเสี่ยงมากขึ้น ดังนั้นสารหล่อลื่นได้ช่วยลดสัมประสิทธิ์ความเสี่ยงตันทันระหว่างผิวสัมผัส นอกจากนี้ยังสามารถลดการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation) และป้องกันการเกิดสนิม เป็นต้น

2.9.1 ชนิดของสารหล่อลื่น

1) น้ำมันแร่ เป็นน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบในหอกถ่าน ได้จากการเอาส่วนที่อยู่กันหอกถ่านภายใต้บรรยากาศผ่านกระบวนการกลั่นภายใต้สุญญากาศ ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญที่ถูกควบคุม โดยการกลั่นสุญญากาศก็คือ ความหนืด (Viscosity) จุดวาบไฟ (Flash Point) และกาคาร์บอน (Carbon Residual) แยกเอาน้ำมันหล่อลื่นชนิดใสและชนิดข้นออกมา

ที่เหลือเป็นกากก็สามารถนำไปผลิตขางมะตอยได้ ชนิดและปริมาณของน้ำมันแร่ที่แยกออกมาได้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันดิบที่นำมาถลุง น้ำมันแร่ที่ได้จากน้ำมันดิบ พวกพาราฟินิก (Paraffinic) มักจะมีไขสูงต้องผ่านกระบวนการขจัดเอาไขออก น้ำมันแร่ที่ได้จากการกลั่นแยกภายใต้สูญญากาศนี้ปกติจะมีคุณภาพที่ไม่ดีพอที่จะนำมาใช้ผลิตน้ำมันหล่อลื่น ต้องผ่านกระบวนการต่าง ๆ เพื่อขจัดเอาสารที่ไม่ต้องการออกเพื่อให้มีความอยู่ตัวเชิงเคมีและเชิงความร้อนดี

2) น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ เนื่องจากน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ที่ได้จากธรรมชาติ มักมีความอยู่ตัวทางเคมีต่ำ เกิดเสื่อมสภาพได้ง่ายในขณะใช้งานจึงต้องผ่านขบวนการปรับปรุงคุณภาพซึ่งราคาก็จะแพงขึ้นมาก จึงหมดความนิยมไป ปัจจุบันมีการใช้น้ำมันพืชหรือสัตว์เป็นน้ำมันพื้นฐานน้อยมากและใช้เฉพาะในงานหล่อลื่นที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษบางประการเท่านั้น ส่วนใหญ่แล้วมักจะใช้เป็นตัวเติมเพิ่มคุณภาพให้น้ำมันหล่อลื่นที่ทำมาจากน้ำมันปิโตรเลียม เช่น เพื่อเพิ่มความลื่นและความสามารถในการเข้ากับน้ำ เป็นต้น

3) น้ำมันสังเคราะห์ น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานประเภทน้ำมันแร่ที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบนั้น แม้ว่าจะผ่านกระบวนการมากมายที่ใช้กำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการออกไป แต่ น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้ ออกมานั้นยังคงเป็นของผสมของสารประกอบหลายตัว ซึ่งไม่มีทางที่จะเลือกเอาเฉพาะสารที่มีสมบัติที่ดีที่สุดได้ หรือถ้ามีก็จะได้ผลผลิตต่ำ เป็นผลให้น้ำมันแร่มีข้อจำกัดการนำไปใช้งาน ดังนั้นได้มีการพัฒนาน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานประเภทน้ำมันสังเคราะห์ขึ้นมา น้ำมันสังเคราะห์เป็นน้ำมันพื้นฐานที่ได้จากกระบวนการทางเคมี วัสดุที่นำมาสังเคราะห์มักนำมาจากน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งเป็นการรวมตัวของสารประกอบที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำให้ได้น้ำมันที่มีความหนืดเพียงพอที่จะใช้เป็นสารหล่อลื่น ข้อดีของน้ำมันสารสังเคราะห์เมื่อเทียบกับน้ำมันแร่ก็คือ สามารถนำไปใช้งานในช่วงอุณหภูมิที่กว้างกว่าน้ำมันแร่ คือใช้ได้ทั้งอุณหภูมิต่ำและสูงกว่าน้ำมันแร่ นอกจากนี้ น้ำมันสังเคราะห์บางประเภทให้สมบัติเฉพาะ เช่น ผสมเข้ากับน้ำได้และไม่ติดไฟ มีการระเหยต่ำ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม น้ำมันสังเคราะห์จะมีข้อได้เปรียบกว่าน้ำมันแร่ เมื่อนำไปใช้งานบางประเภท น้ำมันสังเคราะห์ยังไม่มีสมบัติที่เหมาะสมทุกด้าน จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันสังเคราะห์ โดยการใส่สารเพิ่มคุณภาพซึ่งจะช่วยเพิ่มสมบัติทางด้านเคมีและด้านกายภาพ

4) สารหล่อลื่นของแข็ง เป็นสารหล่อลื่นที่มีความสามารถในการรับแรงกดแนวตั้งได้ดีและในขณะเดียวกันต้องมีความสามารถในการเลื่อนไหลไปได้อย่างง่าย ในชั้นผิวเมื่อมีแรงกระทำในแนวราบหรือเมื่อเกิดแรงเฉือน สารหล่อลื่นของแข็งจะอยู่ระหว่างคู่ผิวโลหะที่เคลื่อนที่และจะช่วยปกป้องการเสียดสีระหว่างผิวโลหะทำให้ช่วยลดการสึกหรอและการเสียดสี รวมถึงส่งผลให้สัมประสิทธิ์ความเสียดสีต่ำด้วย สารหล่อลื่นของแข็งที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบันคือ กราไฟต์ โมลิบดินัม ไดซัลไฟด์ และแผ่นพลาสติก

5) สารหล่อลื่นกึ่งสังเคราะห์ Neocut KCB ความหนืดที่ 40°C มีค่า 96 จุดวาบไฟ 210 °C การใช้งานสำหรับงาน Broaching งาน Thread Cutting และงาน Fine Blanking เหมาะกับ โลหะประเภทเหล็ก และ ชิ้นงานที่หนาสามารถใช้ในงาน Blanking กับเหล็กที่หนาถึง 10 มม. ได้

6) สารหล่อลื่นสังเคราะห์ Formol 10 S ความหนืดที่ 40°C มีค่า 40 จุดวาบไฟ 200 °C การใช้งานสำหรับงานขึ้นรูป และ ขึ้นรูปลึก ใช้ได้กับโลหะทุกชนิด เหมาะมากสำหรับงานขึ้นรูป อลูมิเนียม นอกจากนั้นยังใช้กับงานกลึงทั่วไปได้ดี ล้างออกง่าย

2.9.2 หน้าที่ของสารหล่อลื่น [28]

หน้าที่หลักและประโยชน์ของการใช้น้ำมันหล่อลื่นมีดังนี้

1) ช่วยหล่อลื่น ฟิล์มหรือเยื่อบาง ๆ ของน้ำมันหล่อลื่นจะทำหน้าที่เคลือบผิว โลหะหรือชิ้นงานที่มีการเคลื่อนที่ เพื่อไม่ให้เกิดการเสียดสีกัน โดยตรงหรือเพื่อเป็นการลดการสึกกร่อนของชิ้นงาน น้ำมันหล่อลื่นที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติในการคงความหนาของเยื่อน้ำมันและฟิล์ม น้ำมันให้เกือบคงที่ตลอดเวลาแม้เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป ก็จะต้องไม่บางเกินไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และไม่หนาเกินไปเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ซึ่งคุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้ เราเรียกว่าดัชนีความข้นใส ดังได้กล่าวมาแล้ว

2) ช่วยระบายความร้อน คุณสมบัติข้อนี้เป็นสิ่งสำคัญข้อหนึ่งของน้ำมันหล่อลื่น สำหรับเครื่องยนต์ซึ่งจะต้องลดอุณหภูมิหรือระบายความร้อนจากการเผาไหม้ เชื้อเพลิงในกระบอกสูบ และระบายความร้อนอันเกิดจากการเสียดสีของชิ้นส่วนต่าง ๆ ในเครื่องยนต์ เช่น ระบบเกียร์ หรือ เฟืองท้าย เป็นต้น

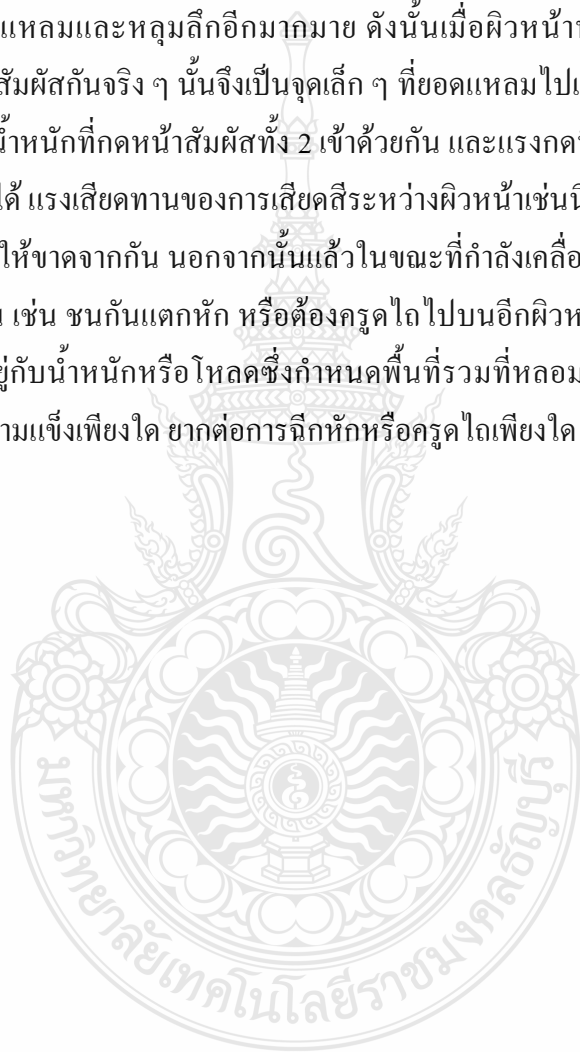
3) ช่วยรักษาความสะอาด ขณะที่ทำหน้าที่หล่อลื่นก็จะต้องเป็นตัวทำความสะอาดชิ้นงานนั้นไปด้วย ก็จะต้องสามารถชะล้างหรือขจัดคราบสกปรกต่าง ๆ จากผิว ชิ้นงานได้เป็นอย่างดี

4) ช่วยป้องกันการเกิดสนิมและการกัดกร่อนน้ำมันหล่อลื่นที่ดีจะต้องไม่มีสารที่เป็นอันตรายในการกัดกร่อนเสียเอง นอกจากนี้เมื่อมีสารจากภายนอกที่อาจทำให้เกิดกรดได้ เช่น ก๊าซ ไอเสีย ละอองน้ำ หรือไอน้ำ น้ำมันหล่อลื่นที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติในการทำให้กรดนั้นเจือจางลงและไม่สามารถที่จะไปกัดกร่อนโลหะของชิ้นงานได้

5) ช่วยกระจายความสกปรก น้ำมันหล่อลื่นที่ดีต้องมีคุณสมบัติในการกระจายสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่มีปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นอันเนื่องมาจากการกำจัดสิ่งสกปรกออกจากชิ้นงาน เพื่อไม่ให้สิ่งสกปรกต่าง ๆ เหล่านี้รวมตัวกันได้ง่าย เพราะหากสิ่งสกปรกในน้ำมันหล่อลื่นเกิดการรวมตัวกันมากขึ้น จะทำให้เกิดเป็นยางเหนียว

2.10 แรงเสียดทาน

แรงเสียดทานหรือความฝืด คือ แรงซึ่งต่อต้านการเคลื่อนที่ของผิวหน้าหนึ่งบนอีกผิวหน้าหนึ่งในเครื่องจักรกล พลังงานที่ต้องเสียไปเพื่อเอาชนะความฝืดทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องจักรต่ำลง และพลังงานที่สูญเสียไปอยู่ในรูปของความร้อนที่อาจจะเป็นอันตรายและผลเสียต่อเครื่องจักรได้ แรงเสียดทานเกิดจากความขรุขระของผิวหน้าที่มาสัมผัสกันและการหลอมตัวติดกันเป็นจุด ๆ ผิวหน้าของโลหะที่แม้จะได้รับการขัดมันมาอย่างดีเมื่อนำมาส่องดูด้วยกล้องขยายกำลังสูงจะเห็นว่าประกอบไปด้วยยอดแหลมและหลุมลึกอีกมากมาย ดังนั้นเมื่อผิวหน้าหนึ่งถูกนำมาสัมผัสกับอีกผิวหน้าหนึ่ง บริเวณที่สัมผัสกันจริง ๆ นั้นจึงเป็นจุดเล็ก ๆ ที่ยอดแหลมไปแตะกับผิวตรงข้าม จุดที่เล็กมาก ๆ เหล่านี้ต้องรับน้ำหนักที่กดหน้าสัมผัสทั้ง 2 เข้าด้วยกัน และแรงกดที่สูงมากนี้ก็ทำให้จุดสัมผัสเหล่านั้นหลอมติดกันได้ แรงเสียดทานของการเสียดสีระหว่างผิวหน้าเช่นนี้จึงเป็นแรงที่ต้องใช้ในการหักและฉีกจุดเชื่อมติดให้ขาดจากกัน นอกจากนั้นแล้วในขณะที่กำลังเคลื่อนที่ ยอดสูง ๆ ก็ยังสามารถขีดขวางซึ่งกันและกัน เช่น ชนกันแตกหัก หรือต้องครูดไถไปบนอีกผิวหน้าหนึ่งที่แข็งน้อยกว่าด้วยแรงเสียดทานจึงขึ้นอยู่กับน้ำหนักหรือโหลดซึ่งกำหนดพื้นที่รวมที่หลอมติดกัน และชนิดของสารที่เป็นหน้าสัมผัสว่ามีความแข็งเพียงใด ขาดต่อการฉีกหักหรือครูดไถเพียงใด [29]



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

การศึกษาอิทธิพลของสารหล่อลื่นที่มีผลต่อการตัด โดยการนำชิ้นที่มีลักษณะแตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ เหล็กท่อกลม, เหล็กเส้นกลม และเหล็กแผ่น มาตัดขึ้นรูปด้วยเครื่องตัดเหล็กมัลติฟังก์ชันแบบอัด โดยการใช้สารหล่อลื่นและไม่ใช้สารหล่อลื่นในกระบวนการตัด แล้วเก็บผลการทดลองเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์ตามที่ได้ระบุรายละเอียดไว้ในบทที่ 1

3.1 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินการทดลองได้มีการวางแผนการดำเนินงานอย่างเป็นขั้นตอนและกำหนดระยะเวลาในการปฏิบัติงานเพื่อให้ทราบถึงกระบวนการทำงานและการวิเคราะห์จึงได้กำหนดแผนการและขั้นตอนการดำเนินโครงการโดยมีการแสดงแผนการดำเนินงาน ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานของโครงการ

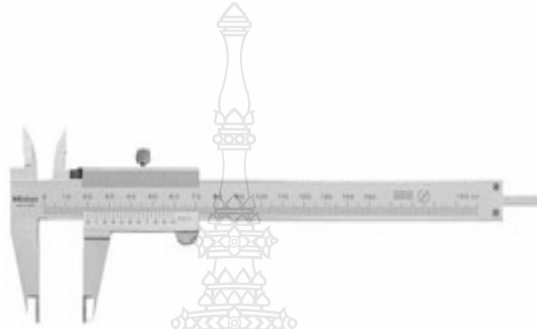
การดำเนินงาน	เดือน / (พ.ศ. 2556 – พ.ศ.57)										
	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.
1.วางแผนการทำวิจัย	←→										
2.ศึกษาทฤษฎีการตัด โค้งและการตีคกลับ	←→										
3.ศึกษาทฤษฎีความเครียด	←→										
4.ศึกษาทฤษฎีสารหล่อลื่น	←→										
5.ศึกษาเครื่องตัดโลหะ			←→								
6.จัดซื้อวัสดุ				←→							
7.ตีกริดชิ้นงาน					←→						
8.ทดลองการตัดขึ้นรูป						←→					
9.สรุปผลการทดลอง							←→				
10.จัดทำรูปเล่มรายงาน วิจัย								←→			

แสดงการวางแผนดำเนินงาน ← - - - - - → แสดงแผนการดำเนินงานจริง ← - - - - - →

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 เวอร์เนียคาลิเปอร์

ใช้เครื่องมือวัดเวอร์เนียคาลิเปอร์สำหรับวัดขนาด (Dimension) ของวัสดุชิ้นงาน ซึ่งเหมาะสำหรับใช้วัดขนาดของวัสดุ ชิ้นงานที่มีขนาดเล็กได้ทั้งความกว้าง ยาว ลึก สามารถวัดขนาดได้ทั้งหน่วยมิลลิเมตรหน่วยเซนติเมตรและหน่วยนี้โดยงานวิจัยเล่มนี้ใช้ความละเอียดของเวอร์เนียคาลิเปอร์เท่ากับ 0.02 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.1 เวอร์เนียคาลิเปอร์ [30]

3.2.2 ตลับเมตร

ใช้ตลับเมตรสำหรับวัดขนาด ระยะของชิ้นงานซึ่งตลับเมตรที่ใช้จะยาว 3.6 เมตร (3.6M / 12FT)



รูปที่ 3.2 ตลับเมตร [31]

3.2.3 ไมโครมิเตอร์

ใช้สำหรับวัดความหนาของเหล็กแผ่นและเหล็กท่อกลวง



รูปที่ 3.3 ไมโครมิเตอร์ [30]

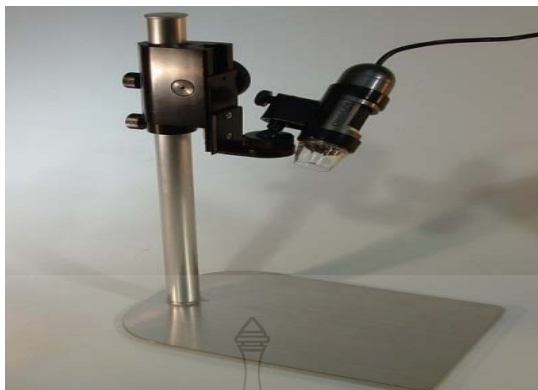
3.2.4 Magnetic Protractor ใช้สำหรับวัดค่าองศาที่ติดกลับของชิ้นงานหลังการตัด



รูปที่ 3.4 ไบวัดองศาแบบแม่เหล็ก Magnetic Protractor [31]

3.2.5 กล้อง Dino

กล้อง Dino ใช้สำหรับถ่ายภาพวงกลมกริดบนผิวชิ้นงาน เพื่อวัดขนาดวงกลมกริดที่เปลี่ยนรูปหลังการตัด



รูปที่ 3.5 กล้อง Dino

3.2.6 เครื่องตัดเหล็กมัลติฟังก์ชัน

เครื่องตัดเหล็กมัลติฟังก์ชัน ที่ขับเคลื่อนด้วยระบบไฮดรอลิกส์โดยใช้เฟืองสะพานขบกับเฟืองตรงเพื่อให้แกนไฮดรอลิกส์เคลื่อนที่นำพาลิมิตให้เคลื่อนที่ตัดชิ้นงาน โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับงานนี้เท่ากับ 3 HP และอัตราการไหลของปั๊มจะกำหนดอัตราการไหลที่ความเร็ว 1,200 rpm มอเตอร์ไฟฟ้าโดยทั่วไปจะหมุน 1,450 rpm เพราะฉะนั้นอัตราการไหลของปั๊ม 1 GPM ที่มีความเร็วรอบเท่ากับ 1,200 rpm เมื่อทำการใช้งานให้หมุนด้วยความเร็วเท่ากับ 1,450 rpm และกระบอกสูบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.6 เครื่องตัดเหล็กมัลติฟังก์ชัน [9]

- 3.2.7 ตู้ไฟสำหรับช้อตทำลายกริด
ใช้สำหรับทำลายกริดบนผิวของเหล็กทั้ง 3 รูปทรง



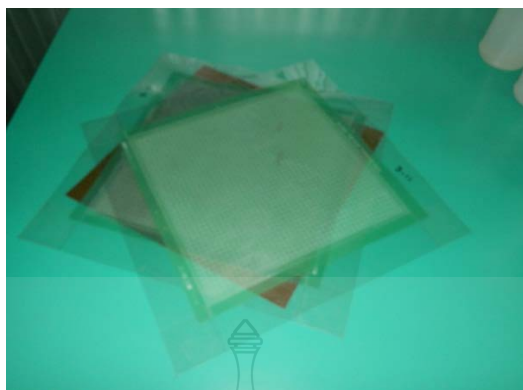
รูปที่ 3.7 ตู้ไฟฟ้าสำหรับทำลายกริด

- 3.2.8 ตัวกดที่ใช้สำหรับกดทำลายกริดทั้ง 3 รูปทรง
ใช้สำหรับกดที่เหล็กทั้ง 3 รูปทรงเพื่อให้เกิดลายกริดบนชิ้นงาน



รูปที่ 3.8 ตัวกดที่ชิ้นงานเพื่อทำลายกริดบนเหล็กแผ่น เหล็กท่อกลมและเหล็กเส้น

- 3.2.9 แผ่นฟิล์ม
ใช้สำหรับสร้างลายกริดบนชิ้นงาน



รูปที่ 3.9 แผ่นฟิล์มทำลายกริด

3.2.10 น้ำยาทำความสะอาด (Cleaner) และน้ำยาทำลายกริดสำหรับใช้กับเหล็ก (Electrolyte)



รูปที่ 3.10 น้ำยาทำความสะอาด (Cleaner) และน้ำยาดีกริดสำหรับใช้กับเหล็ก(Electrolyte)

3.2.11 น้ำมันที่ใช้สำหรับหล่อลื่น

ใช้สำหรับทาที่ตัวแม่พิมพ์ตัดและตัวชิ้นงานขณะทำการตัด



รูปที่ 3.11 น้ำมันมะพร้าว



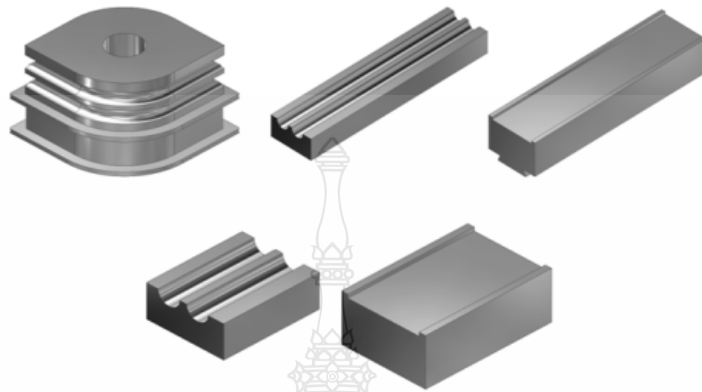
รูปที่ 3.12 น้ำมันก๊ังสังเคราะห์



รูปที่ 3.13 น้ำมันสังเคราะห์

3.2.12 แม่พิมพ์ตัดทั้ง 3 รูปทรง

ใช้สำหรับตัดชิ้นงานทั้ง 3 รูปทรงประกอบด้วย เหล็กท่อกลวง , เหล็กแผ่น และ เหล็กเส้น



รูปที่ 3.14 แม่พิมพ์ตัดที่ใช้ตัดชิ้นรูปทั้ง 3 รูปทรงประกอบด้วย เหล็กท่อกลวง, เหล็กเส้น และเหล็กแผ่น [9]

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.3.1 การเตรียมชิ้นงาน

นำเหล็กท่อกลวงขนาด 15.8 มิลลิเมตร หนา 0.5 มิลลิเมตร เหล็กแผ่นขนาดกว้าง 25 มิลลิเมตร ยาว 500 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร และเหล็กเส้นกลมมาตัดให้ได้ขนาด 12 มิลลิเมตร ยาว 500 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.15 – 3.17



รูปที่ 3.15 เหล็กท่อกลวง



รูปที่ 3.16 เหล็กแผ่น



รูปที่ 3.17 เหล็กเส้น

3.3.2 การทำลายกริดชิ้นงาน (ตัวอย่าง การทำลายกริดลงบนเหล็กแผ่น)

- 1) ทำการเช็ดทำความสะอาดลงไปที่ผิวเหล็กแผ่นและแผ่นฟิล์ม ดังรูปที่ 3.18 – 3.19



รูปที่ 3.18 การเช็ดทำความสะอาดผิวของเหล็กแผ่นโดยใช้น้ำยาทำความสะอาด (Cleaner)



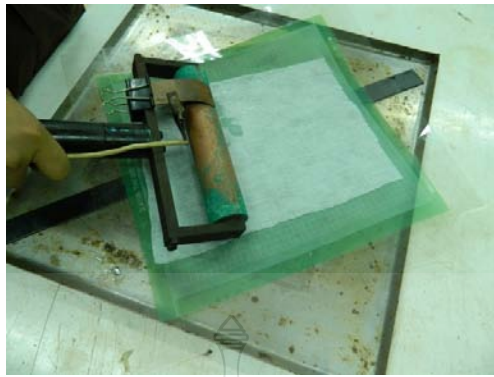
รูปที่ 3.19 การเช็ดทำความสะอาดแผ่นฟิล์มทำลายกริด

2) การเทน้ำยาคัดกริด (112A Electrolyte) ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 การเทน้ำยาคัดกริด (112A Electrolyte) ก่อนการฉีด

3) เริ่มทำการฉีดเพื่อทำลายกริดบนผิวของเหล็กทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ เหล็กท่อกลม เหล็กเส้น และเหล็กแผ่น ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 การกดลูกกลิ้งเพื่อทำลายกริดบนเหล็กแผ่น

4) การเช็ดทำความสะอาดหลังการซ็อดด้วยน้ำยาทำความสะอาด (Cleaner) ดัง

รูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 การเช็ดที่ผิวของเหล็กแผ่นหลังจากการซ็อด



รูปที่ 3.23 ตัวอย่างเหล็กแผ่นตีกริด

3.3.3 การนำชิ้นงานไปทดลองทำการตัดขึ้นรูปด้วยเครื่องตัดแบบอัตโนมัติใช้ระบบไฮดรอลิกส์ควบคุมกำลัง 3 แรงม้าซึ่งมีขั้นตอนการตัดดังตัวอย่างที่เป็นเหล็กแผ่นใช้น้ำมันมะพร้าวโดยทำการตัดที่มุม 30 องศา ดังรูปที่ 3.23

- 1) ทำการตั้งองศาการตัดที่มุมการตัดที่ 30 องศา ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 การตั้งองศาการตัดที่ตัวแม่พิมพ์ที่มุม 30 องศา

- 2) ทำการทาน้ำมันมะพร้าวที่ชิ้นงานและที่แม่พิมพ์ตัด ดังรูปที่ 3.25 – 3.26



รูปที่ 3.25 การทาน้ำมันมะพร้าวที่แม่พิมพ์ตัด



รูปที่ 3.26 การทาน้ำมันมะพร้าวที่เหล็กแผ่น

3) เริ่มทำการตัดชิ้นงานที่เป็นเหล็กแผ่น โดยเริ่มทำการตัดที่มุม 30 องศา ดังรูปที่ 3.27 เมื่อทำการตัดเสร็จจะได้เหล็กแผ่นที่ทำการตัดดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.27 เหล็กแผ่นขณะทำการตัด



รูปที่ 3.28 เหล็กแผ่นที่ได้จากการตัดที่มุม 30, 60 และ 90 องศา

3.4 การทดสอบการตัดและการวัดผลชิ้นงาน

3.4.1 การทดสอบทางกายภาพ

การทดสอบชิ้นงานตัดด้วยสายตาเป็นการประเมินคุณภาพของชิ้นงานเบื้องต้น โดยพิจารณาด้วยสายตาของผู้ทดลอง ว่าเกิดความผิดปกติทางกายภาพ เช่น ชิ้นงานเกิดรอยแตก รอยย่น รอยบุบ ฯลฯ ซึ่งทดสอบกับเหล็กทั้ง 3 รูปทรง และสารหล่อลื่น 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันมะพร้าว, น้ำมันกึ่งสังเคราะห์, น้ำมันสังเคราะห์ และไม่ใช้สารหล่อลื่น โดยแสดงผลดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การประเมินข้อบกพร่องทางกายภาพของเหล็กทั้ง 3 รูปทรง

ชนิดสารหล่อลื่น	ประเภทชิ้นงาน	ประเภทข้อบกพร่อง			
		รอยฉีกขาด	การดีดกลับ	เกิดรอยย่น	เกิดรอยบุบ
น้ำมันมะพร้าว	เหล็กท่อกว้าง	-	-	-	-
	เหล็กเส้น	-	-	-	-
	เหล็กแผ่น	-	-	-	-
น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	เหล็กท่อกว้าง	-	-	-	-
	เหล็กเส้น	-	-	-	-
	เหล็กแผ่น	-	-	-	-
น้ำมันสังเคราะห์	เหล็กท่อกว้าง	-	-	-	-
	เหล็กเส้น	-	-	-	-
	เหล็กแผ่น	-	-	-	-
ไม่ใช้สารหล่อลื่น	เหล็กท่อกว้าง	-	-	-	-
	เหล็กเส้น	-	-	-	-
	เหล็กแผ่น	-	-	-	-

3.4.2 ทดสอบความหนาของเหล็กแผ่น

การทดสอบความหนาของเหล็กเพื่อทดสอบหน้าตัดที่เกิดการบิดเบี้ยวโดยทำการทดลองกับเหล็กท่อกว้างและเหล็กแผ่นกับสารหล่อลื่นทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันมะพร้าว, น้ำมันกึ่งสังเคราะห์, น้ำมันสังเคราะห์ และไม่ใช้สารหล่อลื่นซึ่งทำการตัดที่มุม 30, 60 และ 90 องศา โดยทำการ

ทดลอง 3 ตำแหน่งของส่วนโค้งนอกและส่วนโค้งในซึ่งนำผลการทดลองไปบันทึกดังตารางที่ 3.3 - 3.4

ตารางที่ 3.3 บันทึกผลการทดสอบความหนาของเหล็กท่อกว้างที่มีความหนา 0.5 มม. ที่ใช้สารหล่อลื่นและไม่ใช้สารหล่อลื่น

ชนิดสารหล่อลื่น	ตำแหน่ง	ความหนาผนังเหล็กท่อกว้าง (มิลลิเมตร)		
		30°	60°	90°
น้ำมันมะพร้าว	Wall Thickness (A1)	-	-	-
	Wall Thickness (A2)	-	-	-
	Wall Thickness (B1)	-	-	-
	Wall Thickness (B2)	-	-	-
	Wall Thickness (C1)	-	-	-
	Wall Thickness (C2)	-	-	-
น้ำมันก๊าดสังเคราะห์	Wall Thickness (A1)	-	-	-
	Wall Thickness (A2)	-	-	-
	Wall Thickness (B1)	-	-	-
	Wall Thickness (B2)	-	-	-
	Wall Thickness (C1)	-	-	-
	Wall Thickness (C2)	-	-	-
น้ำมันสังเคราะห์	Wall Thickness (A1)	-	-	-
	Wall Thickness (A2)	-	-	-
	Wall Thickness (B1)	-	-	-
	Wall Thickness (B2)	-	-	-
	Wall Thickness (C1)	-	-	-
	Wall Thickness (C2)	-	-	-

ตารางที่ 3.4 บันทึกผลความหนาของผนังหน้าตัดส่วนโค้งของเหล็กแผ่นความหนา 2 มิลลิเมตร ที่ใช้สารหล่อลื่นและไม่ใช้สารหล่อลื่น

ชนิดน้ำมัน	ตำแหน่ง	ความหนาผนังเหล็กแผ่น(มิลลิเมตร)		
		30°	60°	90°
น้ำมันมะพร้าว	Thickness 1	-	-	-
	Thickness 2	-	-	-
	Thickness 3	-	-	-
น้ำมันก๊ิง สังเคราะห์	Thickness 1	-	-	-
	Thickness 2	-	-	-
	Thickness 3	-	-	-
น้ำมันสังเคราะห์	Thickness 1	-	-	-
	Thickness 2	-	-	-
	Thickness 3	-	-	-

3.4.3 การทดสอบการตีคดกลับ

เป็นการทดลองการตีคดกลับของเหล็ก 3 รูปทรงกับสารหล่อลื่น 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันก๊ิงสังเคราะห์ น้ำมันสังเคราะห์ และไม่ใช้สารหล่อลื่น โดยทำการตัดที่องศาการตัด 30, 60 และ 90 องศา ซึ่งนำผลการทดลองไปบันทึกดังตารางที่ 3.11 – 3.13

ตารางที่ 3.5 บันทึกกองสารคดีกลับ, ค่าคงที่ของการติดตัวกลับ และเปอร์เซ็นต์การติดกลับของ
โลหะในแต่ละองศาของเหล็กชนิดต่างๆ ที่ใช้น้ำมันมะพร้าว

ประเภทชิ้นงาน	น้ำมันมะพร้าว			
	องศาเริ่มต้น	องศาสุดท้าย	ค่าคงที่การติดกลับ (K)	เปอร์เซ็นต์การติดกลับ
เหล็กท่อกว้าง	30	-	-	-
	60	-	-	-
	90	-	-	-
เหล็กเส้นกลม	30	-	-	-
	60	-	-	-
	90	-	-	-
เหล็กแผ่น	30	-	-	-
	60	-	-	-
	90	-	-	-

ตารางที่ 3.6 บันทึกกองสารคดีกลับ, ค่าคงที่ของการติดตัวกลับ และเปอร์เซ็นต์การติดกลับของ
โลหะในแต่ละองศาของเหล็กชนิดต่างๆ ที่ใช้น้ำมันกึ่งสังเคราะห์

ประเภทชิ้นงาน	น้ำมันกึ่งสังเคราะห์			
	องศาเริ่มต้น	องศาสุดท้าย	ค่าคงที่การติดกลับ (K)	เปอร์เซ็นต์การติดกลับ
เหล็กท่อกว้าง	30	-	-	-
	60	-	-	-
	90	-	-	-
เหล็กเส้นกลม	30	-	-	-
	60	-	-	-
	90	-	-	-
เหล็กแผ่น	30	-	-	-
	60	-	-	-
	90	-	-	-

ตารางที่ 3.7 บันทึกกองสารคดีกลับ, ค่าคงที่ของการติดตัวกลับ และเปอร์เซ็นต์การติดกลับของโลหะในแต่ละองศาของเหล็กชนิดต่างๆ ที่ใช้น้ำมันสังเคราะห์

ประเภทชิ้นงาน	น้ำมันสังเคราะห์			
	องศาเริ่มต้น	องศาสุดท้าย	ค่าคงที่การติดกลับ (K)	เปอร์เซ็นต์การติดกลับ
เหล็กทอกหลวง	30	-	-	-
	60	-	-	-
	90	-	-	-
เหล็กเส้นกลม	30	-	-	-
	60	-	-	-
	90	-	-	-
เหล็กแผ่น	30	-	-	-
	60	-	-	-
	90	-	-	-

ตารางที่ 3.8 บันทึกกองสารคดีกลับ, ค่าคงที่ของการติดตัวกลับ และเปอร์เซ็นต์การติดกลับของโลหะในแต่ละองศาของเหล็กชนิดต่างๆ ที่ไม่ใช่สารหล่อลื่น

ประเภทชิ้นงาน	ไม่ใช่สารหล่อลื่น			
	องศาเริ่มต้น	องศาสุดท้าย	ค่าคงที่การติดกลับ (K)	เปอร์เซ็นต์การติดกลับ
เหล็กทอกหลวง	30	-	-	-
	60	-	-	-
	90	-	-	-
เหล็กเส้นกลม	30	-	-	-
	60	-	-	-
	90	-	-	-
เหล็กแผ่น	30	-	-	-
	60	-	-	-
	90	-	-	-

3.4.4 การคำนวณเปอร์เซ็นต์การติดกลับและค่าคงที่การติดกลับของเหล็กทั้ง 3 รูปทรง ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์การติดกลับของเหล็กที่ตกลงงเพื่อเปรียบเทียบค่าการติดกลับเมื่อใช้สารหล่อลื่นและไม่ใช้สารหล่อลื่นซึ่งมีวิธีการคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{\text{มุมที่ต้องการ} - \text{มุมที่วัดได้เฉลี่ย}}{\text{มุมที่ต้องการ}} \times 100 \quad (3.1)$$

ตัวอย่าง การคำนวณเปอร์เซ็นต์การติดกลับของเหล็กที่ตกลงงที่มุม 30 องศา มุมที่วัดได้เฉลี่ยคือ 28 องศา

$$\frac{30^\circ - 28^\circ}{30^\circ} \times 100 = 6.67$$

ดังนั้น เปอร์เซ็นต์การติดกลับของเหล็กที่ตกลงงที่มุม 30 องศา คือ 6.67

$$\text{ค่าคงที่การติดกลับของเหล็กที่ตกลงง (K(T))} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \quad (3.2)$$

เมื่อ α_1 คือ องศาเริ่มต้น
 α_2 คือ องศาสุดท้าย
 K(T) คือ ค่าคงที่การติดกลับ

ตัวอย่าง การคำนวณค่าคงที่การติดกลับของเหล็กที่ตกลงงที่มุม 30 องศา มุมที่วัดได้หลังการตัดคือ 28 องศา

$$\begin{aligned} \text{ค่าคงที่การติดกลับของเหล็กที่ตกลงง (K(T))} &= \frac{28}{30} \\ &= 0.93 \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่าคงที่การติดกลับของเหล็กที่ตกลงงที่มุม 30 องศา คือ 0.93

3.4.5 ผลการทดลองค่าความเครียดเทียบเท่า

การทดลองนี้เป็นการทดลองค่าความเครียดเทียบเท่าส่วนโค้งด้านในและส่วนโค้งด้านนอกของเหล็ก โดยใช้สารหล่อลื่น 3 ชนิดคือ น้ำมันมะพร้าว, น้ำมันก๊ังสังเคราะห์, น้ำมันสังเคราะห์ และไม่ใช่สารหล่อลื่น โดยทำการตัดที่มุม 30, 60 และ 90 องศา ซึ่งนำผลการทดลองไปบันทึกดังตารางที่ 3.8 - 3.11

ตารางที่ 3.9 บันทึกผลค่าความเครียดเทียบเท่าส่วนโค้งด้านในของเหล็กที่อกลวงที่ใช้สารหล่อลื่น และไม่ใช่สารหล่อลื่น

มุม	ชนิดของสารหล่อลื่น			
	น้ำมันมะพร้าว	น้ำมันก๊ังสังเคราะห์	น้ำมันสังเคราะห์	ไม่ใช่สารหล่อลื่น
30	-	-	-	-
60	-	-	-	-
90	-	-	-	-

ตารางที่ 3.10 บันทึกผลค่าความเครียดเทียบเท่าส่วนโค้งด้านนอกของเหล็กที่อกลวงใช้สารหล่อลื่น และไม่ใช่สารหล่อลื่น

มุม	ชนิดของสารหล่อลื่น			
	น้ำมันมะพร้าว	น้ำมันก๊ังสังเคราะห์	น้ำมันสังเคราะห์	ไม่ใช่สารหล่อลื่น
30	-	-	-	-
60	-	-	-	-
90	-	-	-	-

ตารางที่ 3.11 บันทึกผลค่าความเครียดเทียบเท่าส่วนโค้งด้านในของเหล็กแผ่นที่ใช้สารหล่อลื่นและ
ไม่ใช้สารหล่อลื่น

มุม	ชนิดของสารหล่อลื่น			
	น้ำมันมะพร้าว	น้ำมันกึ่ง สังเคราะห์	น้ำมันสังเคราะห์	ไม่ใช้สารหล่อ ลื่น
30	-	-	-	-
60	-	-	-	-
90	-	-	-	-

ตารางที่ 3.12 บันทึกผลค่าความเครียดเทียบเท่าส่วนโค้งด้านนอกของเหล็กแผ่นที่ใช้สารหล่อลื่นและ
ไม่ใช้สารหล่อลื่น

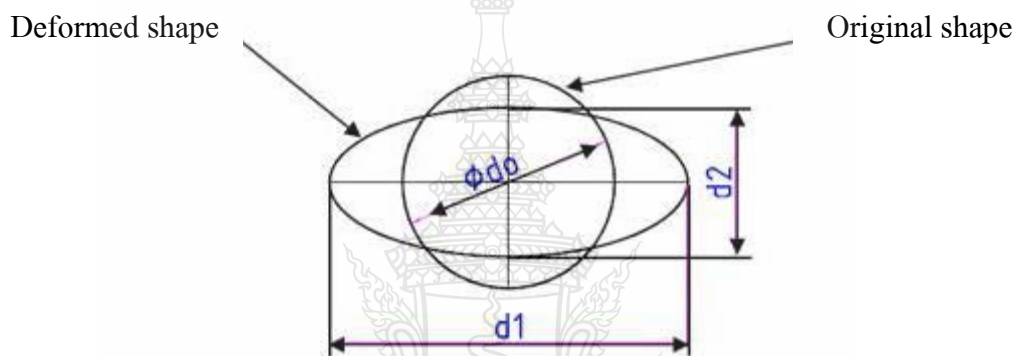
มุม	ชนิดของสารหล่อลื่น			
	น้ำมันมะพร้าว	น้ำมันกึ่ง สังเคราะห์	น้ำมันสังเคราะห์	ไม่ใช้สารหล่อ ลื่น
30	-	-	-	-
60	-	-	-	-
90	-	-	-	-

3.4.5 การคำนวณความเครียดเทียบเท่า

ตัวอย่างการคำนวณความเครียดส่วนโค้งของเหล็กที่ตกลงจากการสร้างกริดวงกลมบนพื้นผิวเหล็กที่ตกลง โดยใช้กริดขนาดมาตรฐานวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.28 จะพบว่าหลังจากเหล็กที่ตกลงผ่านกระบวนการคักรูปร่างของกริดจะเปลี่ยนไป ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาความเครียดหลัก (E_1) และความเครียดรอง (E_2) เพื่อหาความเครียดเทียบเท่าซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 3.3–3.6



รูปที่ 3.29 ส่วนโค้งนอกและส่วนโค้งในของเหล็กท่อกดงที่จะนำมาคำนวณความเครียด [9]



รูปที่ 3.30 ลักษณะของวงกลมลาตริกซ์ที่เกิดการหดตัวและขยายตัว [7]

สมการที่ใช้คำนวณความเครียดต่างๆ ดังนี้

การคำนวณค่าเครียดเทียบเท่าที่ส่วนโค้งในของเหล็กท่อกดง ที่มีมุม 60 องศา

$$\begin{aligned} \text{ความเครียดหลัก } (\epsilon_1) &= \ln \frac{d_1}{d_0} \\ &= \ln \frac{2.625}{2.5} \\ &= 0.048 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความเครียดรอง } (\epsilon_2) &= \ln \frac{d_2}{d_0} \\ &= \ln \frac{2.125}{2.5} \\ &= -0.163 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความเครียดที่ความหนา } (\epsilon_3) &= \ln \frac{t_1}{t_0} \\ &= \ln \frac{0.42}{0.5} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= -0.174 \\
\text{ความเครียดเทียบเท่า} &= \sqrt{\left(\frac{2}{3}\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2\right)} \\
&= \sqrt{\frac{0.12}{3}} \\
&= 0.197
\end{aligned}$$

ดังนั้นที่ส่วนโค้งด้านในของเหล็กท่อกลวงความเครียดหลัก (ε_1) มีค่าเท่ากับ 0.048 ความเครียดรอง (ε_2) มีค่าเท่ากับ -0.163 ความเครียดที่ความหนา (ε_3) มีค่าเท่ากับ -0.174 และ ความเครียดเทียบเท่า มีค่าเท่ากับ 0.197

ตัวอย่าง การคำนวณค่าเครียดเทียบเท่าที่ส่วนโค้งนอกของเหล็กท่อกลวง ที่มุม 60 องศา

$$\begin{aligned}
\text{ความเครียดหลัก } (\varepsilon_1) &= \ln \frac{d_1}{d_0} \\
&= \ln \frac{2.88}{2.5} \\
&= 0.141
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{ความเครียดหลัก } (\varepsilon_2) &= \ln \frac{d_2}{d_0} \\
&= \ln \frac{2.25}{2.5} \\
&= -0.105
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{ความเครียดที่ความหนา } (\varepsilon_3) &= \ln \frac{t_1}{t_0} \\
&= \ln \frac{0.38}{0.5} \\
&= -0.274
\end{aligned}$$

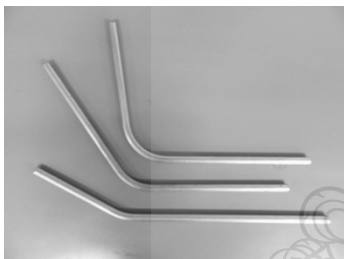
$$\begin{aligned}
\text{ความเครียดเทียบเท่า} &= \sqrt{\left(\frac{2}{3}\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2\right)} \\
&= \sqrt{\frac{0.21}{3}} \\
&= 0.264
\end{aligned}$$

ดังนั้นที่ส่วนโค้งด้านในของเหล็กท่อกลวงความเครียดหลัก (ε_1) มีค่าเท่ากับ 0.141 ความเครียดรอง (ε_2) มีค่าเท่ากับ -0.105 ความเครียดที่ความหนา (ε_3) มีค่าเท่ากับ -0.274 และ ความเครียดเทียบเท่า มีค่าเท่ากับ 0.264

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

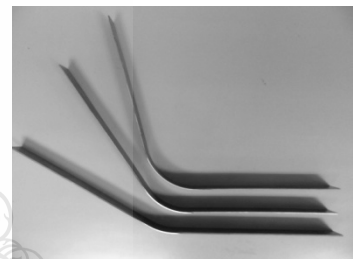
การศึกษาอิทธิพลของสารหล่อลื่นในกระบวนการตัดแบบอัด นอกจากชนิดของสารหล่อลื่นแล้วยังมีการนำเอาตัวแปรอื่นๆ เพื่อประกอบการศึกษารั้งนี้ คือ รูปทรงของชิ้นงานได้แก่ รูปทรงกระบอกกลวง รูปทรงกระบอกตัน และรูปทรงสี่เหลี่ยมแบน และมุมตัดโค้ง ได้แก่ 30, 60 และ 90 องศา ซึ่งตัวแปรทั้งสามส่งผลกระทบต่อกระบวนการตัดแบบอัด คือ การติดตัวกลับของวัสดุ ความเครียดที่ผิว ความเรียบผิวชิ้นงาน และ ลักษณะทางกายภาพของวัสดุ หลังจากการตัดขึ้นรูปจากนั้นนำผลการทดลองตามตัวแปรดังกล่าวมาเปรียบเทียบ เพื่อพิจารณาถึงข้อดีและข้อเสียของการตัดขึ้นรูป ซึ่งผลการทดลองที่แสดงในบทที่ 4 นี้ เป็นผลการทดลองที่ได้จากการเก็บข้อมูล และการคำนวณค่าจากข้อมูลดิบในภาคผนวก ก เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อกระบวนการตัดขึ้นรูปแบบอัด



(ก) รูปทรงกระบอกกลวง
หรือเหล็กท่อ



(ข) รูปทรงกระบอกตัน
หรือเหล็กเส้น



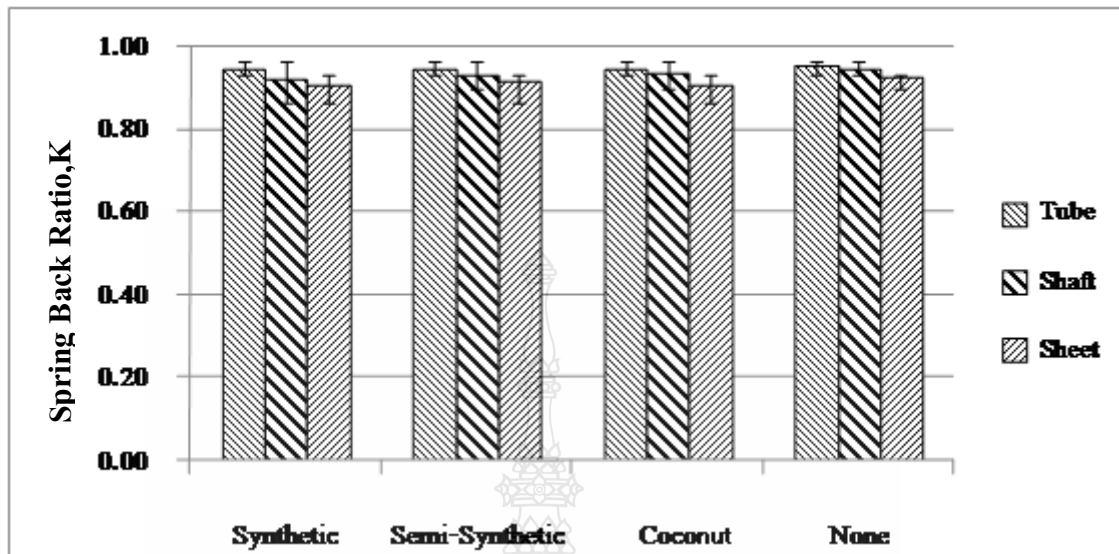
(ค) รูปทรงสี่เหลี่ยมแบน
หรือเหล็กแผ่น

รูปที่ 4.1 ชิ้นงานทดสอบหลังจากการการตัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัด

4.1 ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การติดตัวกลับระหว่างสารหล่อลื่นและรูปทรงของชิ้นงาน

การติดตัวกลับที่ได้จากการผลทดลองตามตัวแปรที่กำหนด มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การติดตัวกลับ(K) โดยวัสดุที่มีค่าความต้านแรงดึงสูงกว่าจะมีการติดกลับสูงเมื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การติดตัวกลับ (K) มีค่าน้อย ในกรณีที่ไม่มี การติดตัวกลับเกิดขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การติดตัวกลับนี้ต้องมีค่าเท่ากับ 1 [32] ซึ่งสารหล่อลื่นเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญในกระบวนการตัดด้วยแม่พิมพ์อัด เนื่องจากสารหล่อลื่นและตัวแปรอื่นๆ ที่มีผลกระทบต่อ การติดตัวกลับ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

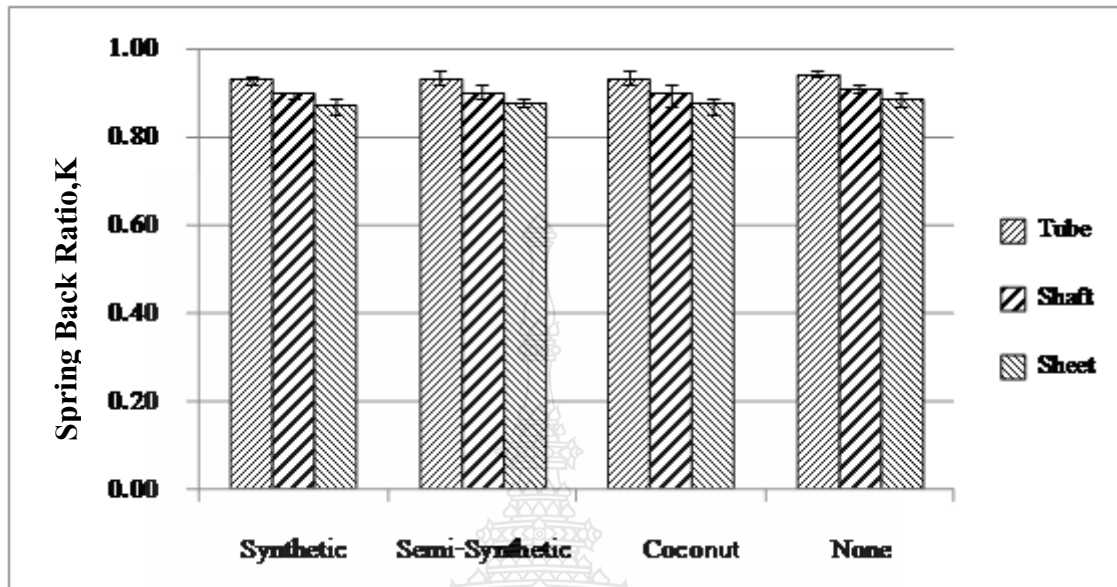
4.1.1 ค่าสัมประสิทธิ์การบิดตัวกลับด้วยการตัดด้วยมุมตัด 30 องศา



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การบิดตัวกลับระหว่างรูปทรงของชิ้นงานและสารหล่อลื่นที่ใช้ในการตัดด้วยมุมตัด 30 องศา

รูปที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์การบิดตัวกลับระหว่างสารหล่อลื่นและรูปทรงของชิ้นงานที่ใช้ในการตัดด้วยมุมตัด 30 องศา ผลการทดลอง พบว่า การทดลองโดยไม่ใช้สารหล่อลื่นมีค่าสัมประสิทธิ์การบิดตัวกลับสูงสุดและมีค่าลดลงชนิดของสารหล่อลื่น ได้แก่ชนิดน้ำมันมะพร้าว น้ำมันก๊วยสังเคราะห์ และน้ำมันสังเคราะห์ ตามลำดับ และลักษณะชิ้นงานทดสอบทั้ง 3 รูปทรง มีค่าสัมประสิทธิ์การบิดตัวกลับแตกต่างกัน คือเหล็กท่อกลมมีค่าสัมประสิทธิ์การบิดตัวกลับสูงสุด เหล็กเส้นกลม และเหล็กแผ่นมีค่าสัมประสิทธิ์การบิดตัวกลับลดลงตามลำดับ ซึ่งพบค่าสัมประสิทธิ์การบิดตัวกลับมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.954 โดยไม่ใช้สารหล่อลื่นในการตัดขึ้นรูปเหล็กท่อกลม และค่าสัมประสิทธิ์การบิดตัวกลับน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.908 โดยใช้สารหล่อลื่นชนิดน้ำมันสังเคราะห์ในการตัดขึ้นรูปเหล็กแผ่น

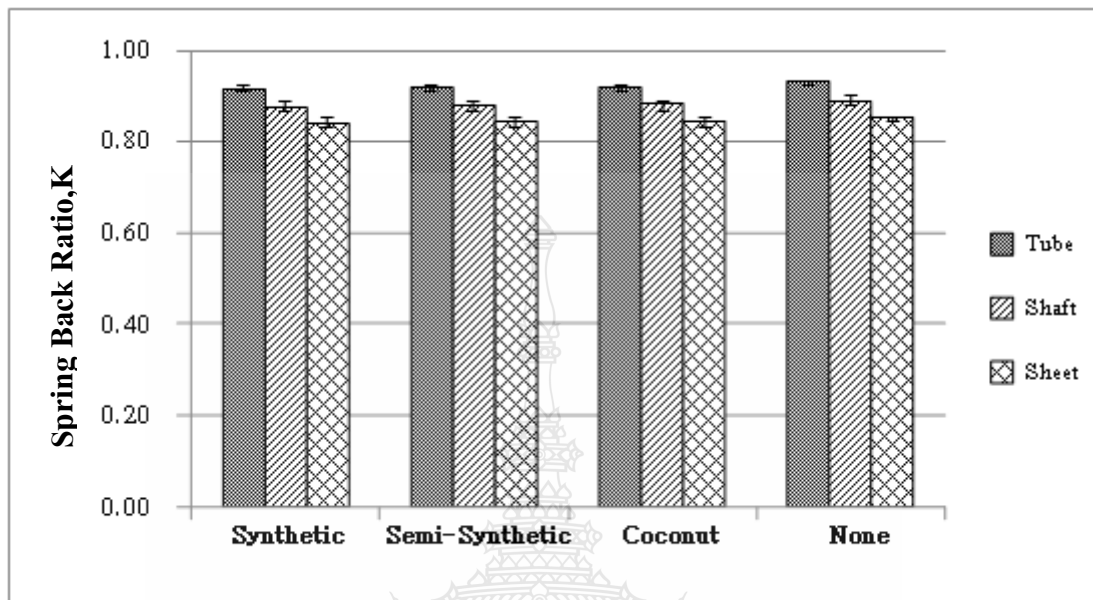
4.1.2 ค่าสัมประสิทธิ์การคิดตัวกลับด้วยการตัดด้วยมุมตัด 60 องศา



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การคิดตัวกลับระหว่างรูปทรงของชิ้นงานและสารหล่อลื่นที่ใช้ในการตัดด้วยมุมตัด 60 องศา

รูปที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การคิดตัวกลับระหว่างสารหล่อลื่นและรูปทรงของชิ้นงานที่ใช้ในการตัดด้วยมุมตัด 60 องศา พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การคิดตัวกลับมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.940 โดยไม่ใช้สารหล่อลื่นในการตัดขึ้นรูปเหล็กทอกลม และค่าสัมประสิทธิ์การคิดตัวกลับน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.871 โดยใช้สารหล่อลื่นชนิดน้ำมันสังเคราะห์ในการตัดขึ้นรูปเหล็กแผ่น ผลการทดลองโดยไม่ใช้สารหล่อลื่นมีค่าสัมประสิทธิ์การคิดตัวกลับสูงสุดและมีค่ามีแนวโน้มลดลงตามชนิดของสารหล่อลื่นได้แก่ชนิดน้ำมันมะพร้าว น้ำมันกึ่งสังเคราะห์ และน้ำมันสังเคราะห์ เป็นลำดับ และลักษณะชิ้นงานทดสอบทั้ง 3 รูปทรง มีค่าสัมประสิทธิ์การคิดตัวกลับแตกต่างกัน คือเหล็กทอกลมมีค่าสัมประสิทธิ์การคิดตัวกลับสูงสุด เหล็กเส้นกลม และเหล็กแผ่นมีค่าสัมประสิทธิ์การคิดตัวกลับมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ

4.1.3 ค่าสัมประสิทธิ์การคิดตัวกลับด้วยการตัดด้วยมุมตัด 90 องศา

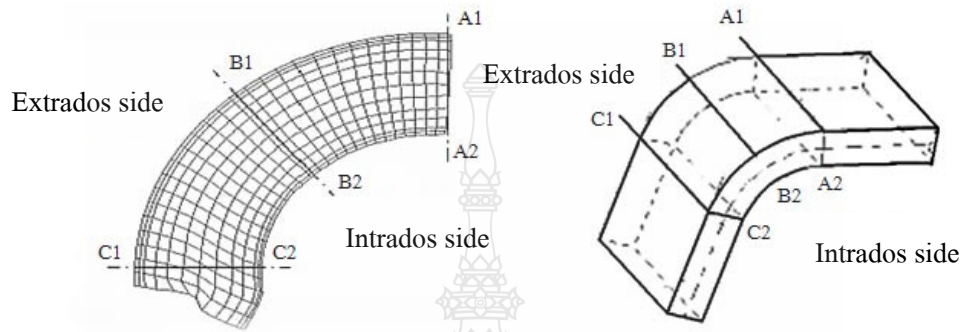


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การคิดตัวกลับระหว่างรูปทรงของชิ้นงานและสารหล่อลื่นที่ใช้ในการตัดด้วยมุมตัด 90 องศา

รูปที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์การคิดตัวกลับระหว่างสารหล่อลื่นและรูปทรงของชิ้นงานที่ใช้ในการตัดด้วยมุมตัด 90 องศา ผลการทดลอง พบว่า การทดลองโดยไม่ใช้สารหล่อลื่นมีค่าสัมประสิทธิ์การคิดตัวกลับสูงสุดและมีค่าลดลงชนิดของสารหล่อลื่น ได้แก่ชนิดน้ำมันมะพร้าว น้ำมันก๊าดสังเคราะห์ และน้ำมันสังเคราะห์ ตามลำดับ และลักษณะชิ้นงานทดสอบทั้ง 3 รูปทรง มีค่าสัมประสิทธิ์การคิดตัวกลับแตกต่างกัน คือเหล็กท่อกลมมีค่าสัมประสิทธิ์การคิดตัวกลับสูงสุด เหล็กเส้นกลม และเหล็กแผ่นมีค่าสัมประสิทธิ์การคิดตัวกลับลดลงตามลำดับ ซึ่งพบค่าสัมประสิทธิ์การคิดตัวกลับมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.940 โดยไม่ใช้สารหล่อลื่นในการตัดขึ้นรูปเหล็กท่อกลม และค่าสัมประสิทธิ์การคิดตัวกลับน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.871 โดยใช้สารหล่อลื่นชนิดน้ำมันสังเคราะห์ในการตัดขึ้นรูปเหล็กแผ่น

4.2 ความสัมพันธ์ความเครียดที่ผิวระหว่างสารหล่อลื่นและมุมตัดชิ้นงานทดสอบ

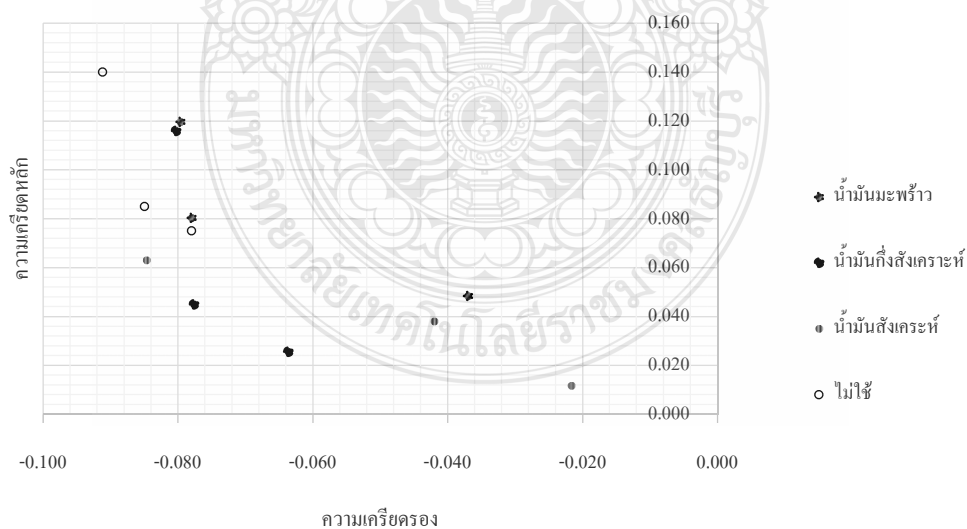
ความเครียดที่ผิวชิ้นงานจากการวัดขนาดกริดวงกลมในตำแหน่งดังรูปที่ 4.5 แล้วคำนวณการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวงกลมกริดในแต่ละตำแหน่ง หาค่าความเครียดในแนวแกน(Major Strain) และค่าความเครียดในแนวแกนรอง(Miner Strain) จากนั้นจึงเขียนแผนภาพความเครียด(Strain Diagram) [33]



รูปที่ 4.5 ตำแหน่งวัดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกริดวงกลม[33]

4.2.1 ความเครียดที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานเหล็กที่จากการเปลี่ยนแปลงมุมตัดในการทดลอง

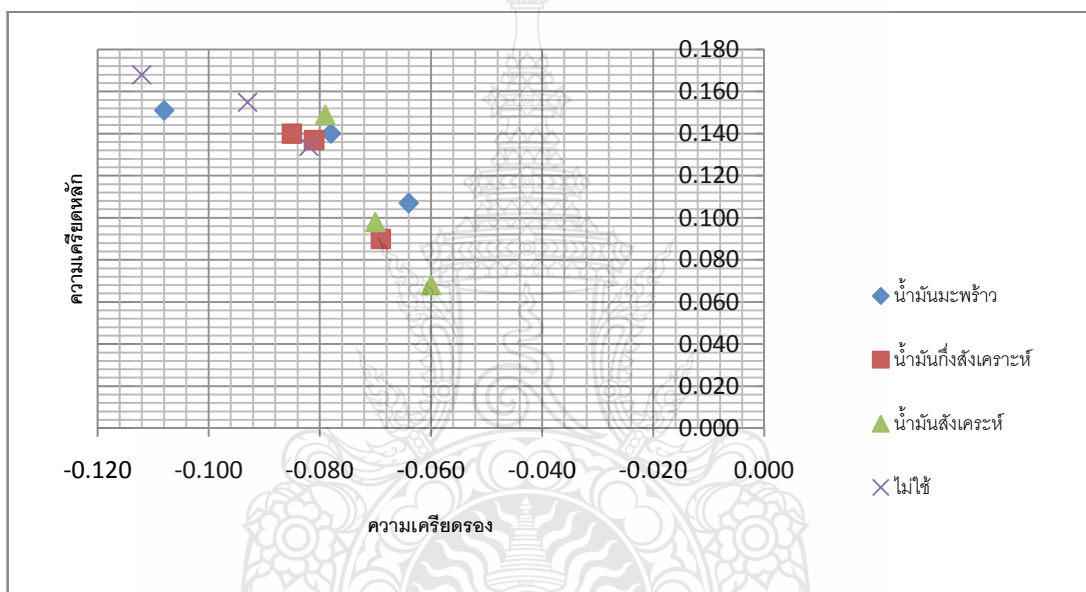
1) การตัดชิ้นรูปเหล็กที่ด้วยมุมตัด 30 องศา



รูปที่ 4.6 ความเครียดที่เกิดขึ้นผิวชิ้นงานในการตัดเหล็กที่ด้วยมุมตัด 30 องศา

รูปที่ 4.6 ความเครียดที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานเหล็กท่อด้วยมุมตัด 30 องศา เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกริดวงกลมบนผิวชิ้นงานทดสอบ ผลการทดลองโดยความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณ จุด B ในการตัดขึ้นรูปโดยไม่ใช้สารหล่อลื่น ความเครียดหลักสูงสุดเท่ากับ 0.140 ความเคียรองสูงสุดเท่ากับ -0.091 และความเครียดต่ำสุดเกิดขึ้นที่บริเวณ จุด B ในการตัดขึ้นรูปโดยใช้สารหล่อลื่นชนิดน้ำมันสังเคราะห์ ความเครียดหลักต่ำสุดเท่ากับ 0.012 ความเคียรองต่ำสุดเท่ากับ -0.022

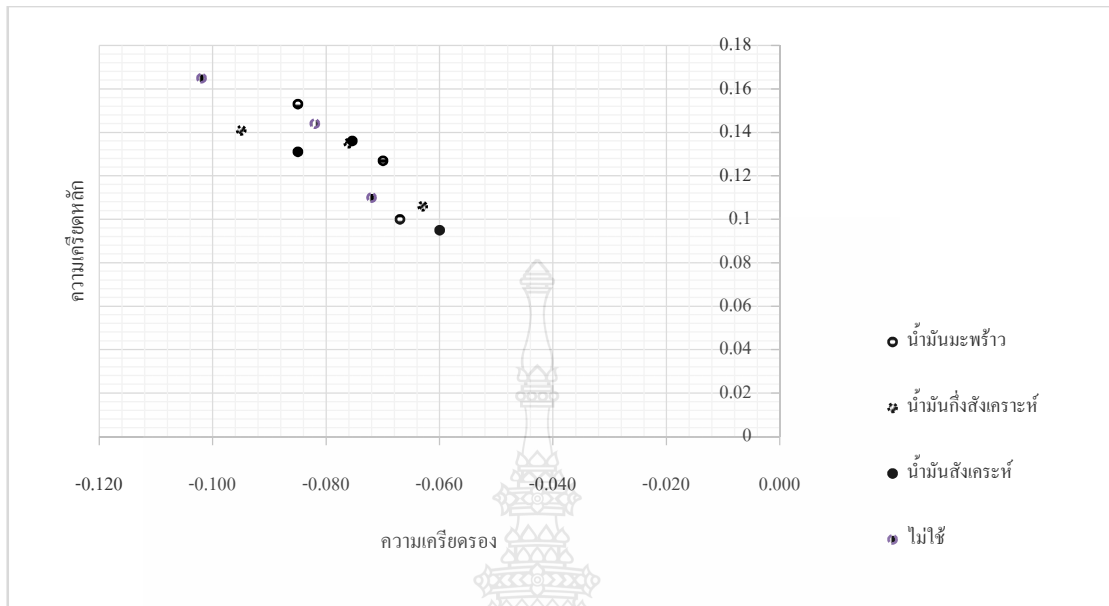
2) การตัดขึ้นรูปเหล็กท่อด้วยมุมตัด 60 องศา



รูปที่ 4.7 ความเครียดที่เกิดขึ้นผิวชิ้นงานในการตัดเหล็กท่อด้วยมุมตัด 60 องศา

รูปที่ 4.7 สรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้ เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกริดวงกลมบนผิวชิ้นงานทดสอบด้วยมุมตัด 60 องศา ผลการทดลองโดยความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณ จุด B ในการตัดขึ้นรูปโดยไม่ใช้สารหล่อลื่น ความเครียดหลักสูงสุดเท่ากับ 0.168 ความเคียรองสูงสุดเท่ากับ -0.112 และความเครียดต่ำสุดเกิดขึ้นที่บริเวณ จุด B ในการตัดขึ้นรูปโดยใช้สารหล่อลื่นชนิดน้ำมันสังเคราะห์ ความเครียดหลักต่ำสุดเท่ากับ 0.068 ความเคียรองต่ำสุดเท่ากับ -0.060

3) การตัดขึ้นรูปเหล็กท่อด้วยมุมตัด 90 องศา

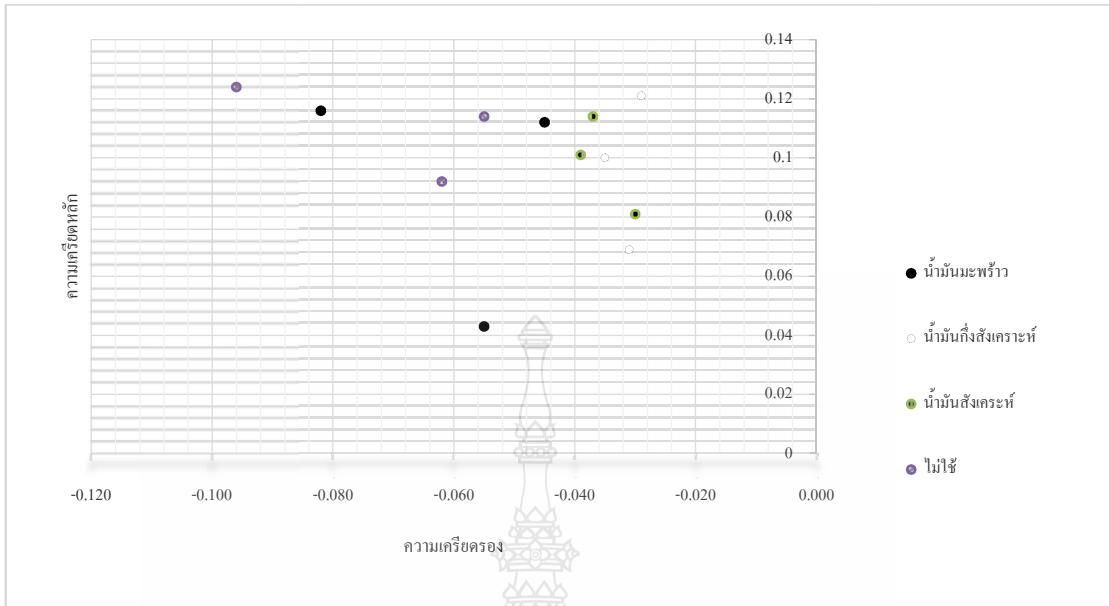


รูปที่ 4.8 ความเครียดที่เกิดขึ้นผิวชิ้นงานในการตัดเหล็กท่อด้วยมุมตัด 90 องศา

รูปที่ 4.8 ความเครียดที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานเหล็กท่อด้วยมุมตัด 90 องศา เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกริดวงกลมบนผิวชิ้นงานทดสอบ ผลการทดลองโดยความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณ จุด B ในการตัดขึ้นรูปโดยไม่ใช่สารหล่อลื่น ความเครียดหลักสูงสุดเท่ากับ 0.165 ความเค้นตรงสูงสุดเท่ากับ -0.102 และความเครียดต่ำสุดเกิดขึ้นที่บริเวณ จุด B ในการตัดขึ้นรูปโดยใช่สารหล่อลื่นชนิดน้ำมันสังเคราะห์ ความเครียดหลักต่ำสุดเท่ากับ 0.095 ความเค้นตรงต่ำสุดเท่ากับ -0.060

4.2.2 ความเครียดที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานเหล็กเส้นจากการเปลี่ยนแปลงมุมตัดในการทดลอง

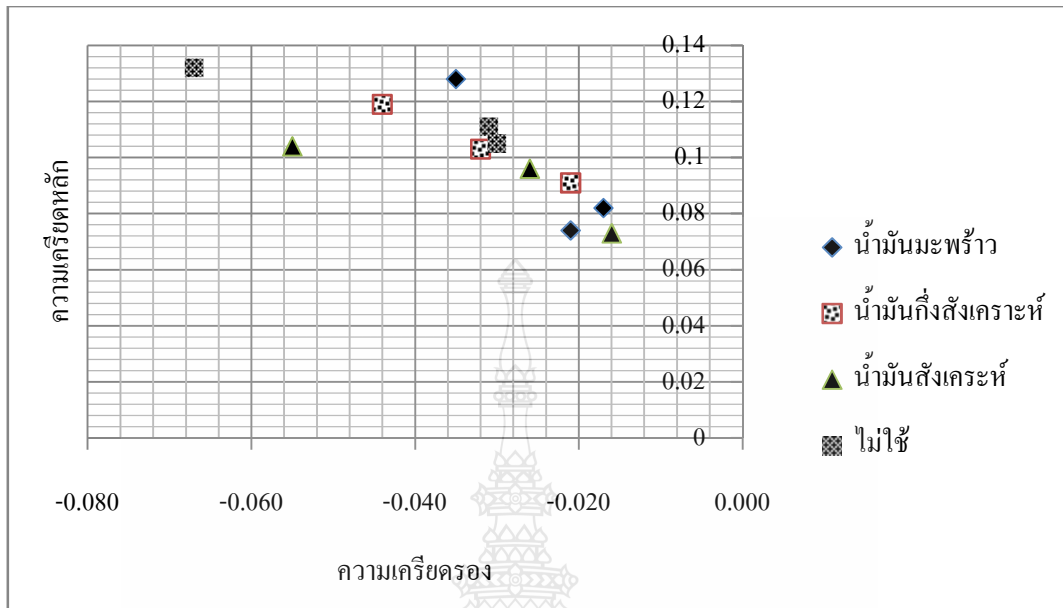
1) การตัดชิ้นรูปเหล็กเส้นด้วยมุมตัด 30 องศา



รูปที่ 4.9 ความเครียดที่เกิดขึ้นผิวชิ้นงานในการตัดเหล็กเส้นด้วยมุมตัด 30 องศา

รูปที่ 4.9 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้ เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกริดวงกลมบนผิวชิ้นงานทดสอบด้วยมุมตัด 30 องศา ผลการทดลองโดยความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณ จุด B ในการตัดชิ้นรูปโดยไม่ใช่สารหล่อลื่น ความเครียดหลักสูงสุดเท่ากับ 0.124 ความเครียดรองสูงสุดเท่ากับ -0.096 และความเครียดต่ำสุดเกิดขึ้นที่บริเวณ จุด B ในการตัดชิ้นรูปโดยใช้สารหล่อลื่นชนิดน้ำมันมะพร้าว ความเครียดหลักต่ำสุดเท่ากับ 0.043 และบริเวณจุด B ในการตัดชิ้นรูปโดยใช้สารหล่อลื่นชนิดน้ำมันก๊ังสังเคราะห์มีความเครียดรองต่ำสุดเท่ากับ -0.028

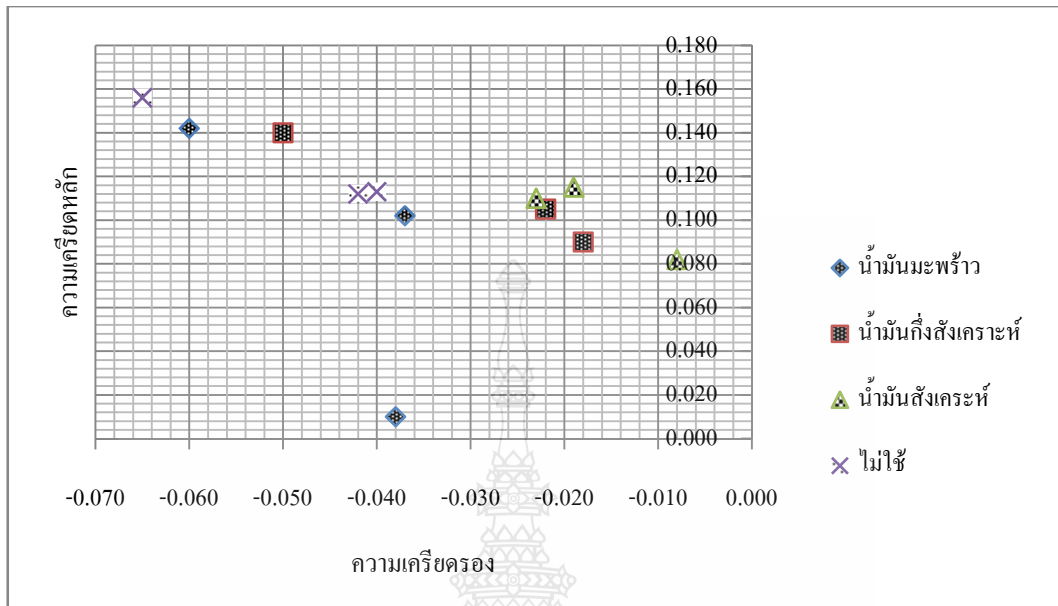
2) การตัดขึ้นรูปเหล็กเส้นด้วยมมตัด 60 องศา



รูปที่ 4.10 ความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณหน้าในการตัดเหล็กเส้นด้วยมมตัด 60 องศา

รูปที่ 4.10 ความเครียดที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานเหล็กที่ตัดด้วยมมตัด 60 องศา เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกริดวงกลมบนผิวชิ้นงานทดสอบ ผลการทดลองโดยความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณ จุด B ในการตัดขึ้นรูปโดยไม่ใช่สารหล่อลื่น ความเครียดหลักสูงสุดเท่ากับ 0.132 ความเครียดรองสูงสุดเท่ากับ -0.067 และความเครียดต่ำสุดเกิดขึ้นที่บริเวณ จุด B ในการตัดขึ้นรูปโดยใช้สารหล่อลื่นชนิดน้ำมันสังเคราะห์ ความเครียดหลักต่ำสุดเท่ากับ 0.073 ความเครียดรองต่ำสุดเท่ากับ -0.016

3) การตัดขึ้นรูปเหล็กเส้นด้วยมุมตัด 90 องศา



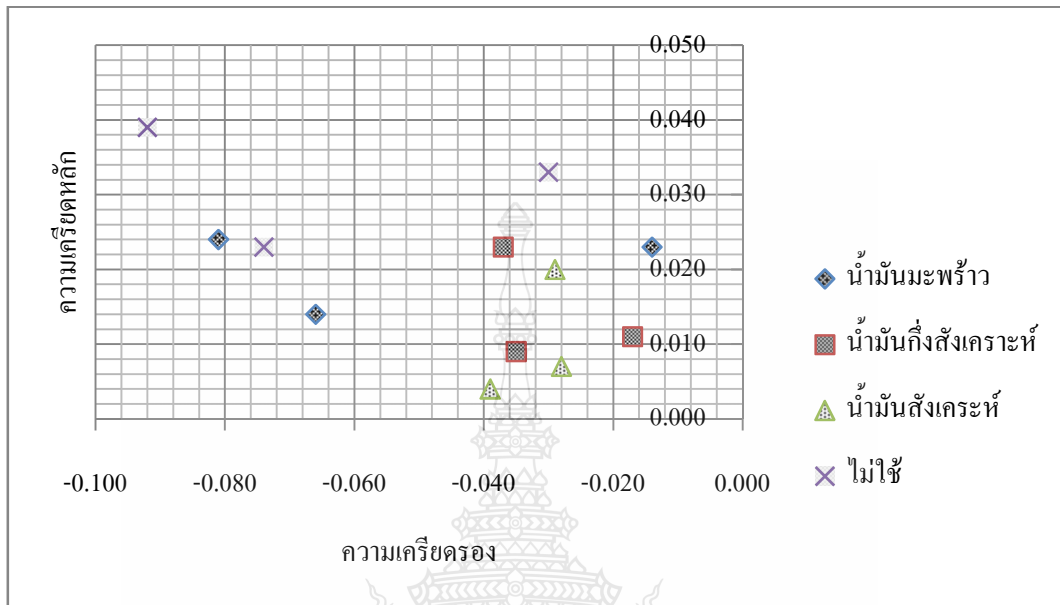
รูปที่ 4.11 ความเครียดที่เกิดขึ้นผิวชิ้นงานในการตัดเหล็กเส้นด้วยมุมตัด 90 องศา

รูปที่ 4.11 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้ เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกริดวงกลมบนผิวชิ้นงานทดสอบด้วยมุมตัด 90 องศา ผลการทดลองโดยความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณ จุด B ในการตัดขึ้นรูปโดยไม่ใช่สารหล่อลื่น ความเครียดหลักสูงสุดเท่ากับ 0.156 ความเครียดตรงสูงสุดเท่ากับ -0.065 และความเครียดต่ำสุดเกิดขึ้นที่บริเวณ จุด B ในการตัดขึ้นรูปโดยใช้สารหล่อลื่นชนิดน้ำมันมะพร้าวมีความเครียดหลักต่ำสุดเท่ากับ 0.01 ความเครียดตรงต่ำสุด โดยใช้สารหล่อลื่นชนิดน้ำมันสังเคราะห์เท่ากับ -0.008

รูปที่ 4.9-4.11 สามารถสรุปดังนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานเหล็กเส้นทำการตัดด้วยมุมตัด 30, 60 และ 90 องศา เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกริดวงกลมบนผิวชิ้นงานทดสอบ โดยค่าความเครียดที่ผิวที่ได้จากการคำนวณ พบว่าเมื่อเพิ่มมุมตัดส่งผลทำให้ค่าความเครียดที่ผิวเหล็กเส้นเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hwang YM, Lin YK และ Chuang HC[34] กล่าวว่า ระยะของแรงอัดและดึงกระทำในขณะการตัดโลหะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามสารหล่อลื่นยังมีผลกระทบต่อค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงาน โดยสารหล่อลื่นชนิด น้ำมันสังเคราะห์ น้ำมันกึ่งสังเคราะห์ น้ำมันมะพร้าว และไม่ใช่สารหล่อลื่น ส่งผลให้ค่าความเครียดผิวเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ

4.2.3 ความเครียดที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานเหล็กแผ่นจากการเปลี่ยนแปลงมุมตัดในการทดลอง

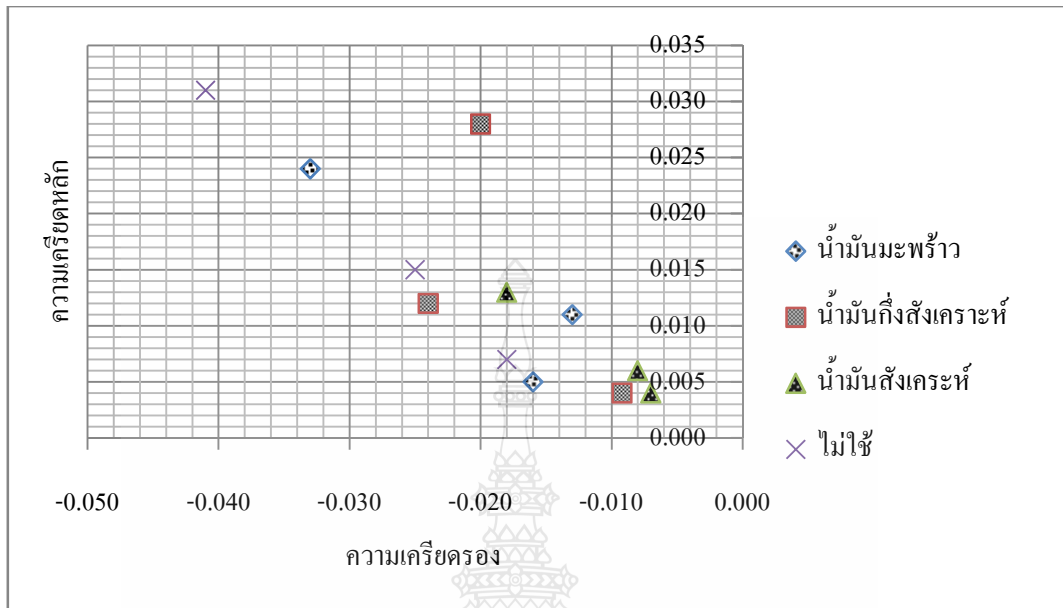
1) การตัดขึ้นรูปเหล็กแผ่นด้วยมุมตัด 30 องศา



รูปที่ 4.12 ความเครียดที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานในการตัดเหล็กแผ่นด้วยมุมตัด 30 องศา

รูปที่ 4.12 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้ เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกริดวงกลมบนผิวชิ้นงานทดสอบด้วยมุมตัด 30 องศา ผลการทดลองโดยความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณ จุด B ในการตัดขึ้นรูปโดยไม่มีสารหล่อลื่น ความเครียดหลักสูงสุดเท่ากับ 0.039 ความเค้นตรงสูงสุดเท่ากับ -0.092 และความเค้นต่ำสุดเกิดขึ้นที่บริเวณ จุด B ในการตัดขึ้นรูปโดยใช้สารหล่อลื่นชนิดน้ำมันสังเคราะห์มีความเครียดหลักต่ำสุดเท่ากับ 0.004 ทั้งนี้ยังเกิดความเค้นต่ำสุดเกิดขึ้นที่บริเวณ จุด B ในการตัดขึ้นรูปโดยใช้สารหล่อลื่นชนิดน้ำมันมะพร้าวมีความเค้นตรงต่ำสุดเท่ากับ -0.014

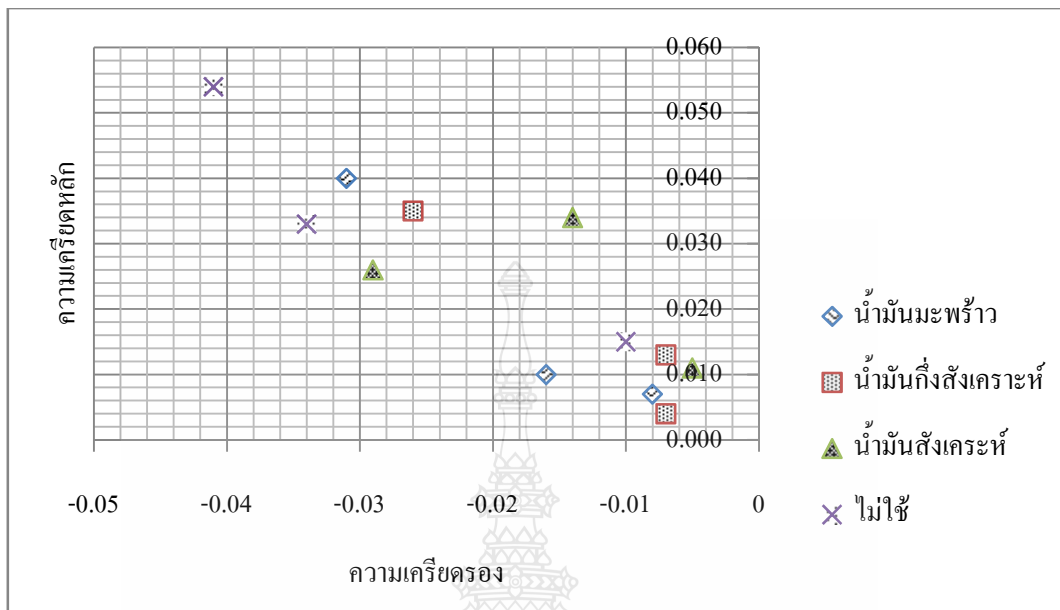
2) การตัดชิ้นรูปเหล็กแผ่นด้วยมุมตัด 60 องศา



รูปที่ 4.13 ความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณผิวชิ้นงานในการตัดเหล็กแผ่นด้วยมุมตัด 60 องศา

รูปที่ 4.13 ความเครียดที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานเหล็กที่ตัดด้วยมุมตัด 60 องศา เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกริดวงกลมบนผิวชิ้นงานทดสอบ ผลการทดลองโดยความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณ จุด B ในการตัดชิ้นรูปโดยไม่ใช่สารหล่อลื่น ความเครียดหลักสูงสุดเท่ากับ 0.031 ความเครียดตรงสูงสุดเท่ากับ -0.041 และความเครียดต่ำสุดเกิดขึ้นที่บริเวณ จุด B ในการตัดชิ้นรูปโดยใช่สารหล่อลื่นชนิดน้ำมันสังเคราะห์ ความเครียดหลักต่ำสุดเท่ากับ 0.004 ความเครียดตรงต่ำสุดเท่ากับ -0.006

3) การตัดขึ้นรูปเหล็กแผ่นด้วยมุดัด 90 องศา



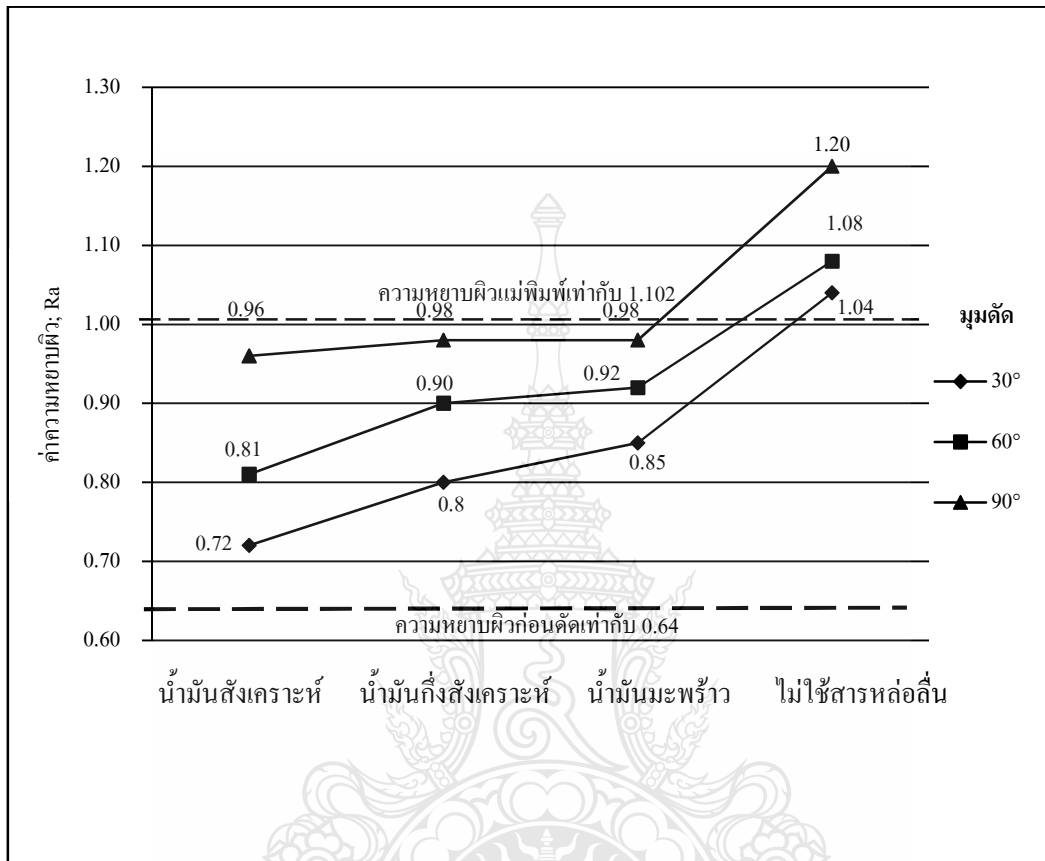
รูปที่ 4.14 ความเครียดที่เกิดขึ้นผิวชิ้นงานในการตัดเหล็กแผ่นด้วยมุดัด 90 องศา

รูปที่ 4.14 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้ เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกริดวงกลมบนผิวชิ้นงานทดสอบด้วยมุดัด 90 องศา ผลการทดลองโดยความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณ จุด B ในการตัดขึ้นรูปโดยไม่ใช่สารหล่อลื่น ความเครียดหลักสูงสุดเท่ากับ 0.054 ความเครียดตรงสูงสุดเท่ากับ -0.041 และความเครียดต่ำสุดเกิดขึ้นที่บริเวณ จุด B ในการตัดขึ้นรูปโดยใช้สารหล่อลื่นชนิดน้ำมันก๊ิงสังเคราะห์มีความเครียดหลักต่ำสุดเท่ากับ 0.004 ทั้งนี้ยังเกิดความเครียดต่ำสุดเกิดขึ้นที่บริเวณ จุด B ในการตัดขึ้นรูปโดยใช้สารหล่อลื่นชนิดน้ำมันสังเคราะห์มีความเครียดตรงต่ำสุดเท่ากับ -0.005

รูปที่ 4.12-4.14 สามารถสรุปดังนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานเหล็กแผ่นทำการตัดด้วยมุดัด 30, 60 และ 90 องศา เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกริดวงกลมบนผิวชิ้นงานทดสอบ โดยค่าความเครียดที่ผิวที่ได้จากการคำนวณ พบว่าเมื่อเพิ่มมุดัดส่งผลทำให้ค่าความเครียดที่ผิวเหล็กแผ่นเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Morteza Nurcheshmeh และ Daniel E. Green [4] กล่าวว่า ระยะของแรงอัดและดึงกระทำในขณะการตัดโลหะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามสารหล่อลื่นยังมีผลกระทบต่อค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงาน โดยสารหล่อลื่นชนิด น้ำมันสังเคราะห์ น้ำมันก๊ิงสังเคราะห์ น้ำมันมะพร้าว และไม่ใช่สารหล่อลื่น ส่งผลให้ค่าความเครียดผิวเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ

4.3 ความสัมพันธ์ของความหยาบผิวระหว่างสารหล่อลื่นและมุมตัดชิ้นงานทดสอบ

4.3.1 ความหยาบผิวของชิ้นงานในการตัดเหล็กท่อ

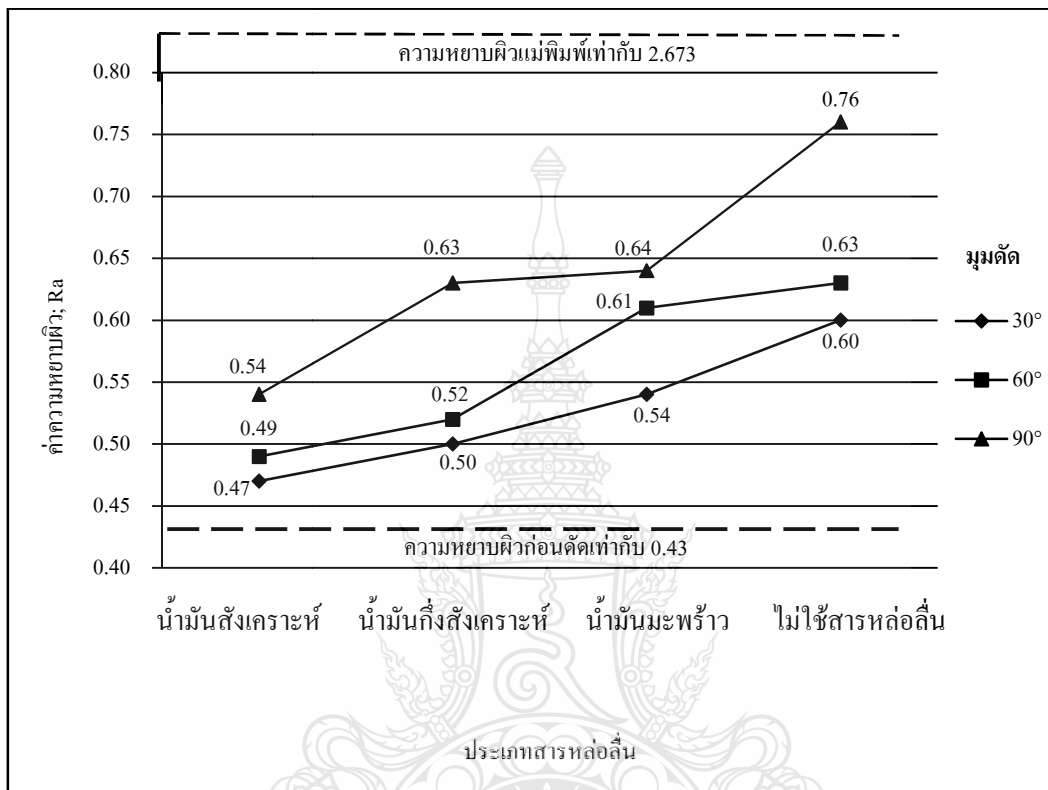


รูปที่ 4.15 ความหยาบผิว Ra ของเหล็กท่อกลม

รูปที่ 4.15 ความหยาบผิว Ra ของเหล็กท่อกลม ที่ทำการตัดตามตัวแปรที่กำหนดไว้ เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิว พบว่าค่าความหยาบผิวที่ใช้ตัวแปรสารหล่อลื่น และไม่ใช้สารหล่อลื่นในกระบวนการตัด มีค่าที่ต่างกัน ในมุมตัดเดียวกัน และมีแนวโน้มที่สูงขึ้นตามมุมตัด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติของสารหล่อลื่นมีผลต่อค่าความหยาบผิว และมุมในการตัดก็ส่งผลให้ค่าความหยาบผิวสูงขึ้นเช่นกัน เมื่อนำค่าความหยาบผิวที่ใช้ตัวแปรสารหล่อลื่นแต่ละชนิดมาเปรียบเทียบกัน พบว่าน้ำมันสังเคราะห์ ช่วยลดค่าความหยาบผิวได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับกระบวนการตัดที่ไม่ใช้สารหล่อลื่น โดยค่าความหยาบผิวที่มุมตัด 30, 60 และ 90 องศา ที่ใช้สารหล่อลื่นน้ำมันสังเคราะห์ในกระบวนการตัด เท่ากับ 0.72, 0.81 และ 0.96 Ra ตามลำดับ และไม่ใช้สารหล่อลื่นในกระบวนการตัด เท่ากับ 1.04, 1.08 และ 1.2 Ra ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าน้ำมัน

สังเคราะห์ มีผลทำให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุด และมุมตัดมีผลต่อค่าความหยาบผิวแบบแปรผันตามกัน

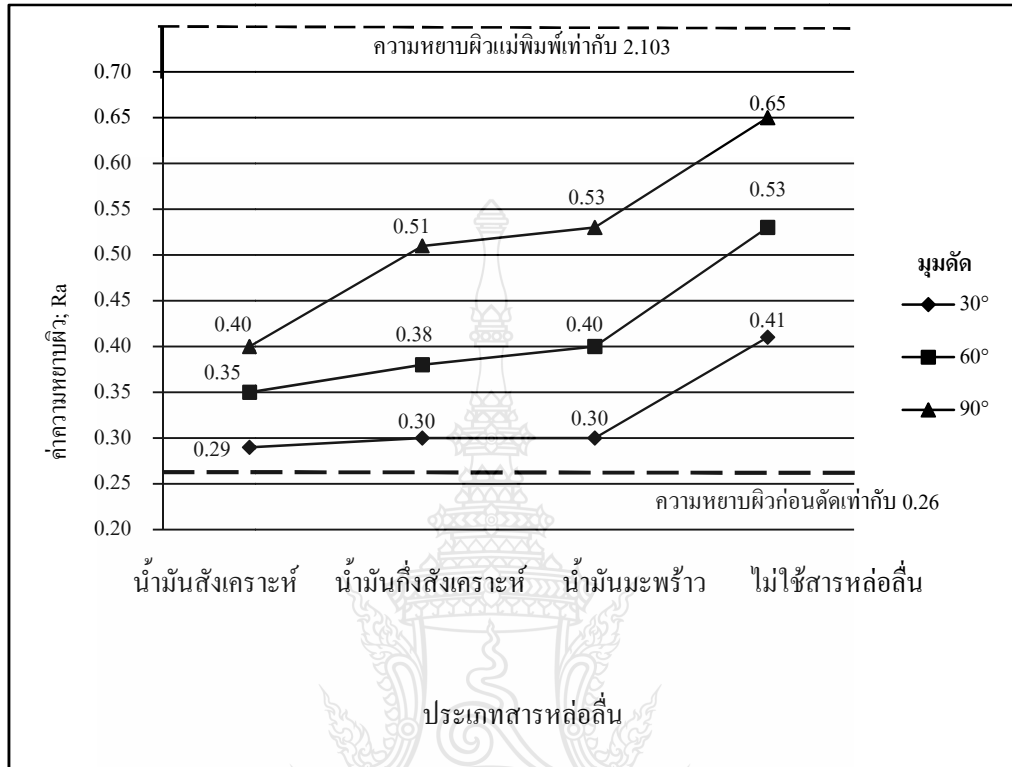
4.3.2 ความหยาบผิวของชิ้นงานในการตัดเหล็กเส้น



รูปที่ 4.16 ความหยาบผิว Ra ของเหล็กเส้นกลม

รูปที่ 4.16 เป็นกราฟแสดงค่าความหยาบผิว Ra ของเหล็กเส้นกลม ที่ทำการตัดตามตัวแปรที่กำหนดไว้ เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิว พบว่าค่าความหยาบผิวที่ใช้ตัวแปรสารหล่อลื่น และไม่ใช้สารหล่อลื่นในกระบวนการตัด มีค่าที่ต่างกันตามมุมตัดเดียวกัน และมีแนวโน้มที่สูงขึ้นตามมุมตัด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติของสารหล่อลื่นมีผลต่อค่าความหยาบผิว และมุมในการตัดก็ส่งผลให้ค่าความหยาบผิวสูงขึ้นเช่นกัน เมื่อนำค่าความหยาบผิวที่ใช้ตัวแปรสารหล่อลื่นแต่ละชนิดมาเปรียบเทียบกัน พบว่าน้ำมันสังเคราะห์ ช่วยลดค่าความหยาบผิวได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับกระบวนการตัดที่ไม่ใช้สารหล่อลื่น โดยค่าความหยาบผิวที่มุมตัด 30, 60 และ 90 องศา ที่ใช้สารหล่อลื่นน้ำมันสังเคราะห์ในกระบวนการตัด เท่ากับ 0.47, 0.49 และ 0.54 ตามลำดับ และไม่ใช้สารหล่อลื่นในกระบวนการตัด เท่ากับ 0.6, 0.63 และ 0.76 Ra ตามลำดับ ดังนั้น

จึงสามารถสรุปได้ว่าน้ำมันสังเคราะห์ มีผลทำให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุด และมุมตัดมีผลต่อค่าความหยาบผิวแบบแปรผันตามกัน



รูปที่ 4.17 ความหยาบผิว Ra ของเหล็กแผ่น

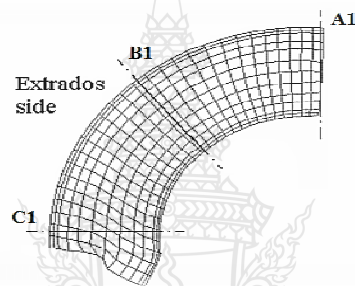
รูปที่ 4.17 เป็นกราฟแสดงค่าความหยาบผิว Ra ของเหล็กแผ่น ที่ทำการตัดตาม ตัวแปรที่กำหนดไว้ เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิว พบว่าค่าความหยาบผิวที่ใช้ตัวแปรสารหล่อลื่น และไม่ใช้สารหล่อลื่นในกระบวนการตัด มีค่าที่ต่างกันไม่มากนัก และมีแนวโน้มที่สูงขึ้นตามมุมตัด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติของสารหล่อลื่นมีผลต่อค่าความหยาบผิว และมุมในการตัดก็ส่งผลให้ค่าความหยาบผิวสูงขึ้นเช่นกัน เมื่อนำค่าความหยาบผิวที่ใช้ตัวแปรสารหล่อลื่นแต่ละชนิดมาเปรียบเทียบกัน พบว่าน้ำมันสังเคราะห์ ช่วยลดค่าความหยาบผิวได้มากที่สุด เมื่อเทียบกับกระบวนการตัดที่ไม่ใช้สารหล่อลื่น โดยค่าความหยาบผิวที่มุมตัด 30, 60 และ 90 องศา ที่ใช้สารหล่อลื่นน้ำมันสังเคราะห์ในกระบวนการตัด เท่ากับ 0.29, 0.35 และ 0.4 Ra ตามลำดับ และไม่ใช้สารหล่อลื่นในกระบวนการตัด เท่ากับ 0.41, 0.53 และ 0.65 Ra ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้

ว่าน้ำมันสังเคราะห์ มีผลทำให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุด และมุมตัดมีผลต่อค่าความหยาบผิวแบบแปรผันตามกัน

4.4 ผลการทดสอบทางกายภาพของการตัดชิ้นงานโลหะ

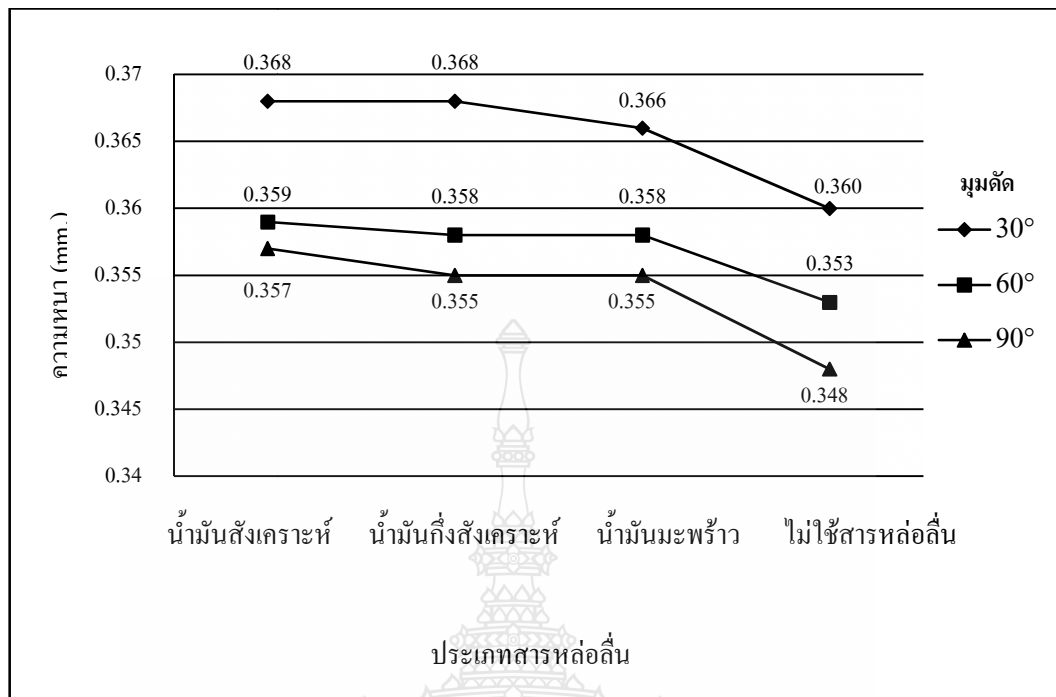
4.4.1 ความหนาผนังส่วนโค้งของเหล็กท่อกลม

การทดลองความหนาของผนังด้านนอกเหล็กท่อกลมที่ทำการตัดตามตัวแปรที่กำหนดไว้ เพื่อทดสอบผลที่เกิดจากตัวแปรต่าง ๆ รวมทั้งความแตกต่างของความหนา 3 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ตำแหน่งการวัดความหนาผนังส่วนโค้งของเหล็กท่อกลม[2]

ผลการทดลองความหนาของผนังส่วนโค้งของเหล็กท่อกลม พบว่าที่จุดกึ่งกลางส่วนโค้ง B1 มีค่าความหนาน้อยที่สุด ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลของตัวแปรที่มีผลต่อความหนาของเหล็กท่อกลม จึงนำค่าความหนาที่จุด B1 มาทำการวิเคราะห์

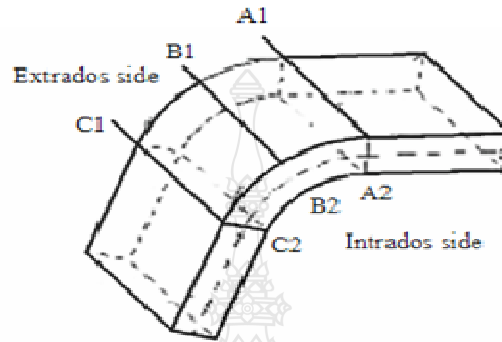


รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างสารหล่อลื่นกับมุมตัดที่มีผลต่อความหนาจุด B1 ของเหล็กท่อกลม

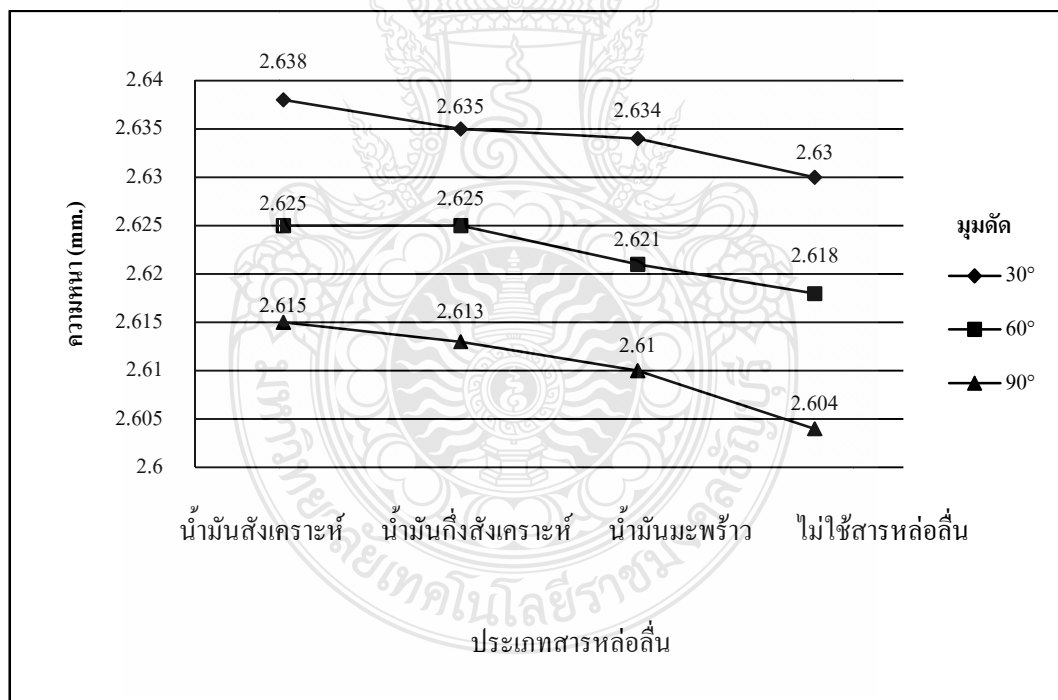
การตัดตามตัวแปรที่กำหนดไว้ เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความหนาพบว่าค่าความหนาที่ใช้ตัวแปรสารหล่อลื่น และไม่ใช้สารหล่อลื่นในกระบวนการตัด มีค่าที่ต่างกัน ในมุมตัดเดียวกัน และมีแนวโน้มที่ลดลงตามมุมตัด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติของสารหล่อลื่นมีผลต่อค่าความหนา และมุมในการตัดก็ส่งผลให้ค่าความหนาลดลงเช่นกัน เมื่อนำค่าความหนาที่ใช้ตัวแปรสารหล่อลื่นแต่ละชนิดมาเปรียบเทียบกัน พบว่าการใช้น้ำมันสังเคราะห์ในกระบวนการตัดมีผลทำให้ความหนาเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับการตัดที่ไม่ใช้สารหล่อลื่น โดยค่าความหนาที่มุมตัด 30, 60 และ 90 องศา ที่ใช้สารหล่อลื่นน้ำมันสังเคราะห์ในกระบวนการตัด มีค่าเท่ากับ 0.368, 0.359 และ 0.357 มิลลิเมตร ตามลำดับ และไม่ใช้สารหล่อลื่นในกระบวนการตัด เท่ากับ 0.36, 0.353 และ 0.348 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าน้ำมันสังเคราะห์ ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงความหนาของเหล็กท่อกลมได้ดีที่สุด และมุมตัดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาของเหล็กท่อกลม

4.4.2 ความหนาผนังส่วนโค้งของเหล็กแผ่น

การทดลองความหนาหน้าตัดส่วนโค้งของเหล็กแผ่น พบว่าที่จุดกึ่งกลางส่วนโค้งมีค่าความหนาที่น้อยที่สุด ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลของตัวแปรที่มีผลต่อความหนาของเหล็กแผ่น จึงนำค่าความหนาจุดที่ 2 มาทำการวิเคราะห์



รูปที่ 4.20 ตำแหน่งการวัดความหนาผนังส่วนโค้งของเหล็กแผ่น [2]



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างสารหล่อลื่นกับมุมคัตที่มีผลต่อความหนาจุด B1 ของเหล็กแผ่น

การตัดตามตัวแปรที่กำหนดไว้ เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความหนา พบว่าค่าความหนาที่ใช้ตัวแปรสารหล่อลื่น และไม่ใช่สารหล่อลื่นในกระบวนการตัด มีค่าที่ต่างกันในมุมตัดเดียวกัน และมีแนวโน้มที่ลดลงตามมุมตัด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติของสารหล่อลื่นมีผลต่อค่าความหนา และมุมในการตัดก็ส่งผลให้ค่าความหนาลดลงเช่นกัน เมื่อนำค่าความหนาที่ใช้ตัวแปรสารหล่อลื่นแต่ละชนิดมาเปรียบเทียบกัน พบว่าการใช้น้ำมันสังเคราะห์ในกระบวนการตัดมีผลทำให้ความหนาเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับการตัดที่ไม่ใช้สารหล่อลื่น โดยค่าความหนาที่มุมตัด 30, 60 และ 90 องศา ที่ใช้สารหล่อลื่นน้ำมันสังเคราะห์ในกระบวนการตัด มีค่าเท่ากับ 2.638, 2.625 และ 2.615 มิลลิเมตร ตามลำดับ และไม่ใช่สารหล่อลื่นในกระบวนการตัด เท่ากับ 2.63, 2.618 และ 2.604 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าน้ำมันสังเคราะห์ ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงความหนาของเหล็กแผ่นได้ดีที่สุด และมุมตัดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาของเหล็กแผ่น

4.4.3 การประเมินข้อบกพร่องทางกายภาพ

ตารางที่ 4.1 การประเมินข้อบกพร่องทางกายภาพในกระบวนการตัด โดยไม่ใช่สารหล่อลื่น

ประเภทข้อบกพร่อง	เหล็กทอกลวง		เหล็กเส้น		เหล็กแผ่น	
	เกิด	ไม่เกิด	เกิด	ไม่เกิด	เกิด	ไม่เกิด
1. รอยแตก และนิกขาด		✓		✓		✓
2. การติดกลับ	✓		✓		✓	
3. การเกิดรอยขุ่น	✓			✓		✓
4. การเกิดรอยบุบ	✓			✓		✓



รูปที่ 4.22 ข้อบกพร่องทางกายภาพในกระบวนการตัด โดยไม่ใช่สารหล่อลื่น ในเหล็กทั้ง 3 รูปทรง

ตารางที่ 4.2 การประเมินข้อบกพร่องทางกายภาพในกระบวนการตัดโดยใช้ น้ำมันสังเคราะห์

ประเภทข้อบกพร่อง	เหล็กทอกลวง		เหล็กเส้น		เหล็กแผ่น	
	เกิด	ไม่เกิด	เกิด	ไม่เกิด	เกิด	ไม่เกิด
1. รอยแตก และน้ิกขาด		✓		✓		✓
2. การติดกลับ	✓		✓		✓	
3. การเกิดรอยขุ่น		✓		✓		✓
4. การเกิดรอยบุบ		✓		✓		✓



รูปที่ 4.23 ข้อบกพร่องทางกายภาพในกระบวนการตัดโดยใช้ น้ำมันสังเคราะห์ในเหล็กทั้ง 3 รูปทรง

ตารางที่ 4.3 การประเมินข้อบกพร่องทางกายภาพในกระบวนการตัดโดยใช้ น้ำมันก๊ิงสังเคราะห์

ประเภทข้อบกพร่อง	เหล็กทอกลวง		เหล็กเส้น		เหล็กแผ่น	
	เกิด	ไม่เกิด	เกิด	ไม่เกิด	เกิด	ไม่เกิด
1. รอยแตก และน้ิกขาด		✓		✓		✓
2. การติดกลับ	✓		✓		✓	
3. การเกิดรอยขุ่น		✓		✓		✓
4. การเกิดรอยบุบ		✓		✓		✓



รูปที่ 4.24 ข้อบกพร่องทางกายภาพในกระบวนการตัดโดยใช้ใช้น้ำมันกึ่งสังเคราะห์ในเหล็กทั้ง 3 รูปทรง

ตารางที่ 4.4 การประเมินข้อบกพร่องทางกายภาพในกระบวนการตัดโดยใช้ใช้น้ำมันมะพร้าว

ประเภทข้อบกพร่อง	เหล็กท่อกว้าง		เหล็กเส้น		เหล็กแผ่น	
	เกิด	ไม่เกิด	เกิด	ไม่เกิด	เกิด	ไม่เกิด
1. รอยแตก และฉีกขาด		✓		✓		✓
2. การดีดกลับ	✓		✓		✓	
3. การเกิดรอยขุ่น		✓		✓		✓
4. การเกิดรอยบุบ		✓		✓		✓



รูปที่ 4.25 ข้อบกพร่องทางกายภาพในกระบวนการตัดโดยใช้ใช้น้ำมันมะพร้าวในเหล็กทั้ง 3 รูปทรง

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาอิทธิพลของสารหล่อลื่นที่มีผลต่อกระบวนการตัดแบบอัดนี้ ใช้เหล็กท่อกลม เหล็กเส้นกลม และเหล็กแผ่น เกรด DIN St 37 ในกระบวนการตัด ขึ้นรูป ที่มุมตัด 30, 60 และ 90 องศาตามลำดับ โดยใช้สารหล่อลื่นน้ำมันสังเคราะห์ Formol 10 S น้ำมันกึ่งสังเคราะห์ Neocut KCB น้ำมันมะพร้าว และไม่ใช้สารหล่อลื่นในกระบวนการตัด ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 สรุปผล

5.1.1 การตัดตัวกลับ

ผลการทดลอง พบว่า อิทธิพลของสารหล่อลื่นไม่มีผลต่อการตัดตัวกลับของเหล็กทั้ง 3 รูปทรง แต่มุมตัดมีผลต่อการตัดตัวกลับของเหล็กทั้ง 3 รูปทรง และเปอร์เซ็นต์การตัดตัวกลับมีค่ามากที่สุดที่มุมตัด 90 องศา โดยค่าเปอร์เซ็นต์การตัดตัวกลับของเหล็กท่อกลมในแต่ละสารหล่อลื่นมีค่าเท่ากับ 8.33, 8.22, 8.22 และ 7.11 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ของเหล็กเส้นกลมในแต่ละสารหล่อลื่นมีค่าเท่ากับ 12.33, 12.00, 11.78 และ 11.44 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ของเหล็กแผ่นในแต่ละสารหล่อลื่นมีค่าเท่ากับ 15.67, 15.56, 15.44 และ 15.11 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

5.1.2 ความเครียดที่ผิวชิ้นงาน

ผลการทดลอง พบว่าตัวแปรสารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดลอง และมุมตัดมีผลต่อค่าความเครียดเทียบเท่าของเหล็กทั้ง 3 รูปทรง ซึ่งสารหล่อลื่นที่ให้ค่าความเครียดเทียบเท่าต่ำสุดคือน้ำมันสังเคราะห์ Formol 10 S แต่ปัจจัยที่ทำให้ความเครียดเทียบเท่าสูงขึ้นคือมุมตัด เมื่อทำการเพิ่มมุมตัดจะส่งผลให้ค่าความเครียดเทียบเท่าสูงขึ้นตามมุมตัด โดยค่าความเครียดเทียบเท่าของเหล็กท่อกลมที่ใช้ น้ำมันสังเคราะห์ Formol 10 S ในกระบวนการตัด ที่มุมตัด 30, 60 และ 90 องศา มีค่าเท่ากับ 0.142, 0.172 และ 0.190 ตามลำดับ ค่าความเครียดเทียบเท่าของเหล็กแผ่นที่ใช้ น้ำมันสังเคราะห์ Formol 10 S ในกระบวนการตัด ที่มุมตัด 30, 60 และ 90 องศา มีค่าเท่ากับ 0.030, 0.044 และ 0.051 ตามลำดับ

5.1.3 ความหยาบผิว

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง พบว่าตัวแปรสารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดลอง และมุมตัด มีผลต่อความหยาบผิวของเหล็กทั้ง 3 รูปทรง ซึ่งสารหล่อลื่นที่มีคุณสมบัติช่วยลดความหยาบผิวหลังการตัดได้ดีที่สุดคือ น้ำมันสังเคราะห์ Formol 10 S โดยค่าความหยาบผิวที่ใช้ น้ำมันสังเคราะห์ Formol 10 S ในกระบวนการตัดที่มุมตัด 30, 60 และ 90 องศา ของเหล็กทอกลมมีค่าเท่ากับ 0.72, 0.81 และ 0.96 Ra ตามลำดับ ของเหล็กเส้นกลมมีค่าเท่ากับ 0.47, 0.49 และ 0.54 Ra ตามลำดับ ของเหล็กแผ่นมีค่าเท่ากับ 0.29, 0.35 และ 0.4 Ra ตามลำดับ และมุมตัดมีผลต่อค่าความหยาบผิวแบบแปรผันตามกัน

5.1.4 ความหนา

ผลการทดลอง พบว่าตัวแปรสารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดลอง และมุมตัดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาของผนังเหล็กทอกลม และความหนาของเหล็กแผ่น ซึ่งสารหล่อลื่นที่มีคุณสมบัติช่วยลดการเปลี่ยนแปลงความหนาได้ดีที่สุดคือ สารหล่อลื่นน้ำมันสังเคราะห์ Formol 10 S แต่ปัจจัยที่ทำให้ความหนาลดลงก็คือมุมตัด เมื่อทำการเพิ่มมุมตัดจะส่งผลให้ค่าความหนาส่วนโค้งลดลง และตำแหน่งที่มีความหนาน้อยที่สุดคือจุดกึ่งกลางส่วนโค้ง โดยค่าความหนาที่จุดกึ่งกลางส่วนโค้งของเหล็กทอกลมที่ใช้ น้ำมันสังเคราะห์ Formol 10 S ในกระบวนการตัด ที่มุมตัด 30, 60 และ 90 องศา มีค่าเท่ากับ 0.368, 0.359 และ 0.357 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่าความหนาที่จุดกึ่งกลางส่วนโค้งของเหล็กแผ่นที่ใช้ น้ำมันสังเคราะห์ Formol 10 S ในกระบวนการตัด ที่มุมตัด 30, 60 และ 90 องศา มีค่าเท่ากับ 2.638, 2.625 และ 2.615 มิลลิเมตร ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในกระบวนการตัดขึ้นรูปชิ้นงานควรใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ ที่มีความแม่นยำในการกำหนดหรือตั้งค่าต่าง ๆ เพื่อไม่ให้เกิดการคลาดเคลื่อนของค่าการตัดตัวกลับ

5.2.2 ควรเพิ่มมุมในการทดลองให้ถึง 180 องศา เพื่อศึกษาแนวโน้มการตัดตัวกลับที่มีผลมาจากมุมตัดที่สูงขึ้น และควรเพิ่มความถี่ของมุมตัดในการทดลอง

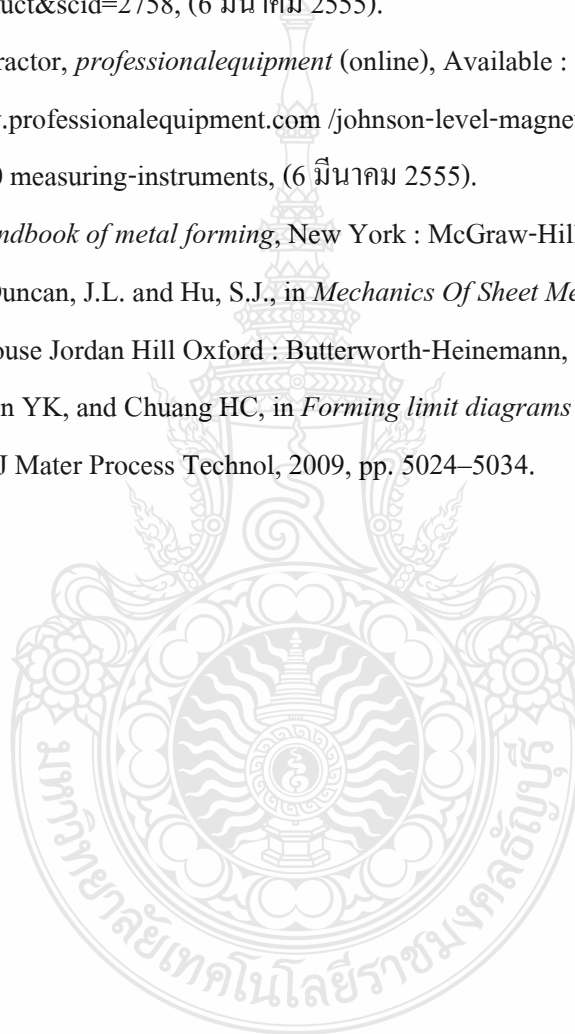
5.2.3 ควรใช้เครื่องมือวัดมุมที่มีความคลาดเคลื่อนน้อย เพื่อให้ได้ค่าการวัดที่แม่นยำ

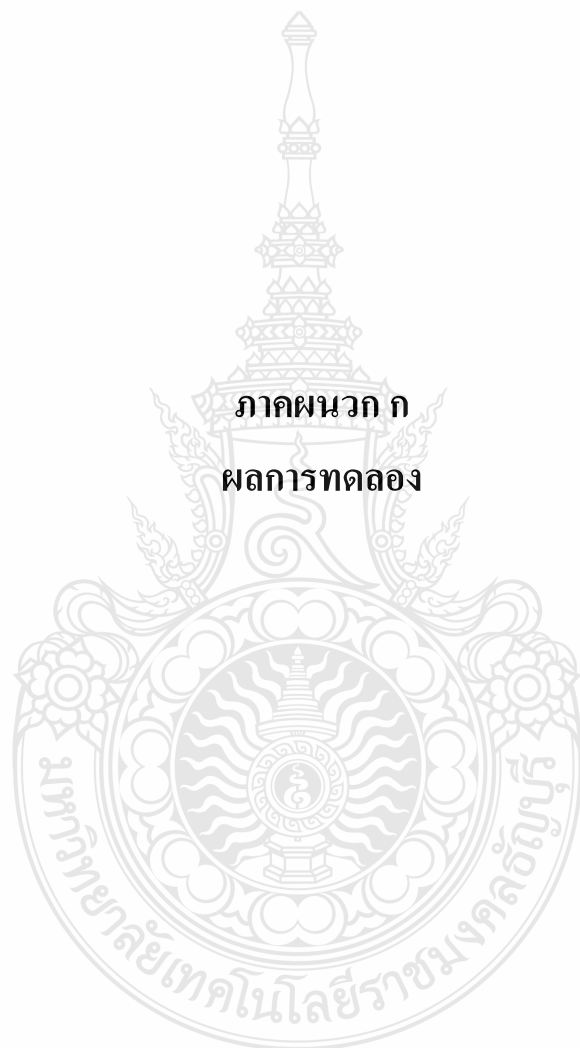
เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Azushima, R. Kopp, A. Korhonen, D.Y. Yang, F. Micari, G.D. Lahoti, P. Groche, J. Yanagimoto, N. Tsuji, A. Rosochowski, and A. Yanagida, "Severe plastic deformation (SPD) processes for metals," in *Manufacturing Technology*, Vol. 57. 2008.
- [2] ศิริชัย ต่อสกุล และ อนุชา วัฒนาภา, *พื้นฐานเทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ*, กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่นจำกัด (มหาชน), 2554.
- [3] T. Wen, "On a new concept of rotary draw bend-die adaptable for bending tubes with multiple outer diameters under non-mandrel condition," *Journal of Materials Processing Technology*, pp. 311–317, 2014.
- [4] ภาสกร จำปาเงิน และ ทวี เทศเจริญ, "การศึกษาการชดเชยการติดกลับของเหล็กแผ่นชนิด S50C และ SPCC," *ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ม.ป.ป.*
- [5] Vukota Boljanovic, Ph.D. Doctor in Technical Science, in *Sheet Metal Forming Process and Die design*. 200 Madison Avenue New York 10016 : Industrial Press Inc, pp. Xii-3.
- [6] M.A. Osman a, and M. Shazly b, *Springback prediction in V-die bending: modelling and experimentation*.
- [7] Z. Marciniak, J.L. Duncan, and S.J. Hu, in *Mechanics of Sheet Metal Forming*, Butterworth-Heinemann An imprint of Elsevier Science Linacre. Oxford OX2 8DP 225 Wildwood Avenue Woburn : Jordan Hill, pp. 30-44.
- [8] นายภาคภูมิ ตรีณาวงษ์ นายสรชัย สายกระสุน และ นายสมเกียรติ สภาพโชติ, "การลดการสึกหรอของแม่พิมพ์โลหะด้วยการสร้างแผ่นฟิล์ม," *ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี*, 2552.
- [9] อัครราษฎร์ พิสิษฐวานิช, "การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการติดตัวกลับกับความเค้นในกระบวนการตัดโลหะแบบ Compression โดยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์," *วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี*, 2553.

- [10] S.K. Panthi, N. Ramakrishnan, and M.D. Goel, "Finite Element Analysis of Sheet Metal Bending Process to Predict the Springback," *Materials and Design*, pp. 657-662, 2010.
- [11] O. Tekaslan and A.Ozdemir, "Determining Springback amount of Steel Sheet Metal has 0.5 mm Thickness in Bending Dies," *Materials and Design*, pp. 251-258, 2006.
- [12] Z. Tan, B. Persson and C. Magnusson, "Empiric Model for Controlling Springback in V-die bending of Sheet Metals," *J Mater Process Technol*, pp. 449-455, 1992.
- [13] T. Hama, T. Nagata and C. Teodosiu, "Finite-Element Simulation of Springback in Sheet Metal Forming using Local Interpolation for Tool Surfaces," *Interntional Journal of Mechanical Sciences*, pp, 175-192, 2008.
- [14] S. Thiprakmas, "Finite element analysis of punch neight effect on V-bending angle," in *Materials and Design*, pp. 1593-1598, 2010.
- [15] H. Wagoner and G. Lee, "Advances Issues in Springback," *Internation of Plasticity*, pp. 3-20, 2013.
- [16] Kaltarbeitsstahl, *Cold Work Tool Steel*, Austria : Böhler Edelstahl GMBH Mariazeller, 2006.
- [17] รศ.ดร.เดช พุทธเจริญทอง, *ทฤษฎีพลาสติกกซิด์และการเปลี่ยนรูปถาวร*, กรุงเทพฯ : ศูนย์สื่อส่งเสริม กรุงเทพฯ, 2548.
- [18] Alex And Ria, *Bending and Forming of Aluminum Extrusions*, Extrusion Company.
- [19] William Q, *Tingley III is general manager of Bend Tooling Inc*, Ottawa Ave N.W.
- [20] Pines Technology, *Reverse Interlocking Draw Bend Tools*, 30505 Clemens Road Westlake, Ohio 44145.
- [21] George R Winton 242, *Ashbourne Trail*, United Stated Patent, 1999.
- [22] Hines, *Tube Bending Guide*, United Stated and Canada, 2710 Swamp Cabbage Court, Fort Myers, FL 33901.
- [23] คงฤทธิ์ น่วมเจริญ, "การออกแบบและสร้างเครื่องตัดด้วยระบบไฮดรอลิกส์," *ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี*, 2547.
- [24] F.J. Fuchs, "Waveguide Bending Design Analysis," *Theory of Bending and Formulae for Determination of Wall Thickness*.
- [25] D.A. Anderson, J.C. Tannehill, and R.H. Pletcher, *Computatational Fluid Mechanics and Heat Transfer*. Hemisphere, Washington, DC, 1984.
- [26] กวี หวังนิเวศน์กุล, *วัสดุวิศวกรรม* กรุงเทพฯ: รุ่งแสงการพิมพ์, 2544.

- [27] Coupsmit UK, *Industrial Component Steel*, United Kingdom : 10 Cromac place The Gaswork
Bl fast BT272DH.
- [28] ประเสริฐ เทียนนิมิตร, ขวัญชัย สันทิพย์สมบูรณ์ และ ปานเพชร ชินินทร, *เชื้อเพลิง
และสารหล่อลื่น*, กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2548.
- [29] Gang Sheng Chen “ in *Handbook of Friction-Vibration Interactions*” 2014, pp. 153-305.
- [30] ไมโครมิเตอร์, *jindasup* (online), Available : <https://www.jindasup.com/default.asp?content=showproduct&scid=2758>, (6 มีนาคม 2555).
- [31] Magnetic Protractor, *professionalequipment* (online), Available :
<http://www.professionalequipment.com/johnson-level-magnetic-protractor-angle-locator-700-measuring-instruments>, (6 มีนาคม 2555).
- [32] Kurt lange, *Handbook of metal forming*, New York : McGraw-Hill, 1985.
- [33] Marciniak, Z Duncan, J.L. and Hu, S.J., in *Mechanics Of Sheet Metal Forming*. Second
Edition. House Jordan Hill Oxford : Butterworth-Heinemann, 2002, pp. 30-128.
- [34] Hwang YM, Lin YK, and Chuang HC, in *Forming limit diagrams of tubular materials by
bulge Test*. J Mater Process Technol, 2009, pp. 5024–5034.





ภาคผนวก ก
ผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 บันทึกผลการวัดองศาหลังการตัด และเปอร์เซ็นต์การติดตัวกลับของเหล็กท่อกลม

มุมตัด	ประเภทสารหล่อ ลื่น	ชั้นที่ / มุมหลังการตัด (องศา)										การติดตัวกลับ (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
30°	น้ำมันสังเคราะห์	28	28	29	28	28	28	28	29	28	29	5.67
	น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	28	29	28	29	29	28	28	28	29	28	5.33
	น้ำมันมะพร้าว	29	28	28	28	28	29	28	29	28	29	5.33
	ไม่ใช้สารหล่อลื่น	29	28	28	29	29	28	29	29	29	28	4.67
60°	น้ำมันสังเคราะห์	55	56	56	55	56	56	56	56	56	56	7.00
	น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	56	56	56	56	55	56	57	56	55	56	6.83
	น้ำมันมะพร้าว	57	56	55	56	57	55	56	56	56	56	6.67
	ไม่ใช้สารหล่อลื่น	55	57	56	57	57	56	56	56	57	56	6.17
90°	น้ำมันสังเคราะห์	82	84	82	82	83	83	82	82	83	82	8.33
	น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	82	83	83	83	83	82	83	82	82	83	8.22
	น้ำมันมะพร้าว	82	83	82	82	83	83	83	82	83	83	8.22
	ไม่ใช้สารหล่อลื่น	82	83	83	84	84	84	84	84	84	84	7.11

ตารางที่ ก.2 บันทึกผลการวัดองศาหลังการตัด และเปอร์เซ็นต์การติดตัวกลับของเหล็กเส้นกลม

มุมตัด	ประเภทสารหล่อลื่น	ชั้นที่ / มุมหลังการตัด (องศา)										การติดตัวกลับ (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
30°	น้ำมันสังเคราะห์	28	28	28	28	26	27	28	28	29	27	7.67
	น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	28	26	28	28	28	27	29	28	29	27	7.33
	น้ำมันมะพร้าว	28	27	28	28	29	29	27	28	28	28	6.67
	ไม่ใช้สารหล่อลื่น	26	28	28	28	29	28	29	28	28	29	6.33
60°	น้ำมันสังเคราะห์	54	53	53	54	54	54	54	54	54	53	10.50
	น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	54	53	54	54	54	53	55	54	54	54	10.17
	น้ำมันมะพร้าว	54	54	52	54	54	54	54	54	55	54	10.17
	ไม่ใช้สารหล่อลื่น	53	54	54	54	55	54	55	55	54	54	9.67
90°	น้ำมันสังเคราะห์	79	80	78	79	80	78	79	80	78	78	12.33
	น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	79	79	79	80	80	80	80	78	78	79	12.00
	น้ำมันมะพร้าว	80	79	80	79	79	79	78	80	80	80	11.78
	ไม่ใช้สารหล่อลื่น	78	79	81	80	81	80	79	79	80	80	11.44

ตารางที่ ก.3 บันทึกผลการวัดองศาหลังการตัด และเปอร์เซ็นต์การติดตัวกลับของเหล็กแผ่น

มุมตัด	ประเภทสารหล่อลื่น	ชั้นที่ / มุมหลังการตัด (องศา)										การติดตัวกลับ (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
30°	น้ำมันสังเคราะห์	28	26	27	26	27	26	28	28	28	28	9.33
	น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	26	28	28	28	28	27	27	28	26	28	8.67
	น้ำมันมะพร้าว	27	29	26	28	27	27	28	27	27	28	8.67
	ไม่ใช้สารหล่อลื่น	27	27	27	28	27	28	28	28	28	28	8.00
60°	น้ำมันสังเคราะห์	52	52	52	52	53	52	53	51	53	52	13.00
	น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	51	54	53	52	53	52	52	52	53	53	12.50
	น้ำมันมะพร้าว	53	52	52	51	52	53	53	52	53	53	12.67
	ไม่ใช้สารหล่อลื่น	51	54	54	53	53	53	53	52	53	53	11.83
90°	น้ำมันสังเคราะห์	77	76	76	75	76	75	75	76	76	77	15.67
	น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	75	76	75	77	75	76	77	76	76	77	15.56
	น้ำมันมะพร้าว	77	76	75	77	77	75	76	76	76	76	15.44
	ไม่ใช้สารหล่อลื่น	75	75	77	77	77	77	76	76	77	77	15.11

ตารางที่ ก.4 บันทึกผลการคำนวณหาค่าคงที่ของการติดตัวกลับ (K) มุมตัด 30 องศา

ชนิดสารหล่อลื่น	เหล็กท่อกลวง	เหล็กเส้นกลม	เหล็กแผ่น
ไม่ใช่สาร	0.89	0.84	0.83
มะพร้าว	0.92	0.84	0.89
สังเคราะห์	0.93	0.88	0.89
กึ่งสังเคราะห์	0.93	0.88	0.92

ตารางที่ ก.5 บันทึกผลการคำนวณหาค่าคงที่ของการติดตัวกลับ (K) มุมตัด 60 องศา

ชนิดสารหล่อลื่น	เหล็กท่อกลวง	เหล็กเส้นกลม	เหล็กแผ่น
ไม่ใช่สาร	0.91	0.88	0.86
มะพร้าว	0.91	0.90	0.91
สังเคราะห์	0.93	0.91	0.92
กึ่งสังเคราะห์	0.92	0.90	0.91

ตารางที่ ก.6 บันทึกผลการคำนวณหาค่าคงที่ของการติดตัวกลับ (K) มุมตัด 90 องศา

ชนิดสารหล่อลื่น	เหล็กท่อกลวง	เหล็กเส้นกลม	เหล็กแผ่น
ไม่ใช่สาร	0.91	0.88	0.83
มะพร้าว	0.91	0.89	0.87
สังเคราะห์	0.97	0.94	0.87
กึ่งสังเคราะห์	0.93	0.94	0.85

ตารางที่ ก.7 ตารางบันทึกขนาดวงกลมกริดหลังการตัด และค่าความเครียดหลัก ความเครียดรองของเหล็กท่อกลม

ประเภทสารหล่อ ลื่น	มุมตัด																	
	30°						60°						90°					
	L0	Lf	W0	Wf	ε1	ε2	L0	Lf	W0	Wf	ε1	ε2	L0	Lf	W0	Wf	ε1	ε2
น้ำมันสังเคราะห์	2.5	2.803	2.5	2.445	0.114	-0.022	2.5	2.853	2.5	2.409	0.132	-0.03	2.5	2.88	2.5	2.372	0.141	-0.053
น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	2.5	2.814	2.5	2.436	0.118	-0.026	2.5	2.868	2.5	2.398	0.137	-0.033	2.5	2.883	2.5	2.35	0.143	-0.062
น้ำมันมะพร้าว	2.5	2.83	2.5	2.408	0.124	-0.037	2.5	2.867	2.5	2.386	0.137	-0.033	2.5	2.891	2.5	2.346	0.145	-0.064
ไม่ใช้สารหล่อลื่น	2.5	2.834	2.5	2.39	0.125	-0.045	2.5	2.876	2.5	2.366	0.14	-0.047	2.5	2.893	2.5	2.342	0.146	-0.065

ตารางที่ ก.8 ตารางบันทึกขนาดวงกลมกริดหลังการตัด และค่าความเครียดหลัก ความเครียดรองของเหล็กแผ่น

ประเภทสารหล่อ ลื่น	มุมตัด																	
	30°						60°						90°					
	L0	Lf	W0	Wf	ε1	ε2	L0	Lf	W0	Wf	ε1	ε2	L0	Lf	W0	Wf	ε1	ε2
น้ำมันสังเคราะห์	2.5	2.557	2.5	2.487	0.023	-0.005	2.5	2.584	2.5	2.487	0.033	-0.007	2.5	2.59	2.5	2.462	0.035	-0.015
น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	2.5	2.56	2.5	2.486	0.024	-0.006	2.5	2.583	2.5	2.476	0.033	-0.01	2.5	2.589	2.5	2.464	0.035	-0.015
น้ำมันมะพร้าว	2.5	2.562	2.5	2.482	0.024	-0.007	2.5	2.584	2.5	2.47	0.033	-0.012	2.5	2.591	2.5	2.465	0.036	-0.014
ไม่ใช้สารหล่อลื่น	2.5	2.571	2.5	2.48	0.028	-0.008	2.5	2.591	2.5	2.466	0.036	-0.014	2.5	2.606	2.5	2.455	0.042	-0.018

ตารางที่ ก.9 ตารางบันทึกผลการคำนวณความเครียดเทียบเท่าของเหล็กท่อกลม

ประเภทสารหล่อลื่น	มุมตัด									ความเครียดเทียบเท่า (E)		
	30°			60°			90°			ที่มุม 30 องศา	ที่มุม 60 องศา	ที่มุม 90 องศา
	(E1)	(E2)	(E3)	(E1)	(E2)	(E3)	(E1)	(E2)	(E3)			
น้ำมันสังเคราะห์	0.114	-0.022	-0.005	0.132	-0.037	-0.03	0.141	-0.053	-0.036	0.142	0.172	0.190
น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	0.118	-0.026	-0.005	0.137	-0.042	-0.033	0.143	-0.062	-0.041	0.148	0.180	0.197
น้ำมันมะพร้าว	0.124	-0.037	-0.011	0.137	-0.047	-0.033	0.145	-0.064	-0.041	0.159	0.182	0.201
ไม่ใช้สารหล่อลื่น	0.125	-0.045	-0.027	0.14	-0.055	-0.047	0.146	-0.065	-0.061	0.166	0.193	0.210

ตารางที่ ก.10 ตารางบันทึกผลการคำนวณความเครียดเทียบเท่าของเหล็กแผ่น

ประเภทสารหล่อลื่น	มุมคัต									ความเครียดเทียบเท่า (E)		
	30°			60°			90°			ที่มุม 30 องศา	ที่มุม 60 องศา	ที่มุม 90 องศา
	(E1)	(E2)	(E3)	(E1)	(E2)	(E3)	(E1)	(E2)	(E3)			
น้ำมันสังเคราะห์	0.023	-0.005	-0.008	0.033	-0.007	-0.013	0.035	-0.015	-0.017	0.030	0.044	0.051
น้ำมันกึ่งสังเคราะห์	0.024	-0.006	-0.009	0.033	-0.01	-0.013	0.035	-0.015	-0.018	0.032	0.045	0.052
น้ำมันมะพร้าว	0.024	-0.007	-0.01	0.033	-0.012	-0.015	0.036	-0.014	-0.019	0.033	0.047	0.053
ไม่ใช้สารหล่อลื่น	0.028	-0.008	-0.011	0.036	-0.014	-0.016	0.042	-0.018	-0.021	0.038	0.051	0.062

ภาคผนวก ข

ใบรับรองผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ





MATERIAL PROPERTIES ANALYSIS AND DEVELOPMENT CENTRE (MPAD)

Request No. : MDL 0582/56

Date : 25 April 2013

Date of request : 18 April 2013

Page : 1 of 3

REPORT ON ANALYSIS / TESTING

For

Rajamangala University of Technology Thanyaburi

39 Moo1, Rangsit-Nakhonnayok Road, Klong hok, Thanyaburi, Pathumthani 12110

Testing/analysis/investigation of : 1. Steel round, 2. Steel plate,

Method of testing/analysis/investigation : Tensile test according to ASTM E 8M-04

Result of testing/analysis/investigation :-

The test results are attached.

Tested/analysed/investigated by

1. Chamin Suwanak
2.
3.
4.

Approved by

Chalothorn Bhamornsut
 (Ms. Chalothorn Bhamornsut)
 Director of
 Material Property Development Laboratory

Examined by

S. Nalinthorn
 (Ms. Nalinthorn Suwaporncharuwach)

This report contains 3 pages.

FS-MPAD-GEN-510-1-01/02/48

Remark : The above results are valid exclusively for tested/analysed samples as mentioned in this report. Publication of the results on testing and analysis is prohibited unless written permission is obtained from the governor of TISTR.



**MATERIAL PROPERTIES ANALYSIS AND DEVELOPMENT CENTRE (MPAD)
MATERIAL PROPERTY DEVELOPMENT LABORATORY (MDL)**

Request No. : MDL 0582/56

Date : 25 April 2013

REPORT

Customer : Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Page : 2 of 3

Rajamangala University of Technology Thanyaburi has commissioned the Material Properties Analysis and Development Centre, Thailand Institute of Scientific and Technological Research (MPAD/TISTR) to carry out tensile test of the 1. Steel round, 2. Aluminium round, 3. Copper round, 4. Steel plate, 5. Aluminium plate, and 6. Copper plate.

The specimens for tensile test were prepared by MPAD. The results are as follows :

Test date : 24 April 2013

Test temperature : 26 °C

Testing machine : Electromechanical Universal Testing Machine SCHENCK RSA 250

The results of tensile test of 1. Steel round, 2. Aluminium round, and 3. Copper round

Specimen	Steel round	Aluminium round	Copper round
Diameter (mm)	6.03	5.94	6.04
Cross sectional area (mm ²)	28.56	27.71	28.65
Load at 0.2% offset yield strength (N)	10,304	4,431	8,337
Maximum tensile load (kN)	15.82	5.290	8.645
0.2% offset yield strength (N/mm ²)	360.77	159.90	290.98
Tensile strength (N/mm ²)	553.92	190.91	301.75
Reduction of area (%)	49.16	71.89	54.38
Elongation (%)	30.00	18.67	27.73
Location of fracture	In the length	In the length	In the length

FS-MPAD-MDL-510-1-01/02/48



Dimensional and Calibration Laboratory
 Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
 Thammasat University, Rangsit Center
 99 Moo 18 Klong Luang, Pathumthani 12120, Thailand
 Tel. 02-564-3001-9 Ext. 3174, Fax. 02-564-3017



Certificate No. : DCL-001/15

Page 1 of 2

Certificate of Calibration

Customer : Asst.Prof.Dr.Sirichai Torsakul
 Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology
 Thanyaburi, 39 Moo 1, Rangsit-Nakhonnayok Rd, (Klong 6),
 Thanyaburi, Pathumthani, 12110. Thailand.

Equipment : Roughness
Manufacturer : -
Type/Model : - Serial No. : -
Method : -
Date of Receipt : 8/12/2014
Date of Calibration : 11/12/2014

ENVIRONMENTAL CONDITIONS

The calibration was carried out in the controlled ambient of temperature $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ and relative humidity $(50 \pm 10) \% \text{rh}$.

THE REFERANCE STANDARD

Description	Typ	Serial No.
Perthometer PGK Roughness	PST-MSE	6851327

TRACEABILITY

This certificate is traceable to the International System of Unit (SI Unit) maintained at National Institute of Technology (NIMT), Thailand, And Mahr Cooperation (Thailand) Ltd.

Issued Date	Calibrated by:	Approved by:
12/12/2014	<i>W. Pimpakan</i> (Mr. Wacharachai Pimpakan)	<i>Jirarat Teeravaraprug</i> (Assoc.Prof.Dr. Jirarat Teeravaraprug)

The uncertainty of measurement evaluation has been carried out by using the methodology in the "Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement (M3003)". These uncertainties are based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor, $k=2$, which for a t-distribution with $V_{\text{eff}} > 30$ of effective degree of freedom corresponds to a coverage probability of approximately 95%.



Results of Measurement

Line Measurement	Measurement curved surface diameter 12 mm			Average (μm)
	Meas. 1	Meas. 2	Meas. 3	
Line 1	2.296	2.747	2.774	2.673
Line 2	2.347	2.341	2.984	
Line 3	2.847	2.863	2.855	

Line Measurement	Measurement curved surface diameter 15 mm			Average (μm)
	Meas. 1	Meas. 2	Meas. 3	
Line 1	0.790	0.795	0.798	1.102
Line 2	1.256	1.269	1.269	
Line 3	1.230	1.272	1.242	

Line Measurement	Measurement surface flate			Average (μm)
	Meas. 1	Meas. 2	Meas. 3	
Line 1	1.214	1.215	1.212	2.103
Line 2	3.035	3.046	3.035	
Line 3	2.057	2.057	2.057	

End of Certificate



ภาคผนวก ค

เอกสารเผยแพร่ ตีพิมพ์



6th RMITC & 5th RMITC
Ayuthaya Thailand 2014



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ



6th RMITC & 5th RMITC
Ayuthaya Thailand 2014



บทคัดย่อ
การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6
“เทคโนโลยีและนวัตกรรมสู่อาเซียน”

บทคัดย่อ การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6
“เทคโนโลยีและนวัตกรรมสู่อาเซียน”

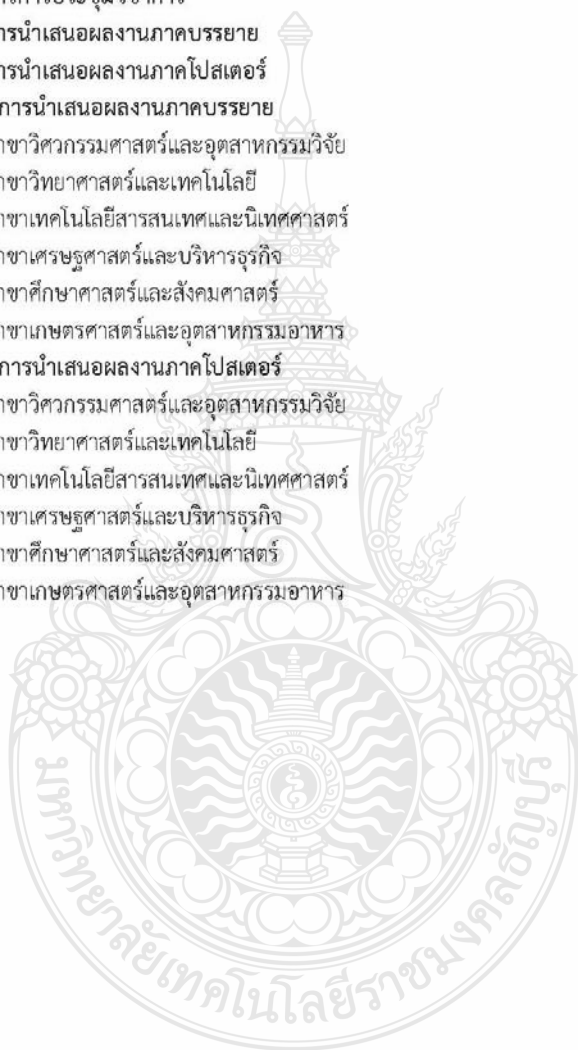
23-25 กรกฎาคม 2557
ณ อาคารเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
60 Moo 3 Asian Highway, Phranakhon Si Ayuthaya, Thailand, 13000
Tel: +66(0) 3570 9103 Fax: +66(0) 3570 9105
<http://www.rmutcon.rmutsb.ac.th>
E-mail: rmutcon2014@gmail.com



สารบัญ

	หน้า
สารอธิการบดี	4
กำหนดการประชุมวิชาการ	5
กำหนดการนำเสนอผลงานภาคบรรยาย	8
กำหนดการนำเสนอผลงานภาคโปสเตอร์	40
บทคัดย่อการนำเสนอผลงานภาคบรรยาย	63
สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย	64
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	173
สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและนิเทศศาสตร์	194
สาขาเศรษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ	237
สาขาศึกษาศาสตร์และสังคมศาสตร์	305
สาขาเกษตรศาสตร์และอุตสาหกรรมอาหาร	365
บทคัดย่อการนำเสนอผลงานภาคโปสเตอร์	396
สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย	397
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	444
สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและนิเทศศาสตร์	472
สาขาเศรษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ	492
สาขาศึกษาศาสตร์และสังคมศาสตร์	531
สาขาเกษตรศาสตร์และอุตสาหกรรมอาหาร	603





กำหนดการ
การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6
The 6th Rajamangala University of Technology National Conference
(6th RMUTNC)

“เทคโนโลยีและนวัตกรรมสู่อาเซียน”

(Technology and Innovation towards ASEAN)

23 – 25 กรกฎาคม 2557

ณ อาคารเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

วันพุธที่ 23 กรกฎาคม 2557

ภาคเช้า	กิจกรรม	ชั้น
08.00 - 09.00 น.	ลงทะเบียน	2
09.00 - 09.15 น.	กล่าวต้อนรับ โดย นายวิทยา ผิวม่อง ผู้ว่าราชการจังหวัดพระนครศรีอยุธยา	10
09.15 - 09.30 น.	พิธีเปิด ประธานพิธีเปิด โดย นายมีชัย ฤชุพันธุ์ นายกสภามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ กล่าวรายงาน โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพศาล บุรินทร์วัฒนา อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ	10
09.30-10.30 น.	บรรยายพิเศษ เรื่อง “การวิจัยและพัฒนาของมหาวิทยาลัยเพื่อสังคม” โดย นายมีชัย ฤชุพันธุ์ นายกสภามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ	10
10.30 - 12.00 น.	การเสวนา เรื่อง “Technology and Innovation towards ASEAN” โดย 1. Assoc. Prof. Dr. Ing. Ir. Widodo Brontowiyono Director of Research and Community Service, Islamic University of Indonesia 2. Dr. Felomino V. Mamuad OIC Executive Director of Philippine Carabao Center (PCC) 3. Prof. Dr. Henry Ho-Hsien Chen Dean of the Office of International Affairs, National Pingtung University of Science and Technology, Taiwan 4. Assoc. Prof. Dr. Selomoney Palaniandy Dean of Faculty of Business and Accounting, Infrastructure University Kuala Lumpur (IUKL), Malaysia ผู้ดำเนินการเสวนา อาจารย์มิ่งพรพรณ สาคะรังค์	10
12.00 - 13.00 น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน	8



Session 2 สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย

ห้อง 240607

Chairman	ผศ.ดร.เทพนารินทร์ ประพันธ์พัฒน์		มทร.สุวรรณภูมิ
Co-chair	ดร.วณิช	นิลนันท	มทร.สุวรรณภูมิ
08.30 – 08.50 น.	6ER-O022	การศึกษาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มความสามารถในการให้บริการของบริษัท อิมเพรส เซอร์วิส จำกัด	ภัทรสุดา วิชยพงศ์ / มทร.อีสาน
08.50 – 09.10 น.	6ER-O023	เครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบที่มีกระบวนการแยกกลีเซอรินโดยอาศัยแรงเหวี่ยง หนีศูนย์กลางแบบต่อเนื่อง	อวยพร โสภณสฤกษ์สุข / มทร.กรุงเทพ
09.10 – 09.30 น.	6ER-O024	การน้อมนำหลักเศรษฐกิจพอเพียงมาพัฒนาแบบจำลองทางการศึกษาการทำงานเพื่อการผลิตทางอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน	อวยพร โสภณสฤกษ์สุข / มทร.กรุงเทพ
09.30 – 09.50 น.	6ER-O025	การออกแบบและการพัฒนาเครื่องอัดขึ้นรูปกระดาษต้นไม้ออกจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	วรรณรพ ชันธิรัตน์ / มทร.อีสาน
09.50 – 10.10 น.	6ER-O026	ความสามารถของพอลิคาร์บอนเนตในกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุน	ณรงค์ชัย โอเจริญ / มทร.ธัญบุรี
10.10 – 10.25 น.	พักรับประทานอาหารว่าง		
10.25 – 10.45 น.	6ER-O027	การพัฒนาชุดฝึกอบรม เรื่อง การปรับจิงหะเวลาการทำงาน (Timing) ของเครื่องขึ้นรูปขวดแก้ว	ทรงธรรม ตีวานิชสกุล / มทร.ธัญบุรี
10.45 – 11.05 น.	6ER-O028	อิทธิพลของกระแสไฟในการเชื่อมต่อเกยระหว่างเหล็กกล้า คาร์บอน SS 400 กับเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304	อมรศักดิ์ มาใหญ่ / มทร.ธัญบุรี
11.05 – 11.25 น.	6ER-O029	เครื่องผสมผลิตภัณฑ์ความงามและชำระล้าง	สิทธิบูรณ์ ศิริพรอัครชัย / มทร.ล้านนา
11.25 – 11.45 น.	6ER-O030	การศึกษาอิทธิพลของสารหล่อลื่นต่อรูปทรงชิ้นงานในกระบวนการอัดแบบดัด	กฤตภาส นวลยง / มทร.ธัญบุรี
11.45 – 12.05 น.	6ER-O031	อิทธิพลของอุณหภูมิการเผาเปลือกหอยและปริมาณเถ้ากะลาปาล์มน้ำมันต่อสมบัติของปูนขาว	นันทชัย ชูศิลป์ / มทร.ศรีวิชัย
12.00 – 13.00 น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน		
Chairman	ผศ.เกษม	เจนวิไลศิลป์	มทร.สุวรรณภูมิ
Co-chair	ดร.พงษ์ศักดิ์	เกิดลาภี	มทร.สุวรรณภูมิ
13.00 – 13.20 น.	6ER-O032	การออกแบบเครื่องอัดและตัดแท่งทุเรียนกวน	กฤษณะ นาวารัตน์ / มทร.ตะวันออก



การประเมินการประเมินผลสัมฤทธิ์ของงานวิจัยและนวัตกรรม ประจำปี ๒๕๖๕

ลำดับ	ตำแหน่ง ทาง วิชาการ	ชื่อ	สกุล	ความเชี่ยวชาญ	หน่วยงาน	สถานที่ทำงาน
1	ดร.	กฤษณวัฒน์ กุ่มกิตติปัญญ์			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาคชาติดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
2	รศ.ดร.	กนิษฐา พญาราษฎร์		พัฒนกรรมทางเทคโนโลยี การออกแบบและงานผลิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาคชาติดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
3	ผศ.ดร.	กิตติพงษ์ กิมพงษ์		เทคโนโลยีการเชื่อม เทคโนโลยีการหล่อ เทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะแผ่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาคชาติดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
4	ผศ.ดร.	เกษมใจ อัครมาศปิ่นแก้ว			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาคชาติดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
5	รศ.ดร.	โกศล โสหารังโรจน์			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาคชาติดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
6	ดร.	ภาวดี ภาวดี		วิศวกรรมไฟฟ้า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาคชาติดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
7	ผศ.ดร.	คนสัน เพชรรัช			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาคชาติดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
8	ผศ.ดร.	จตุรงค์ สิทกานันท์		วิศวกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาคชาติดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
9	ผศ.	จารุวัฒน์ จารุวัฒน์		พลังงานหมุนเวียน เทคโนโลยีความยั่งยืน การ กักเก็บพลังงาน อากาศ เทคโนโลยีอวกาศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาคชาติดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
10	รศ.ดร.	จินดา เจริญพรเกษมย์			สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ภาคชาติดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
11	ผศ.	เฉลิมชัย เงาะเงาะ		สาขาวิศวกรรมหลัก สถาปัตยกรรม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาคชาติดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
12	ดร.	ชาญวิทย์ บุญช่วย		เทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาคชาติดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
13	ดร.	ณพพร จินดาประเสริฐ			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาคชาติดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
14	รศ.ดร.	ศันสนีย์ เนลาศรีรุ่งเรือง			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาคชาติดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
15	ศ.ดร.	ทรงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์		พลังงานหมุนเวียน กระบวนการทางความร้อน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาคชาติดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
16	ผศ.ดร.	ทศนพ กำนิตทอง			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาคชาติดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
17	ดร.	ทีนิน ขวัญดี			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาคชาติดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
18	รศ.ดร.	สรเสถ ศรีสร้อย			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาคชาติดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
19	ผศ.ดร.	นันทโชติ อนุชิต			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาคชาติดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
20	ผศ.ดร.	นันทโชติ รัชเทยเจริญชีพ			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาคชาติดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
21	ดร.	นันทชัย ชูศิลป์		วิศวกรรมศาสตร์ อุตสาหกรรมการวิจัย วิศวกรรมไฟฟ้า คอมพิวเตอร์ วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมโยธา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาคชาติดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
22	ผศ.	นันทชัย จาภาวภูกุล		คอมพิวเตอร์ วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมโยธา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาคชาติดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
23	รศ.ดร.	นันทชัย ภักดิ์			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาคชาติดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



การประเมินจากกระบวนกรับเทียบวิทยานิพนธ์ไปอีกรางของ คร.ที่ 6

ลำดับ	ตำแหน่งทางวิชาการ	ชื่อ	สกุล	ความเชี่ยวชาญ	หน่วยงาน	สถานที่ทำงาน
24	รศ.ดร. บรรจบ อรรถ	อิศรางกูร ณ อยุธยา	อรช		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
25	ศ.ดร. บวร	คองกวีตเสริมแรง			มทร.กรุงเทพ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
26	รศ.ดร. บุญไชย สติคัมโบธรรม	วิศวกรรมไฟฟ้า			จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
27	ดร. บุญยั้ง	พลังงานระบบที่ความเย็น			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
28	รศ.ดร. ประกอบ สุวัฒน์วรรณ	Fundamental of Communication Network, Computer Technology, Power Electronics, Educational Technology			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (โพรคนาคม)	
29	รศ. ประกอบภาสิต	ด้านศิลปกรรม			วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม	
30	รศ.ดร. ประเสริฐ สุวรรณวิทยา	วิศวกรรมวิทยา			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
31	ศ.ดร. ประเสริฐ วีโรจน์ชีวัน	วิศวกรรมศาสตร์,อุตสาหกรรมวิจัย,วิศวกรรมเครื่องกล			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
32	รศ.ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง			สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์
33	รศ.ดร. พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์	วิศวกรรมโยธา/โยธาวิद्या			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
34	ศ.ดร. พิชัย จันทรมณี	วิศวกรรมโยธา			มทร.กรุงเทพ	
35	อาจารย์ พิชญ์ ทองชวย	วิศวกรรมโยธา			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	คณะวิศวกรรมศาสตร์
36	รศ.ดร. ไพศาล คงกาญจนา	วิศวกรรมโยธา			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
37	ดร. ภาณุ พร้อมบุญขงกุล	วิศวกรรมโยธา, วิศวกรรมเทคนิค (Civil engineering, geotechnical engineering)			มทร.ศรีวิชัย	
38	ดร. มนต์รี บุญเรืองสง	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์			มทร.พระนคร	
39	รศ. มนต์ อนุศิริ	วิศวกรรมโยธา			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	คณะวิศวกรรมศาสตร์
40	ดร. มัทนาบุญมี เมษ	วัสดุวิศวกรรม เซรามิก การวิเคราะห์เพื่อใช้สเต็มไฟไหม้			มทร.ศรีวิชัย	
		โพลิเมอร์ไดออกไซด์โพเดสเคลือบกับโบนีและการเคลือบผิว วัสดุอันยังเชื้อโรค วัสดุการขบมน้ำและไม่ขบมน้ำกับการเคลือบผิว				
41	ดร. รัฐศักดิ์ พรหมภาค	วิศวกรรมเครื่องกล(การถ่ายเทความร้อน,การถ่ายเทมวล, การอบแห้งพลังงาน)			มทร.รัตนโกสินทร์	
42	ศ. รัตน์ สงวนพงษ์				มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
43	ดร. รุ่งอรุณ พรเจริญ	Athena Engineering			มทร.พระนคร	



การประเมินผลสัมฤทธิ์ของบัณฑิตศึกษาระดับปริญญาโท ประจำปี ๒๕๖๓ ครั้งที่ ๕

ลำดับ	ตำแหน่ง ทาง วิชาการ	ชื่อ	สกุล	ความเชี่ยวชาญ	หน่วยงาน	สถานที่ทำงาน
44	รศ.ดร.	วชิระ	จุงบุรี	วิศวกรรมสื่อสารควมเทียม	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มก.	
45	ดร.	วชิญญ	รอดประพัฒน์	เทคโนโลยีพลังงาน, เทคโนโลยีการขนส่ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	
46				Power Electronics Applications Electrical Drives FACTS and Controllers	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	
๔๗	ศ.ดร.	วันชัย พรพันธุ์	ฤทธิ์ทอง		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนคร	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
48	รศ.ดร.	วุฒิชัย	อัศวินชัยโมดิต		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์
49	ดร.	วุฒิพล	จารุฉิมภรณ์		สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	วิทยาลัยร่วมด้านเทคโนโลยีการบันเทิงที่ข้อมูลและการ ประยุกต์ใช้งาน
50	รศ.ดร.	สมเกียรติ	รุ่งทองรังสรรค์		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
51	ศ.ดร.	สมชัย	พิรุณโรจน	วิศวกรรมไฟฟ้า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
52	รศ.ดร.	สมชาย	จันทร์วิภาวมา		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
53	ดร.	สมยศ	เจตน์เจริญรักษ์		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	ภาควิชาอุตสาหกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์เครื่องกล
54	ศ.ดร.	สมพงษ์	ฉวีลาอาต	Polymer Synthesis Biodegradable Polymer	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	
55	ดร.	สันติ	เทอธีระพงษ์	วิศวกรรมโยธา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	
56	รศ.	สัมพันธ์	ไพฑูริย์	วิศวกรรมศาสตร์ พลังงาน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	
57	ดร.	สายชล	ชุดสีจิม	ศึกษานิเทศศาสตร์/พลังงานทดแทนและอาทิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
58	ผศ.ดร.	สำเริง	ภากรณ์	วิศวกรรมศาสตร์, วัสดุศาสตร์, วิศวกรรมโยธา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
59	ศ.ดร.	สำเริง	จักรกิจ		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
60	ผศ.ดร.	สำเริง	สินท่าไม้		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
61	รศ.ดร.	สิงห์ชัย	แสงอาทิตย์		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
62	รศ.	สุชาติ	เย็นวิเศษ		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	คณะวิศวกรรมศาสตร์
63	ผศ.ดร.	สุชัย	สนธิ์		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
64	ดร.	สุเชษฐ	เดชสูง		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนคร	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
65	รศ.ดร.	สุวิมล	สิทธิวิภาค		สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
66	รศ.ดร.	อติคม	ฤกษ์บุศกร		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระนคร	คณะวิศวกรรมศาสตร์



ภาพประกอบวิชาการระดับบัณฑิตศึกษาวิจัยเทคโนโลยีทางสังคม ครั้งที่ 6

ลำดับ	ตำแหน่งวิชาการ	ชื่อ	สกุล	ความเชี่ยวชาญ	หน่วยงาน	สถานที่ทำงาน
67	รศ.ดร.	อนวัช	สิ่งตีพิมพ์	วิศวกรรมเคมีสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
68	ผศ.ดร.	อภิชาติ	สนธิสนับดี	วิศวกรรมเคมีสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
69	รศ.ดร.	อภิชาติ	เทอดไธเน	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สิ่งแวดล้อมและวัสดุ
70	ผศ.	อำนาจ	เจนจิตศิริ	วิศวกรรมเครื่องกล	มิตรพระนคร	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
71	รศ.ดร.	อิสริยย	พรธรรมากรรุ่งเรือง	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	คณะวิศวกรรมศาสตร์
72	ผศ.ดร.	อุษมาทิพย์	ไชยสกุลเกียรติ	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	คณะวิศวกรรมศาสตร์

การศึกษาอิทธิพลของสารหล่อลื่นต่อรูปทรงชิ้นงานในกระบวนการอัดแบบตัด
Influence of Lubricants on Workpiece Shapes in Compression Bending Process

กฤตภาส นวลยง^{1*} ศิริชัย ต่อสกุล²

Krittaphart Nuanyong^{1*} Sirichai Torsakul²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการดัดตัวกลับของชิ้นงานที่มีรูปทรงแตกต่างกัน ใช้วัสดุเหล็ก St37 รูปทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร, ท่อกลมความหนาผนังท่อ 0.37 มิลลิเมตร และแผ่นความกว้าง 25 มิลลิเมตร ความหนา 2.66 มิลลิเมตร ทำการดัดขึ้นรูปรัศมีมุมดัด 25 มิลลิเมตร มุมดัด 30° - 90° สารหล่อลื่นที่ใช้เคลือบผิว ได้แก่ น้ำมันสังเคราะห์ น้ำมันกึ่งสังเคราะห์และน้ำมันมะพร้าว เพื่อหาค่าคงที่และเปอร์เซ็นต์การดัดตัวกลับ จะพบว่า ชนิดของสารหล่อลื่นมีอิทธิพลต่อการดัดขึ้นรูป และเหล็กแผ่นเกิดการดัดตัวกลับมากที่สุด ซึ่งงานวิจัยและทฤษฎี กล่าวว่า ค่าคงที่การดัดตัวกลับ (K) มีค่าเท่ากับ 1 จะไม่เกิดการดัดตัวกลับ และถ้าค่าคงที่เข้าใกล้ 1 การดัดตัวกลับจะน้อยลง โดยมีค่าการดัดตัวกลับดังนี้ น้ำมันสังเคราะห์ที่มุมดัด 30, 60 และ 90 องศา ของเหล็กท่อกลมมีค่าเท่ากับ 5.67, 7.00 และ 8.33 เปอร์เซ็นต์ ของเหล็กเส้นกลม มีค่าเท่ากับ 7.67, 10.50 และ 12.33 เปอร์เซ็นต์ ของเหล็กแผ่นมีค่าเท่ากับ 9.33, 13.00 และ 15.67 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

คำสำคัญ: การดัดตัวกลับ, สารหล่อลื่น, การอัดแบบตัด

Abstract

The objective of this research was to study the influence of lubricants on workpiece shapes in compression bending. The material used in the St 37 steel which had different shapes: (i) steel tube has diameter 12 mm, (ii) steel bar has diameter 12 mm and (iii) steel sheet has 2.66 mm thickness and 25 mm width. The important variables in the compression bending process included lubricant types and bending angle. The lubricant has been used synthesis oil, semi-synthesis oil and natural oil. The angle of bending has been used 30, 60 and 90 degrees. In this investigation, the prediction of springback was essentially carried out as experiment and the results are presented in terms of springback ratio. From these results, it was found that the type of lubricant has a great influence on the bending phenomena. When considering springback, the steel sheet metal had maximum springback value. The results clearly showed that; the steel tube springback value under synthesis oil condition angle of 30, 60 and 90 degrees was 5.67 %, 7.00 % and 8.33 %, steel bar was 7.67 %, 10.50 % and 12.33 % and steel sheet was 9.33 %, 13.00 % and 15.67 % respectively.

Keywords: Springback, Lubricant, Compression bending

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

^{1,2} Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani, 12110

* E-mail: icyicing@hotmail.com

บทนำ

ปัจจุบันงานตัดขึ้นรูปโลหะได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอุตสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์ ผลิตเครื่องเรือน ก่อสร้าง งานตัดท่อ และอื่นๆ แต่ในการตัดขึ้นรูปโลหะนั้นมักจะพบข้อบกพร่องเกิดขึ้นหลังการตัด เช่น ผิวชิ้นงานไม่เรียบ ความหนาของชิ้นงานตลอดการตัดไม่สม่ำเสมอ การติดตัวกลับของชิ้นงาน และความเครียดเป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยจึงได้นำสารหล่อลื่นมาทำการทดลอง เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารหล่อลื่นที่มีผลต่อกระบวนการตัด และสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นหลังจากการตัดได้หรือไม่ โดยทำการทดลองศึกษาอิทธิพลของสารหล่อลื่นที่มีผลต่อการติดตัวกลับในการตัดขึ้นรูป เพื่อให้ทราบว่าสารหล่อลื่นมีผลต่อการลดการติดตัวกลับและศึกษาของสารใน การตัดที่แตกต่างกันเพื่อให้ทราบถึงองศาในการติดตัวกลับ และสามารถนำไปช่วยในการออกแบบผลิตภัณฑ์ใน โรงงานอุตสาหกรรมและเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในการตัดขึ้นรูปโลหะแบบอัดเพื่อให้ได้มุมการตัดที่ต้องการตามจุดประสงค์ของการใช้งาน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาการติดตัวกลับของชิ้นงานที่มีรูปทรงแตกต่างกัน

วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ใช้วัสดุทดลอง คือ เหล็กเส้นกลมผิวเรียบ St37 เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. ยาว 500 มม., เหล็กท่อกลม St37 ความหนา 0.37 มม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. ยาว 500 มม., เหล็กแผ่น St37 กว้าง 25 มม. หนา 2.66 มม. ยาว 500 มม. ทำการทดลองตัดที่มุม 30, 60 และ 90 องศาตามลำดับ สารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดลอง คือน้ำมันมะพร้าวชนิดสกัดเย็น 100%, น้ำมันก๊าดสังเคราะห์ Neocut KCB, น้ำมันสังเคราะห์ Formol 10 S และไม่ใช้สารหล่อลื่น โดยใช้เครื่องตัดแบบการอัดใช้ระบบไฮดรอลิกส์ควบคุมกำลัง 3 แรงม้า ดัง Figure 1



Figure 1 Hydraulic pipe bending machine (3 HP)

นำชิ้นงานดัดขึ้นรูปด้วยเครื่องตัดเหล็กมัลติฟังก์ชันแบบอัตโนมัติ ซึ่งการดัดขึ้นรูปจะยกตัวอย่างชิ้นงานที่เป็นเหล็กแผ่นใช้น้ำมันมะพร้าวโดยทำการดัดที่มุม 30 องศา โดยการจัดองศาการดัดที่ตัวแม่พิมพ์ที่มุม 30 องศา ดัง Figure 2 และทำการทาน้ำมันมะพร้าวที่ชิ้นงานและที่แม่พิมพ์ตัด ดัง Figure 3



Figure 2 Set angle 30 degree



Figure 3 Daub coconut oil

ลักษณะชิ้นงานหลังจากการดัดขึ้นรูปชิ้นงานที่มุมดัดที่มุม 30, 60 และ 90 องศา ดัง Figure 4



Figure 4 Workpiece of bending has been used 30, 60 and 90 degrees

ทดลองการดัดกลับของเหล็ก 3 รูปทรงกับสารหล่อลื่น 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันก๊วยสังเคราะห์ น้ำมันสังเคราะห์ และไม่ใช่สารหล่อลื่น โดยทำการดัดที่องศาการดัด 30, 60 และ 90 องศา วัดค่าองศาเริ่มต้นและองศาสุดท้าย

การคำนวณหาค่าคงที่การดัดกลับ (K) $K = \alpha_2 / \alpha_1 = (r_1 + 0.5T) / (r_2 + 0.5T)$ เมื่อ K = ค่าคงที่ของการดัดตัวกลับ, α_1 = มุมดัดเริ่มต้น (ก่อนการดัดตัวกลับ), α_2 = มุมดัดหลังการดัดตัวกลับ, r_1 = รัศมีการดัดของแม่พิมพ์, r_2 = รัศมีการดัดของชิ้นงานหลังการดัดตัวกลับ, T = ความหนาของชิ้นงานดัด ดัง Figure 5

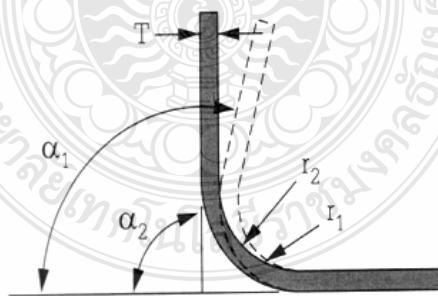


Figure 5 springback ratio

ผลการศึกษา

การดัดตัวกลับของเหล็กท่อกลม

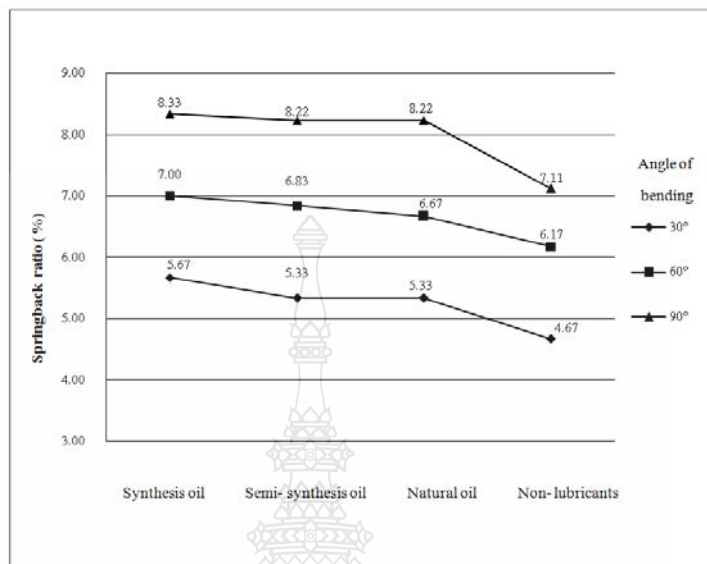


Figure 6. Springback of steel tube

การดัดตัวกลับของเหล็กเส้นกลม

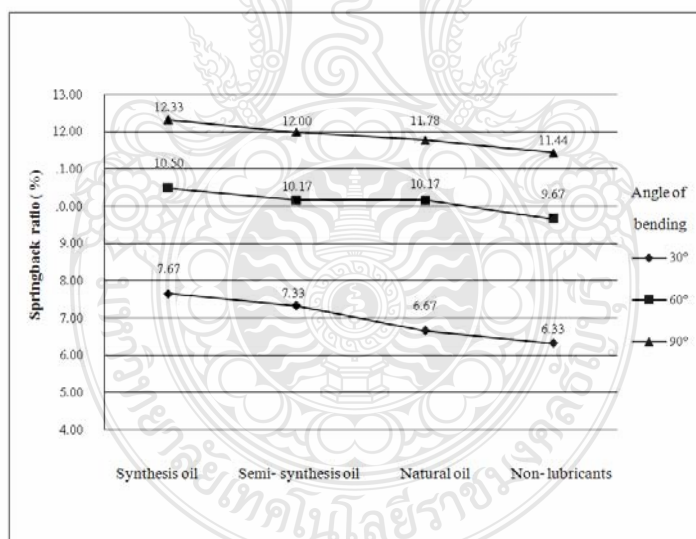


Figure 7. Springback of steel bar

การดัดตัวกลับของเหล็กแผ่น

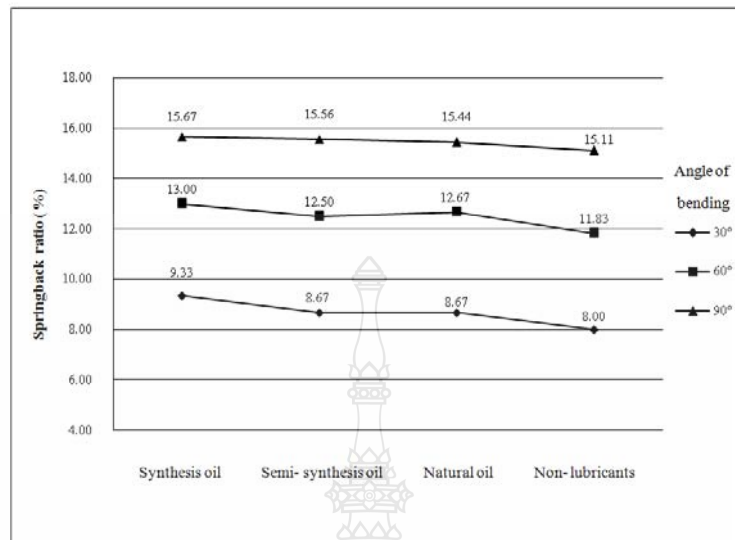


Figure 8. Springback of steel sheet

สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์การดัดตัวกลับ

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง พบว่าตัวแปรสารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดลอง และมุมดัดมีผลต่อการดัดตัวกลับของเหล็กทั้ง 3 รูปทรง ซึ่งสารหล่อลื่นน้ำมันสังเคราะห์ FORMOL 10 S มีผลทำให้การดัดตัวกลับสูงขึ้น และการเพิ่มมุมดัดมีผลทำให้การดัดตัวกลับสูงขึ้นเช่นกัน โดยค่าเปอร์เซ็นต์การดัดตัวกลับที่ใช้สารหล่อลื่นน้ำมันสังเคราะห์ FORMOL 10 S ในกระบวนการดัด ที่มุมดัด 30, 60 และ 90 องศา ของเหล็กทอกลมมีค่าเท่ากับ 5.67, 7.00 และ 8.33 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ของเหล็กเส้นกลมมีค่าเท่ากับ 7.67, 10.50 และ 12.33 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับของเหล็กแผ่น มีค่าเท่ากับ 9.33, 13.00 และ 15.67 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ซึ่งสนับสนุนทุนในการวิจัย บริษัท เน็กซ์เฟอร์นิชิ่ง จำกัด และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านเครื่องจักร เครื่องมืออุปกรณ์ และห้องปฏิบัติการในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ไพฑูรย์ พูลสุขโข. 2545. ทฤษฎีวิศวกรรมการวัด. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. ปทุมธานี.

ศิริชัย ต่อสกุลและอนุชา วัฒนาภา. 2554. พื้นฐานเทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ. บริษัท ซีเอ็ด ยูเคชั่น จำกัด (มหาชน). กรุงเทพฯ.

อักษรายุทธ พิศิษฐานิช. 2554. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการดัดตัวกลับกับความเค้นใน กระบวนการดัดโลหะแบบ Compression โดยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์. วิทยานิพนธ์-มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. ปทุมธานี.

Dilip K Mahanty. n.d. Simulating Rotary Draw Bending. Engineering Services Group, Tata Consultancy Services . India.

Rohit Agawal. 2004. Tube Bending With Axial Pull and Internal Pressure. Master of Science Thesis, Mechanical Engineering Texas A&M University. USA.

