

การศึกษาอิทธิพลตัวแปรการหมุนขึ้นรูปต่อคุณภาพของชิ้นงาน
ในกระบวนการหมุนขึ้นรูปถ้วยอลูมิเนียม

A STUDY OF SPINNING PARAMETERS INFLUENCE ON THE
PRODUCT QUALITY OF THE SHEET - METAL FORMING
PROCESS OF AN ALUMINIUM CUP

รัตน์ชัย กองวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

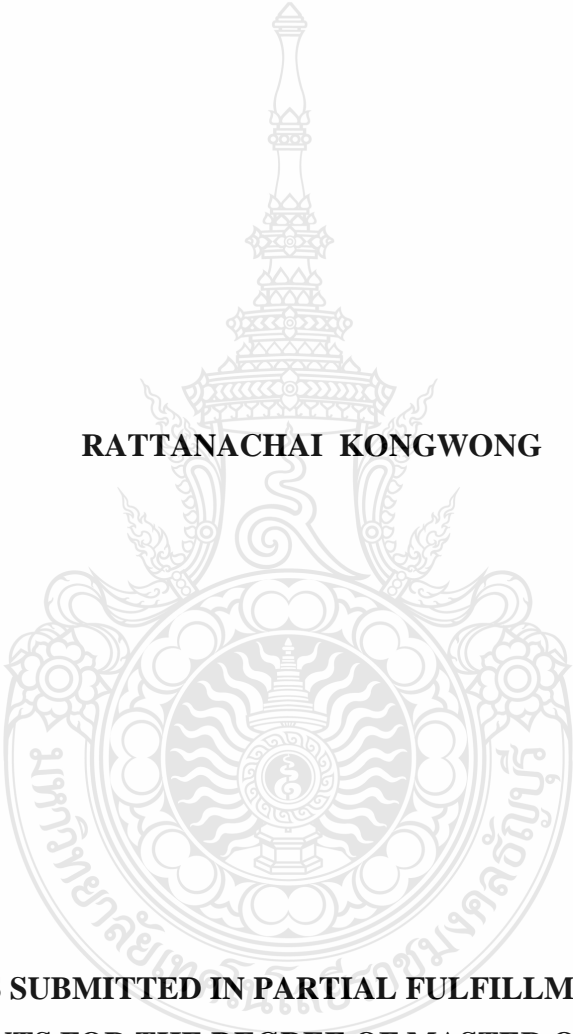
การศึกษาอิทธิพลตัวแปรการหมุนขึ้นรูปต่อคุณภาพของชิ้นงาน
ในกระบวนการหมุนขึ้นรูปด้วยอคูมิเนียม

รัตนชัย กองวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

**A STUDY OF SPINNING PARAMETERS INFLUENCE ON THE PRODUCT
QUALITY OF THE SHEET - METAL FORMING PROCESS
OF AN ALUMINIUM CUP**

RATTANACHAI KONGWONG



**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

การศึกษาอิทธิพลตัวแปรการหมุนขึ้นรูปต่อคุณภาพของชิ้นงาน ใน
กระบวนการหมุนขึ้นรูปถ้วยอลูมิเนียม

A Study of Spinning Parameters Influence on the Product Quality of
the Sheet-Metal Forming Process of an Aluminum Cup

ชื่อ - นามสกุล

นายรัตนชัย กองวงศ์

สาขาวิชา

วิศวกรรมการผลิต

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.

ปีการศึกษา

2557


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริชัย ต่อสกุล, Dr.-Ing.)

 กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชัย จันทน์มณี, Ph.D.)

 กรรมการ

(อาจารย์ชัยยะ ปราณิตพลกรัง, D.Eng.)

 กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 24 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2557

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาอิทธิพลตัวแปรการหมุนขึ้นรูปต่อคุณภาพของชิ้นงาน ในกระบวนการหมุนขึ้นรูปด้วยอลูมิเนียม
ชื่อ-นามสกุล	นายรัตนชัย กองวงศ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

การขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยกระบวนการหมุน (Spinning Process) เป็นกระบวนการขึ้นรูปที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ในปัจจุบันกระบวนการหมุนขึ้นรูปถูกใช้ในการผลิต ชิ้นส่วนยานยนต์ เครื่องมือ เครื่องใช้ต่างๆ ในชีวิตประจำวัน จากการศึกษาพบว่า การหมุนขึ้นรูปชิ้นงานให้มีคุณภาพตามความต้องการนั้นต้องอาศัยการควบคุมตัวแปรต่างๆ ที่เป็นปัจจัยของการขึ้นรูป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการหมุนขึ้นรูป และเพื่อใช้ในการกำหนดค่าตัวแปรในกระบวนการผลิตต่อไป

ในการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการหมุน ใช้กระบวนการหมุนขึ้นรูปด้วยจากวัสดุอลูมิเนียมเกรด AA-1100 หนา 1.2 มิลลิเมตร ทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 135 มิลลิเมตร โดยใช้ลูกกริดที่มีรัศมี 3 มิลลิเมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 80 มิลลิเมตร เพื่อทดสอบค่าตัวแปรการขึ้นรูปที่สำคัญ 3 ตัวแปรคือ อัตราป้อน รัศมีการเคลื่อนที่และความเร็วรอบที่ใช้ในการขึ้นรูป ซึ่งการทดลองจะใช้วิธีการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ กัน ในขณะที่หมุนขึ้นรูปชิ้นงานในแต่ละรอบจะมีการบันทึกขนาดของแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปด้วย หลังการขึ้นรูปสำเร็จชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง จะถูกนำไปวัดขนาดต่างๆ ของชิ้นงานเช่น ความหนาของผนังถ้วย และความเครียด ณ จุดต่างๆ บนชิ้นงาน ทั้งนี้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรทั้ง 3 ตัวแปร

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราป้อน รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกกริด และความเร็วรอบของการหมุนขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการหมุนขึ้นรูป และพบว่าค่าตัวแปรที่ดีที่สุดสำหรับการขึ้นรูปด้วยอลูมิเนียมคือ ใช้อัตราการป้อน 0. 3 มิลลิเมตร/รอบ รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกกริด 90 มิลลิเมตร และความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ชิ้นงานที่ได้มีคุณภาพดีที่สุดผนังของชิ้นงานมีความหนาสม่ำเสมอ ความเครียดบนจุดต่างๆ ของชิ้นงานมีความแตกต่างกันน้อยสุด

คำสำคัญ: กระบวนการหมุนขึ้นรูป อัตราป้อน รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกกริด ความเร็วรอบ

Thesis Title	A Study of Spinning Parameters Influence on the Product Quality of the Sheet-Metal Forming Process of an Aluminium Cup
Name-Surname	Mr. Rattanachai Kongwong
Program	Manufacturing Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Sivakorn Anghthong, Ph.D.
Academic Year	2014

ABSTRACT

Sheet metal spinning is one of the most common ways of production an axis-symmetric part. Nowadays, the spinning process is used to produce a number of products such as automotive parts, tools, kitchen utensils etc. A study shows that the qualities of the spinning products are directly depended upon parameters that applied to setup the process. This research aims to investigate the influence of spinning parameters that affects the quality of the spinning products.

This study was carried out by using a cup-spinning process from an aluminium sheet (AA-1100) of 1.2 mm. thickness, circular blank size of 135 in diameter. The spinning process used a roller tools size 80 mm. in diameter and 3 mm. of nose radius. An experiment was conducted to investigate three main parameters that influence the product quality i.e. feed rate, rolling path profiles and revolution speeds of the spinning. During the experiment the spinning force was measured and recorded. The finished workpiece was carefully examined by measuring cup size, cup wall thickness and strain values at particular points. The results were used to analyze in order to identify the influence of those parameters.

The experimental results showed that all tested parameters including feed rate, rolling-path profile and revolution speed affected to quality of the finished product. It was also found that the best value of the parameters that could be used to produce an aluminium cup were: 0.3 mm of feed rate, 90 mm of the radius of the rolling path and 500 rpm. of the revolution. The quality of the finished workpiece was considerably good i.e. the different of wall thickness and strain was less when compared to the other experimental results.

Keywords : spinning process, roller radius, rolling path profiles, feed rate and revolution speeds

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ ได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิวกร อ่างทองอาจารย์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร. ชัยยะปราณีตพลกรัง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริชัย ต่อสกุล คณะกรรมการ สอบและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชัย จันทน์มณี ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณบุคลากรของ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ขอขอบคุณ วิทยาลัยเทคนิคชัชนาทและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่สนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้ และให้ความช่วยเหลือ ตลอดช่วงเวลา ของการศึกษา และทำการวิจัย

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา บ่มเพาะจนผู้วิจัยสามารถนำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และ ผู้มีพระคุณทุกท่าน

รัตนชัย กองวงศ์



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 หลักการขึ้นรูปโลหะเบื้องต้น	3
2.2 กระบวนการหมุนขึ้นรูป (Spinning process).....	4
2.3 อลูมิเนียม	14
2.4 สมบัติทางกลของวัสดุ	14
2.5 ตัวแปรในกระบวนการการผลิตการหมุนขึ้นรูป	27
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	31
3.1 การเตรียมการทดสอบ	31
3.2 วิธีการทดลอง	36
3.3 การวัดผลการทดสอบ	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผลการวิจัย	42
4.1 ผลการทดลองการหมุนขึ้นรูปด้วยกระบวนการหมุนขึ้นรูป	43
4.2 การอภิปรายผลการทดลอง	50
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	53
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	53
5.2 ข้อเสนอแนะในการทดลอง	54
รายการอ้างอิง	55
ภาคผนวก.....	58
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	59
ภาคผนวก ข รูปชิ้นงานหลังกระบวนการหมุนขึ้นรูป.....	74
ภาคผนวก ค การสร้างกริดวงกลม	80
ภาคผนวก ง ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	83
ประวัติผู้เขียน	98



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีและสมบัติทางกลของวัสดุอลูมิเนียม AA-1100 (ร้อยละโดยน้ำหนัก %)	32
ตารางที่ 3.2 สมบัติเชิงกลแผ่นอลูมิเนียม เกรด AA-1100 ความหนา 1.2 มิลลิเมตร	32



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การแบ่งประเภทของกรรมวิธีการขึ้นรูปโลหะ	3
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนกระบวนการหมุนขึ้นรูป.....	4
รูปที่ 2.3 ชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการหมุนขึ้นรูป	5
รูปที่ 2.4 การหมุนขึ้นรูปแบบธรรมดาและการหมุนขึ้นรูปแบบเฉือน	5
รูปที่ 2.5 การกระจายความเครียดของการหมุนขึ้นรูปแบบธรรมดา	6
รูปที่ 2.6 ประเภทของการเสียหายของชิ้นงานในกระบวนการหมุนขึ้นรูป.....	7
รูปที่ 2.7 ลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกกรีด (Roller path and passes).....	7
รูปที่ 2.8 แผนภาพทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของกระบวนการหมุนขึ้นรูป.....	8
รูปที่ 2.9 การหมุนขึ้นรูปธรรมดา : กระบวนการ, ตัวอย่างรูปร่างชิ้นงาน	9
รูปที่ 2.10 พื้นที่เกิดความเค้นในงานหมุนขึ้นรูปธรรมดา.....	9
รูปที่ 2.11 ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมุนขึ้นรูปธรรมดา	10
รูปที่ 2.12 การหมุนขึ้นรูปเฉือนกระบวนการ, ตัวอย่างรูปร่างชิ้นงาน.....	11
รูปที่ 2.13 ความคลาดเคลื่อนจากกฎของ sine law ในกระบวนการหมุนขึ้นรูปเฉือน.....	12
รูปที่ 2.14 รูปทรงของลูกกรีด.....	13
รูปที่ 2.15 ลักษณะของแรงกดจับชิ้นงาน (Tail stock).....	14
รูปที่ 2.16 พฤติกรรมเปลี่ยนรูปของวัสดุ.....	15
รูปที่ 2.17 แบบจำลองพฤติกรรมระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุ	18
รูปที่ 2.18 ชิ้นทดสอบตามทิศทางการรีด.....	19
รูปที่ 2.19 ทิศทางหลักในการทดสอบแรงดึง	21
รูปที่ 2.20 ทิศทางหลักของความเค้นและความเครียด.....	21
รูปที่ 2.21 รูปกรีดบนโลหะแผ่นชิ้นงาน	22
รูปที่ 2.22 แผนภาพความเครียด (Strain diagram).....	23
รูปที่ 2.23 รูปแบบของกรีดวงกลม	24
รูปที่ 2.24 อิเล็กโทรไลต์	25
รูปที่ 2.25 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกรีด	26
รูปที่ 2.26 การเปลี่ยนแปลงของกรีดวงกลม	26

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.27 ลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกกรีด (Roller path and passes)	28
รูปที่ 2.28 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกกรีด	38
รูปที่ 3.1 แสดงการคำนวณหาพื้นที่ของแผ่นวัสดุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CAD.....	32
รูปที่ 3.2 ชิ้นงานเริ่มต้น (Blank size) ได้คำนวณหาขนาดชิ้นงานก่อนทำการหมุนขึ้นรูปได้ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 135 มิลลิเมตร. ที่ใช้ในการทดลอง.....	33
รูปที่ 3.3 แผ่นอลูมิเนียมที่ผ่านการตีกรีดวงกลมที่ใช้กรดเกลือกัดด้วยไฟฟ้า	33
รูปที่ 3.4 ชุดแม่พิมพ์หมุนขึ้นรูปสำหรับหมุนขึ้นรูปชิ้นงาน (Mandrel).....	34
รูปที่ 3.5 ลูกกรีดขนาด 3 มิลลิเมตรและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร.....	34
รูปที่ 3.6 ชุดด้ามลูกกรีด และอุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบสำหรับการทดลองการหมุนขึ้นรูป	35
รูปที่ 3.7 เครื่องกลึง อัตโนมัต (CNC) ยี่ห้อ OKUMA รุ่น GENOS L250.....	35
รูปที่ 3.8 จอประมวลผลของเครื่องกลึงอัตโนมัต (CNC).....	37
รูปที่ 3.9 แสดงตำแหน่งที่ต้องวัดขนาดความหนาของผนังถ้วย.....	38
รูปที่ 3.10 เครื่อง EDM Wire cut ยี่ห้อ FANUC รุ่น ROBOCUT - OC ที่ใช้ในการทดลอง.....	38
รูปที่ 3.11 การวัดความหนาชิ้นงานด้วยเครื่อง CMM ที่ใช้ในการทดลอง	38
รูปที่ 3.12 การวัดอัตราความเครียดหลัก และอัตราความเครียดรอง [29].....	39
รูปที่ 3.13 แสดงตำแหน่งที่ต้องวัดขนาดความเครียดของผนังถ้วย.....	40
รูปที่ 3.14 เครื่อง Smart scope	41
รูปที่ 3.15 การวัดขนาดกรีดวงกลม	41
รูปที่ 4.1 ความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.1 มิลลิเมตร/รอบ รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกกรีด 50-90 มิลลิเมตร ความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูปที่ 300-700 รอบ/นาที.....	43
รูปที่ 4.2 แรงในการหมุนขึ้นรูป ความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.1 มิลลิเมตร/รอบ รัศมีการเคลื่อนที่ ของลูกกรีด 50-90 มิลลิเมตร ความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูปที่ 300-700 รอบ/นาที.....	44
รูปที่ 4.3 ความเครียดเทียบเท่าของรัศมีการเคลื่อนที่ของลูกกรีด 50-90 มิลลิเมตร ความเร็วในการ เคลื่อนที่ 0.1 มิลลิเมตร/รอบ ความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูปที่ 300-700 รอบ/นาที.....	45

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าความสูงและความกว้างของถ้วยหลังการรีดที่รัศมีการเคลื่อนที่ ของ ลูกรีด 90 มิลลิเมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกรีด 0.1 มิลลิเมตร/รอบ ความเร็ว รอบในการหมุนขึ้นรูป 300-700 รอบ/นาที.....	45
รูปที่ 4.5 ความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.1-0.5 มิลลิเมตร/รอบ ความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูปที่ 500 รอบ/นาที รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีด 90 มิลลิเมตร	46
รูปที่ 4.6 แรงในการหมุนขึ้นรูป ของความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.1 มิลลิเมตร/รอบ รัศมีการเคลื่อน ที่ของลูกรีด 50-90 มิลลิเมตร ความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูปที่ 300 รอบ/นาที.....	46
รูปที่ 4.7 ความเครียดเทียบเท่า ของความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.1-0.5 มิลลิเมตร/รอบ ความเร็ว รอบในการหมุนขึ้นรูปที่ 500 รอบ/นาที รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีด 50-90 มิลลิเมตร ..	47
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่าความสูงและความกว้างของถ้วยหลังการรีด ที่รัศมีการเคลื่อนที่ของ ลูกรีด 90 มิลลิเมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกรีด 0.1-0.5 มิลลิเมตร/นาที ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที	47
รูปที่ 4.9 ความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูปที่ 300 รอบ/นาที รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีด 50 มิลลิเมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.1-0.5 มิลลิเมตร/รอบ	48
รูปที่ 4.10 แรงในการหมุนขึ้นรูป ความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูปที่ 300 รอบ/นาที รัศมีการ เคลื่อนที่ของลูกรีด 50 มิลลิเมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.1-0.5 มิลลิเมตร/รอบ.....	48
รูปที่ 4.11 ความเครียดเทียบเท่าของความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูปที่ 300-700 รอบ/นาที รัศมี การเคลื่อนที่ของลูกรีด 50-90 ความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.1-0.5 มิลลิเมตร/รอบ.....	49
รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่าความสูงและความกว้างของถ้วยหลังการรีดที่รัศมีการเคลื่อนที่ของ ลูกรีด 90 มิลลิเมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกรีด 0.1-0.5 มิลลิเมตร/รอบ ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที.....	49
รูปที่ 4.13 ลักษณะของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยค่าตัวแปรต่างๆเมื่อมองด้วยตาเปล่า.....	52
รูปที่ 4.14 ลักษณะของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยตัวแปรที่มีความเหมาะสม.....	52

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A_0	พื้นที่หน้าตัดเดิมของชิ้นงานทดสอบ
D_0	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเดิม
D_1	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เปลี่ยนแปลงไปจากขนาดเดิม
D_r	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกรีด
d_0	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเดิม
d_1	เส้นผ่านศูนย์กลางแนวแกนหลัก
d_2	เส้นผ่านศูนย์กลางแนวแกนรอง
E	ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นหรือโมดูลัสของยัง
F_1	แรงดึงหรือแรงกดที่กระทำต่อชิ้นงาน
f_a	แรงในแนวแกน
K	สัมประสิทธิ์ความต้านแรง
L_0	ความยาวของชิ้นงานเดิม
L_1	ความยาวของชิ้นงานที่เปลี่ยนไป
N	ความเร็วรอบ
n	เลขชี้กำลังการทำให้แข็งด้วยความเครียด
r_0	รัศมีของลูกรีด
t	ขนาดความหนา
t_0	ขนาดความหนาเดิมของชิ้นงาน
t_1	ขนาดความหนาที่เปลี่ยนไป
t_f	ความหนาชิ้นงานหลังการขึ้นรูป
V	ความเร็วตัด
ΔL	ความยาวที่เปลี่ยนไป
$\text{Sin } \alpha$	ค่าของมุมที่กำหนดจาก Sine Law
β	อัตราส่วนการขึ้นรูป
ε	ความเครียด
$\bar{\varepsilon}$	ความเครียดเทียบเท่า
ε_1	ความเครียดหลัก

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ(ต่อ)

ε_2	ความเครียดตรง
ε_3	ระนาบความเครียด
$\tilde{\varepsilon}$	ความเครียดเฉลี่ย
ε_t	ความเครียดจริงในแนวความหนา
ε_w	ความเครียดจริงในแนวความกว้าง
σ	ความเค้น (MPa)
$\tilde{\sigma}$	ความเค้นเฉลี่ย
σ_t	ความเค้นอัด
σ_y	ความเค้นดึง



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิต ชิ้นงาน จากการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet metal forming) มีกรรมวิธีการผลิตอยู่ด้วยกันหลายกระบวนการ ซึ่งกระบวนการผลิตการหมุนขึ้นรูปโลหะแผ่นเป็นกระบวนการหนึ่งของอุตสาหกรรมการผลิตขึ้นรูปโลหะแผ่นที่เกี่ยวข้องกับการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนยานอวกาศ เครื่องมือทางการแพทย์ อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และภาชนะเครื่องครัว เป็นต้น [1]

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาพบว่ากระบวนการผลิตการหมุนขึ้นรูปโลหะแผ่นยังมีความสำคัญและความจำเป็นเนื่องจากเครื่องมือ อุปกรณ์ และกระบวนการผลิตนี้ยังมีใช้อยู่เพื่อความสวยงามของผลิตภัณฑ์ สำหรับขึ้นรูปชิ้นงานโลหะแผ่น (Blank size) ให้ได้รูปทรงชิ้นงานตามต้นแบบ (Mandrel) โดยการใช้ลูกกรีด (Roller) ค่อยๆกดชิ้นงานขณะที่กำลังหมุนอยู่ให้แนบกับแมนเดิล จนได้รูปทรงของผลิตภัณฑ์ตามความต้องการ ซึ่งมีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในกระบวนการผลิตโดยมีข้อได้เปรียบกว่าการขึ้นรูปชนิดอื่น ๆ เพราะมีความยืดหยุ่นของกระบวนการไม่เจาะจงของเครื่องมืออย่างใดอย่างหนึ่ง ใช้แรงในการขึ้นรูปต่ำ ผิวสำเร็จดีและสามารถปรับปรุงกลไกในกระบวนการขึ้นรูปได้ง่ายและในกระบวนการผลิตการหมุนขึ้นรูปโลหะแผ่นยังไม่ประสบความสำเร็จในการขึ้นรูปพบว่าการเกิดลักษณะความเสียหายของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตอยู่ 3 รูปแบบคือ รอยย่น, การแตกร้าวตามแนวเส้นรอบวง และการแตกร้าวตามแนวรัศมี ซึ่งความเสียหายที่กล่าวมานี้ส่วนใหญ่มีอิทธิพลเกิดมาจากตัวในการหมุนขึ้นรูป เช่น ลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกกรีด และรัศมีการเคลื่อนที่ของลูกกรีด ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะต้องแก้ไขปัญหของความเสียหายเหล่านี้

ด้วยเหตุผลที่กล่าว มานี้ ผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการหมุนขึ้นรูปที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และเพื่อหาแนวทางการกำหนดขนาดตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการหมุนขึ้นรูปโลหะแผ่น โดยการทดสอบการหมุนขึ้นรูปชิ้นงาน อลูมิเนียมแผ่นเกรด AA-1100 ความหนา 1.2 มิลลิเมตร

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการหมุนขึ้นรูป
- 1.2.2 เพื่อทดสอบอิทธิพลของตัวแปรต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์
- 1.2.3 เพื่อหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับ กระบวนการหมุนขึ้นรูปด้วยอลูมิเนียม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 การศึกษาวิจัยนี้จะศึกษาและทดลองการหมุนขึ้นรูปด้วย ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางปากถ้วย 100 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้นถ้วยขนาด 52 มิลลิเมตร ความสูงถ้วย 50 มิลลิเมตรด้วยจากวัสดุขึ้นอลูมิเนียมเกรด AA-1100 หนา 1.2 มิลลิเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 135 มิลลิเมตร

1.3.2 ใช้ลูกรีดที่มีรัศมีโค้งมน (Roller nose radius) ขนาด 3 มิลลิเมตรและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร

1.3.3 ใช้แม่พิมพ์หมุนขึ้นรูปขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 97.6 มิลลิเมตร สูง 48.8 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้นถ้วย 49.6 มิลลิเมตร และรัศมีของถ้วย 70 มิลลิเมตร

1.3.4 ใช้แรงดัน (แรงกดจับ) ขึ้นงานคงที่เท่ากับ 15 MPa

1.3.5 ใช้อัตราป้อนที่ขนาด 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 มิลลิเมตร/รอบ.

1.3.6 ใช้รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดในการทดสอบขนาดเท่ากับ 50 , 60, 70, 80 และ 90 มิลลิเมตร

1.3.7 สารหล่อลื่น OIL-FORM TDN 81

1.3.8 ใช้ความเร็วรอบของแม่พิมพ์ในการทดสอบ ขนาด 300, 400, 500, 600, และ 700 รอบ/นาที

1.3.9 วิเคราะห์ ความเร็วในการเคลื่อนที่ รัศมีการเคลื่อนที่ และ ความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูปที่ส่งผลต่อการกระจายความหนา ความเครียด และแรงในการหมุนขึ้นรูป

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.4.1 ทราบถึง อิทธิพลต่างๆ ของตัวแปรในกระบวนการหมุนขึ้นรูป

1.4.2 เพื่อทราบและเข้าใจความสัมพันธ์อิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการหมุนขึ้นรูปต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

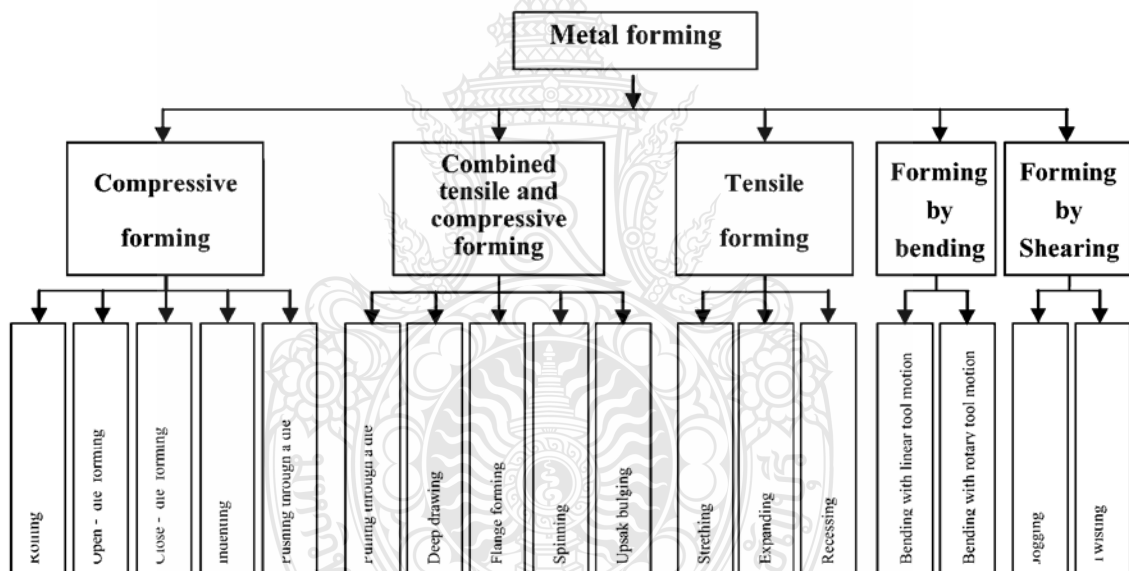
1.4.3 เพื่อให้เป็นทางเลือก แนวทางการกำหนดค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตแบบหมุนขึ้นรูป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการขึ้นรูปโลหะเบื้องต้น

การขึ้นรูปโลหะทั่วไปแล้วนั้น จะใช้ความเค้นประสิทธิผล (Effective stresses) ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของโลหะ สำหรับสภาพของความเค้นที่เกิดขึ้นในบริเวณของการเปลี่ยนรูปนั้นไม่สามารถอธิบายได้ง่ายนัก ทั้งนี้เพราะความเค้นขึ้นอยู่กับลักษณะการทำงาน สภาพความเค้นหลายอย่างเกิดขึ้นพร้อมกัน หรืออาจจะเปลี่ยนแปลงไปได้ในระหว่างการทำงาน ดังนั้นจึงใช้ความเค้นที่ปรากฏชัดเจนเป็นเกณฑ์ในการแบ่งประเภทของการขึ้นรูปโลหะ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่มดังต่อไปนี้

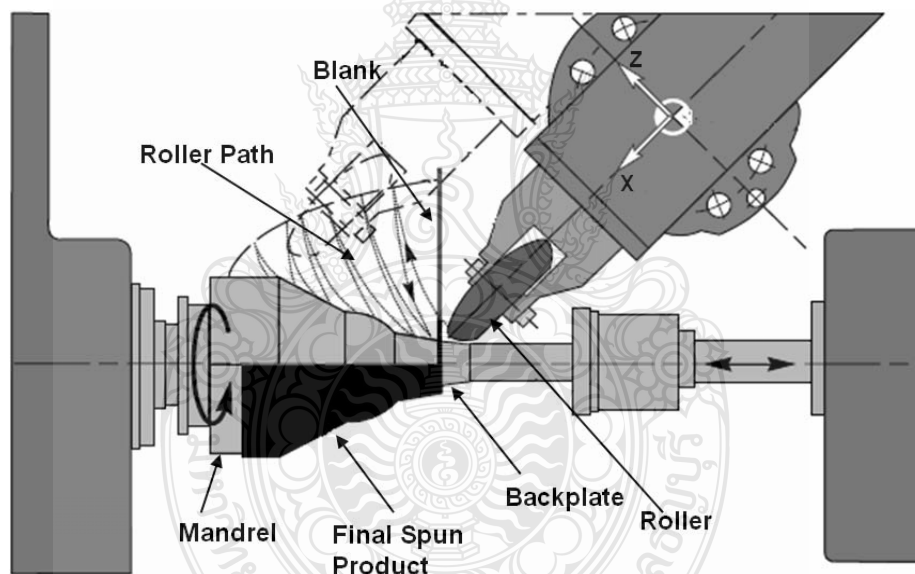


รูปที่ 2.1 การแบ่งประเภทของกรรมวิธีการขึ้นรูปโลหะ

- 1) การขึ้นรูปด้วยการกด
- 2) การขึ้นรูปด้วยการกดและดึง
- 3) การขึ้นรูปด้วยการดึง
- 4) การขึ้นรูปด้วยการตัด
- 5) การขึ้นรูปด้วยการเฉือน

2.2 กระบวนการหมุนขึ้นรูป (Spinning process)

การหมุนขึ้นรูปโลหะแผ่นเป็นกระบวนการหนึ่งของการขึ้นรูปโลหะ ชิ้นงาน (Blank Size) เป็นโลหะแผ่นถูกทำให้เปลี่ยนรูปตามลักษณะรูปทรงของเมนเดล (Mandel) โดยลูกกรีด (Roller) ค่อย ๆ กดชิ้นงานจนกระทั่งแนบกับเมนเดล จนได้รูปทรงของชิ้นงาน ดังรูปที่ 2.2 ในระหว่างการรีดขึ้นรูป ชิ้นงานจะถูกยึดระหว่างเมนเดลกับแผ่นกดชิ้นงานที่เกิดจากแรงในการย่นศูนย์กลางท้ายของเครื่องกลึง ลักษณะของการหมุนขึ้นรูปจะทำงานพร้อมกัน 3 ส่วนหลักๆ คือ ความเร็วรอบ (Spindle Speed) ความเร็วในการเคลื่อนที่ (Feed) และแรงกดชิ้นงาน (Tail Stock) วัสดุที่ใช้ในกระบวนการหมุนขึ้นรูป ส่วนใหญ่เป็นโลหะบริสุทธิ์ สเตนเลส และโลหะนอกกลุ่มเหล็ก [1] กระบวนการนี้สามารถขึ้นรูป ชิ้นงานที่มีความหนาตั้งแต่ 0.5–30 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 มิลลิเมตร ถึง 5 เมตร



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนกระบวนการหมุนขึ้นรูป [1]

เนื่องจากกระบวนการหมุนขึ้นรูปมีข้อได้เปรียบกว่าการขึ้นรูปชนิดอื่น ๆ เพราะมีความยืดหยุ่นของกระบวนการไม่เจาะจงของเครื่องมืออย่างใดอย่างหนึ่ง ใช้แรงในการขึ้นรูปต่ำ ผลิตได้ดี และสามารถปรับปรุงกลไกในกระบวนการขึ้นรูปได้ง่าย [2] ดังนั้นกระบวนการหมุนขึ้นรูปโลหะแผ่น ได้มีการนำมาใช้อย่างกว้างขวางในกระบวนการผลิต เช่น ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนยานอวกาศ เครื่องมือทางการแพทย์ อุตสาหกรรมก่อสร้าง ฯลฯ ดังแสดงในรูปที่ 2.3

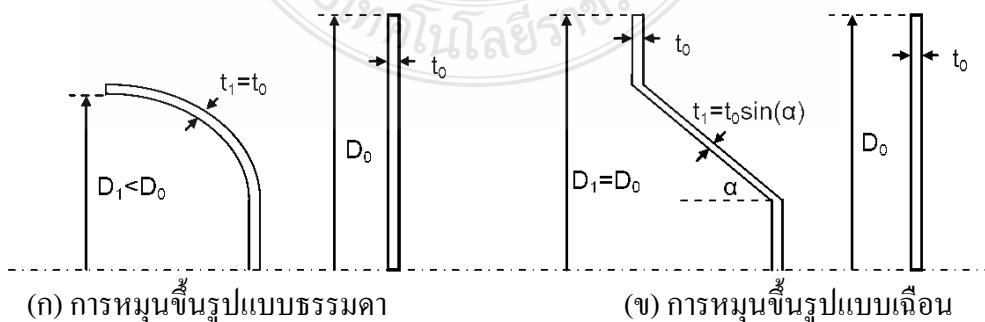


รูปที่ 2.3 ชิ้นงานที่ได้จากการหมุนขึ้นรูป

กระบวนการหมุนขึ้นรูปเป็นกรรมวิธีการขึ้นรูปโลหะแผ่นประเภทหนึ่ง สามารถจำแนกได้เป็น 2 กระบวนการ คือ การหมุนขึ้นรูปแบบธรรมดา (Conventional spinning) ดังรูปที่ 2.4 (ก) ชิ้นงานเปลี่ยนรูปจนได้รูปร่างตามต้องการโดยผ่านการรีดอย่างอิสระเพื่อรักษาความหนาเดิม (t_0) แต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นชิ้นงาน (D_1) จะเปลี่ยนแปลงจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเดิม (D_0) ตรงกันข้ามกับการหมุนขึ้นรูปแบบเฉือน (Shear spinning) ลูกรีดจะเปลี่ยนรูปร่างชิ้นงานในทิศทางเดียว ดังรูปที่ 2.4 (ข) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในการหมุนขึ้นรูป (D_1) ยังคงไม่เปลี่ยนแปลง แต่ความหนาของผนังชิ้นงานจะลดลงอย่างต่อเนื่อง ความหนาของชิ้นงานสุดท้ายของการหมุนขึ้นรูปชิ้นงาน (t_1) สามารถคำนวณได้จากกฎของไซน์ลอว์ (Sine law)

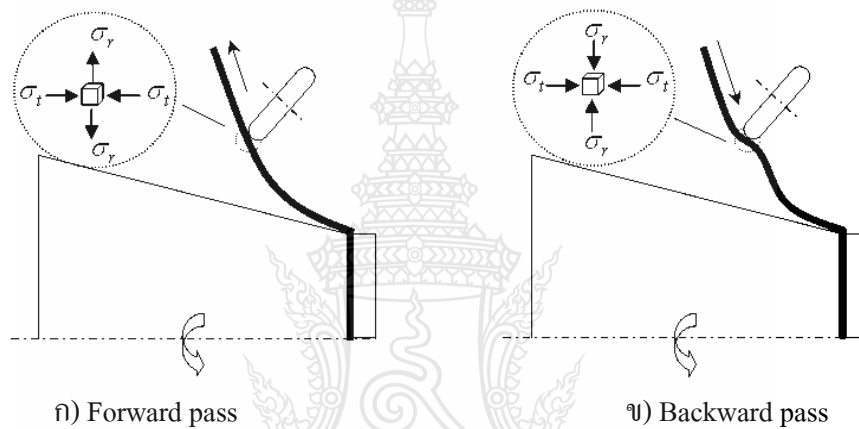
$$t_f = t_0 \sin \alpha \quad (2.1)$$

โดยที่ t_0 คือ ความหนาเดิมของชิ้นงาน, α คือ มุมเอียงของแมนเดิล



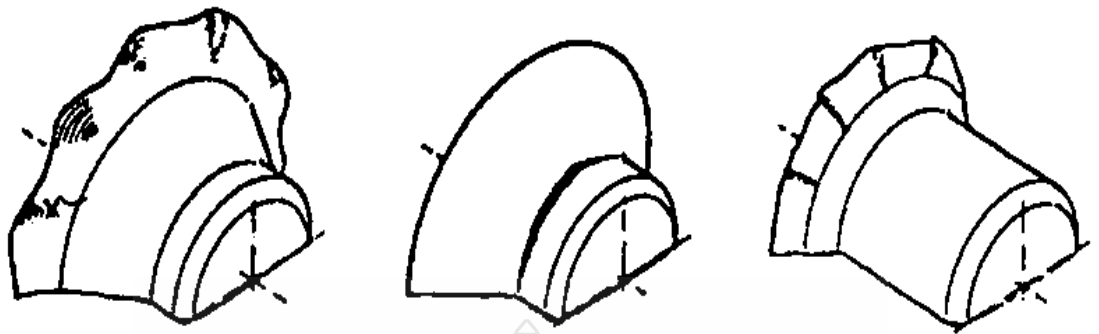
รูปที่ 2.4 การหมุนขึ้นรูปแบบธรรมดาและการหมุนขึ้นรูปแบบเฉือน

ในระหว่างกระบวนการหมุนขึ้นรูปแบบธรรมดา พื้นที่ที่เปลี่ยนรูปแบบพลาสติกคือส่วนที่สัมผัสกับ ลูกกรีด รูปแบบความเครียดขึ้นอยู่กับทิศทาง การเคลื่อนที่ของลูกกรีด [1] ในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (การเคลื่อนที่ไปที่ขอบของชิ้นงาน) เกิดความเค้นดึงตามแนวรัศมี และความเค้นอัดตามแนวเส้นรอบวง ดังรูปที่ 2.3 (ก) ความเค้นดึงตามแนวรัศมี ส่งผลทำให้การไหลตัวของวัสดุไปทั้งหมดของชิ้นงาน เป็นสาเหตุทำให้ชิ้นงานเกิดการลดรูป ซึ่งความสม่ำเสมอของชิ้นงานเกิดจากผลกระทบของความเค้นตามแนวเส้นรอบวง การรักษาความหนาไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยสุด ในการเคลื่อนที่กลับ (การเคลื่อนที่ของลูกกรีดกลับมาที่เมนเดล) อย่างไรก็ตามผิวของวัสดุที่อยู่ตามหน้าของลูกกรีด โดยทั่วไปจะเกิดความเค้นดึงตามแนวรัศมี และความเค้นอัดตามแนวเส้นรอบวงดังรูปที่ 2.3 (ข)



รูปที่ 2.5 การกระจายความเครียดของการหมุนขึ้นรูปแบบธรรมดา

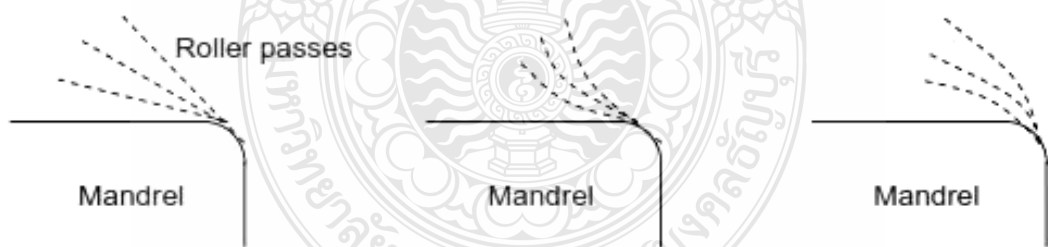
ความเสียหายที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมุนขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยทั่วไปแล้วมีอยู่ 3 ชนิด [3] ได้แก่ รอยร่น, การแตกตามแนวเส้นรอบวง และการแตกตามแนวรัศมี ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ก) รอยร่นเกิดจากผลกระทบของอิทธิพลในแนวเส้นรอบวงของแผ่นชิ้นงานลดขนาดเส้นรอบวงในระหว่างการหมุนขึ้นรูป จึงทำให้เกิดการร่นดังรูปที่ 2.6 (ข) การแตกร้าวนตามแนวเส้นรอบวง (Circumferential Crack) เกิดจากอัตราส่วนการหมุนขึ้นรูป (Spinning ration) มีค่ามากกว่าอัตราการหมุนขึ้นรูปสูงสุด หรือเกิดจากการใช้ลูกกรีดที่มีรัศมี (r_0) เล็กมากทำให้แรงในแนวแกนหมุน (f_a) ที่ลูกกรีดกระทำกับแผ่นชิ้นงานเกิดความเค้นดึงแนวรัศมีมากทำให้เกิดการร่นของชิ้นงาน ดังรูปที่ 2.6 (ค) การแตกร้าวนในแนวรัศมี (Radius crack) เกิดจากอิทธิพลตามแนวเส้นรอบวงของแผ่นชิ้นงานเพิ่มขนาดเส้นรอบวงตามรูปทางที่ต้องการจะขึ้นรูปทำให้เกิดความเค้นดึงจนชิ้นงานขาดในแนวรัศมี ดังรูปที่ 2.6



(ก) รอยขุ่น (ข) รอยแตกร้าวตามแนวเส้นรอบวง (ค) รอยแตกร้าวในแนวรัศมี

รูปที่ 2.6 ประเภทของการเสียหายของชิ้นงานในกระบวนการหมุนขึ้นรูป

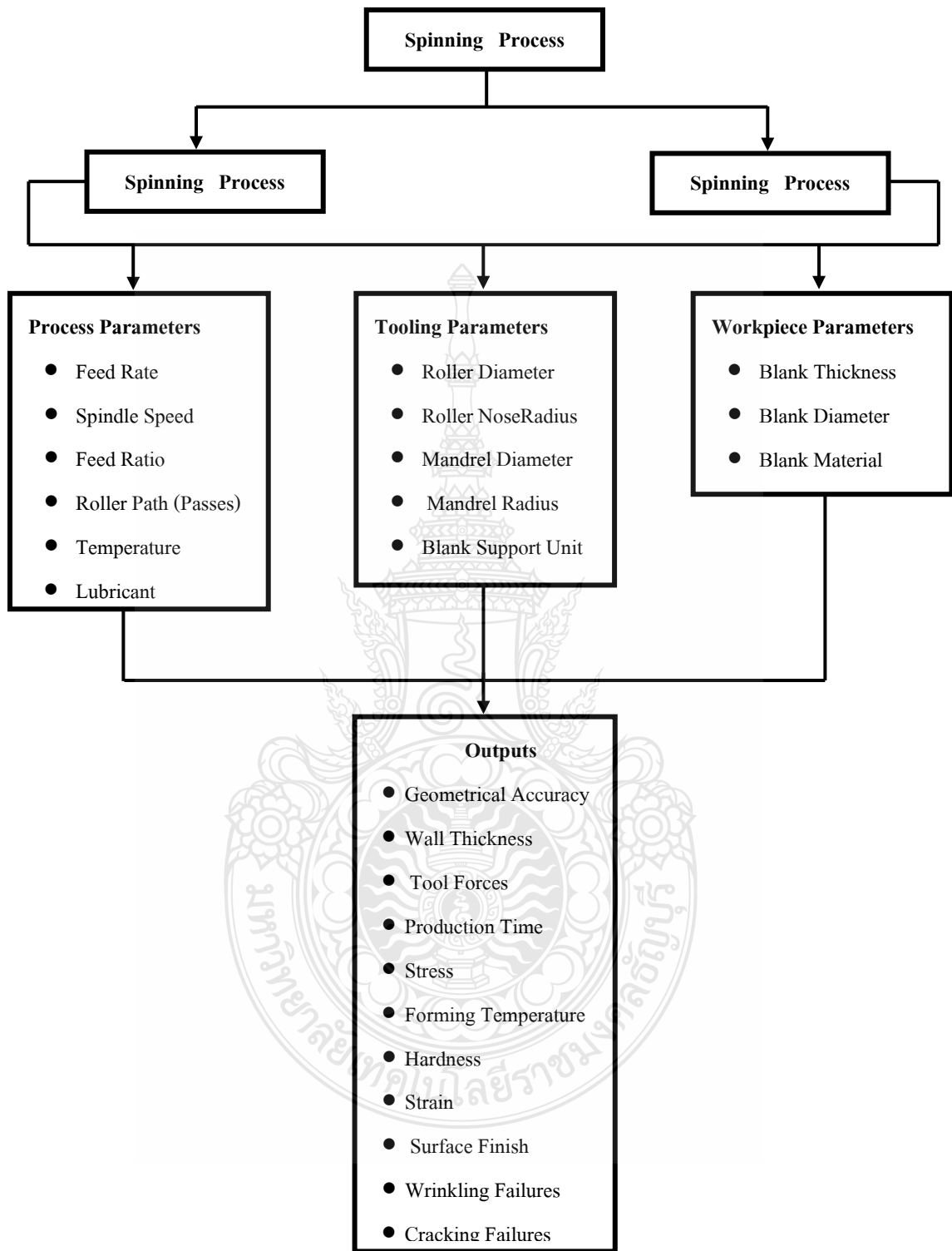
ลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกรีดแบ่งเป็น 3 ลักษณะหลัก คือ การเคลื่อนที่แบบเส้นตรง (Linear) ดังรูปที่ 2.7 (ก) การเคลื่อนที่แบบหมุนโค้งออก (Concave) รูปที่ 2.7 (ข) และการเคลื่อนที่แบบหมุนโค้งเข้า (Convex) รูปที่ 2.7 (ค) ผลการเคลื่อนที่ของลูกรีดมีผลกระทบต่อแรงที่เกิดขึ้นขณะรีด และความหนาที่เปลี่ยนไปหลังการหมุนขึ้นรูป การเคลื่อนที่ของลูกรีดแบบ หมุนตามเข็มนาฬิกา ใช้แรงในการเคลื่อนที่ขณะหมุนขึ้นรูปสูงสุดของลักษณะการเคลื่อนที่ทั้งหมด ส่วนการเคลื่อนที่แบบ หมุนทวนเข็มนาฬิกา พบว่าแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงความหนาต่ำสุด และรัศมีในการเคลื่อนที่ของลูกรีดมีผลต่อความหนาชิ้นงาน กล่าวคือ รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดเพิ่มขึ้นแนวโน้มของความหนาและแรงจะเปลี่ยนไป ลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกรีดดังรูปที่ 2.7



(ก) การเคลื่อนที่แบบเส้นตรง (ข) การเคลื่อนที่แบบโค้งออก (ค) การเคลื่อนที่แบบโค้งเข้า

รูปที่ 2.7 ลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกรีด (Roller path and passes)

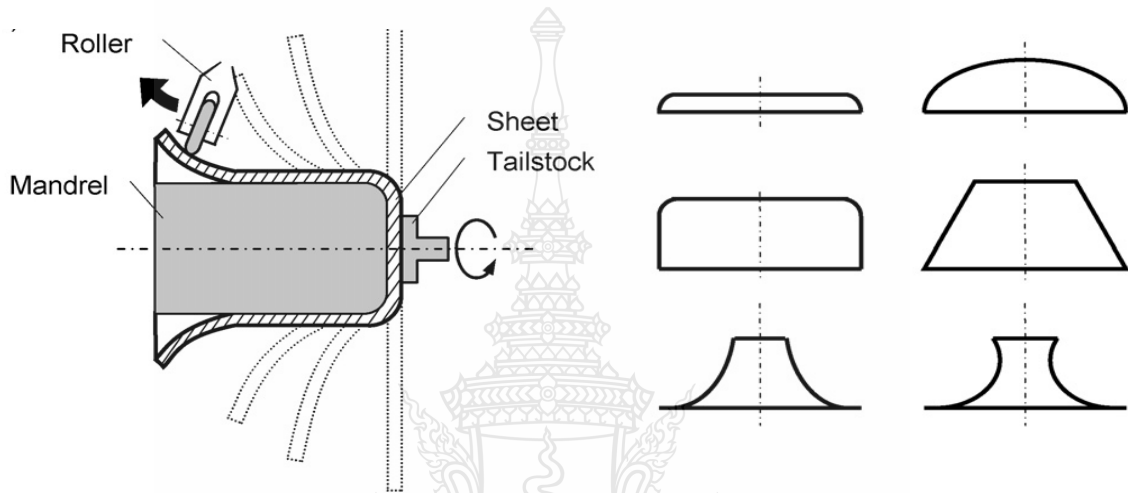
ในกระบวนการหมุนขึ้นรูป ทั้งสองกระบวนการมีตัวแปรที่สำคัญที่จะทำให้การหมุนขึ้นรูปประสบความสำเร็จไม่ขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.8 แผนภาพทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของกระบวนการหมุนขึ้นรูป

2.2.1 การหมุนขึ้นรูปธรรมดา

ในการหมุนขึ้นรูปธรรมดา แบบขึ้นงานจะถูกทำให้เปลี่ยนรูปทรงตามที่ต้องการโดยไม่มี การเปลี่ยนแปลงของผนังขึ้นงาน โดยเส้นผ่านศูนย์กลางจะลดลงตลอดความยาวหรือในเฉพาะพื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (ก) มักจะทำได้ในขั้นตอนหรือหลายขั้นตอนซึ่งทำให้ขึ้นงานเปลี่ยนรูปอย่าง ต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (ข) แสดงรูปทรงตัวอย่างของผลิตภัณฑ์

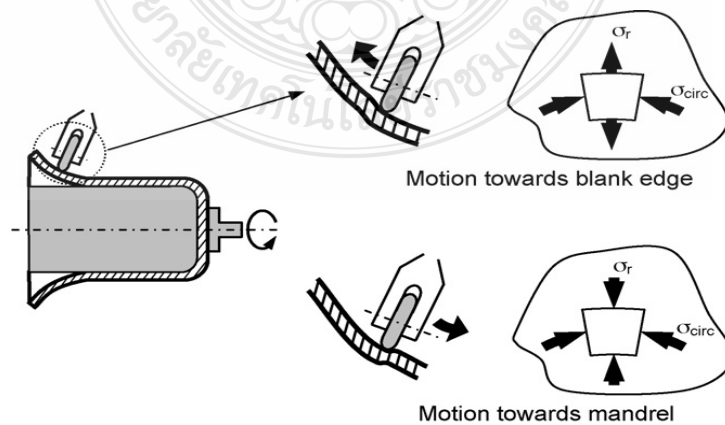


(ก) กระบวนการหมุนขึ้นรูปแบบธรรมดา

(ข) ตัวอย่างรูปขึ้นงานที่หมุนขึ้นรูปแบบธรรมดา

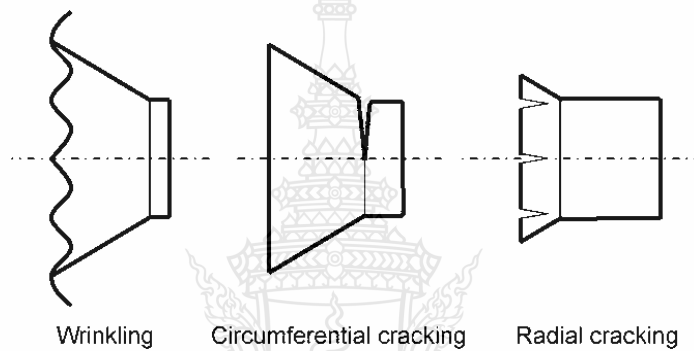
รูปที่ 2.9 การหมุนขึ้นรูปธรรมดา : กระบวนการ, ตัวอย่างรูปร่างขึ้นงาน

แผ่นขึ้นงานจะถูกเปลี่ยนรูปโดยลูกรีด ความดันภายในจะเกิดขึ้นในแผ่นขึ้นงาน ดังรูปที่ 2.10 แสดงค่าประมาณความเค้นตามทฤษฎีของ Lang [1] และ Runge [9] ซึ่งจะถูกยกมาใช้กัน อย่างแพร่หลายในงานวิจัยต่างๆ



รูปที่ 2.10 พื้นที่เกิดความเค้นในงานหมุนขึ้นรูปธรรมดา

รูปแบบของความเค้นเหล่านี้จะกล่าวถึงความแตกต่างของทิศทางการเคลื่อนที่ของลูกรีด ซึ่งทิศทางการเคลื่อนที่ตามของของชิ้นงานหรือเคลื่อนที่ไปที่ขอบของเมนเดล เมื่อลูกรีดเคลื่อนที่ไปที่ขอบของชิ้นงานจะเกิดความเค้นอัดในแนวเส้นรอบวง และความเค้นแรงดึงในแนวรัศมี ความเค้นแรงดึงแนวรัศมีอย่างเดียวยังจะทำให้เกิดการลุดรูป แต่มีความสมดุลจาก ความเค้นอัดเส้นรอบวง นำไปสู่พื้นที่ความเค้นที่รับแรงเฉือนอย่างเดียวยังทำให้ความหนาไม่สม่ำเสมอ ในชิ้นงานลูกรีดเคลื่อนที่ห่างจากขอบของด้านหน้าผนังชิ้นงานที่ถูกยึดติดกับชิ้นศูนย์ท้ายแทนก่อให้เกิด ความเค้นในแนวรัศมี และความเค้นดึงตามเส้นรอบวง



รูปที่ 2.11 ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมุนขึ้นรูปธรรมดา

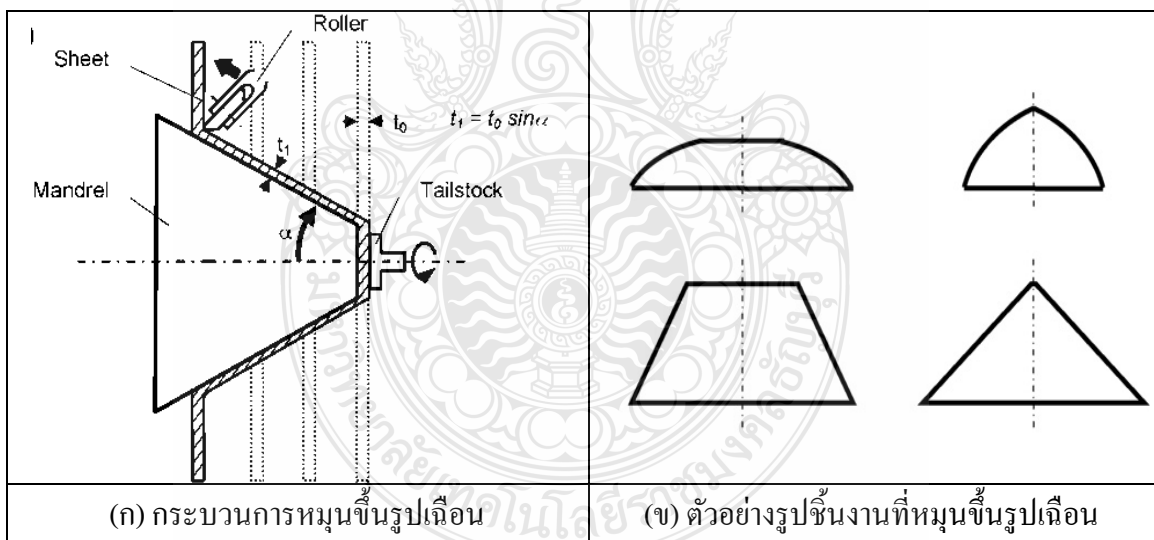
ข้อบกพร่องที่พบบ่อยในการหมุนขึ้นรูป ถึงรอยย่น รอยร้าวตามแนวเส้นรอบวง และการแตกร้าวในแนวรัศมี ดังแสดงในรูปที่ 2.11 สาเหตุที่เกิดรอยย่น เนื่องมาจากความเค้นที่เส้นรอบวงสูงเกินไปทำให้เกิดการ โกงตัวตามหน้าของชิ้นงาน เพื่อหลีกเลี่ยงการย่น จึงควรค่อยๆเพิ่มความเค้นแรงดึงและความเค้นอัดทั้ง Lang [1] และ Range [9] กล่าวว่าการหมุนขึ้นรูปธรรมดาจะต้องทำหลายครั้ง (การรีดหลายครั้ง) เพื่อให้ชิ้นงานไม่เกิดรอยย่น นอกจากนี้ความเค้นที่เกิดขึ้นสูงในทิศทางต่างๆ ไม่เป็นที่ต้องการ ความเค้นแรงดึงแนวรัศมีสูงจะทำให้เกิดรอยร้าวตามแนวรัศมีรอบวง รอยร้าวในแนวรัศมีเกิดจากความแตกต่างทั้งสองกรณีเนื่องจากว่า ความเค้นเส้นรอบวงหรือร่วมกันระหว่างความเค้นอัดเส้นรอบวง และความเค้นดึง ซึ่งเกิดจากรอยย่นที่มีอยู่ในขณะทำงาน

2.2.2 การหมุนขึ้นรูปเลื่อน

ในทางตรงกันข้ามกับการหมุนขึ้นรูปแบบธรรมดา การหมุนขึ้นรูปเลื่อนความหนาของชิ้นงานจะลดลงแต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานไม่เปลี่ยนแปลงหรือเท่ากับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานร่องรอยของลูกรีดจะขึ้นอยู่กับรูปทรงของเมนเดลที่ระยะคงที่ ความหนา

เริ่มต้นของชิ้นงาน t_0 จะลดลง ไปที่ความหนา t_1 ซึ่งความหนาสุดท้าย t_1 มีมุมเอียงของผนังของชิ้นงาน α โดยใช้กฎของ Sin Law ดังแสดงในรูปที่ 2.12 (ก) รูปที่ 2.12 (ข) แสดงชนิดของรูปทรงของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยการหมุนขึ้นรูปเฉือน ชิ้นงานจะเป็นแผ่นกลมหรือแผ่นเหลี่ยม หรือก่อนการเปลี่ยนรูปทรงและจะเปลี่ยนรูปทรงในครั้งเดียว โดยการใช้ลูกกรีดเพียงลูกเดียว ในบางครั้งการรีดอาจใช้ลูกกรีด 2 ลูก สำหรับรีดเหล็กที่มีความแข็งแรงสูง และมีความหนามากการเริ่มผลิตชิ้นงานในการหมุนขึ้นรูปแบบเฉือน แผ่นชิ้นงาน สามารถทำเป็นแผ่นวงกลม สี่เหลี่ยม และรูปทรงก่อนการผลิตโดยกระบวนการอื่นๆ

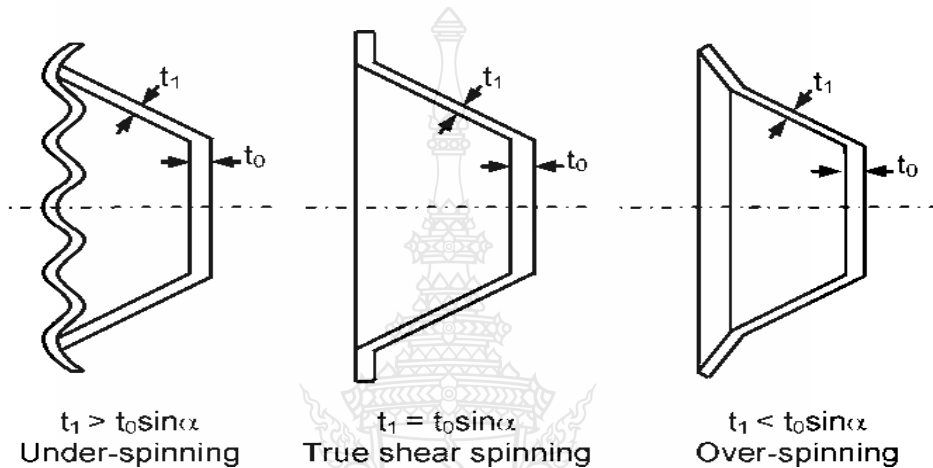
ในการกำหนดค่าที่การหมุนขึ้นรูปเฉือนดังรูปที่ 2.12 (ก) แผ่นที่อยู่ตรงกลาง จะถูกยึดระวางยังศูนย์ท้ายแทนกับแมนเดิล ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าในการผลิตชิ้นงานเฉพาะส่วนกลางแผ่นชิ้นงาน ดังรูปที่ 2.12 (ข) เพื่อแก้ไขปัญหาในการจับยึด Bosch [7] เป็นผู้เสนอปัญหาคนแรก เพื่อแก้ปัญหาในการผลิตชิ้นงานที่มีปลายแหลมหรือโค้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.12 (ข) แทนที่จะยึดตรงกลางแผ่นชิ้นงาน ได้สร้างแผ่นรองรับบริเวณขอบ และมุมของชิ้นงานทำหน้าที่รองรับและหมุน ไปพร้อมกับลูกกรีดจนสิ้นสุดแมนเดิล



รูปที่ 2.12 การหมุนขึ้นรูปเฉือน: กระบวนการ, ตัวอย่างรูปร่างชิ้นงาน

ในการหมุนขึ้นรูปเฉือน ค่าของความหนากำหนดได้โดยกฎของ Sin Law (ที่อธิบายการหมุนขึ้นรูปเฉือนจริง) ชิ้นงานขนาดต่างๆ สามารถหมุนขึ้นรูปที่ปราศจากข้อบกพร่อง เช่น รอยย่นและการโค้งงอของหน้าชิ้นงาน เพราะว่าการหมุนขึ้นรูปเฉือนจริง ความเค้นภายในถูกควบคุมภายใต้ลูกกรีด และด้านหน้าของชิ้นงานยังไม่เกิดความเค้น ข้อบกพร่องจากกฎของ Sin Law จะทำให้เกิดการ

ขยายตัวของความเค้นไปสู่อด้านหน้าของชิ้นงาน ซึ่งจะทำให้เกิดข้อบกพร่อง ในภายใต้การหมุน $\sin\alpha$ หน้าที่ชิ้นงาน (เป็นที่รู้จัก ภายใต้การลดรูป) ด้านหน้าวัสดุจะถูกดึงเข้ามา ส่วนโค้งของชิ้นงานจะถูกรีด และจะทำให้เกิดรอยย่น ในทางตรงกันข้าม นอกเหนือขอบเขตการหมุนขึ้นรูป ($\sin\alpha$, การลดรูปมากกว่าค่าความหนาเดิม) วัสดุที่อยู่ด้านหน้าของลูกรีด ผิวด้านหน้าของชิ้นงานจะโค้งไปข้างหน้าและอยู่ห่างจากลูกรีด ดังรูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นผลกระทบของข้อแตกต่างจากกฎของ Sin Law



รูปที่ 2.13 ความคลาดเคลื่อนจากกฎของ sine law ในกระบวนการหมุนขึ้นรูปเลื่อน

2.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

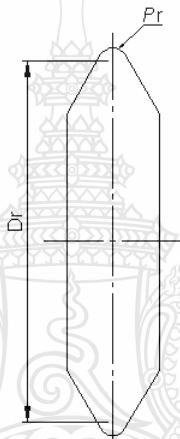
วัสดุเครื่องมือในการทดลองสำหรับงานขึ้นรูปส่วนใหญ่ใช้เหล็กกล้าเกรด.

JIS.SKD.11 ซึ่งเป็นเหล็กที่นิยมมากในการใช้ผลิตแม่พิมพ์เพราะเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นนี้มี ส่วนผสมของคาร์บอนและโครเมียมในปริมาณสูง จัดเป็นเหล็กกล้าในกลุ่ม 12% เลเดบไครติกโครเมียม สตีล ซึ่งมีความต้านทานต่อการเสียดสีดีมาก นอกจากนี้ยังมีการผสมธาตุโมลิบดีนัมเพื่อช่วยเพิ่ม ความสามารถในการชุบแข็งให้ความเหนียวแข็งแรงดีและยังมีการผสมธาตุวานาเดียมให้สูงถึง 1% เพื่อ ช่วยรักษาคมตัดให้มีความแข็งแรงและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ช่วยให้ทนต่อการเสียดสีและ ต้านทานต่อการสึกหรอได้สูงมากขึ้นและยังมีสมบัติเด่นทางด้านต้านทานต่อการอ่อนตัวที่ อุณหภูมิสูง ซึ่งเหนือกว่าเหล็กกล้าในกลุ่ม 12% เลเดบไครติก โครเมียมสตีลเกรดอื่น จึงสามารถทำใน ไตรดิ่งได้ดัดนิยมใช้ทำแม่พิมพ์สำหรับงานงานปั๊ม, งานตัด, งานเพรส, งานอัดขึ้นรูปเย็น, ลูกรีด, ไบมีด ตัดโลหะและงานที่ทนต่อการเสียดสีสูงๆ และแม่พิมพ์พลาสติกที่ต้องการความต้านทานต่อการสึก หรอมากๆ เช่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปไฟเบอร์กลาส

ลักษณะเด่น (Significant Characteristics)

- มีความต้านทานต่อการสึกหรอสูงมาก
- ชุบแข็งได้ลึกมาก
- มีความสามารถในการชุบแข็งสูงมาก
- รักษาคมตัดให้มีอายุการใช้งานยาวนาน
- ต้านทานการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูงได้ดี

1) ลูกกรีด (Roller) เป็นตัวรีดชิ้นงานให้แนบกับเมนเดล ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 รูปทรงของลูกกรีด

สำหรับการกำหนดค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลูกกรีด (D_r) และรัศมีโค้งมนลูกกรีด (P_r) สามารถหาได้จากสมการการคำนวณตามทฤษฎีของ O.Music [3] มีสูตรการคำนวณดังนี้

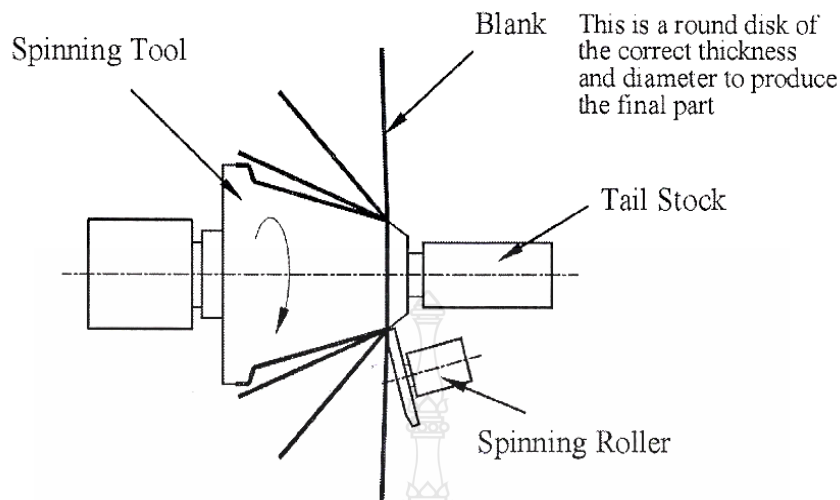
$$D_r = 0.1 D_0 + 120 \pm 60 \text{ (mm)} \quad (2.2)$$

$$P_r = (0.012 \sim 0.05) D_0 \text{ (mm)} \quad (2.3)$$

เมื่อ D_0 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานเดิม

2) แม่พิมพ์หมุนขึ้นรูป (Mandrel) เป็นตัวกำหนดรูปทรงของผลิตภัณฑ์ทำจากวัสดุที่ไม่ต้องการความแข็งแรงมากนัก ดังแสดงในรูปที่ 2.1

3) เรงกดจับชิ้นงาน เกิดจากยื่นศูนย์ชิ้นงาน (Tail stock) เป็นตัวทำหน้าที่กดแผ่นชิ้นงานให้หมุนตามไปกับแม่พิมพ์หมุนขึ้นรูป (Mandrel) โดยที่ยันศูนย์ของชิ้นงานจะหมุนตามแผ่นชิ้นงานไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ลักษณะของแรงกดจับชิ้นงาน (Tail Stock)

2.3 อลูมิเนียม

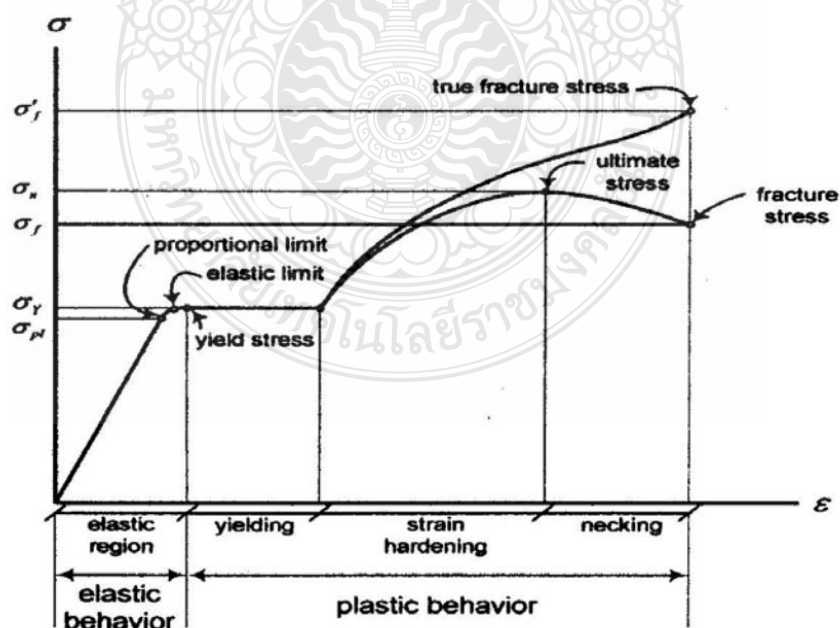
อลูมิเนียมมีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงสูง จึงนำไปใช้ทำเครื่องใช้ต่างๆ เช่น เครื่องบิน ยานอวกาศ จรวด ขีปนาวุธ เป็นวัสดุก่อสร้าง เช่น ท่อ แผ่นหลังคา กรอบโครงหน้าต่าง ประตูบันได ในวงการอุตสาหกรรมใช้ทำถังภาชนะและถังบรรจรถทุกเคมีภัณฑ์ และน้ำมันในวงการไฟฟ้าใช้ทำสายเคเบิลไฟฟ้าแรงสูง อลูมิเนียมบริสุทธิ์ ใช้ทำแผ่นสะท้อนในเฟลต ถ่ายรูปงานสะท้อนแสงในโคมไฟ ไฟหน้ารถยนต์ นอกจากนี้อลูมิเนียมยังใช้ทำโลหะผสม เช่น โลหะ Alnico ซึ่งเป็นโลหะแม่เหล็ก นิยมใช้ทำลำโพงวิทยุ แม่เหล็กที่ประสมอลูมิเนียมสามารถชุบผิวให้แข็งด้วยกรรมวิธี Nitriding แผ่นอลูมิเนียมที่รีดบางๆ เรียกว่า Aluminum foil เช่น ซองห่อบุหรี่ และใช้เป็นวัสดุหีบห่อเพื่อความสวยงาม และทำคอนเดนเซอร์วิทยุ อลูมิเนียมมีประโยชน์มากมายเห็นได้ทั่วไปนอกจากที่กล่าวมาแล้วยังใช้ทำภาชนะหุงต้มและหีบห่อเช่น หม้อ กระทะ ถาด จาน ช้อน กะละมัง แก้ว เป็นต้น อลูมิเนียมบริสุทธิ์มีเม็ดเกรนละเอียดลงสม่ำเสมอดีมาก โอกาสที่จะถูกกัดกร่อนด้วยสาเหตุจากเม็ดเกรนในโลหะนั้นไม่มีเลยยิ่งกว่านั้นบนผิวจะมีฟิล์มอลูมิเนียมออกไซด์บางๆ ติดอยู่ซึ่งเป็นฟิล์มที่

2.4 สมบัติทางกลของวัสดุ

ทฤษฎีในการวิเคราะห์พฤติกรรมเชิงกลของโลหะวัสดุแผ่น (Sheet metal) พฤติกรรม การเปลี่ยนรูปในช่วงถาวร (Plasticity) และพฤติกรรมเปลี่ยนรูปในช่วงยืดหยุ่น (Elasticity) เมื่อวัสดุ

ซึ่งได้รับแรงกระทำจะเกิดการเปลี่ยนรูปถ้านำแรงที่กระทำออก วัสดุจะคืนตัวเล็กน้อย เมื่อไม่ได้รับแรงกระทำ ในส่วนพฤติกรรมเปลี่ยนรูปถาวรเมื่อวัสดุได้รับแรงกระทำจนวัสดุเลยจุดคราก (Yield point) ถ้านำแรงที่กระทำออกวัสดุจะไม่กลับคืนตัว วัสดุจะเกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร สมบัติทางกลที่สำคัญอันหนึ่งซึ่งจะมีผลต่อการขึ้นรูปของวัสดุโลหะแผ่นคือ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด (True stress-strain relation) ซึ่งในกรณีที่ใช้กฎยกกำลัง (Power Law) จะต้องหาค่าสมบัติของค่า Strength coefficient (K) และ Strain hardening exponent (n) โดยค่า n เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการขึ้นรูป ถ้าวัดค่า n มีค่ามากจะทำให้โลหะแผ่นมีความสามารถในการขึ้นรูปดี และค่าสมบัติที่ไม่เท่ากันทุกทิศทางในแนวระนาบ (Planar anisotropy) ซึ่งค่าที่สำคัญคือค่า R (r -value) หรือ (Plastic strain ratio) หาได้จากสัดส่วนความเครียดในแนวความกว้างกับความเครียดในแนวความหนา ซึ่งค่า R เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในด้านความต้านทานการหดตัวในแนวความหนา เนื่องจากเหล็กแผ่นผ่านการรีดมาทำให้อนุภาคภายในมีทิศทางตามแนวรีด ส่งผลให้ความสามารถในการยึดหดตัวของเหล็กแผ่นแตกต่างกัน ดังนั้นในการหาค่า R จำเป็นต้องหาอย่างน้อย 3 แนว คือค่า R ในทิศตามแนวรีดทิศ 45° กับแนวรีด และทิศทางตั้งฉากกับแนวรีด ถ้าวัดค่า R แตกต่างกันมาก จะทำให้ขอบของชิ้นงานหลังการขึ้นรูปยาวไม่เท่ากันหรือการเป็นคลื่นที่ขอบชิ้นงาน (Earing) [8]

2.4.1 ทฤษฎีในการเปลี่ยนรูปช่วงยืดหยุ่น (Elastic theory) เมื่อวัสดุได้รับแรงดึงจะทำให้วัสดุเกิดการยืดตัวซึ่งสามารถแบ่งพฤติกรรมการยืดตัวออกเป็น 2 ส่วน หลัก ๆ คือ การเปลี่ยนรูปในช่วงยืดหยุ่นหรือช่วงอีลาสติกและการเปลี่ยนรูปถาวรหรือช่วงพลาสติก ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 พฤติกรรมเปลี่ยนรูปของวัสดุ [9]

สมบัติของวัสดุที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งเขียนอยู่ในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจริง (True stress-true strain curve) หรือเรียกอีกชื่อว่า (Flow curve) ซึ่งมีลักษณะเป็นเชิงเส้น (Linearity) หรือไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linearity) โดยมีความสำคัญในการนำมาใช้ ในการคำนวณ เพื่อช่วยให้ทำนายผลได้ถูกต้องแม่นยำ ในการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะกำหนดให้วัสดุของแบบจำลองมีสมบัติเท่ากันทุกทิศทาง (Isotropy) ซึ่งจะแตกต่างจากพฤติกรรมของวัสดุจริงเนื่องจาก วัสดุจริงมีการเรียงตัวของผลึกไม่เท่ากันทุกทิศทางทำให้วัสดุมีสมบัติแบบ Anisotropy โดยที่กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจริงของวัสดุสามารถหาได้จากการทดสอบดึง (Uni-axial tension test) หรือการทดสอบกด (Compression test) ในการทดสอบแรงดึงขึ้นทดสอบชนิดหน้าตัดกลมหรือชนิดหน้าตัดสี่เหลี่ยมจะถูกแรงกระทำโดยการดึงหรือกดเพิ่มแรง (F) อย่างช้า ๆ และควบคุมความเร็วให้ขึ้นทดสอบเปลี่ยนรูปอย่างสม่ำเสมอตามแนวแกน แล้ววัดค่าแรงและระยะการเปลี่ยนรูปของขึ้นทดสอบ จนกระทั่งขึ้นทดสอบเกิดความเสียหายหรือขาดออกจากกัน ผลการทดสอบที่ได้จะนำไปหาสมบัติเชิงกลของวัสดุขึ้นทดสอบ ซึ่งความเค้นที่เกิดภายในวัสดุสามารถหาได้ โดยนำแรงภายนอก F_i ในแต่ละช่วงของการทดสอบหารด้วยพื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นของชิ้นงาน [9]

$$\sigma = \frac{F_i}{A_o} \quad (2.4)$$

โดย F_i คือ แรงดึงหรือโหลด A_o คือพื้นที่หน้าตัดเดิมของขึ้นทดสอบ และ σ คือความเค้นเฉลี่ยหรือความเค้นเชิงวิศวกรรม (Engineering stress) ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด A_o

สำหรับความเครียดเชิงวิศวกรรม (Engineering strain) สามารถคำนวณได้จากความยาวที่เปลี่ยนไปหารด้วยความยาวเดิมของขึ้นทดสอบ

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} = \frac{L_i - L_o}{L_o} \quad (2.5)$$

โดย ΔL คือ ความยาวที่เปลี่ยนไป L_o คือความยาวเดิมของขึ้นทดสอบ L_i คือความยาวขณะใดขณะหนึ่งและ ε คือความเครียดเฉลี่ย เป็นความเครียดเชิงวิศวกรรม ซึ่งมีทิศทางเดียวกับทิศทางของแรง F ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดที่ได้จากการคำนวณโดยใช้พื้นที่หน้าตัดและความยาวเดิมของขึ้นทดสอบเรียกว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดเชิงวิศวกรรม (Engineering stress-strain curve) ซึ่งในการทดสอบจริง ในขณะที่ระดับ

ความเค้น ในชิ้นงานทดสอบเพิ่มเลยความเค้นคราก พื้นที่หน้าตัดและความยาวของชิ้นงานทดสอบจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องจนเกิดคอคอดและขาดออกจากกันในที่สุด ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดสามารถหาได้โดยใช้พื้นที่หน้าตัดและความยาวที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละขณะ ซึ่งเรียกว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นจริงและความเครียดจริง (True Stress true strain curve)หรือเรียกอีกชื่อว่า (Flow curve) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของวัสดุในช่วงการเปลี่ยนรูปถาวร ถ้า $\tilde{\sigma}$ เป็นความเค้นจริงและ $\tilde{\epsilon}$ เป็นความเครียดจริง

$$\tilde{\sigma} = \frac{F_i}{A_i} = \sigma \left(\frac{A_o}{A_i} \right) \quad (2.6)$$

โดย A_i คือพื้นที่หน้าตัดใด ๆ A_o คือพื้นที่หน้าตัดเริ่มต้น σ คือความเค้นเฉลี่ย F_i คือแรงดึงที่กระทำบนชิ้นทดสอบ สำหรับความเครียดจริง $\tilde{\epsilon}$ สามารถหาได้โดยพิจารณาที่ความยาวใดๆ ที่เพิ่มขึ้นซึ่งหาได้จากการ อินทิเกรตความยาว dL_i ใด ๆ

$$\tilde{\epsilon} = \int_{L_o}^{L_i} \frac{dL_i}{L_i} = \ln \frac{L_i}{L_o} \quad (2.7)$$

ในกรณีการขึ้นรูปโลหะมีปริมาตรก่อนและหลังการขึ้นรูปจะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ดังนั้น จะสมมุติให้ปริมาตรไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งก่อนและหลังการขึ้นรูปทำให้มีปริมาตรเท่าเดิม

$$A_o L_o = A_i L_i \quad (2.8)$$

$$\frac{A_o}{A_i} = \frac{L_i}{L_o} = \frac{L_o + \Delta L}{L_o} = 1 + \epsilon \quad (2.9)$$

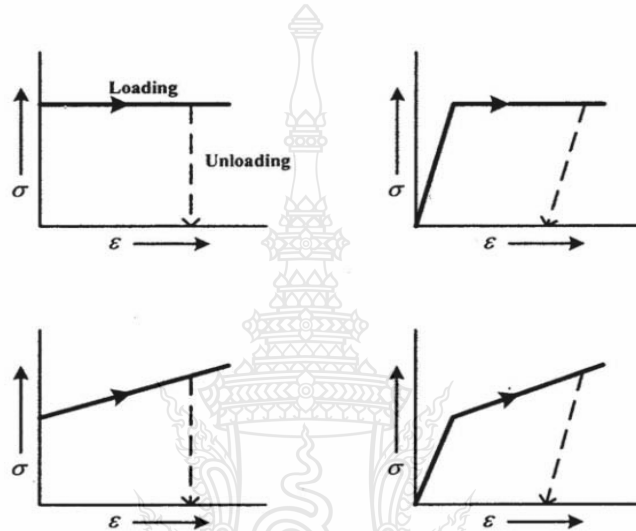
ดังนั้นความเค้นจริงและความเครียดจริง โดยสมมุติฐานให้ปริมาตรก่อนและหลังการขึ้นรูปคงที่

$$\tilde{\sigma} = \sigma(1 + \epsilon) \quad (2.10)$$

$$\tilde{\epsilon} = \ln \frac{A_o}{A_i} = 2 \ln \frac{d_o}{d_i} \quad (2.11)$$

โดย d_i คือเส้นผ่านศูนย์กลางใด ๆ d_o คือเส้นผ่านศูนย์กลางเริ่มต้นของชิ้นงานทดสอบ

2.4.2 ทฤษฎีในการเปลี่ยนรูปถาวรหรือในช่วงพลาสติก (Plasticity Theory) ในการขึ้นรูปวัสดุโลหะแผ่นให้มีรูปทรงตามที่ต้องการจะต้องให้แรงกระทำกับวัสดุเพื่อให้วัสดุเปลี่ยนรูปอย่างถาวร ผลจากการทดสอบการดึงวัสดุพบว่าพฤติกรรมของวัสดุแบ่งได้เป็นสองช่วงคือ ช่วงยืดหยุ่นและช่วงเปลี่ยนรูปอย่างถาวรหรือช่วงพลาสติกพฤติกรรมเหล่านี้ อยู่ด้วยกันหลายลักษณะซึ่งสามารถแสดงด้วยแบบจำลอง (Model) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แบบจำลองพฤติกรรมระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุ [9]

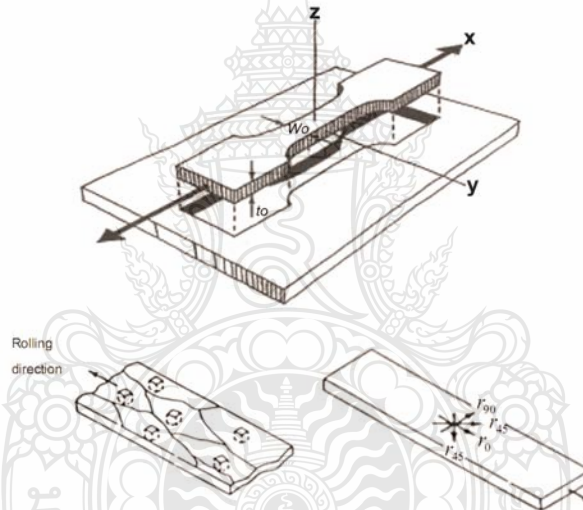
ในการพิจารณาการเปลี่ยนรูป จะใช้เกณฑ์การคราก (Yield criterion) เป็นเกณฑ์ที่จะกำหนดการเปลี่ยนรูป จากอริสติกไปเป็นพลาสติก และทฤษฎีพื้นฐานที่นิยมใช้ในการทำนายการครากตัวของโลหะแผ่นคือทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด (Treska yield theory) ทฤษฎีฟอนมิสเซส (Von misses theory) และทฤษฎีของฮิล (Hill theory) ในส่วนของทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดและทฤษฎีของฟอนมิสเซสจะมีข้อสมมุติฐานว่าวัสดุมีสมบัติทางกลเท่ากันทุกทิศทาง (Isotropy) ส่วนทฤษฎีของฮิล จะพิจารณาอิทธิพลของโลหะที่ผ่านการรีด (Anisotropy) ในการใช้กฎเกณฑ์การครากสำหรับการวิเคราะห์ชิ้นงานนี้จะใช้ทฤษฎีการครากของฮิล ทฤษฎีนี้เหมาะสำหรับวัสดุโลหะแผ่นที่มีสมบัติแอนไอโซทรอปิก [9]

2.4.3 พลาสติกแอนไอโซทรอปิก (Plastic anisotropy) สาเหตุที่สำคัญมากที่สุดซึ่งทำให้โลหะมีสมบัติพลาสติกแอนไอโซทรอปิกก็คือทิศทางของเกรนทิศทางที่เป็นไปหรือเนื้อของรูปผลึกที่พัฒนาขึ้นในเหล็กล้วนเกิดจากการหมุนของแลตทิซในเกรนระหว่างการเปลี่ยนรูป โดยการสลิปหรือการทวิน (Twinning) พฤติกรรมเปลี่ยนรูปของชิ้นทดสอบการดึงที่เป็นแผ่นแถบ ตัดออกมา

จากแผ่นรีด เมื่อได้รับแรงดึงในแนวแกน สามารถเกิดการครากได้เฉพาะโดยการสลิบในระนาบความต้านแรงดึงครากของชั้นทดสอบที่ตัดทำมุม θ กับทิศทางการรีดไม่แปรผันกันมากนัก ผลสรุปอย่างผิดพลาดว่าวัสดุเป็นไอโซทรอปิก ความผิดพลาดอาจเกิดขึ้นได้ถ้าวัดความดึงเครียดในแนวขวางซึ่งเป็นผลมากจากการดึง ถ้าทิศทางเป็นอุดมคติ ความหนาไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก การยึดในแนวยาวมีผลทำให้ความกว้างชั้นทดสอบลดลง [10]

พารามิเตอร์ที่มีประโยชน์คืออัตราส่วน R ของความเครียดพลาสติกเมื่อ w และ t คือ ทิศทางความกว้างและความหนาของชั้นทดสอบการดึงตามลำดับดังนี้ $\varepsilon_w = \ln(w/w_0)$ และ $\varepsilon_t = \ln(t/t_0)$ สำหรับวัสดุไอโซทรอปิก $R = 1$

$$R = \frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_t} = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z} \quad (2.12)$$



รูปที่ 2.18 ชั้นทดสอบตามทิศทางการรีด [9]

รูปที่ 2.18 ในการวัดค่า R ถึงแม้ว่า มินิยามว่าเป็นอัตราส่วนของความเครียดในแนวกว้าง ε_w ต่อแนวหนาความเครียดในแนวหนา ε_t ไม่สามารถวัดได้อย่างแม่นยำบนแผ่นบาง เพราะฉะนั้นความเครียดในแนวหนามักหาได้จากการวัดความเครียดในแนวยาวและแนวกว้าง โดยใช้ปริมาตรคงตัว $\varepsilon_t = (\varepsilon_l + \varepsilon_w)$ เพื่อการวัดที่แม่นยำ ควรใช้ภาคตัดลดลงให้ค่อนข้างยาวมากเมื่อเทียบกับความกว้าง และภาคตัดทดสอบที่ใช้วัดค่า ε_l และ ε_w ควรอยู่ห่างจากบ่ามาก

บางครั้งค่า R ไม่แปรผันตามความเครียด เพราะฉะนั้น อัตราส่วนของความเครียดที่เพิ่มขึ้น $d\varepsilon_w / d\varepsilon_t = R$ ค่า R คงตัวมีความสำคัญเมื่อใช้ R ประเมินค่าคงตัวในเกณฑ์การครากไอโซทรอปิก

สำหรับเหล็กกล้าค่า R และโมดูลัสยืดหยุ่น E มักแปรผันคล้ายกันตามเนื้อรูปผลึก แม้ว่า สหสัมพันธ์พื้นฐานไม่แม่นยำ แต่ก็มีพื้นฐานสำหรับใช้กับเครื่องมือวัดเชิงอุตสาหกรรมขนาดเล็กซึ่ง วัดค่า E ของแผ่นแถบบางด้วย Sonic Velocity และปรับให้อ่านค่า R ได้ โดยปกติค่า R มักแปรผันตาม ทิศทางทดสอบ θ และมักใช้แสดงคุณลักษณะของวัสดุโดยค่า R เฉลี่ยคือ \bar{R}

$$\bar{R} = \frac{R_0 + 2R_{45^\circ} + R_{90^\circ}}{4} \quad (2.13)$$

2.4.4 ความเครียดแข็ง (Strain Hardening) ความเครียดแข็งเกิดขึ้นกับวัสดุที่มีคุณสมบัติ เหนียวที่ใช้ในงานขึ้นรูปเย็น เมื่อวัสดุได้รับแรงกระทำผ่านจุดครากตัวทำให้เกิดความเครียดสะสมขึ้น ภายในวัสดุ จึงต้องใช้แรงที่มากกว่าเดิมในการทำให้วัสดุเปลี่ยนรูปร่าง สำหรับการวิเคราะห์วัสดุแบบ อีลาสติก - พลาสติก ได้แสดงพฤติกรรมความเครียดแข็งของวัสดุ ดังนี้

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในช่วงการเปลี่ยนรูปยืดหยุ่น จะเป็นใน ลักษณะเชิงเส้นการเพิ่มขึ้นของแรงกระทำจะทำให้เกิดความเครียดเป็นสัดส่วนซึ่งหลักการนี้เป็นไป ตามกฎของฮุก (Hook's Law) [11]

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2.14)$$

เมื่อ σ คือ ค่าความเค้น

E คือ ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นหรือโมดูลัสของยัง

ε คือ ค่าความเครียด

สำหรับคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์การดึงขึ้นรูปในช่วงพลาสติก ครั้งนี้เป็นไปตามกฎยกกำลัง (Power law) [12]

$$\sigma = K\varepsilon^n \quad (2.15)$$

โดยที่ K คือ สัมประสิทธิ์ความต้านแรง (Strength coefficient)

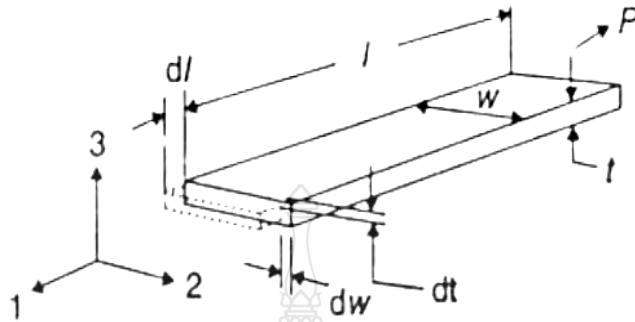
n คือ เลขยกกำลังของความเครียดแข็ง (Strain - hardening exponent)

สำหรับค่าตัวเลขยกกำลังหรือความเครียดแข็ง n และค่าสัมประสิทธิ์ความต้านแรง K สามารถหาได้โดยทำการใส่ค่า \log เข้าไปในสมการยกกำลังซึ่งทำให้สามารถได้สมการใหม่

$$\log \sigma = n \log \varepsilon + \log K \quad (2.16)$$

2.4.5 กระบวนการพื้นฐานของโลหะแผ่น และระนาบความเค้น (General sheet processes ; plan stress) รูปที่ 2.19 เป็นการทดสอบการดึงเป็นแนวทางการหาระนาบความเค้น (Plane stress) การทดสอบการดึงแกนเดียว (Uniaxial tension) คือการแสดงตัวอย่างของการเปลี่ยนรูปแบบ ระนาบความเค้น การดึงแกนเดียว (Uniaxial tension) ให้พิจารณาจุดเล็กๆ ในชิ้นทดสอบในการดึงให้ เปลี่ยนรูปแกนเดียวทำการทดสอบเริ่มจากการเปลี่ยนรูปที่ละน้อยจนถึงสูงสุดเราพิจารณาพื้นที่หน้าตัด

ระหว่างเปลี่ยนรูปลักษณะของจุดเล็กๆ (Element) ยังคงตั้งฉากแต่ละทิศทางไม่มีความเคลื่อนที่เกี่ยวกับทิศทางหลัก 1, 2, 3

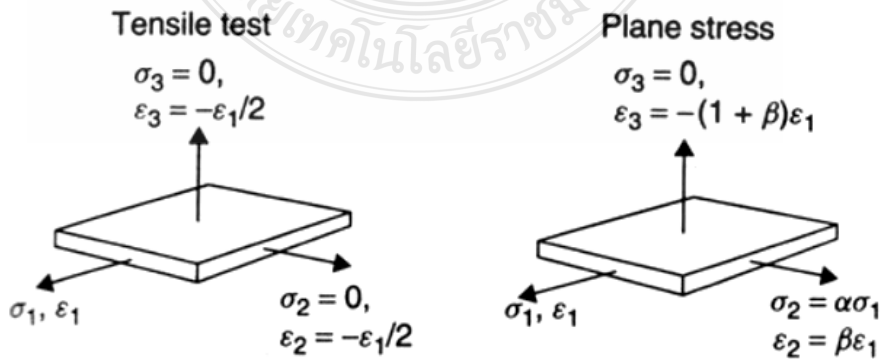


รูปที่ 2.19 ทิศทางหลักในการทดสอบแรงดึง [9]

ในทางตรงกันข้ามในการทดสอบการดึง 2 ความเค้นหลักมีค่า เป็นศูนย์ในลักษณะชิ้นส่วนเล็กๆ ที่เปลี่ยนรูปค่าความเค้น 1 และ 2 ไม่เท่ากับศูนย์ ความเค้น 3 คือตั้งฉากกับผิว แท้จริงเกิดจากการสัมผัสระหว่างแผ่นบางกับ Tooling โดยทั่วไปแล้วน้อยกว่าจุด Yield ของวัสดุ จะให้เป็นศูนย์ได้และให้เป็น Plane stress deformation [9]

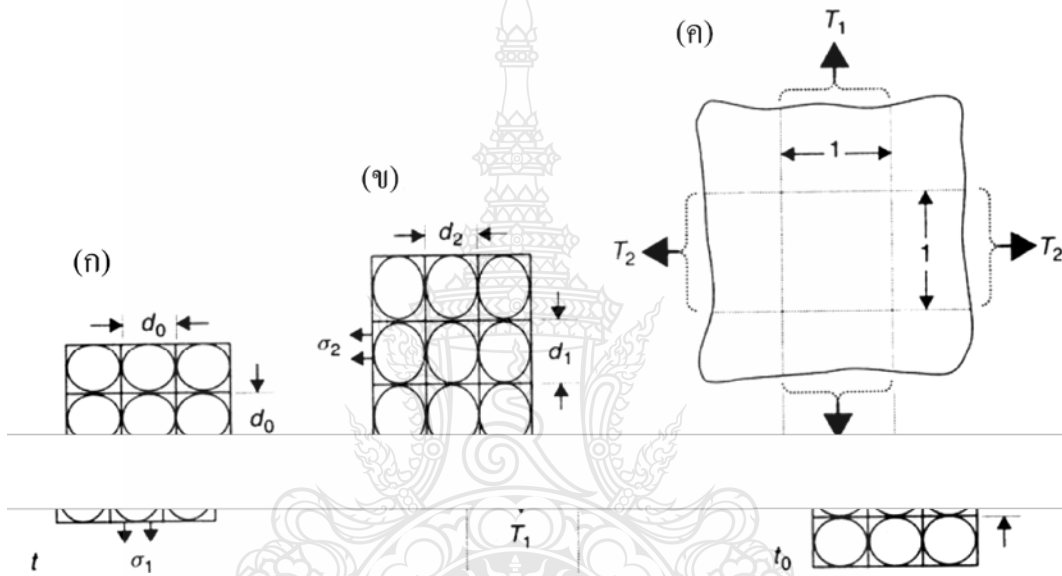
2.4.6 อัตราส่วนความเค้นและความเครียด (Stress and strain ratios) [2] ในความหมายเฉพาะที่กล่าวถึงการเปลี่ยนรูปของจุดเล็กๆ Element ในแต่ละเทอมของอัตราส่วนความเครียด (Strain ratio, β) หรืออัตราส่วนความเค้น (Stress ratio, α) สำหรับวิธี Proportional ค่าความจริงที่ใกล้เคียงที่สุด ดังรูปที่ 2.20 ในหลักทิศทางตั้งนั้นให้ $\sigma_1 > \sigma_2$ และทิศทางทั้งสามตั้งฉากกับพื้นผิว เมื่อ $\sigma_3 = 0$ ลักษณะการเปลี่ยนรูป

$$\begin{aligned} \varepsilon_1; \quad \varepsilon_2 = \beta \varepsilon_1; \quad \varepsilon_3 = -(1 + \beta) \varepsilon_1 \\ \sigma_1; \quad \sigma_2 = \alpha \sigma_1; \quad \sigma_3 = 0 \end{aligned}$$



รูปที่ 2.20 ทิศทางหลักของความเค้นและความเครียด [9]

2.4.7 การเปลี่ยนรูปของโลหะแผ่นในระนาบความเค้น (Deformation of sheet in plane stress) ในขณะที่มีการเปลี่ยนรูประดับระนาบความเค้น (Plane stress) พิจารณา (Work hardening) ของวัสดุ ซึ่งเข้ากำลังประยุกต์ใช้ทฤษฎีสัดส่วนการเปลี่ยนรูป ในรูปที่ 2.21 ลักษณะที่ยังไม่มีการเปลี่ยนรูปที่มีความหนา t_0 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง d_0 หรือตารางขนาด d_0 ดังรูปที่ 2.21 (ก) ดังนั้นในระหว่างการเปลี่ยนรูปวงกลมจะเปลี่ยนไปเป็นวงรี แกนของ Major คือ d_1 แกนของ Minor คือ d_2 ถ้าปรับตารางสี่เหลี่ยมให้เข้ากับทิศทางหลักของกริดวงกลม จะกลายเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังรูปที่ 2. 22 (ข) ส่วนความหนา คือ t ตามที่กรณี ดังรูปที่ 2.21 (ค) ความเค้นที่ทำให้เปลี่ยนรูปคือ σ_1 และ σ_2 [13]



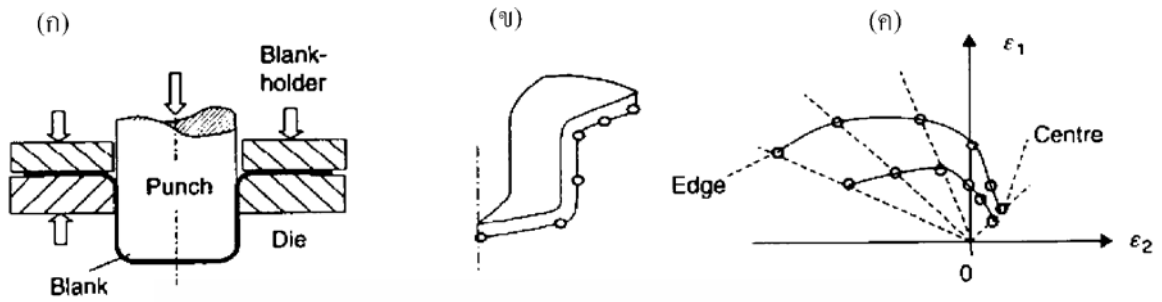
(ก) วงกลมบนโลหะแผ่น ขณะที่ยังไม่เปลี่ยนรูป

(ข) เมื่อมีการเปลี่ยนรูปกริดวงกลมจะเปลี่ยนเป็นรูปวงรี ขนาดของแกนหลักคือ d_1 และขนาดแกนรองคือ d_2

(ค) การดึง T หรือแรงส่งผ่านต่อหน่วยความกว้าง

รูปที่ 2.21 รูปกริดบนโลหะแผ่นขึ้นงาน [13]

2.4.8 แผนภาพความเครียด (Strain diagram) [9] ความเครียดเฉพาะจุดที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 2.22 สามารถวัดได้จากกริดวงกลมในรูปที่ 2.22



(ก) การขึ้นรูปด้วยทรงกระบอก

(ข) ชิ้นส่วนย่อยของถ้วยทรงกระบอกแสดงค่าความเครียดที่วัดได้

(ค) ผลค่าความเครียดที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยทรงกระบอก

รูปที่ 2.22 แผนภาพความเครียด (Strain diagram) [9]

2.4.9 ค่าความเครียดหลัก (Principal strains) [9] ความเครียดหลักที่เกิดขึ้นจุดสุดท้ายของกระบวนการ

$$\epsilon_1 = \ln \frac{d_1}{d_0} ; \quad \epsilon_2 = \ln \frac{d_2}{d_0} ; \quad \epsilon_3 = \ln \frac{t}{t_0} \quad (2.17)$$

2.4.10 อัตราส่วนของความเครียด (Strain ratio) [9] โดยปกติเส้นแนวความเครียด (Strain Path) ยังคงเป็นสัดส่วนเส้นตรง ดังสมการที่

$$\beta = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} = \frac{\ln \left(\frac{d_2}{d_0} \right)}{\ln \left(\frac{d_1}{d_0} \right)} \quad (2.18)$$

2.4.11 ความเครียดหนาและความหนา (Thickness strain and thickness) [9] จากสมการ 2.19 ความเครียดหาได้โดยการวัดความหนาหรือหาได้จากความเครียดหลัก (Major strain) ความเครียดรอง (Minor strain) โดยให้พิจารณาว่าการเปลี่ยนรูปที่ปริมาตรคงที่

$$\epsilon_3 = \ln \frac{t}{t_0} = -(1 + \beta)\epsilon_1 = -(1 + \beta)\ln \frac{d_1}{d_0} \quad (2.19)$$

จากสมการ 2.20 ความหนาโดยทั่วไป คือ

$$t = t_0 \exp(\epsilon_3) = t_0 \exp[-(1 + \beta)\epsilon_1] \quad (2.20)$$

หรืออีกแนวทางหนึ่งที่ปริมาตร $td_1d_2 = t_0d_0^2$ ที่ปริมาตรคงที่

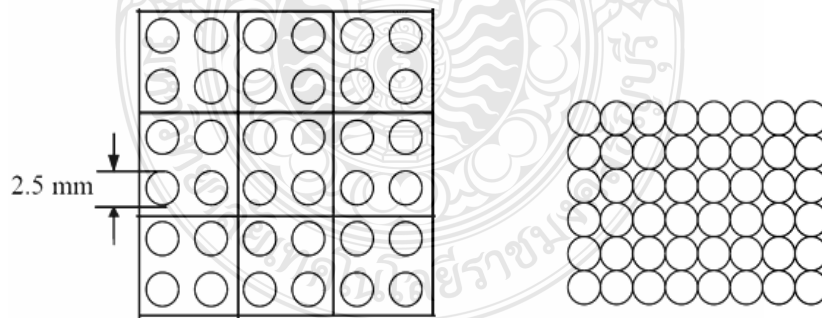
$$t = t_0 \frac{d_0^2}{d_1d_2} \quad (2.21)$$

การตีกริดและวิเคราะห์กริดวงกลม

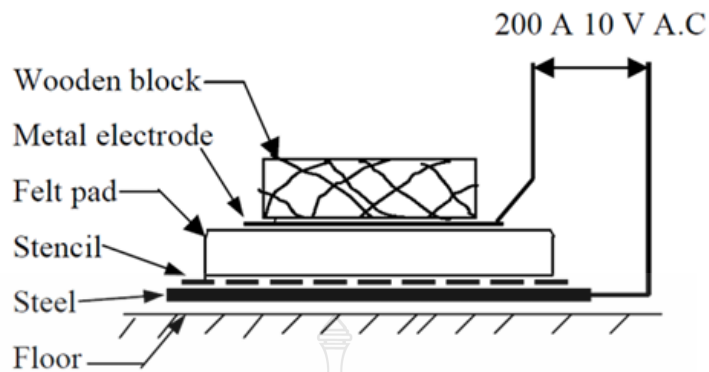
1) การตีกริดด้วยกระแสไฟฟ้า [3]

อาศัยตะแกรง (Stencil) เพื่อให้มันง่ายและใช้แรงดันของไฟฟ้าทำให้เกิดเป็นรูปแบบของแผ่นชิ้นงานที่ว่างเปล่ามีผ้าขนสัตว์ (Felt pad) วางทับลูกกลิ้งหรือแผ่นทับ (Wooden block) เดินซ้ำๆ ชุ่มกับสารประกอบที่แตกตัวเป็นอะตอมในสารละลายที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่อยู่วางทับทางด้านบนของความว่างแผ่น ตะแกรง และขั้วไฟฟ้าใช้กับแผ่นเหล็ก (Metal electrode) สารเข้าร่วมขั้วไฟฟ้าของแผ่นเหล็กกับอิเล็กโทรด สามารถปรับกระแสและแรงดันปรับจาก 15 ถึง 200 แอมแปร์ ขึ้นอยู่กับ ขนาดของตะแกรง และความหนาแน่นของเส้นบรรทัด หลังจากให้ทำผ้าขนสัตว์กับขั้วไฟฟ้าเดินซ้ำๆ จนสิ้นสุดแผ่นของแผ่นงาน

สารประกอบที่แตกตัวเป็นอะตอมในสารละลายที่เป็นตัวนำไฟฟ้าจะทำให้เคลื่อนผ่านตะแกรงและเข้ามาติดต่อบนแผ่นเหล็กของชิ้นงาน การตีกริดโดยใช้กรดให้กัดกร่อน (Electrochemically) ผ่านผ้าสักหลาดที่ต้องเป็นตัวกลางผ่านสารละลายไปยังแผ่นโลหะ [2] ดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.23 รูปแบบของกริดวงกลม [14]



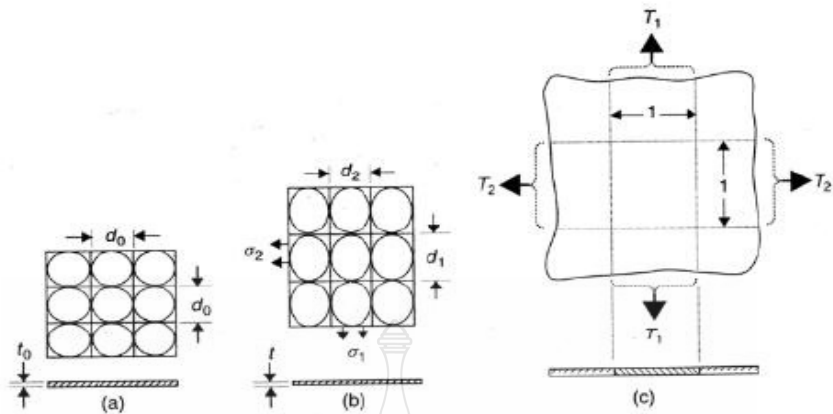
รูปที่ 2.24 อิเล็กโทรไลต์ [2]

สารประกอบที่แตกตัวเป็นอะตอมในสารละลายที่เป็นตัวนำไฟฟ้าเหมาะสมของ สารประกอบที่แตกตัวเป็นอะตอมในสารละลายที่เป็นตัวนำไฟฟ้าควรจะเป็นซึ่งถูกใช้ป็นชนิดโลหะ โดยเฉพาะสารละลายเป็นด่างของสารประกอบที่แตกตัวเป็นอะตอมในสารละลายที่เป็นตัวนำไฟฟ้า จะมีส่วนผสมของสารละลายดังนี้

โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride)	: 80 กรัม
โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride)	: 90 กรัม
กรดไนตริก (Nitric acid)	: 100 มล.
กรดเกลือ (Hydrochloric acid)	: 100 มล.
น้ำ (Water)	: 4.5 ลิตร

1) การวิเคราะห์กริดวงกลม (Analysis of circle grid) [3]

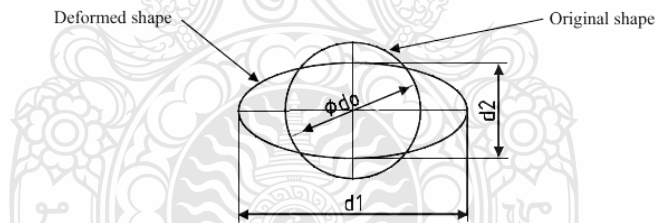
การเปลี่ยนรูปของโลหะแผ่น ในระนาบความเค้น (Deformation of sheet in plane stress) ในขณะที่มีการเปลี่ยนรูปบนระนาบความเค้น (Plane stress) พิจารณา (Work hardening) ของวัสดุ ซึ่งเขากำลังประยุกต์ใช้ทฤษฎีสัจจส่วนการเปลี่ยนรูป ลักษณะที่ยังไม่มีการเปลี่ยนรูปที่ความหนา t_0 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง d_0 หรือตารางขนาด d_0 ดังนั้น ในระหว่างการเปลี่ยนรูปวงกลมจะเปลี่ยนไปเป็นวงรี แกนหลัก (Major) คือ d_1 แกนรอง (Minor) คือ d_2 ถ้าปรับตารางสี่เหลี่ยมให้เข้ากับทิศทางหลักของกริดวงกลม จะกลายเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ส่วนความหนา คือ t ความเค้นที่ทำให้เปลี่ยนรูปคือ σ_1 และ σ_2 ดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกริด [3]

1) ความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain)

ความเครียดหลักและความเครียดรองที่เกิดขึ้นจุดสุดท้ายของกระบวนการเพื่อใช้ในการตรวจสอบกรณีของการเกิดแบบต่างๆ วิเคราะห์ในพื้นที่วิกฤตของชิ้นงานหลังจากทำการขึ้นรูป ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 การเปลี่ยนแปลงของกริดวงกลม [3]

ค่าความเครียดหลัก

(Major)

$$\varepsilon_1 = \ln \frac{d_1}{d_0} \quad (2.13)$$

ค่าความเครียดรอง

(Minor)

$$\varepsilon_2 = \ln \frac{d_2}{d_0} \quad (2.14)$$

ค่าความเครียดที่ความหนา

(Thickness strain)

$$\varepsilon_3 = \ln \frac{t_1}{t_0} \quad (2.15)$$

ค่าความเครียดเทียบเท่า

(Equivalent strain)

$$\bar{\varepsilon} = \sqrt{\frac{2}{3} (\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2)} \quad (2.16)$$

2.5 ตัวแปรในกระบวนการการผลิตการหมุนขึ้นรูป

ตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการผลิตการหมุนขึ้นรูปที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานหรือส่งผลต่อความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับชิ้นงานในกระบวนการหมุนขึ้นรูปหลักแล้วได้แก่ อัตราป้อน ความเร็วรอบ รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีด และ ลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกรีด ซึ่งตัวแปรที่กล่าวมานี้จะทำให้ประสบความสำเร็จในกระบวนการหมุนขึ้นรูป ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ที่ได้กล่าวมา

2.5.1 อัตราป้อน (Feed) การป้อนตัด หมายถึง ระยะทางการเดินป้อนมีดไปตามความยาวของชิ้นงาน ในแต่ละรอบของการป้อนตัดอาจพิจารณาความหนาของเศษตัดการป้อนตัด 0.2 มิลลิเมตร มีดถึงจะเคลื่อนที่ป้อนตัดงานเป็นระยะทาง 0.2 มิลลิเมตร ตามความยาวของงานหมุนไป 1 รอบ ถ้าชิ้นงานหมุน 10 รอบ ระยะทางของมีดจะเคลื่อนที่เป็นระยะทางเท่ากับ $10 \times 0.2 = 2$ มิลลิเมตร

2.5.2 ความเร็วรอบ (Speed) หมายถึง ความเร็วรอบของชิ้นงานหรือ ความเร็วรอบของเครื่องมือตัดที่หมุนได้ในเวลา 1 นาที มีหน่วยวัดเป็นรอบต่อนาที (Revolution per minute : RPM)

สูตรในการคำนวณ

$$\text{ความเร็วรอบ } (n) = \frac{v1000}{\pi d} \quad (2.17)$$

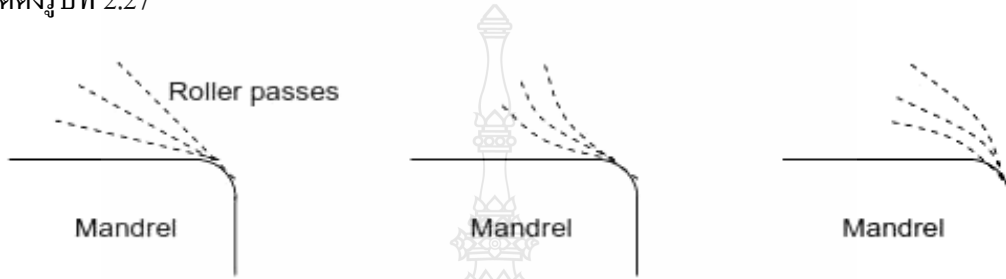
ความเร็วรอบ (n) = มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที

ความเร็วตัด (v) = มีหน่วยเป็นเมตรต่อนาที

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานกลึง (D) = มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

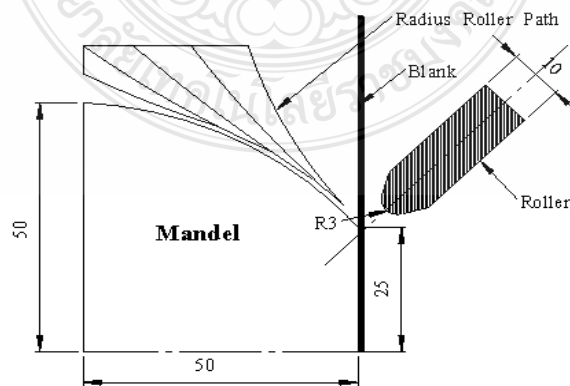
2.5.3 ลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกรีด (Roller tool path) ลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกรีดแบ่งเป็น 3 ลักษณะหลัก คือ การเคลื่อนที่แบบเส้นตรง (Linear) รูปที่ 2.27 (ก) การเคลื่อนที่แบบหมุนโค้งออก (Concave) รูปที่ 2.27 (ข) และการเคลื่อนที่แบบหมุนโค้งเข้า (Convex) รูปที่ 2.27 (ค) ผลการ

เคลื่อนที่ของลูกรีดมีผลกระทบต่อแรงที่เกิดขึ้นขณะรีด และ ความหนาที่เปลี่ยนไปหลังการหมุนขึ้นรูป การเคลื่อนที่ของลูกรีดแบบ หมุนตามเข็มนาฬิกา ใช้แรงในการเคลื่อนที่ขณะหมุนขึ้นรูปสูงสุดของ ลักษณะการเคลื่อนที่ทั้งหมด ส่วนการเคลื่อนที่แบบ หมุนทวนเข็มนาฬิกา พบว่าแนวโน้มของการ เปลี่ยนแปลงความหนาต่ำสุด และรัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดมีผลต่อความหนาชิ้นงาน กล่าวคือ รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดเพิ่มขึ้นแนวโน้มของความหนาและแรงจะเปลี่ยน ไป ลักษณะการเดินของ ลูกรีดดังรูปที่ 2.27



(ก) การเคลื่อนที่แบบเส้นตรง (ข) การเคลื่อนที่แบบหมุนโค้งออก (ค) การเคลื่อนที่แบบหมุนโค้งเข้า
รูปที่ 2.27 ลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกรีด (Roller path and passes)

2.5.4 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีด (Radius roller path) คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ของลูกรีด ขณะทำการรีดชิ้นงาน ที่เกิดจากการโน้มชิ้นงานในแต่ละครั้ง โดยที่รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีด ส่งผล ต่อแรงในการหมุนขึ้นรูป เวลาในการหมุนขึ้นรูป ความหนา ความเครียดและความแข็งของชิ้นงาน หลังการหมุนขึ้นรูป ซึ่งพบว่าเมื่อรัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงที่ใช้ในการหมุนขึ้นรูป สูงขึ้นแต่ความหนามีการเปลี่ยนแปลงน้อย แต่ในทางตรงกันข้ามเมื่อรัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดลดลง ส่งผลให้ความหนามีการเปลี่ยนแปลงมาก สังเกตได้จากรูปที่ 2.28 แสดงรัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีด ในรัศมีที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.28 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีด

2.5.5 สารหล่อลื่น Oil-form tdn 81 [24] เป็นพวก EP (Extreme pressure oil) เป็นน้ำมันผสมไขมัน วิธีการใช้จะไม่ผสมกับน้ำ โดยทาลงบนชิ้นงานที่มีผิวสะอาด ใช้สำหรับเหล็กกล้าโรสนิม และโลหะผสมนิ กเกิลสูง สำหรับเหล็กกล้าที่ทำการลากขึ้นรูปลึกได้ยาก เช่น โลหะผสมนิ กเกิลโครเมียมสูง ไนโมนิค และไดคาเนียม และจะเหมาะสมกับอลูมิเนียมผสมด้วย เมื่อใช้ในงานลากขึ้นรูปลึก จะไม่มีรอยขีดข่วน ง่ายต่อการใช้งาน ง่ายต่อการทำความสะอาด ทำให้ผิวชิ้นงานหลังขึ้นรูปดีขึ้น

ข้อมูลจำเพาะ ลักษณะน้ำมันจะมีสีใสเหลืองอ่อนความหนาแน่น ณ 15.5 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.190 กรัม/ลูกบาศก์ลิตร ความหนืด ณ 20 องศาเซลเซียส เท่ากับ 812 มิลลิเมตร²/วินาที ณ 50 องศาเซลเซียส เท่ากับ 83 มิลลิเมตร²/วินาที จุดวาบไฟ มากกว่า 177

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

B.Avitzur.andC.T.Yang [1] ศึกษาถึงผลของรูปทรงของกรวยและลูกกลิ้งในกระบวนการหมุนขึ้นรูปเฉือน (Shear spinning) ซึ่งความหนาของกรวยเป็นไปตามกฎของซายน์ลอว์ (Sine law) $t_f = t_0 \sin \alpha$ และคำนวณหาแรงสปินนิ่งในแนวเส้นสัมผัสจากอัตราความเครียด และสนามความเค้น เปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงให้ผลออกมาดี และสรุปผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อแรงสปินนิ่งในแนวเส้นสัมผัสดังนี้

ก) แรงสปินนิ่งในแนวเส้นสัมผัสเป็นส่วนเชิงเส้นกับความเค้นคราก และความหนาของแผ่นชิ้นงาน

ข) การเพิ่มอัตราป้อนจะทำให้แรงสปินนิ่งในแนวเส้นสัมผัสเพิ่มขึ้นด้วย

ค) มุมกรวยที่ใหญ่ขึ้นทำให้แรงสปินนิ่งในแนวเส้นสัมผัสลดลง

ง) การเพิ่มรัศมีนลูกกลิ้งแทบจะไม่มีผลต่อแรงสปินนิ่งในแนวเส้นสัมผัส

L.Wang, H.Long [2] ได้ศึกษาการลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกกรีด 4 ลักษณะ โดยทำการศึกษาการเดินของลูกกรีดแบบผสมระหว่าง แบบหมุนทวนเข็มนาฬิกาตามเข็มนาฬิกา (Combined concave and convex) หมุนตามเข็มนาฬิกา (Concave) หมุนทวนเข็มนาฬิกา (Convex) และ การเคลื่อนที่แบบเส้นตรง (Linear) ผลการเคลื่อนที่ของลูกกรีดมีผลกระทบต่อแรงที่เกิดขึ้นขณะรีด ความหนาที่เปลี่ยนไปหลังการหมุนขึ้นรูป ผล ปรากฏว่าการเคลื่อนที่ของลูกกรีดแบบ หมุนตามเข็มนาฬิกา ใช้แรงในการเคลื่อนที่ขณะหมุนขึ้นรูปสูงสุดของลักษณะการเคลื่อนที่ทั้งหมด ส่วนการเคลื่อนที่แบบ หมุนทวนเข็มนาฬิกา พบว่าแนวโน้มของการ

เปลี่ยนแปลงความหนาต่ำสุด และรัศมีในการเคลื่อนที่ของลูกรีดมีผลต่อความหนาชิ้นงาน กล่าวคือ รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดเพิ่มขึ้นแนวโน้มของความหนาจะเปลี่ยนแปลง

H.C.Sortais S.Kobayashi and E.G.Thomsen [3] ศึกษาความหนาของถ้วยที่เปลี่ยนแปลงในการสปinningกรวยอะลูมิเนียม และสร้างสมการหาแรงสปinningในแนวเส้นสัมผัสขึ้นมาจากวิธีงานอุดมคติ โดยสมมุติว่าไม่เกิดการย่นในระหว่างการขึ้นรูป จากผลการศึกษาพบว่าความเค้นในแนวรัศมีเป็นสาเหตุให้เกิดความหนาของถ้วยไม่คงที่ และหาแรงสปinningในแนวเส้นสัมผัสที่ได้จากทฤษฎีกับการทดลองออกมาดีที่ความหนาของอะลูมิเนียม 0.05 นิ้ว และออกมาไม่ดีที่ความหนาของอะลูมิเนียม 0.088 นิ้ว

M.M.EI-Khabeery M.Fattouh; M.N.EI-Sheikh and O.A.Hamed [4] ทดลองสปinningรูปถ้วยอะลูมิเนียมทรงกระบอกเพื่อศึกษาถึงผลกระทบจากมุมลูกกลิ้ง อัตราการป้อน และ รัศมีมุมลูกกลิ้ง ที่ทำให้อัตราส่วนการสปinning (Spinning ratio) สูงสุด ความกลม (Roundness) ความหยาบผิว (Surface roughness) และแรงในการสปinningเกิดการเปลี่ยนแปลงในสภาพแห้งและความหนาถ้วยเท่ากับความหนาเดิมของแผ่นชิ้นงาน จากผลทดลองสรุปได้ว่า เมื่อลดมุมลูกกลิ้งทำให้ความหนาของถ้วยเบี่ยงเบนจากความหนาเดิมของแผ่นชิ้นงานน้อยลงความกลมของชิ้นงานเพิ่มขึ้น ผิวถ้วยเรียบขึ้น อัตราส่วนการสปinningสูงสุดเพิ่มขึ้น และใช้แรงในการสปinningเพิ่มขึ้น เมื่อลดอัตราป้อนทำให้ถ้วยมีความกลมของถ้วยเพิ่มขึ้น อัตราส่วนการสปinningสูงสุดเพิ่มขึ้นและใช้แรงการสปinningเพิ่มขึ้น การเพิ่มรัศมีมุมลูกกลิ้งทำให้ความหนาของถ้วยเบี่ยงเบนจากความหนาเดิมของแผ่นชิ้นงานแรงในการสปinningและความกลมของถ้วยเพิ่มขึ้น แต่อัตราส่วนการสปinningสูงสุดกลับลดอัตราส่วนการสปinningสูงสุดมีค่าเท่ากับ 1.9 เมื่อใช้มุมลูกกลิ้งเท่ากับ 30 และ 40 องศา

Serope [5] ศึกษาการลดความหนาของโลหะให้มากที่สุดที่ไม่ทำให้ชิ้นงานฉีกขาดในระหว่างการสปinning เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับผลการทดลองจริงให้ผลออกมาสอดคล้องกันดี ผลที่ได้พบว่าการเปลี่ยนแปลงของรัศมีมุมลูกกลิ้ง ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกกลิ้งและความเร็วในการหมุนของแม่พิมพ์สปinningไม่ทำให้ความสามารถในการลดความหนาของชิ้นงานเปลี่ยนแปลงไป แต่ความสามารถในการลดความหนาของชิ้นงานในการสปinningขึ้นอยู่กับความแข็ง -อ่อน ของโลหะแต่ละชนิด

WANG, LIN [16] ศึกษาการเปลี่ยนรูปของวัสดุและความเสียหายของวัสดุในกระบวนการหมุนขึ้นรูปแบบธรรมดาพบว่าการหมุนขึ้นรูปที่ประสบผลสำเร็จของแผ่นอะลูมิเนียมใช้อัตราป้อนที่ 0.6 มิลลิเมตรต่อรอบ ความเร็วรอบที่ 500 รอบต่อนาที

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

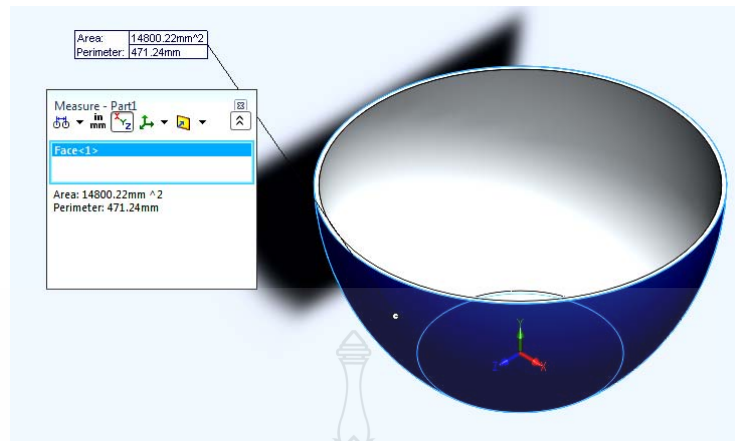
การดำเนินการวิจัยเพื่อทดสอบหาอิทธิพลของตัวแปรในการหมุนขึ้นรูปซึ่งประกอบด้วย ความเร็วรอบ รัศมีการเคลื่อนของลูกรีด และอัตราป้อนในการหมุนขึ้นรูป จะใช้วิธีทดสอบการหมุนขึ้นรูปซึ่งงานมีลักษณะเป็นถ้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้นถ้วย 50 มิลลิเมตรปากถ้วย 70 มิลลิเมตร จากแผ่นอลูมิเนียมเกรด AA-1100 เส้นผ่านศูนย์กลาง 135 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องกลึงอัตโนมัติ (CNC Turning machine) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถควบคุมความเร็วรอบอัตราการป้อน ลักษณะและรัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดได้ซึ่งมีความเที่ยงตรงและความแม่นยำสูง

3.1 การเตรียมการทดสอบ

ในงานวิจัยนี้มีการทดสอบก่อนทำการทดลองจริง เพื่อใช้ในการหาข้อมูลเพื่อกำหนดค่าตัวแปรที่ไม่ใช่ตัวแปรทดสอบให้มีค่าเหมาะสม และเพื่อใช้ในการกำหนดค่าตัวแปรทดสอบซึ่งประกอบไปด้วย ความเร็วรอบ รัศมีการเคลื่อนที่ และอัตราป้อน ให้เหมาะสมทั้งนี้เพื่อลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ในขณะทำการทดสอบจริง

3.1.1 การหาขนาดแผ่นวัสดุ (Blank size)

การหาขนาดแผ่นวัสดุ (Blank size) ได้คำนวณหาขนาดชิ้นงานก่อนทำการหมุนขึ้นรูป ซึ่งได้มาจากการคำนวณพื้นที่ผิวของแม่พิมพ์หมุนขึ้นรูป โดยใช้โปรแกรมในการคำนวณ แสดงดังรูปที่ 3.1 แล้วนำมาหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานตามสมการ $A = \pi d^2 / 4$ ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานเริ่มต้นเท่ากับ 132 มิลลิเมตร ในที่นี้จะเผื่อขนาดแผ่นวัสดุเล็กน้อยจึงเลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 135 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.1 แสดงการคำนวณหาพื้นที่ของแผ่นวัสดุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CAD.

3.1.2 การหาส่วนผสมทางเคมีของวัสดุ (Blank size)

การหาส่วนผสมทางเคมีและสมบัติทางกลของวัสดุอลูมิเนียมเกรด AA-1100 ได้จากการใช้เครื่องทดสอบและวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีแบบ Optical Emission Spectrometer และการทดสอบสมบัติทางกลด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงและเครื่องทดสอบความแข็ง ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีและสมบัติทางกลของวัสดุอลูมิเนียม AA-1100 (ร้อยละ โดยน้ำหนัก %)

Al	Si	Fe	Mn	Zn	Cu	อื่นๆ
99.0	1.0	1.0	0.05	0.10	0.05 – 0.20	0.05

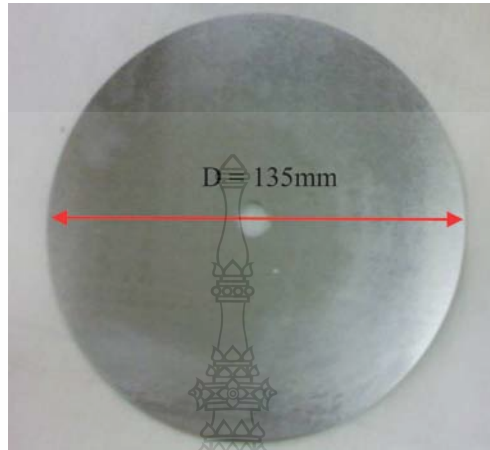
ตารางที่ 3.2 สมบัติเชิงกลแผ่นอลูมิเนียม เกรด AA-1100 ความหนา 1.2 มิลลิเมตร

Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)	Hardness (HB)	Shear Strength (MPa)
90	34	23	62

3.1.3 การเตรียมแผ่นวัสดุ (Blank size)

การเตรียมแผ่นวัสดุสำหรับการทดสอบให้มีความเหมาะสมสำหรับการทดลอง จะต้องดำเนินการดังต่อไปนี้

1) นำวัสดุชิ้นงานทดลองอลูมิเนียมแผ่นรีด AA-1100 มาทำการตัดและกลึงให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 135 มิลลิเมตร และความหนา 1.2 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ชิ้นงานเริ่มต้น (Blank size) ได้กำหนดหาขนาดชิ้นงานก่อนทำการหมุนขึ้นรูป ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 135 มิลลิเมตร ที่ใช้ในการทดลอง

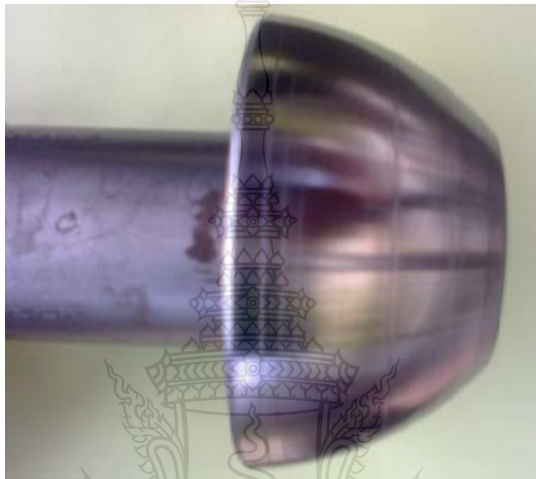
2) เตรียมแผ่นชิ้นงานอลูมิเนียมที่ได้ขนาดมาทำการตีกริดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร โดยใช้กรดเกลือกัดด้วยไฟฟ้า (ดูขั้นตอนการตีกริดในภาคผนวก ก) จะทำให้เกิดลายตารางบนแผ่นวัสดุดังแสดงในรูป 3.3 ซึ่งขนาดของทรงกลมนี้จะเปลี่ยนไปเมื่อผ่านการขึ้นรูป และสามารถวัดความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวหลังจากที่ชิ้นงานหลังการขึ้นรูปได้



รูปที่ 3.3 แผ่นอลูมิเนียมที่ผ่านการตีกริดวงกลมที่ใช้กรดเกลือกัดด้วยไฟฟ้า

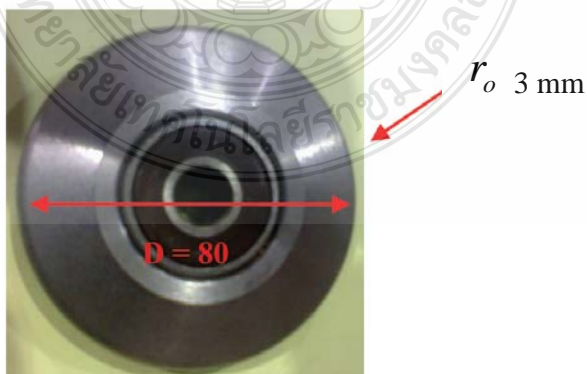
3.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1) แม่พิมพ์หมุนขึ้นรูปสำหรับหมุนขึ้นรูปชิ้นงาน (Mandrel) ทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD.11. กลึงขึ้นรูปดังแสดงในรูปที่ 3.7 เพื่อสร้างชุดหมุนขึ้นรูปสำหรับหมุนขึ้นรูปชิ้นงาน โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 97.6 มิลลิเมตร สูง 48.8 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้นถ้วย 49.6 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.4 ชุดแม่พิมพ์หมุนขึ้นรูปสำหรับหมุนขึ้นรูปชิ้นงาน (Mandrel)

2) ลูกรีดและตามจับลูกรีด ทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD 11 กลึงขึ้นรูปเป็นลูกรีดที่มีรัศมีโค้งมน (Roller nose radius, r_o) ขนาด 3 มิลลิเมตรและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และนำไปประกอบกับค้ำจับดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 ลูกรีดขนาด 3 มิลลิเมตรและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.6 ชุดด้ามลูกกรีด และอุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบสำหรับการทดลองการหมุนขึ้นรูป

3) เครื่อง กลึงอัตโนมัติ (CNC) ที่ใช้ในการทดลอง จะใช้เครื่องกลึง CNC ยี่ห้อ OKUMA รุ่น GENOS L250 ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เครื่องกลึง อัตโนมัติ (CNC) ยี่ห้อ OKUMA รุ่น GENOS L250

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การกำหนดค่าตัวแปรในการทดลอง

การทดลองเพื่อหาอิทธิพลของตัวแปรที่ใช้ในการ หมุนขึ้นรูป ชิ้นงานในที่นี่ จะใช้วิธีการทดสอบการขึ้นรูปด้วยอลูมิเนียมจากแผ่นวัสดุทรงกลม โดยใช้เครื่องกลึงอัตโนมัติ (CNC) ยี่ห้อ OKUMA รุ่น GENOS L250 ในการหมุนขึ้นรูปชิ้นงาน ทั้งนี้กำหนดค่าตัวแปรคงที่ไว้ดังต่อไปนี้

- 1) ใช้แผ่นวัสดุอลูมิเนียม AA-1100 ทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 135 มิลลิเมตร
- 2) ใช้ลูกรีดที่มีรัศมีโค้งมน (Roller nose radius, r_o) ขนาด 3 มิลลิเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร
- 3) ใช้แรงดัน (แรงกดจับ) ชิ้นงานคงที่เท่ากับ 15 MPa

โดยกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบ 3 ตัวดังต่อไปนี้

- 1) ความเร็วรอบของแม่พิมพ์ ทดสอบขนาดความเร็วรอบ 300, 400, 500, 600 และ 700 รอบ/นาที
- 2) รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีด ทดสอบขนาดรัศมี 50, 60, 70, 80 และ 90 มิลลิเมตร โดยจะใช้ลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกรีดในการหมุนขึ้นรูปแบบหมุนโค้งออกเท่านั้น
- 3) ใช้อัตราป้อน ใช้ขนาด 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 มิลลิเมตร/รอบ

3.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองเพื่อหาอิทธิพลของตัวแปรในการขึ้นรูปทั้ง 3 ตัวนั้น จะใช้การทดลองปรับค่าตัวแปรที่ต้องการทดลองไปที่ลำดับจากน้อยสุดไปหามากสุด โดยให้ตัวแปรอื่นๆ คงที่ เช่น การทดสอบความเร็วรอบจะกำหนดให้ค่ารัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดและอัตราการป้อนคงที่ ในทำนองเดียวกันเมื่อทดสอบอิทธิพลของรัศมีการเคลื่อนที่ ก็จะกำหนดให้ค่าตัวแปรความเร็วรอบและอัตราป้อนคงที่เช่นกัน การทดลองจะกระทำในลักษณะนี้ไปจนกระทั่งสามารถทดสอบค่าตัวแปรทุกตัวตามที่ต้องการ

ในขณะที่ทำการทดลองทุกครั้งจะอ่านค่าและบันทึกขนาดของแรงที่ใช้ในการกดขึ้นรูปจากเครื่องกลึง CNC ไว้เพื่อใช้ในการทดสอบ ชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบในแต่ละครั้งจะถูกนำไปตรวจสอบและวัดค่าต่างๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลต่อไป

3.3 การวัดผลการทดสอบ

3.3.1 การวัดขนาดของแรงและเวลาที่ใช้ในการหมุนขึ้นรูป

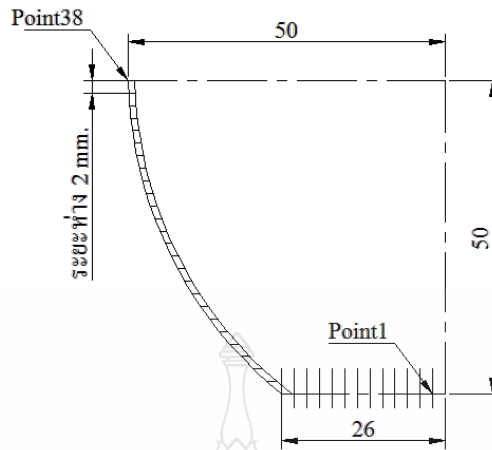
เมื่อทำการหมุนขึ้นรูปชิ้นงานเสร็จแล้วและทำการบันทึกผลการทดลองของแรงและเวลาในการขึ้นรูปซึ่งได้ค่าจากจอประมวลผลของเครื่องกลึงอัตโนมัติ (CNC)



รูปที่ 3.8 จอประมวลผลของเครื่องกลึงอัตโนมัติ (CNC)

3.3.2 การวัดขนาดความหนาของชิ้นงาน

การวัดขนาดความหนาของผนังชิ้นงานที่ได้จากการหมุน จะต้องนำชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปไปผ่าด้วยเครื่อง EDM Wire Cut ดังรูปที่ 3.14 แล้วนำไปวัดความหนาผนังด้วยโดยใช้เครื่อง CMM ดังรูปที่ 3.15 โดยที่การวัดความหนาจะเริ่มวัดตั้งแต่ก้นถ้วยถึงปากถ้วยระยะห่างของจุดวัดจุดละ 2 มิลลิเมตร รวมทั้งหมด 38 จุด ดังแสดงในรูปที่ 3.9 จากนั้นนำเอาค่าความหนาที่วัดได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยความหนาของผนังชิ้นงาน



รูปที่ 3.9 แสดงตำแหน่งที่ต้องวัดขนาดความหนาของผนังด้วย



รูปที่ 3.10 เครื่อง EDM Wire cut ยี่ห้อ FANUC รุ่น ROBOCUT - OC ที่ใช้ในการทดลอง



(ก) แสดงเครื่อง CMM ที่วัดความหนาของชิ้นงาน

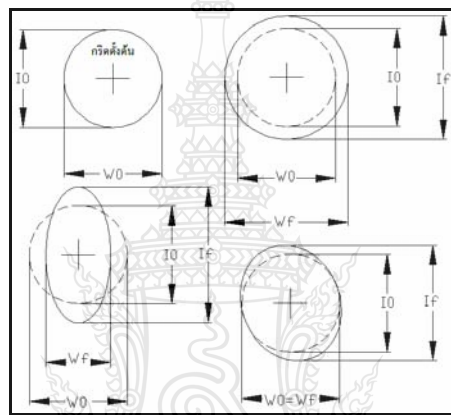


(ข) แสดงลักษณะวัดความหนาของชิ้นงาน

รูปที่ 3.11 การวัดความหนาชิ้นงานด้วยเครื่อง CMM ที่ใช้ในการทดลอง

3.3.3 การวัดความเครียด (Strain) ของชิ้นงาน

การวัดค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของชิ้นงานตามแนวแกน X และแนวแกน Y จะกระทำโดยการวิเคราะห์ห้กริดวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร บนผนังชิ้นงานที่มีอยู่เดิม โดยหลังการขึ้นรูปกริดวงกลมบนผนังชิ้นงานจะเปลี่ยนรูปเป็นวงรี วัดขนาดของวงรีเพื่อกำหนดขนาดโตสุดคือความเครียดหลัก (Major strain) และขนาดต่ำสุดคือความเครียดรอง (Minor strain) ความเครียดทั้งสองนี้จะถูกพล็อตบนแผนภาพพิกัดจำกัดการขึ้นรูปโดยขั้นตอนวัดขนาดกริดจากการเปลี่ยนรูปเป็นวงรี เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความเครียดหลัก (Major strain) และความเครียดรอง (Minor strain) ดูรูปที่ 3.15



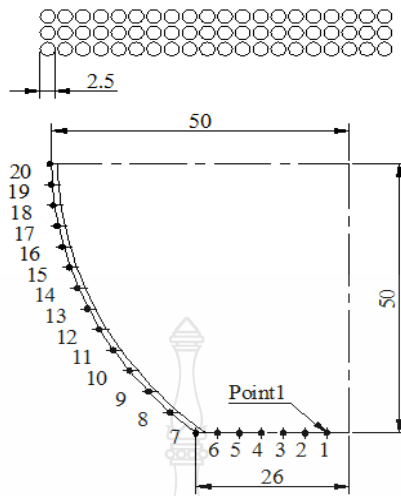
รูปที่ 3.12 การวัดอัตราความเครียดหลัก และอัตราความเครียดรอง [29]

โดยการวัดขนาดกริดเพื่อหาความเครียดบนผนังถ้วย จะวัดในตำแหน่งที่สำคัญๆ จำนวน 20 จุด ดังแสดงในรูปที่ 3.16 จากนั้นจะนำไปคำนวณหาค่าความเครียดหลักและความเครียดรอง และความเครียดรวมของแต่ละจุด จากนั้นจึงนำไปหาค่าความเครียดเฉลี่ยบนผนังชิ้นงาน

3.3.4 ความเครียดเทียบเท่า (Equivalent Strain)

การหาความเครียดเทียบเท่า ($\bar{\epsilon}$) (Equivalent Strain) ของงานวิจัยหาได้จาก การหาความเครียดรวมโดยค่าความเครียดในแนวแกนหลัก (ϵ_1) ค่าความเครียดในแนวแกนรอง (ϵ_2) และความเครียดที่ความหนาของชิ้นงานทดสอบ (ϵ_3) ของแต่ละกริดวงกลม แล้วจึงนำความเครียดรวมของแต่ละกริดวงกลม มาคำนวณหาค่าความเครียดเทียบเท่าตามสมการดังนี้

$$\bar{\epsilon} = \sqrt{\frac{2}{3} (\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2 + \epsilon_3^2)}$$



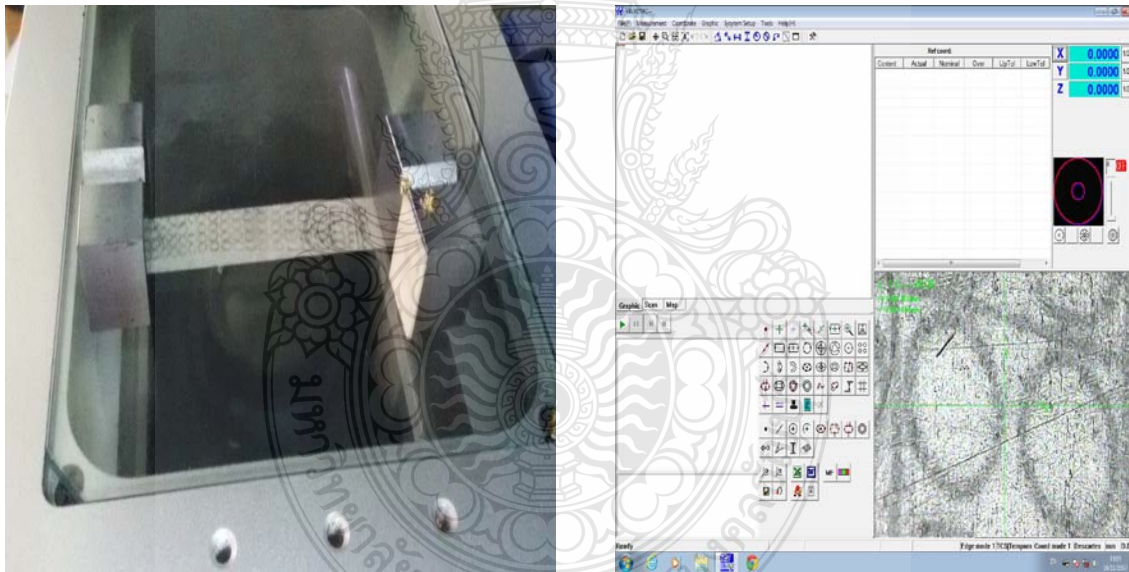
รูปที่ 3.13 แสดงตำแหน่งที่ต้องวัดขนาดความเครียดของผนังถ้ำ

ขั้นตอนและวิธีการวัดขนาดของกริดสามารถทำได้ดังต่อไปนี้

- 1) ใช้กระดาษลอกลายซีห้อ Nitto และดินสอ ทำการลอกลายขนาดวงกลมกริดที่ขึ้นงาน หลังการหมุนขึ้นรูป
- 2) นำกระดาษลอกลายที่มีลายกริดหลังจากการขูดลายกริดด้วยดินสอ ไปทำการวัดที่เครื่อง Smart scope
- 3) ใช้กล้อง Smart scope ที่มีความละเอียดสูงประกอบร่วมกับคอมพิวเตอร์ปรับโฟกัสตาม ลักษณะขึ้นทดสอบทำการถ่ายภาพขนาดกริดมาตรฐานก่อนทำการขึ้นรูป ที่ระยะโฟกัสเดียวกัน ขึ้นงานทดลอง เพื่อทำการกำหนดให้เป็นขนาดอ้างอิงในโปรแกรม สำหรับใช้ในการวัดขนาด วงกลมกริดที่เปลี่ยนไป
- 4) ใช้กล้อง Smart scope ที่มีความละเอียดสูงประกอบร่วมกับคอมพิวเตอร์ปรับโฟกัสตาม ลักษณะขึ้นทดสอบ โดยให้ขณะที่ถ่ายภาพ พื้นผิวของแผ่นทดสอบที่จะทำการถ่ายภาพจะต้องได้รับการปรับให้ขนานกับหน้ากล้อง Microscope โดยให้ระยะโฟกัสที่ทำการถ่ายภาพกริด นั้นจะต้องเท่ากันในทุกขึ้นงานทดลอง และเลือกกริดวงกลมที่เกิดการเปลี่ยนขนาดของวงกลมกริด เป็นวงรีในแต่ละขึ้นงานทดลองแล้วนำมาสร้างเส้นอ้างอิงในแนวแกนตั้งและแนวแกนนอนทำการวัดขนาดกริด ด้วยคอมพิวเตอร์ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.17 วัดขนาดกริดในแนวตั้งและแนวนอน แล้วนำค่าที่ได้มาทำการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของความเครียดหลักและเปอร์เซ็นต์ของความเครียดหลัก



รูปที่ 3.14 เครื่อง Smart scope



(ก) ลายกริดหลังจากการขูดลายกริดด้วยดินสอ

(ข) การวัดขนาดกริดด้วยคอมพิวเตอร์

รูปที่ 3.15 การวัดขนาดกริดวงกลม

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง

การทดสอบการหมุนขึ้นรูปโลหะแผ่นอลูมิเนียมเกรด AA-1100 ความหนา 1.2 มิลลิเมตร ใช้แม่พิมพ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 97.6 มิลลิเมตร สูง 48.8 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้น ถ้วย 49.6 มิลลิเมตร และรัศมีของถ้วย 70 มิลลิเมตร ใช้ลูกรีดที่มีรัศมีโค้งมน (Roller nose radius, r_o) ขนาด 3 มิลลิเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร และใช้แรงดัน (แรงกดจับ) ชิ้นงาน คงที่เท่ากับ 15 MPa โดยมีค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง ดังนี้

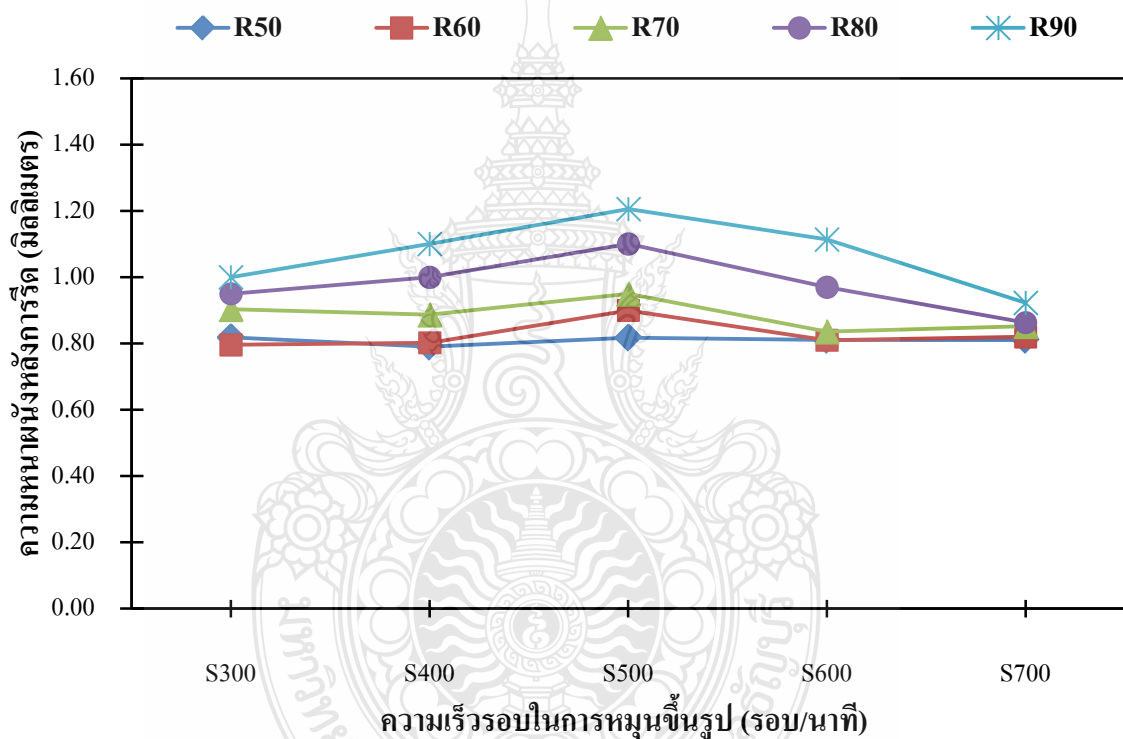
1. ความเร็วรอบในการทดสอบ ขนาด 300, 400, 500, 600 และ 700 รอบ/นาที
2. รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดในการทดสอบขนาดเท่ากับ 50, 60, 70, 80 และ 90 มิลลิเมตร โดยลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกรีดเป็นแบบหมุน โค้งออก (Concave)
3. อัตราป้อนในการทดสอบ ขนาด 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 มิลลิเมตร/รอบ.

การทดลองในแต่ละรอบจะต้องวัดแรงการขึ้นรูป และนำชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบมาตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงาน โดยการวัดความหนาของผนังถ้วย และความเคียวบนจุดต่างๆ ของถ้วย จากนั้นนำผลมาทำการวิเคราะห์ห้อิทธิพลของตัวแปร และหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละตัวแปรเพื่อใช้ในการหมุนขึ้นรูป ซึ่งผลจากการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้



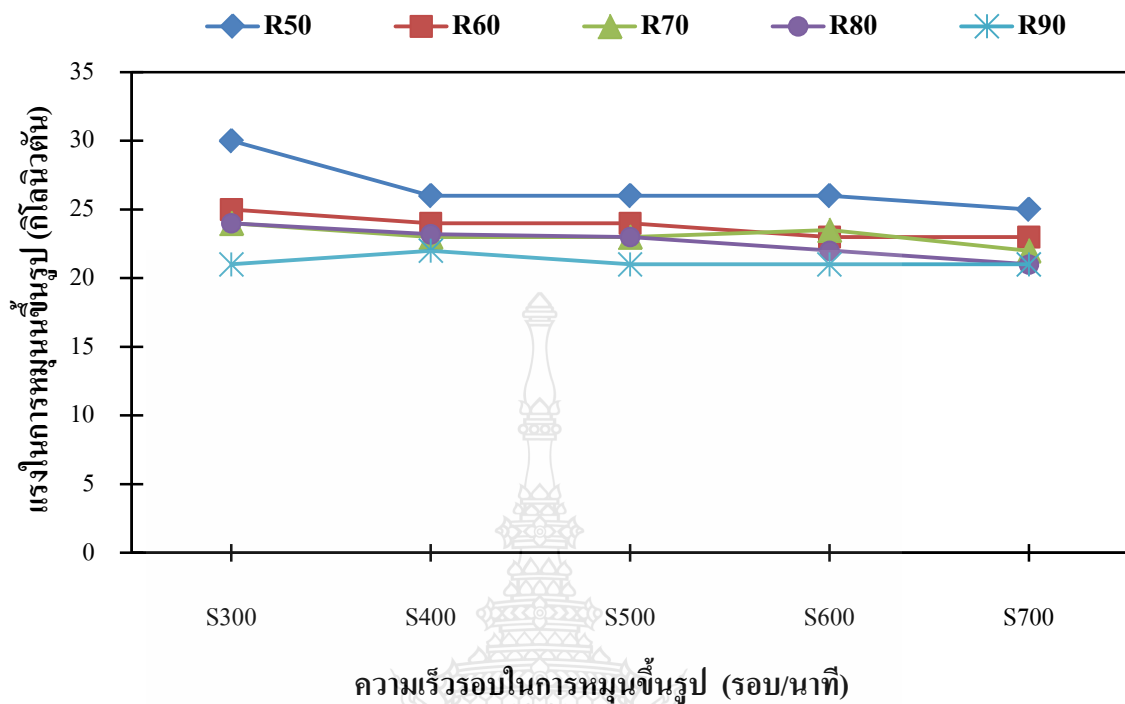
4.1 ผลการทดลองการหมุนขึ้นรูปด้วยกระบวนการหมุนขึ้นรูป

4.1.1 การเปรียบเทียบความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ของลูกรีดกับรัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดพบว่าส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาของชิ้นงาน จากรูปผลการทดลองที่ 4.1 พบว่าที่ความเร็วในการหมุนขึ้นรูป 500 รอบ/นาที รัศมีการเคลื่อนที่ 90 มิลลิเมตร ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงความหนาต่ำสุดมีค่าใกล้เคียงกับค่าความหนาเดิมรองลงมาเป็นรัศมีการเคลื่อนที่ 80 มิลลิเมตร ตามลำดับ และจากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูปสูงขึ้นเป็น 600 รอบ/นาที การเปลี่ยนแปลงความหนามีแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้น



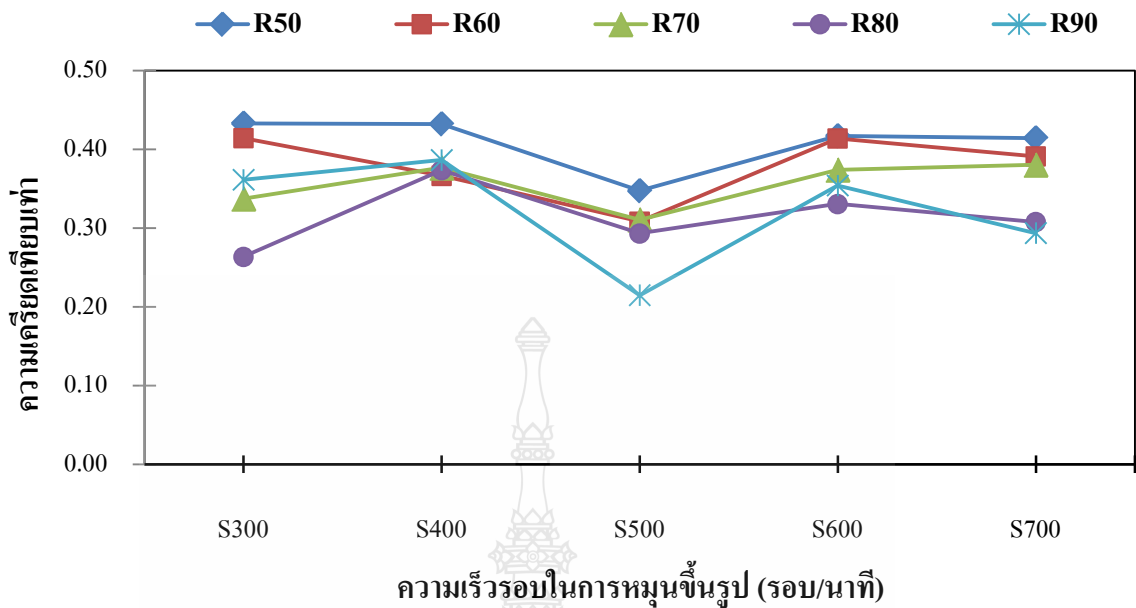
รูปที่ 4.1 ความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.1 มิลลิเมตร/รอบ รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีด 50-90 มิลลิเมตร ความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูปที่ 300-700 รอบ/นาที

เมื่อทำการเปรียบเทียบแรงในการขึ้นรูปพบว่าความเร็วรอบ และรัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีด แรงในการหมุนขึ้นรูปมีค่าไม่แตกต่างกัน อาจกล่าวได้ว่าความเร็วรอบ และรัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดไม่ส่งผลต่อแรงในการหมุนขึ้นรูป

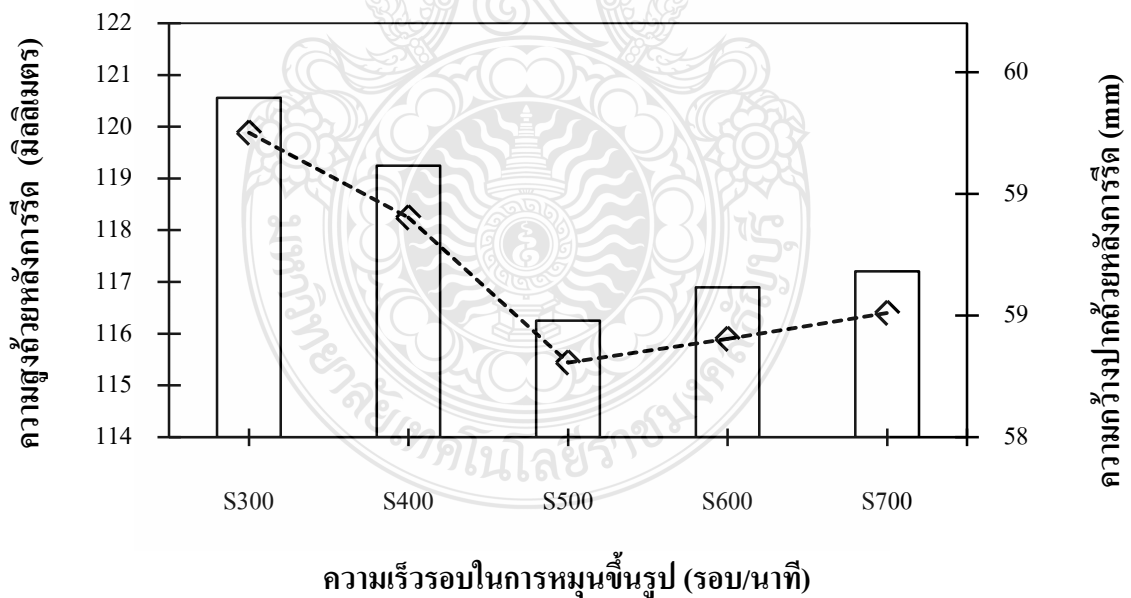


รูปที่ 4.2 แรงในการหมุนขึ้นรูป ความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.1 มิลลิเมตร/รอบ รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีด 50-90 มิลลิเมตร ความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูปที่ 300-700 รอบ/นาที

หลังจากนั้นทำการหาค่าความเครียดเทียบเท่า (Equivalent Strain) เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเครียดของของชิ้นงานหลังการขึ้นรูปจากผลการทดลองในรูปที่ 4.3 มีความสอดคล้องกับความหนาหลังการขึ้นรูปชิ้นงานคือที่ความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูปที่ 500 รอบ/นาที รัศมีการเคลื่อนที่ 90 มิลลิเมตร ค่าความเครียดเทียบเท่ามีค่าน้อยสุด

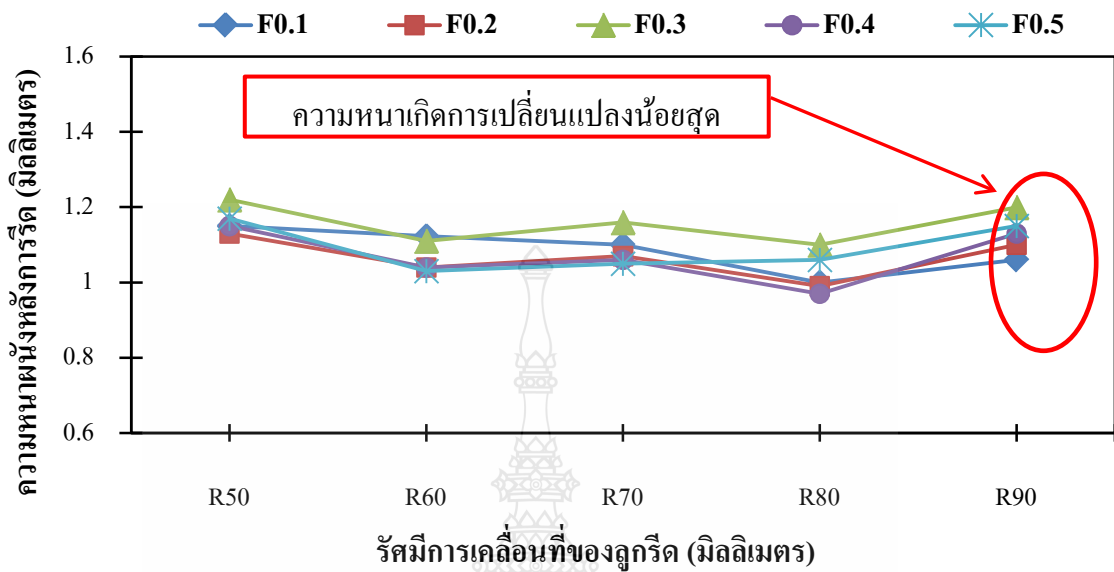


รูปที่ 4.3 ความคลาดเคลื่อนของรัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีด 50 - 90 มิลลิเมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.1 มิลลิเมตร/รอบ ความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูปที่ 300-700 รอบ/นาที

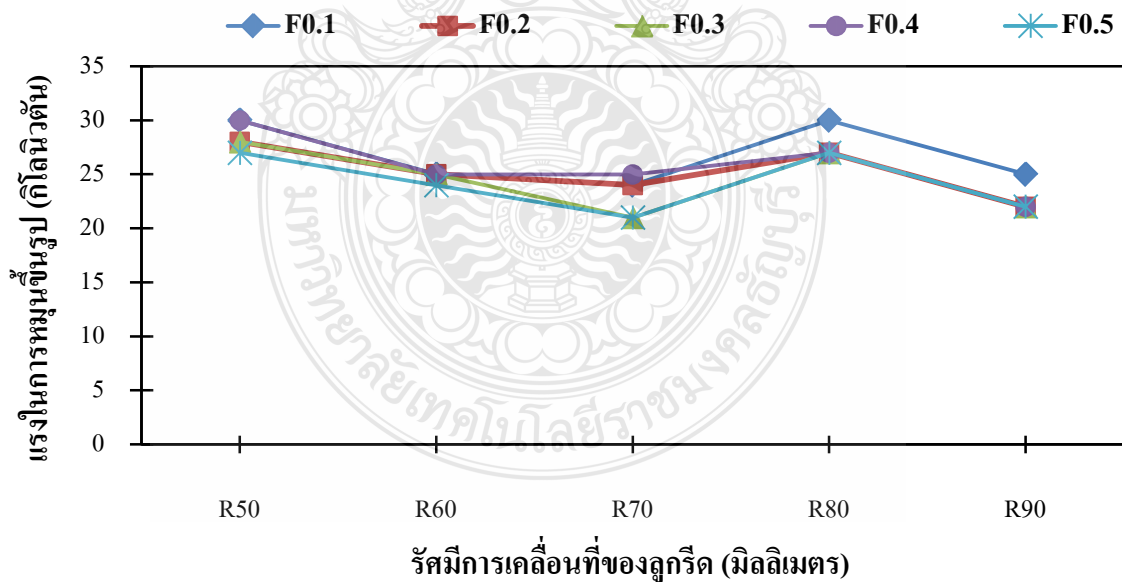


รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าความสูงและความกว้างของด้วยหลังการรีดที่รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีด 90 มิลลิเมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกรีด 0.1 มิลลิเมตร/รอบ ความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูป 300-700 รอบ/นาที

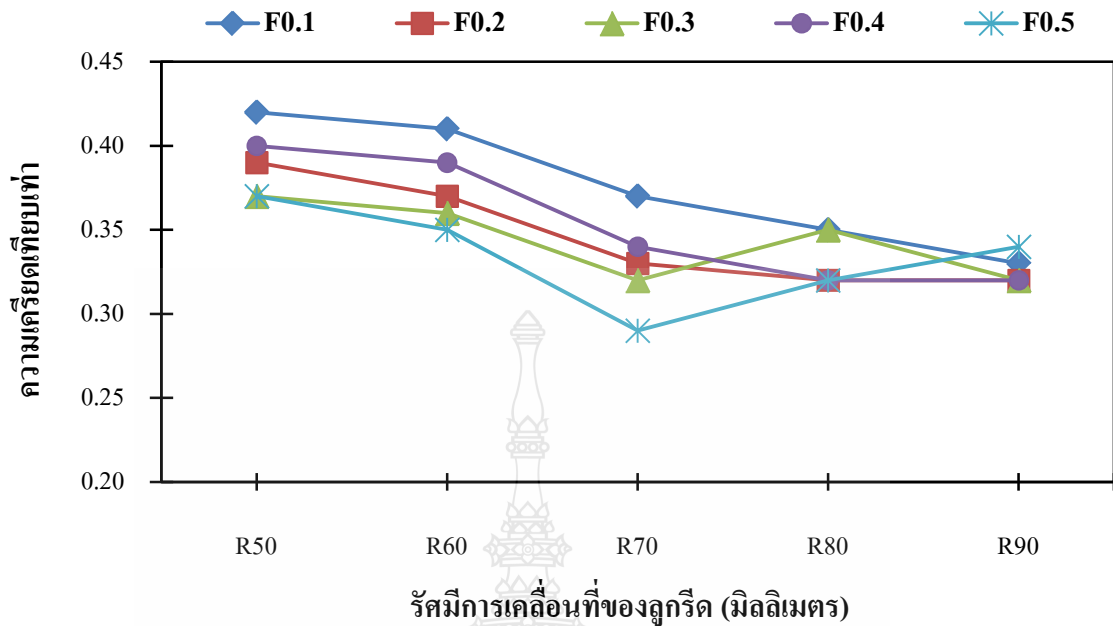
4.1.2 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกกรีด



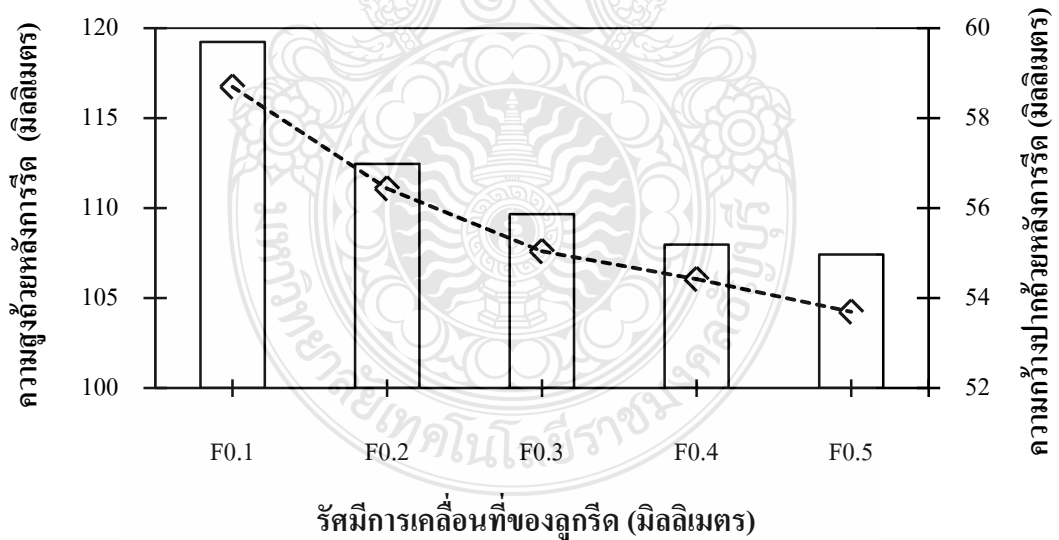
รูปที่ 4.5 ความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.1-0.5 มิลลิเมตร/รอบ ความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูปที่ 500 รอบ/นาที รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกกรีด 90 มิลลิเมตร



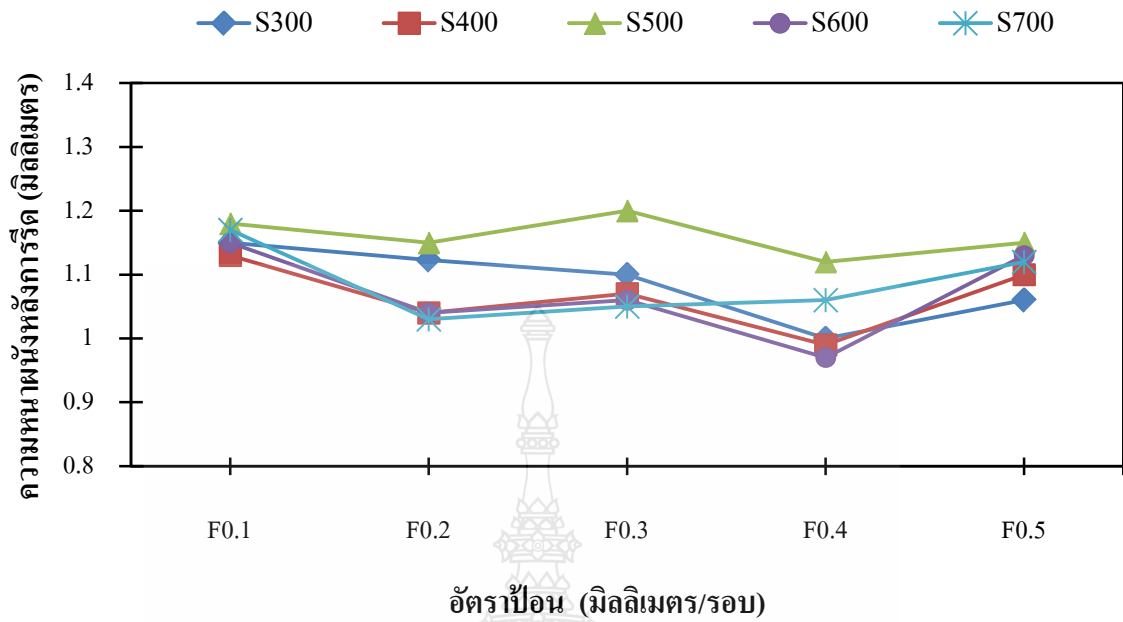
รูปที่ 4.6 แรงในการหมุนขึ้นรูป ของความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.1 มิลลิเมตร/รอบ รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกกรีด 50-90 มิลลิเมตร ความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูปที่ 300 รอบ/นาที



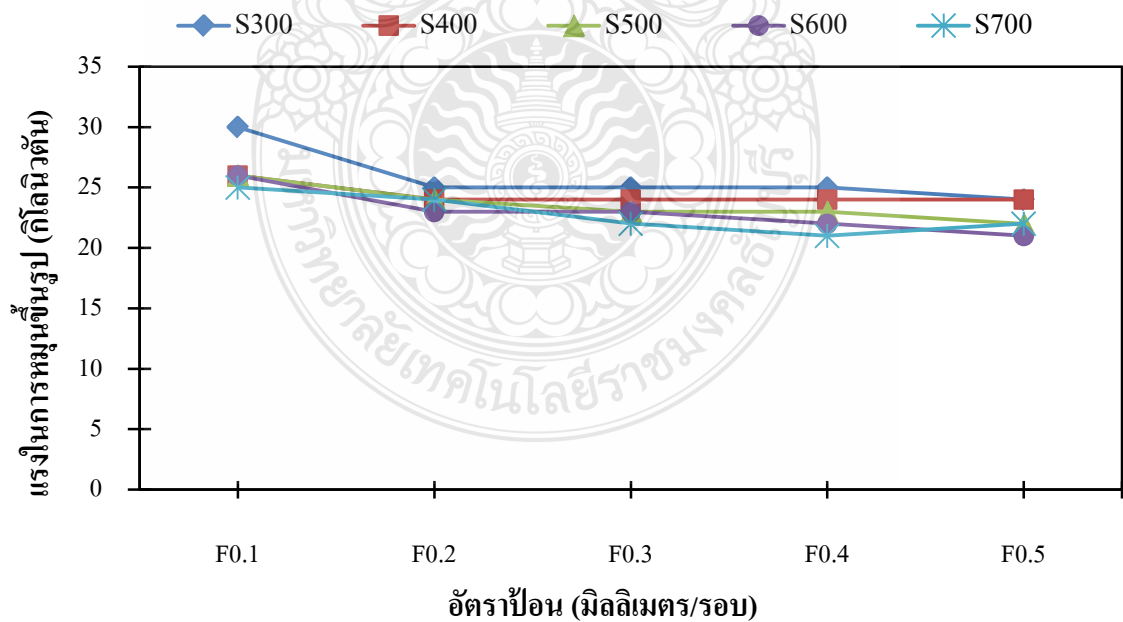
รูปที่ 4.7 ความเครียดเทียบเท่า ของความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.1-0.5 มิลลิเมตร/รอบ ความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูปที่ 500 รอบ/นาที รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีด 50-90 มิลลิเมตร



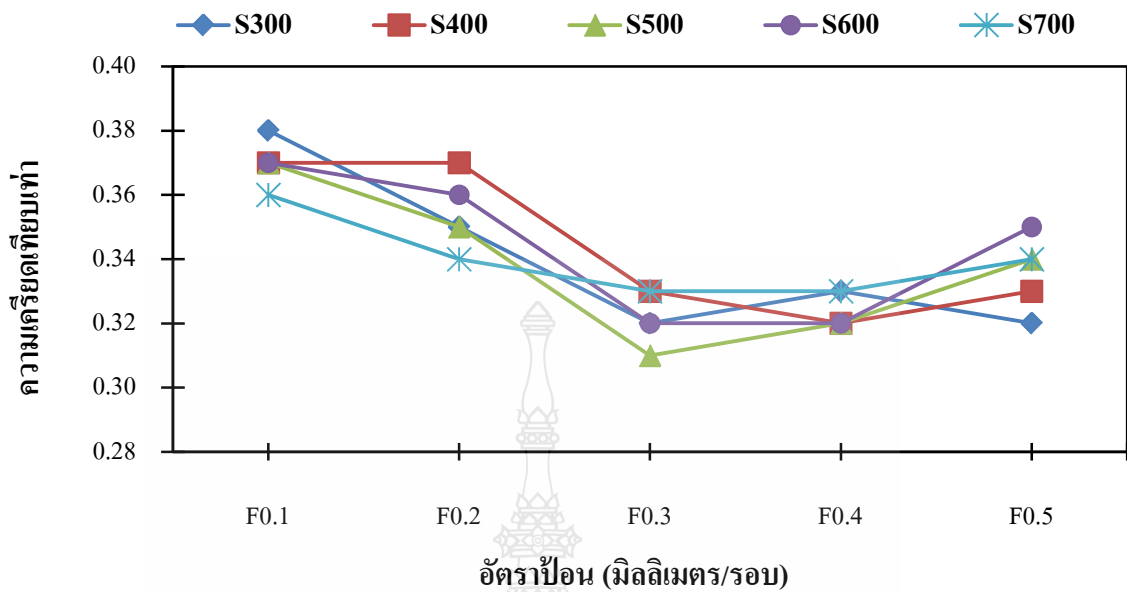
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่าความสูงและความกว้างของถ้วยหลังการรีด ที่รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีด 90 มิลลิเมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกรีด 0.1-0.5 มิลลิเมตร/นาที ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที



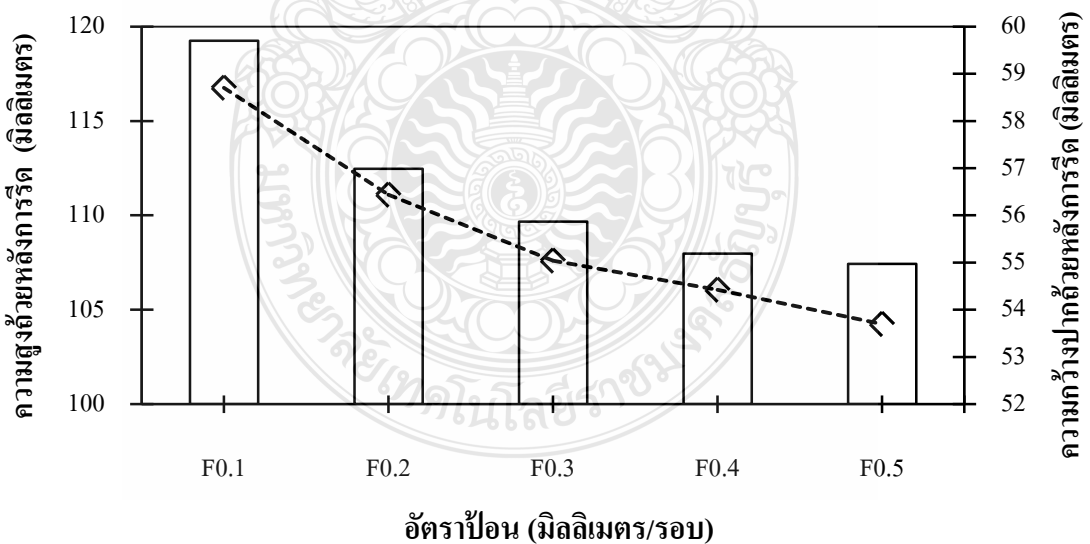
รูปที่ 4.9 ความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูปที่ 300 รอบ/นาที รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกกรีด 50 มิลลิเมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.1-0.5 มิลลิเมตร/รอบ



รูปที่ 4.10 แรงในการหมุนขึ้นรูป ความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูปที่ 300 รอบ/นาที รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกกรีด 50 มิลลิเมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.1-0.5 มิลลิเมตร/รอบ



รูปที่ 4.11 ความคลาดเคลื่อนของความเร็วยกในการหมุนขึ้นรูปที่ 300-700 รอบ/นาที รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกกรีด 50-90 มิลลิเมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.1-0.5 มิลลิเมตร/รอบ



รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่าความสูงและความกว้างของถ้วยหลังการรีดที่รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกกรีด 90 มิลลิเมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกกรีด 0.1-0.5 มิลลิเมตร/รอบ ความเร็วยก 500 รอบ/นาที

4.2 การอภิปรายผลการทดลอง

4.2.1 อิทธิพลของตัวแปรต่อคุณภาพของชิ้นงาน

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการการเพิ่มขนาดตัวแปรทั้งสามตัวแปรส่งผลกระทบต่อการหมุนขึ้นรูปชิ้นงาน ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นชัดเจนว่าการเพิ่มความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนขึ้นรูป จาก 300 รอบ/นาที เป็น 400, 500, 600, และ จนกระทั่ง 700 รอบ/นาที โดยที่ตัวแปรการทดสอบอื่นๆ ถูกควบคุมให้คงที่ จะส่งผลทำให้ความหนาเฉลี่ยของผนังด้วยมีขนาดลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และขนาดความเครียดรวมมีขนาดเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสาเหตุของการลดลงของผนังด้วยน่าจะเกิดขึ้นจากการเพิ่มความเร็วรอบมีผลทำให้การเสียดสีของลูกกรีดกับชิ้นงานมีมากขึ้นเกิดความร้อนเพิ่มขึ้นทำให้การไหลตัวของวัสดุง่ายขึ้นจึงทำให้ใช้แรงน้อยลง อีกทั้งผนังมีการยืดตัวมากขึ้นดังจะเห็นได้จากขนาดความเครียดที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3 แต่จากการสังเกตขนาดของแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปจะเห็นได้ว่าขนาดของแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปจะลดลงอย่างมากในช่วงของการเปลี่ยนความเร็วรอบจาก 300 ไปเป็น 400 รอบ และจะค่อนข้างคงที่ในช่วงของการเปลี่ยนความเร็วรอบจาก 400-700 รอบ/นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ลักษณะเช่นนี้จะมีผลเนื่องจากในช่วงการใช้ความเร็วรอบ 300 การไหลตัวของวัสดุอาจยังไม่ดีความเค้นในการขึ้นรูปต่ำกว่าความเค้นคราก ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะทำให้ชิ้นงานเกิดการดุ้งกลับ (Spring back) แต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบมากขึ้นจึงทำให้ความเค้นของการขึ้นรูปมากขึ้น จึงทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนรูปได้อย่างสมบูรณ์

การเพิ่มขนาดรัศมีการเคลื่อนที่ของลูกกรีด มีผลกระทบโดยตรงต่อขนาดของแรงที่ใช้ในการรีด และขนาดของความเค้นรวม ดังจะเห็นได้ว่าขนาดของแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลดลงในอัตราคงที่เมื่อรัศมีเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และขนาดของความเค้นรวมเพิ่มขึ้นในอัตราเกือบคงที่ เมื่อใช้รัศมีการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.6 แต่การเพิ่มขนาดรัศมีการเคลื่อนที่จะส่งผลกระทบต่อขนาดความหนาของผนังชิ้นงานเฉพาะเมื่อเปลี่ยนรัศมีจาก 50 มิลลิเมตร ไปเป็น 60 มิลลิเมตร แต่ในช่วง 60 มิลลิเมตร ถึง 90 มิลลิเมตร ความหนาเฉลี่ยของผนังด้วยจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.4 จากลักษณะดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกกรีดมีอิทธิพลต่อลักษณะการไหลตัวของวัสดุที่ใช้ในการหมุนขึ้นรูปอีกทั้งมีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงานด้วยเช่นกัน

การเปลี่ยนอัตราการป้อน ส่งผลกระทบโดยตรงกับความหนาเฉลี่ยของผนังชิ้นงาน ดังจะเห็นได้จากผลการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 เมื่อเพิ่มอัตราป้อนจาก 0.1 มิลลิเมตร ไปเรื่อยๆ จนกระทั่ง 0.5 มิลลิเมตร ความหนาเฉลี่ยของผนังด้วยลดลงในอัตราที่เกือบจะคงที่ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อ

อัตราป้อนเพิ่มขึ้นแรงเสียดทานของลูกกริดกับวัสดุเพิ่มมากขึ้นทำให้ความร้อนบริเวณลูกกริดเพิ่มขึ้นซึ่งจะช่วยให้อัตราป้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการวัดค่าความเครียดรวมแสดงว่าวัสดุมีการยืดตัวมากขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราป้อน ในช่วงอัตราป้อนระหว่าง 0.1-0.3 มิลลิเมตร วัสดุมีการยืดตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่เมื่อเพิ่มอัตราป้อนจาก 0.3-0.5 การยืดตัวของวัสดุจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูง ขึ้นอย่างมาก ดังแสดงในรูป 4.9 แต่การเพิ่มอัตราป้อนมีผลกระทบต่อขนาดของแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปน้อยมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มขึ้นของอัตราป้อนในช่วงระหว่าง 0.2-0.5 มิลลิเมตร แทบจะไม่มีผลกระทบต่อแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปเลย ดังแสดงในรูป 4.8

4.2.2 ขนาดของตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการหมุนขึ้นรูปถ้วยอลูมิเนียม

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการหมุนขึ้นรูปชิ้นงานสามารถเลือกใช้ค่าตัวแปรแต่ละตัวได้มากกว่าหนึ่งค่าตัวแปร ซึ่งก็จะสามารถผลิตชิ้นงานได้เหมือนๆ กันเมื่อดูด้วยตาเปล่า แต่ถ้าผู้ผลิตต้องการที่จะควบคุมความหนาของผนังชิ้นงานให้มีความสม่ำเสมอ หรือต้องการควบคุมให้ความเครียดบนผนังถ้วยไม่มากเกินไป หรือแม้กระทั่งต้องการลดแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน ก็สามารถทำได้โดยการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรที่ใช้ในการหมุนขึ้นรูปชิ้นงาน เช่น ความเร็วรอบ รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกกริด หรืออัตราป้อน ซึ่งอิทธิพลของตัวแปรเหล่านี้ ได้ศึกษาและแสดงให้เห็นไว้ในหัวข้อที่ผ่านมา



รูปที่ 4.13 ลักษณะของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยค่าตัวแปรต่างๆ เมื่อมองด้วยตาเปล่า

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการหมุนขึ้นรูปด้วย
อลูมิเนียม ควรใช้ความเร็วรอบการหมุน 500 รอบ/นาที รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกกริด 90 มิลลิเมตร และ
อัตราป้อน 0.3 มิลลิเมตร จะได้ชิ้นงานที่มีค่าความหนาเฉลี่ยของผนังถ้วยใกล้เคียงกับความหนาของ
วัสดุ (1.2 มิลลิเมตร) มากที่สุด ใช้แรงในการขึ้นรูปน้อยและมีค่าความเครียดบนผนังถ้วยไม่มาก
เกินไป



รูปที่ 4.14 ลักษณะของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยตัวแปรที่มีความเหมาะสม



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การทดสอบอิทธิพลของตัวแปรการหมุนขึ้นรูป ความเร็วรอบ รัศมีการเคลื่อนที่ และอัตรา การป้อน ของกระบวนการหมุนขึ้นรูปด้วย จากโลหะแผ่น อลูมิเนียมเกรด AA-1100 ความหนา 1.2 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 135 มิลลิเมตร โดยใช้แม่พิมพ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 97.6 มิลลิเมตร สูง 48.8 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้นถ้วย 49.6 มิลลิเมตร และรัศมีของถ้วย 70 มิลลิเมตร ใช้ ลูกรีดที่มีรัศมีโค้งมน (Roller nose radius, r_o) ขนาด 3 มิลลิเมตรและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร และใช้ แรงดัน (แรงกดจับ) ขึ้นงานคงที่เท่ากับ 15 MPa สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการหมุนขึ้นรูปด้วยอลูมิเนียมด้วยกระบวนการหมุน สามารถสรุปผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการขึ้นรูปทั้ง 3 ตัวแปรได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 ความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูป มีอิทธิพลต่อขนาดความหนาของผนังชิ้นงาน ขนาด ของแรงที่ใช้ในการขึ้นรูป และขนาดของความเครียดบนผนังชิ้นงาน กล่าวคือเมื่อใช้ความเร็วรอบ สูงขึ้นขนาดความหนาของชิ้นงานจะลดลง จากความหนาเฉลี่ยลดลงจาก 1.5 เหลือประมาณ 1.0 เมื่อ เพิ่มความเร็วรอบการขึ้นรูป จาก 300 เป็น 700 รอบ/นาที ในขณะที่เดียวกันแรงที่ใช้ในการขึ้นมี แนวโน้มลดลงจาก 30 กิโลนิวตัน เมื่อใช้ความเร็ว 300 รอบ/นาที เหลือประมาณ 25 กิโลนิวตัน เมื่อใช้ ความเร็วรอบ 700 รอบ/นาที แต่ในทางกลับกันการเพิ่มความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูปมีผลทำให้ ความเครียดบนผนังถ้วยมีขนาดเพิ่มมากขึ้น จาก 4 ไปเป็น 18 เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจาก 300 ไป เป็น 700 รอบ/นาที

5.1.2 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีด มีอิทธิพลโดยตรงต่อขนาดของแรงที่ใช้ในการรูปและ ความเครียดบนผนังของชิ้นงาน ดังจะเห็นได้จากผลการทดลองเมื่อเพิ่มขนาดรัศมีการเคลื่อนที่ของลูก รีด จะทำให้แรงที่ใช้ในการเคลื่อนที่ลดลง 30 กิโลนิวตัน เมื่อใช้รัศมี 50 มิลลิเมตร และขนาดของแรง ที่ใช้จะลดลงในอัตราเกือบจะคงที่เมื่อเพิ่มขนาดรัศมีการเคลื่อนที่ และเมื่อใช้รัศมีการเคลื่อนที่ 90 มิลลิเมตร แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลดลงเหลือเพียง 25 กิโลนิวตัน ในทางกลับกันการเพิ่มรัศมีการ เคลื่อนที่จะทำให้ขนาดของความเครียดรวมเพิ่มขึ้นในอัตราคงที่ คือเพิ่มจาก 4 เปอร์เซ็นต์ไปเป็น 42 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพิ่มรัศมีจาก 50 มิลลิเมตร ไปเป็น 90 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามการเพิ่มรัศมีการ เคลื่อนที่มีอิทธิพลต่อความหนาผนังถ้วยเฉพาะช่วงการเปลี่ยนรัศมีจาก 50 มิลลิเมตร ไปเป็น 60 มิลลิเมตร แต่เมื่อเพิ่มรัศมีจาก 60 มิลลิเมตร ไปจนกระทั่ง 90 มิลลิเมตร ความหนาของผนังถ้วยจะ ค่อนข้างคงที่

5.1.3 อัตราป้อนในการขึ้นรูป มีอิทธิพลต่อความหนาของผนังถ้วยและขนาดของความเครียดบนผนังถ้วย ดังจะเห็นได้จากผลการทดลองเมื่อค่อยๆ เพิ่มอัตราป้อน จาก 0.1 มิลลิเมตร ไปเป็น 0.5 มิลลิเมตร ขนาดความหนาเฉลี่ยของผนังถ้วยจะลดลงจาก 0.5 มิลลิเมตร เป็น 0.8 มิลลิเมตร นอกจากนี้การเพิ่มอัตราป้อนทำขนาดของความเครียดรวมบนผนังถ้วยเพิ่มมากขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของอัตราป้อนจะส่งผลกระทบต่อขนาดของแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปเฉพาะช่วงการเพิ่มจาก 0.1 มิลลิเมตร ไปเป็น 0.2 มิลลิเมตร เท่านั้นแต่เมื่อเพิ่มจาก 0.2 มิลลิเมตร ไปเป็น 0.5 มิลลิเมตร เกือบไม่มีผลกระทบเลย

5.1.4 ขนาดตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปถ้วยอลูมิเนียมจากวัสดุ AA-1100 ควรใช้ความเร็วรอบในการขึ้นรูป 500 รอบ/นาที ใช้รัศมีการเคลื่อนที่ 90 มิลลิเมตร และใช้อัตราป้อน 0.3 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการขึ้นรูปถ้วย เพราะจะได้ถ้วยที่มีขนาดความหนาเฉลี่ยของผนังถ้วยใกล้เคียงกับวัสดุมากที่สุด ใช้แรงในการขึ้นรูปน้อยและทำให้ขนาดของความเครียดรวมมีขนาดไม่สูงเกินไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การศึกษาการขึ้นรูปด้วยกระบวนการหมุนขึ้นรูปของวัสดุชนิดอื่น เช่น เหล็ก เหล็กกล้า ไร้สนิมเพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่อไป

5.2.2 ศึกษาควรทำการสร้างจิตจำกัดการหมุนขึ้นรูปสำหรับกระบวนการหมุนขึ้นรูป เพื่อให้เป็นแนวทางในการทำนายพฤติกรรมของวัสดุด้วยกระบวนการหมุนขึ้นรูป

5.2.3 ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบชนิดของสารหล่อลื่นในการหมุนขึ้นรูป

5.2.4 ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบรัศมีของชิ้นงานเพื่อทำการพิสูจน์ว่าขนาดรัศมีการขึ้นรูปที่เข้าใกล้กระบวนการหมุนขึ้นรูปแบบธรรมดา

5.2.5 ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบรูปทรงชิ้นงานเพื่อทำนายพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปของชิ้นงาน

รายการอ้างอิง

- [1] บุญส่ง จงกลณี, “ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการขึ้นรูปลึกชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตร ต่อสมบัติการขึ้นรูปของเหล็ก SPCC,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2552.
- [2] T.Meinders, B.D.Carleer, H.J.M.Geijselaers, and J.Hue'tink., “The implementation of an Equivalent Drawbead model in a finite Element code for sheet metal forming.” *Journal of Materials Processing Technology*.83, 1998.pp. 234-244.
- [3] M.Samuel, “Influence of drawbead geometry on sheet metal forming.” *Journal of Materials Processing Technology*.122, 2002.pp.94-103.
- [4] กิตติภักดิ์ รัตนจันทร์, “ผลกระทบจากครอว์บีดในการขึ้นรูปโลหะแผ่น,” ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการผลิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2543
- [5] ชัยยศ บุรณะชีพ, “การวิเคราะห์พฤติกรรมการย่นโดยแผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูป ,” ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมการผลิตบัณฑิต วิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระนครเหนือ, 2549.
- [6] ธนสาร อินทรกำธร, “5 คำถามกับการจำลองการขึ้นรูปโลหะแผ่น ,” ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.
- [7] ชนะชัย วลิตวารังค์กูร และ ชัยวัฒน์ ทองหลี่ , “การศึกษาตัวแปรในการลากขึ้นรูปโลหะแผ่น ,” ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ, คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540.
- [8] มาโนช กรอบเงิน , “การออกแบบแม่พิมพ์และการใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ช่วยในการ วิเคราะห์การลากขึ้นรูปชิ้นงานขอบสันผ่าข้างทำรถกระบะ ,” ปริญญาานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548.
- [9] Kobayashi, S., Oh, S. and Altan, T., “Metal Forming and Finite Element Method.” New York Oxford University,1989, pp.58-109.

- [10] พนา แซ่มสวัสดิ์ , “การแก้ปัญหาการร่อนในงานขึ้นรูปด้วยที่ทำความร้อนเหล็กกล้าไร้สนิม ,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการผลิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2541.
- [11] สุบิน ชันดี, “การศึกษาความไวต่อการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548.
- [12] ชาญ อดงาน , “เทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะและพื้นฐานการขึ้นรูปโลหะ ,” พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2547.
- [13] *Manfred Jasner, Meinhard Hecht, Wolfgang Beckmann*, “ Heat Exchangers and Piping Systems from Copper Alloys Commissioning.” published by KME , 1998.
- [14] Van Sant Enterprises, Inc. 80 Truman Road Pella, IA 50219 877-VAN-SANT.
- [15] ชูปราโมทย์เดชะอำไพ , “ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม.” พิมพ์ครั้งที่ 4. : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550. หน้า 3-18.
- [16] R. W. Clough, *the Finite Element Method*. Pittsburgh, PA, September 1960, pp.8-9.
- [17] Tai Hun Kwon, “Introduction to Finite Element Method.” Department of Mechanical Engineering Pohang University of Science and Technology, pp. 2.
- [18] Daryl L. Logan, “Finite Element Method Fourth Edition.” University of Wisconsin-Platteville.
- [19] MSC Software Corporation, “Introduction to MSC. MARC AND MENTAT,” 815 Colorado Boulevard Innsbruck Ring 15 Los Angeles, 2007.
- [20] T. H. Kwon, *FEM MODELLING INTRODUCTION*, 2005.
- [21] MSC Software Corporation, “MSC. MARC USER GUIDE VERSION 2008 R1 VOLUME B.” 815 Colorado Boulevard Innsbruck Ring 15 Los Angeles, March 2008.
- [22] MSC Software, “MSC. MARC. MENTAT.” 815 Colorado Boulevard Innsbruck Ring 15 Los Angeles, 2003.
- [23] D.A. Anderson, J.C. Tannehill, and R.H. Pletcher, “*Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer*.” Hemisphere Washington DC, 1984.
- [24] GK Lal SK Chhouthury, “*FUNDAMENTALS OF MANUFACTURING PROCESSES*,” Alpha Science International Ltd. Harrow, U.K., 2005.

- [25] วิทยา สงวนวรรณ และทีมงานวิชาการ , “*NX CAE THE FINITE ELEMENT (FEA) ANALYSIS.*” :สำนักพิมพ์ เอนจิเนียร์แอนด์คิเคคพลัส 315/22-23 ถ.สุขาภิบาล 6 ต.บางพลีใหญ่ อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ 10540, 2343.
- [26] รศ.ดร.เดช พุทธเจริญทอง , “*ทฤษฎีพลาสติกซิตีและการเปลี่ยนรูปถาวร .*” ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี , : ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ 431/5 ถ.ประชาราษฎร์บำเพ็ญ เขตห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร 10320, 2553.
- [27] Frank J. Vecchio, Professor, “*Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Membranes.*” Department of Civil Engineering, University of Toronto, Ontario Canada.,2014.
- [28] Kurt Lage, Professor, “*HANDBOOK OF METAL FORMING,*” University of Stuttgart.
- [29] Bill Smith and Mark King, “*Bending Square and Retangular Tubing.*” May 16, 2002.
- [30] J D Square Inc. 2244 Eddie Williams Rd. Johnson City, Opyright 2009.
- [31] K. Longe, *Handbook of Metal Forming, Society of manufacturing Engineering,* 1985.
- [32] V.A.Zharkov, “*Theory and Practice of Deep Drawing.*” Mechanical Engineering Publication Limited,London.,1995.
- [33] ทวีภัทร์ บุรณชิตี .“การออกแบบการขึ้นรูปขึ้นส่วนขวางยึดเครื่องยนต์โดยการวิเคราะห์ การนิกษาดและรอย่น.” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

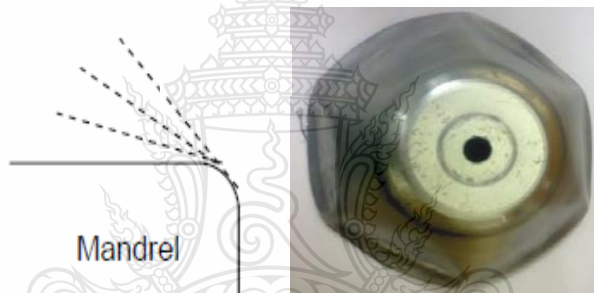
ผลการทดลอง



ก.1 การทดลอง Pre - Test

ก.1.1 การเปรียบเทียบลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่มีอิทธิพลของชิ้นงานด้วยกระบวนการหมุนขึ้นรูป ในการเปรียบเทียบกระบวนการหมุนขึ้นรูปเพื่อหาตัวแปรที่ดีที่สุดของลักษณะการเคลื่อนที่ในการหมุนขึ้นรูปใช้ความเร็วรอบที่ 500 รอบ/นาที อัตราป้อนตามแนวแกน 0.2 มิลลิเมตร/รอบ เท่ากันทั้งสามลักษณะการเคลื่อนที่

การเคลื่อนที่แบบเส้นตรง (Linear) เป็นการเคลื่อนที่ของลูกรีดตามแนวรัศมีของแม่พิมพ์หมุนขึ้นรูปเป็นเส้นตรงตามองศาของการเคลื่อนที่ที่กำหนดในการใช้การเคลื่อนที่แบบเส้นตรง พบว่าชิ้นงานเกิดรอยย่นซึ่งเกิดจากผลกระทบของอิทธิพลในแนวเส้นรอบวงของแผ่นชิ้นงานลดขนาดเส้นรอบวงในระหว่างการหมุนขึ้นรูปจึงไม่ประสบความสำเร็จในการหมุนขึ้นรูปด้วยสำหรับงานวิจัยนี้ ดังรูป



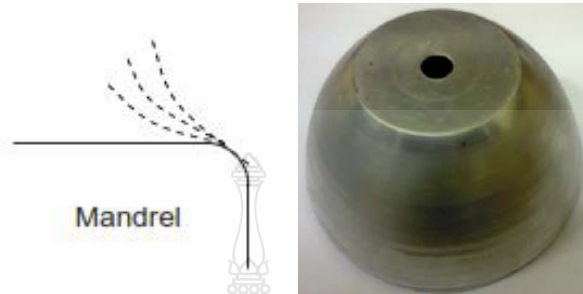
รูปชิ้นงานลักษณะการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง และชิ้นงานที่ได้จากการหมุนขึ้นรูปด้วยการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง

การเคลื่อนที่แบบหมุนโค้งเข้า (Convex) เป็นการเคลื่อนที่ของลูกรีดตามแนวรัศมีของแม่พิมพ์หมุนขึ้นรูป ในการใช้การเคลื่อนที่แบบหมุนโค้งเข้าพบว่าจะเกิดการแตกร้าวตามแนวรัศมี จึงไม่ประสบความสำเร็จในการหมุนขึ้นรูปด้วยสำหรับงานวิจัยนี้ ดังรูป



รูปชิ้นงานลักษณะการเคลื่อนที่แบบหมุนโค้งเข้า และชิ้นงานที่ได้จากการหมุนขึ้นรูปด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนโค้งเข้า

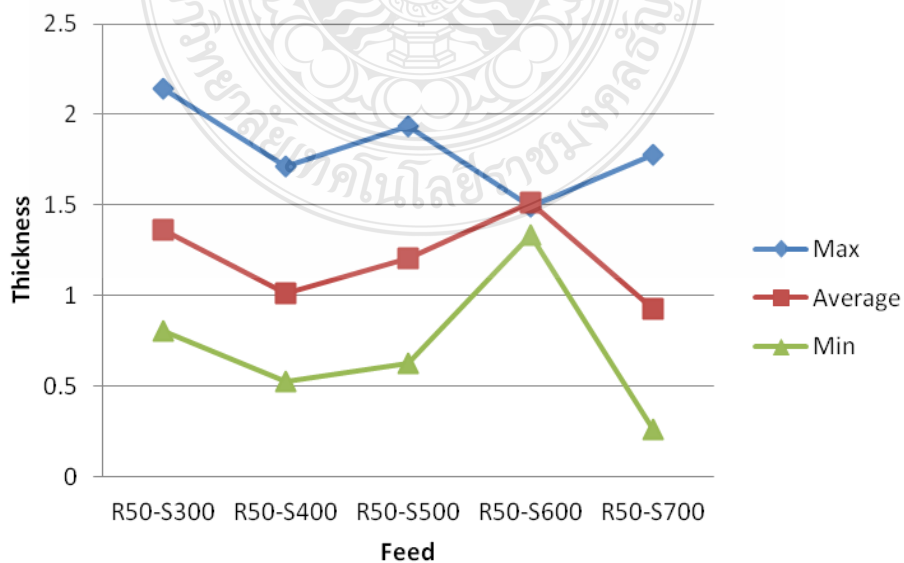
การเคลื่อนที่แบบหมุนโค้งออก (Concave) เป็นการเคลื่อนที่ของลูกรีดตามแนวรัศมีของแม่พิมพ์หมุนขึ้นรูป ในการใช้การเคลื่อนที่แบบหมุนโค้งออกพบว่าประสบความสำเร็จในการหมุนขึ้นรูปถ้วยสำหรับงานวิจัยนี้ ดังรูป



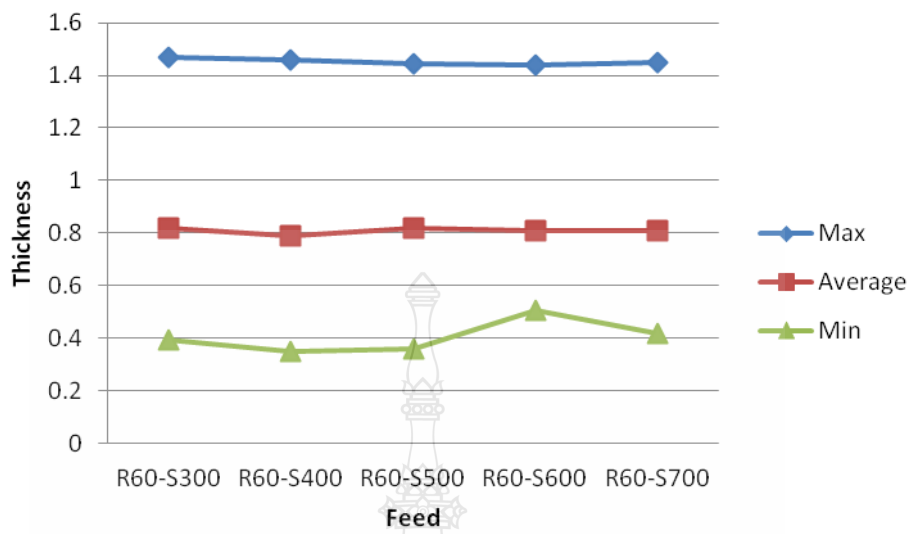
รูปชิ้นงานลักษณะการเคลื่อนที่แบบหมุนโค้งออก และชิ้นงานที่ได้จากการหมุนขึ้นรูปด้วยการเคลื่อนที่แบบหมุนโค้งออก

จากการเปรียบเทียบลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกรีดทั้ง 3 ลักษณะพบว่าสำหรับชิ้นงานรูปถ้วยด้วยการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงชิ้นงานเกิดรอยย่นไม่สามารถขึ้นรูปได้สำหรับการทดลองนี้จึงไม่สามารถนำลักษณะการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงมาใช้ในการขึ้นรูปได้ ส่วนการเคลื่อนที่แบบหมุนโค้งเข้าชิ้นงานเกิดการแตกร้าวตามแนวรัศมีชิ้นงานไม่สามารถขึ้นรูปได้ในทางตรงกันข้ามในการใช้ลักษณะการเคลื่อนที่แบบหมุนโค้งออกชิ้นงานสามารถขึ้นรูปได้

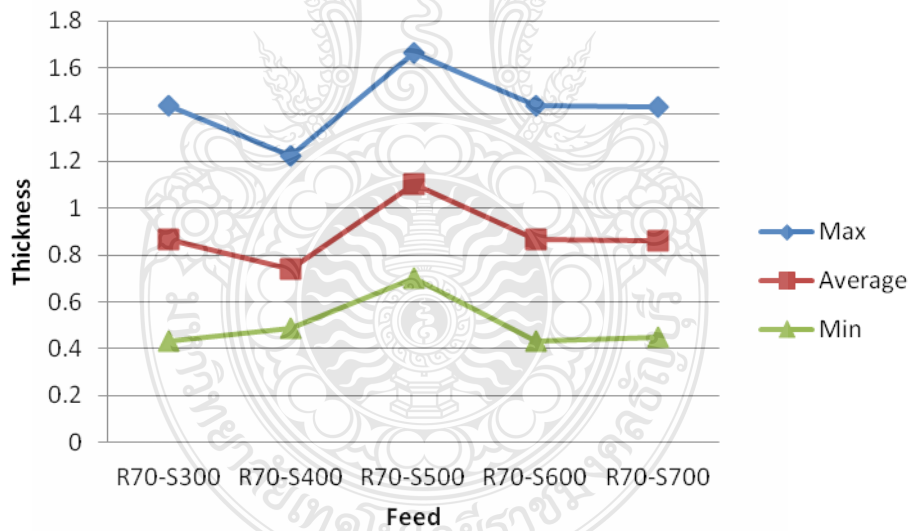
ก.2 กราฟการทดลองแสดงความหนาชิ้นงานหลังกระบวนการหมุนขึ้นรูป
ก.2.1 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ R50 มิลลิเมตร



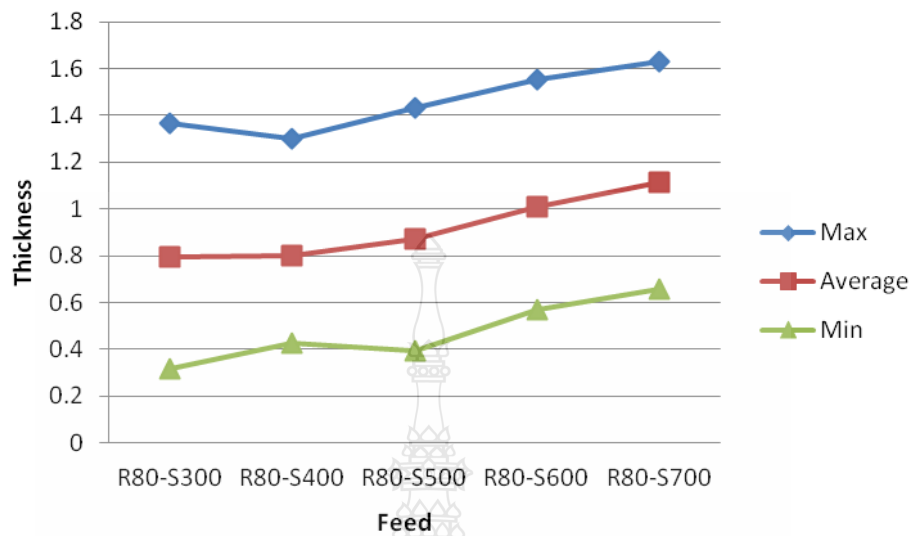
ก.2.2 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ R60 มิลลิเมตร



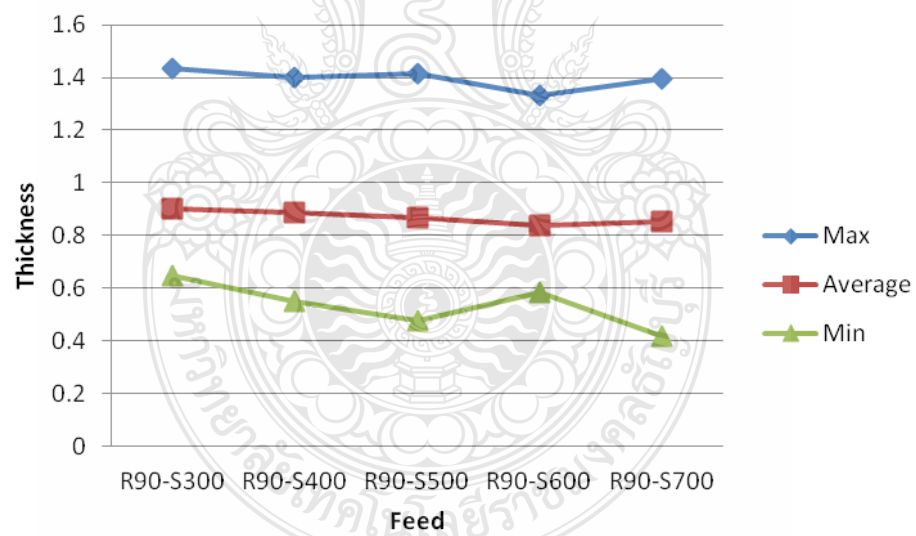
ก.2.3 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ R70 มิลลิเมตร



ก.2.4 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ R80 มิลลิเมตร

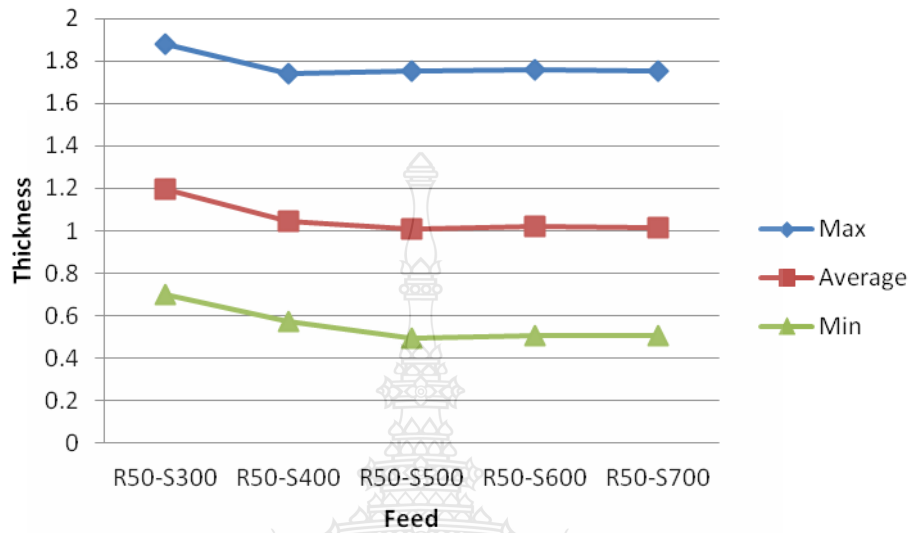


ก.2.5 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ R90 มิลลิเมตร

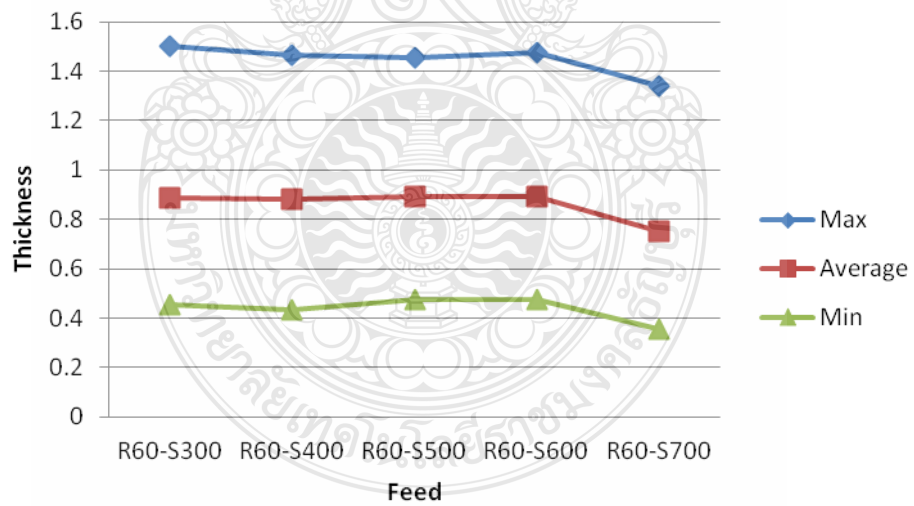


ก.3 รูปชิ้นงานหลังการหมุนขึ้นรูปด้วยความเร็วในการเคลื่อนที่ (Feeds) 0.2 มิลลิเมตร/รอบ

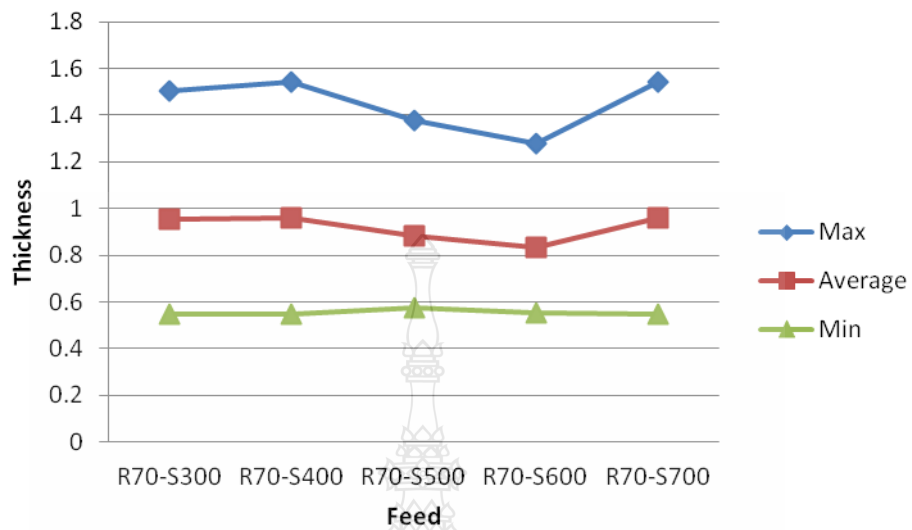
ก.3.1 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกกรีดที่ R50 มิลลิเมตร



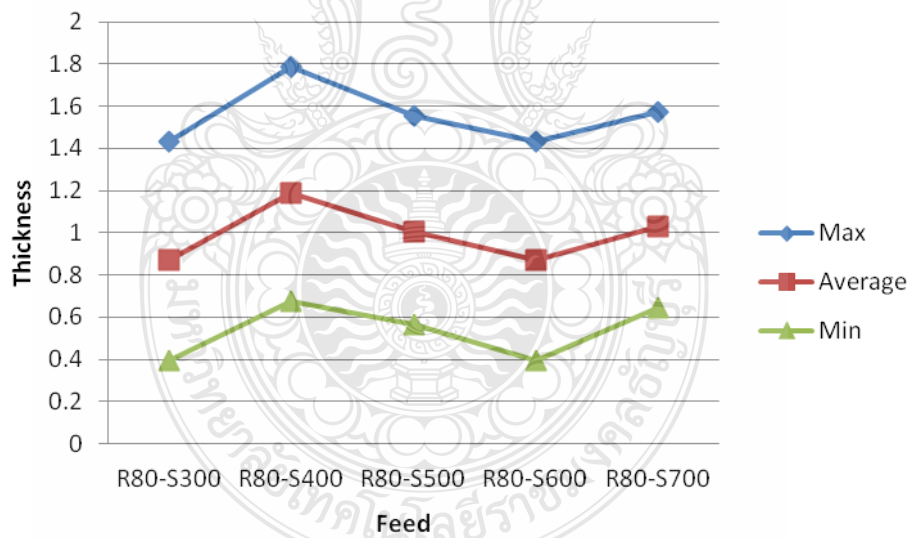
ก.3.2 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกกรีดที่ R60 มิลลิเมตร



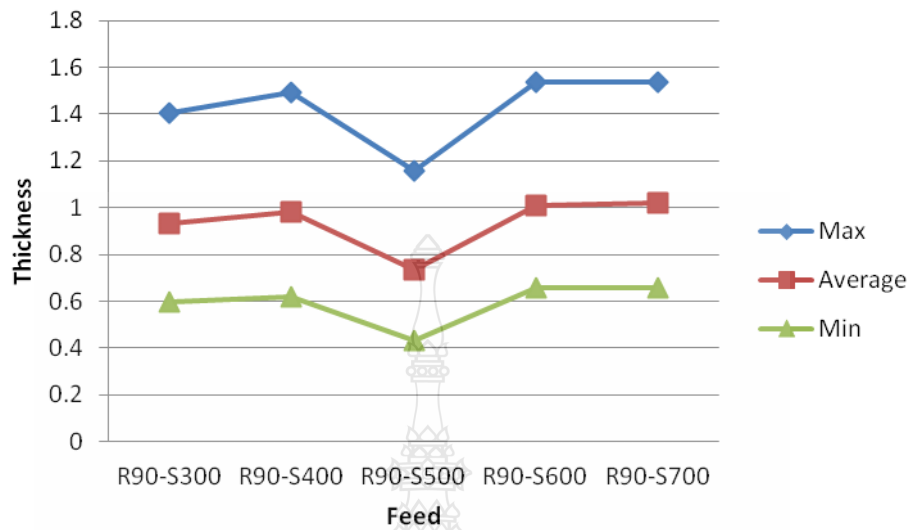
ก.3.3 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกกรีดที่ R70 มิลลิเมตร



ก.3.4 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกกรีดที่ R80 มิลลิเมตร

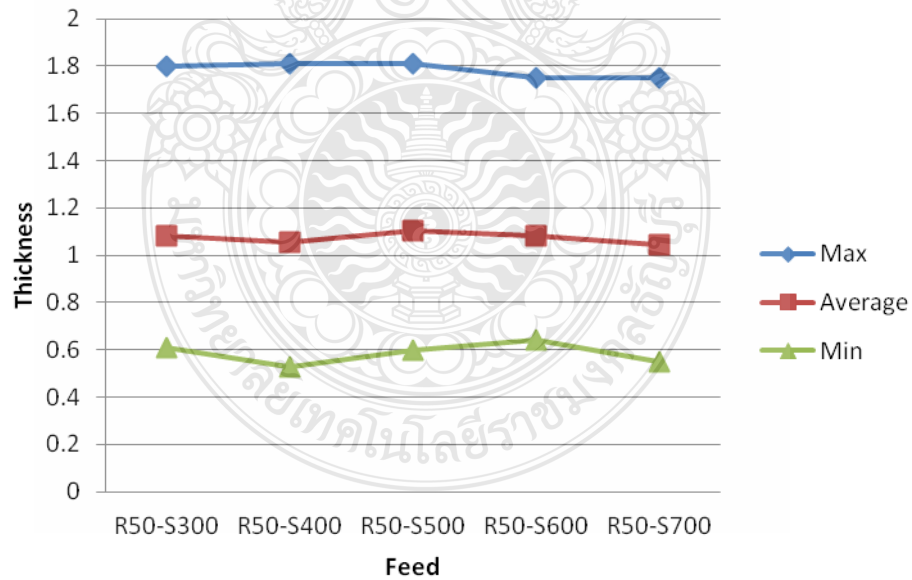


ก.3.5 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ R90 มิลลิเมตร

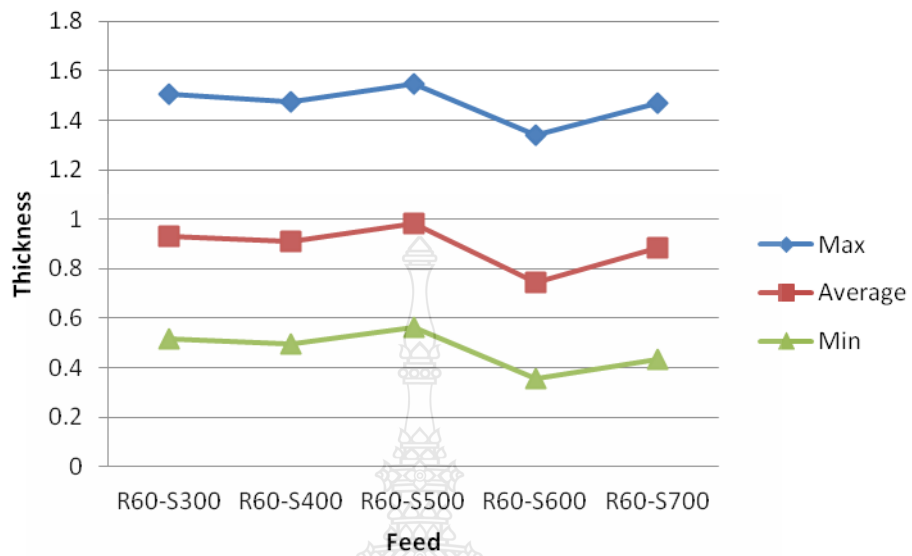


ก.4 รูปชิ้นงานหลังการหมุนขึ้นรูปด้วยความเร็วในการเคลื่อนที่ (Feeds) 0.3 มิลลิเมตร/รอบ

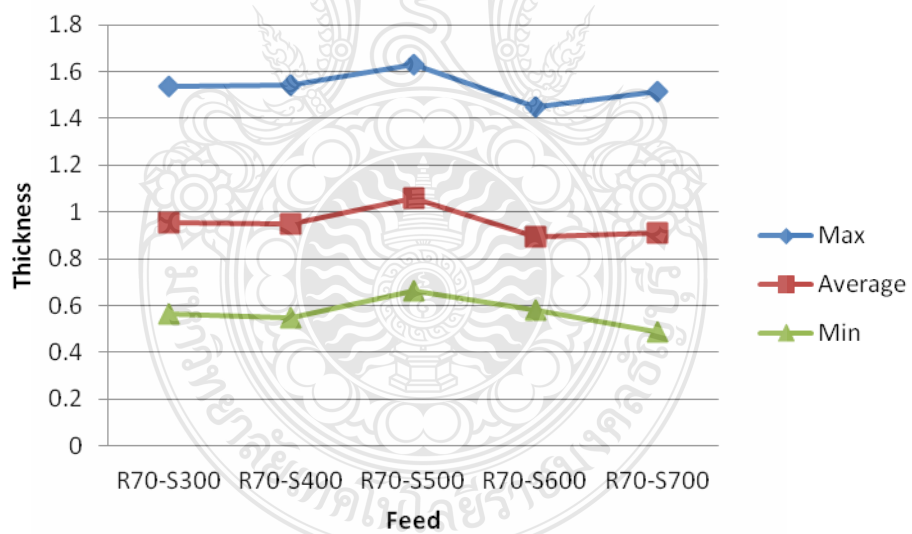
ก.4.1 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ R50 มิลลิเมตร



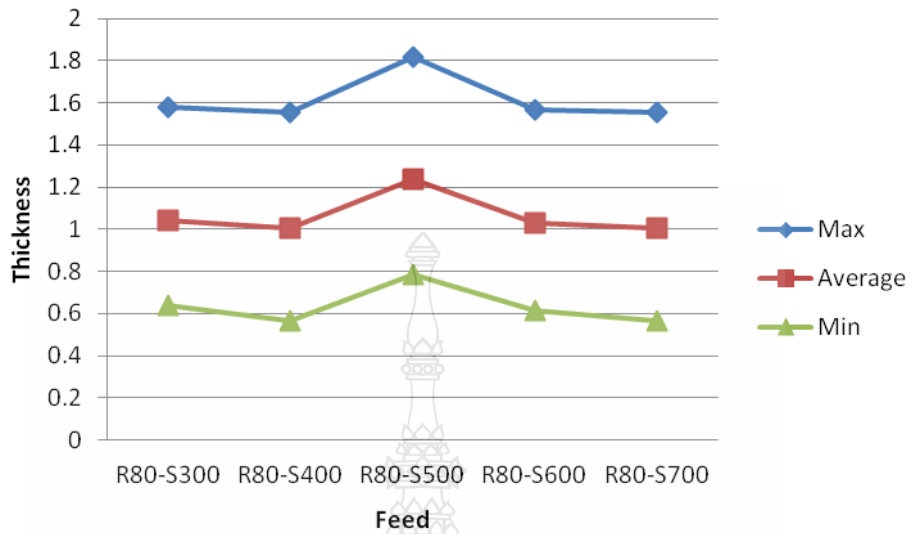
ก.4.2 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ R60 มิลลิเมตร



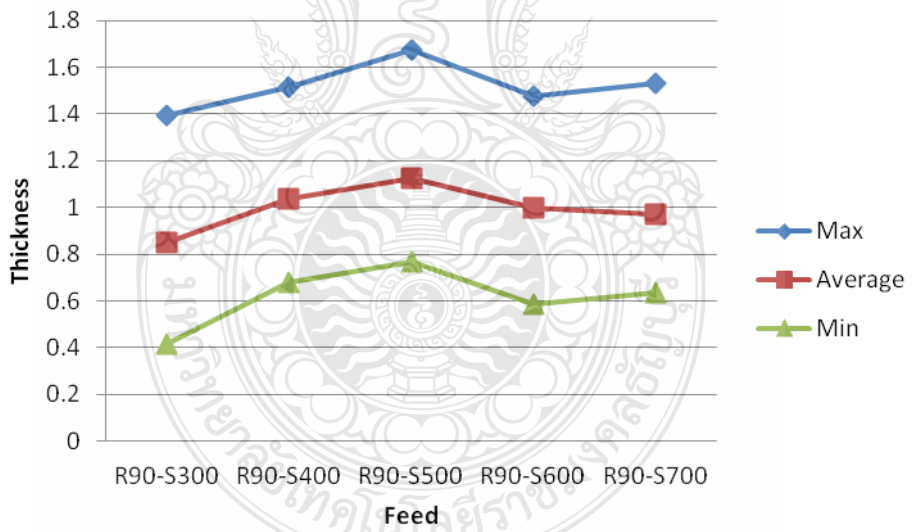
ก.4.3 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ R70 มิลลิเมตร



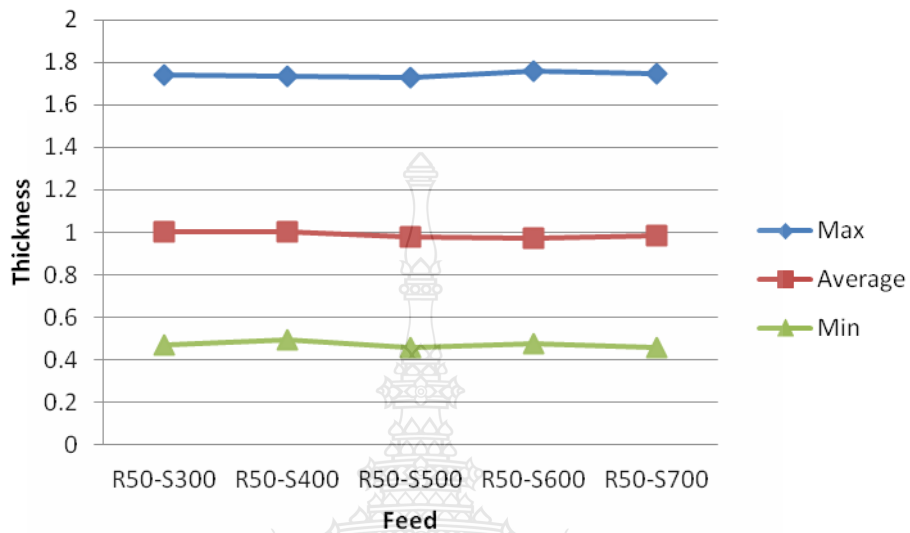
ก.4.4 รัศมีการเคลือบ น้ที่ของลูกรีดที่ R80 มิลลิเมตร



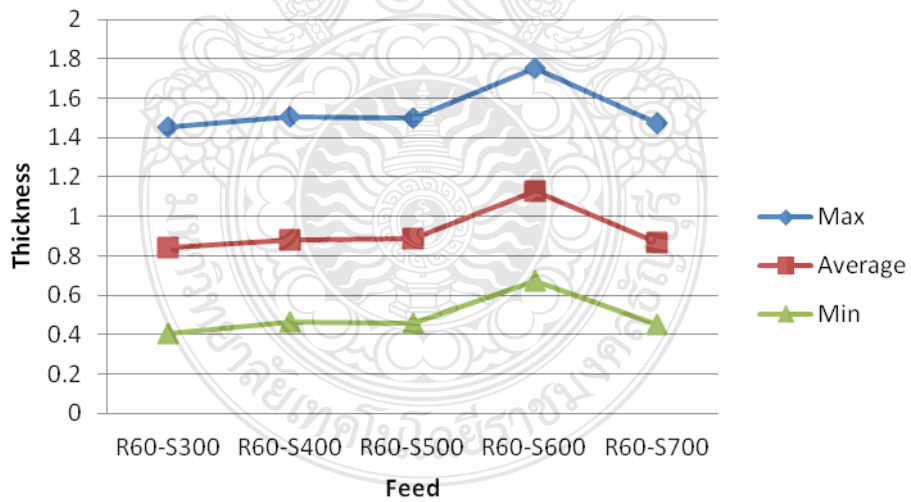
ก.4.5 รัศมีการเคลือบ น้ที่ของลูกรีดที่ R90 มิลลิเมตร



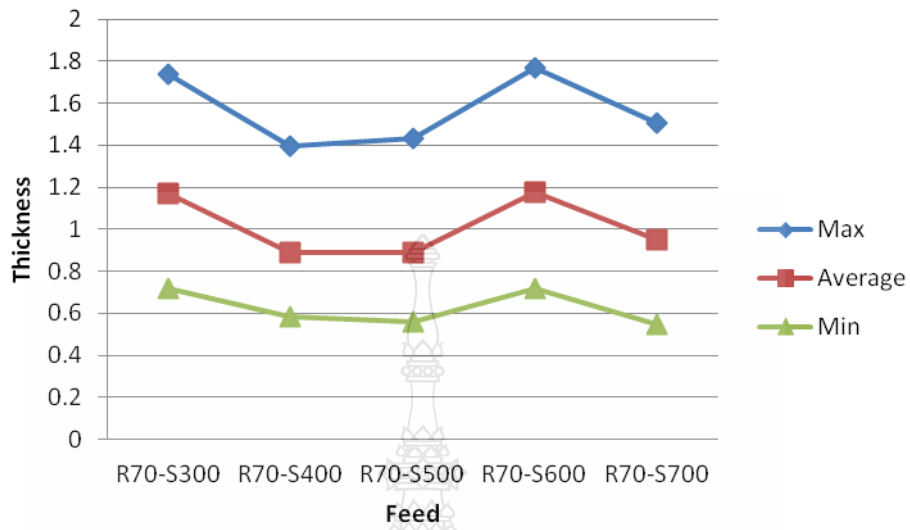
ก.5 รูปขึ้นงานหลังการหมุนขึ้นรูปด้วยความเร็วในการเคลื่อนที่ (Feeds) 0.4 มิลลิเมตร/รอบ
 ก.5.1 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ R50 มิลลิเมตร



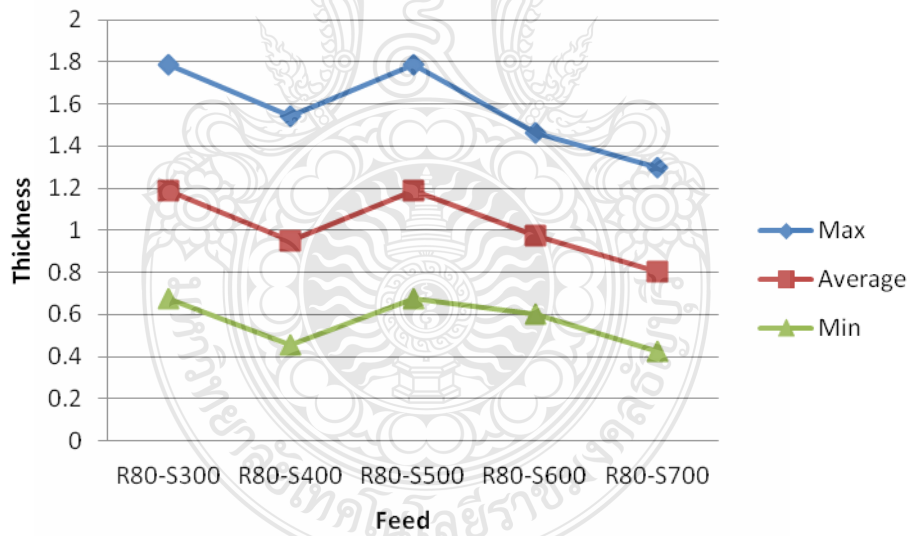
ก.5.2 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ R60 มิลลิเมตร



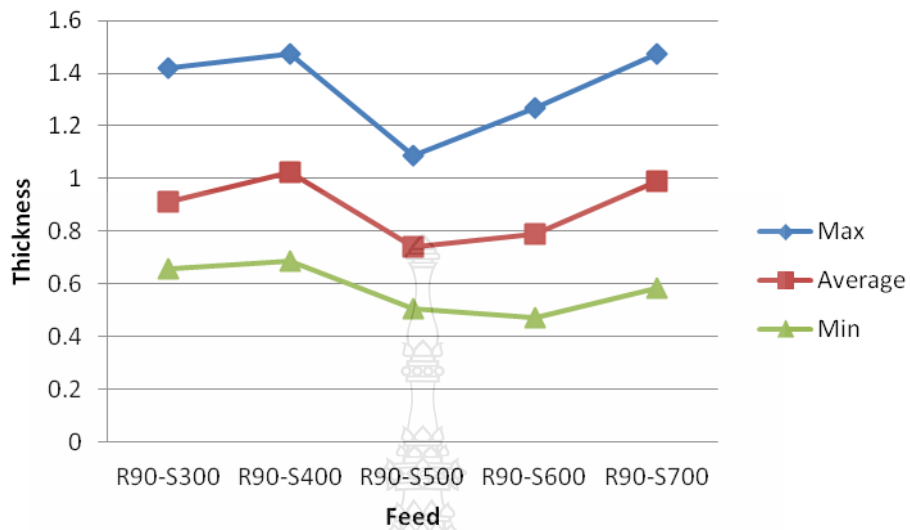
ก.5.3 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ R70 มิลลิเมตร



ก.5.4 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ R80 มิลลิเมตร

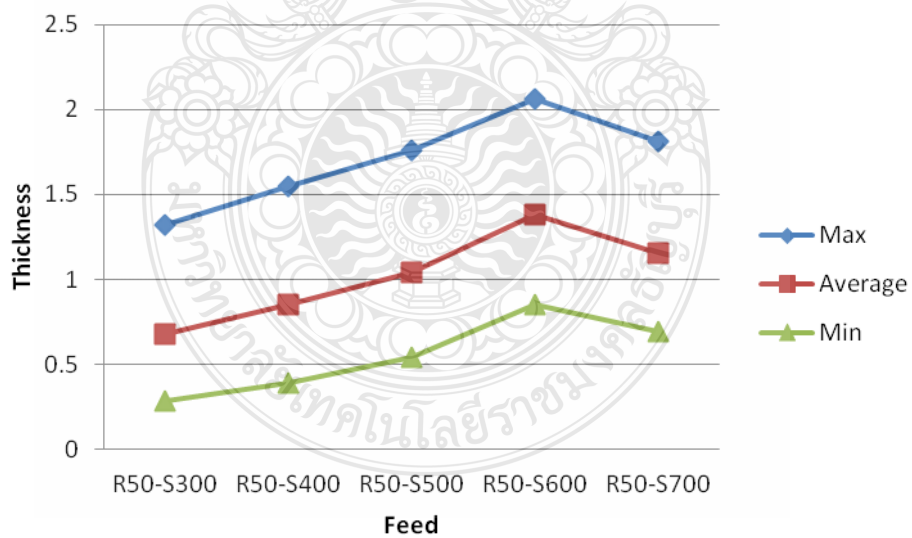


ก.5.5 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ R90 มิลลิเมตร

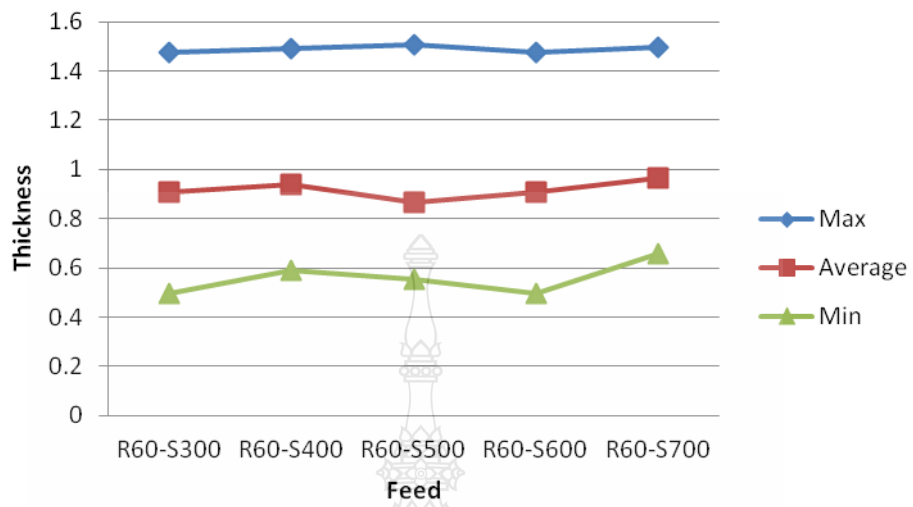


ก.6 รูปขึ้นงานหลังการหมุนขึ้นรูปด้วยความเร็วในการเคลื่อนที่ (Feeds) 0.5 มิลลิเมตร/รอบ

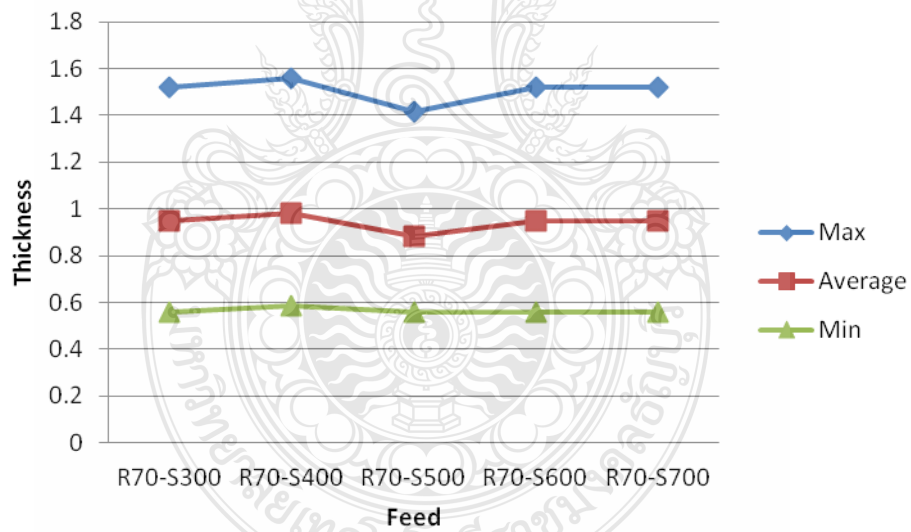
ก.6.1 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ R50 มิลลิเมตร



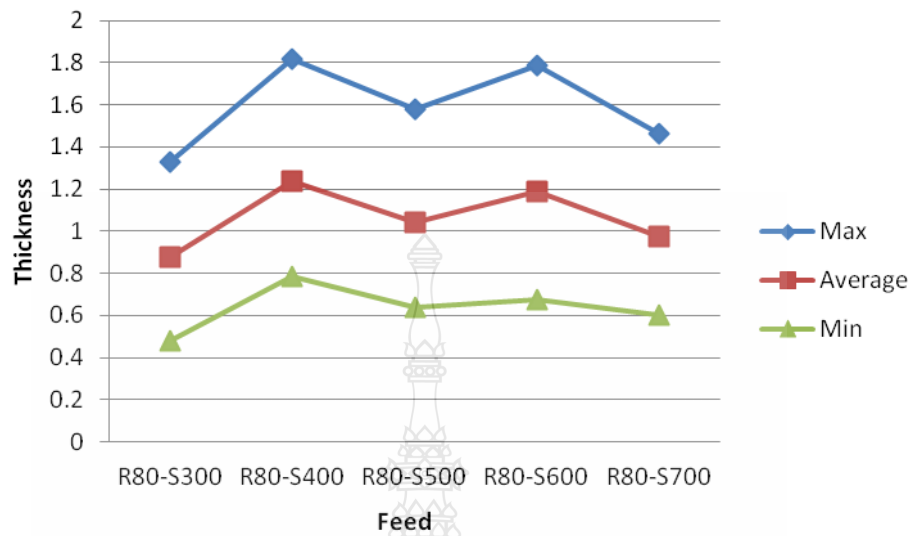
ก.6.2 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกกรีตที่ R60 มิลลิเมตร



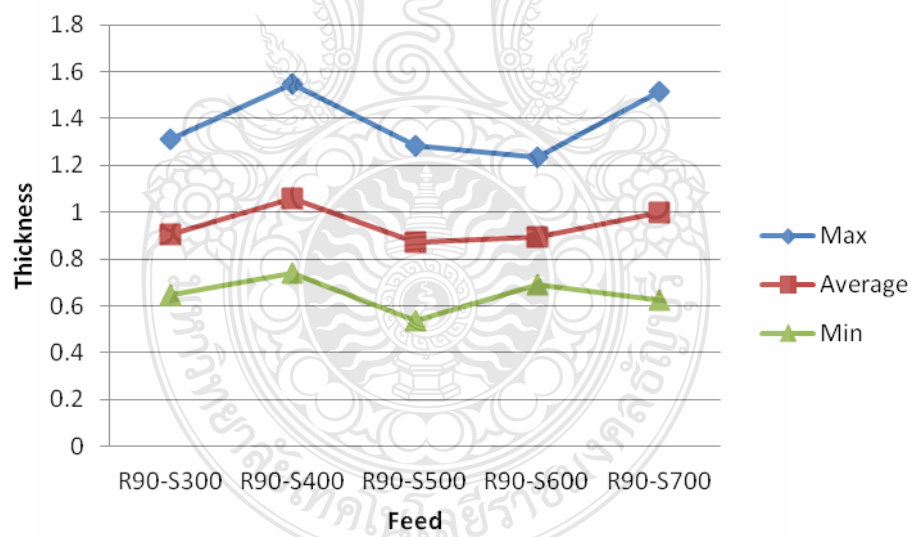
ก.6.3 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกกรีตที่ R70 มิลลิเมตร



ก.6.4 รัศมีการเคลือบ น้ที่ของลูกรีดที่ R80 มิลลิเมตร



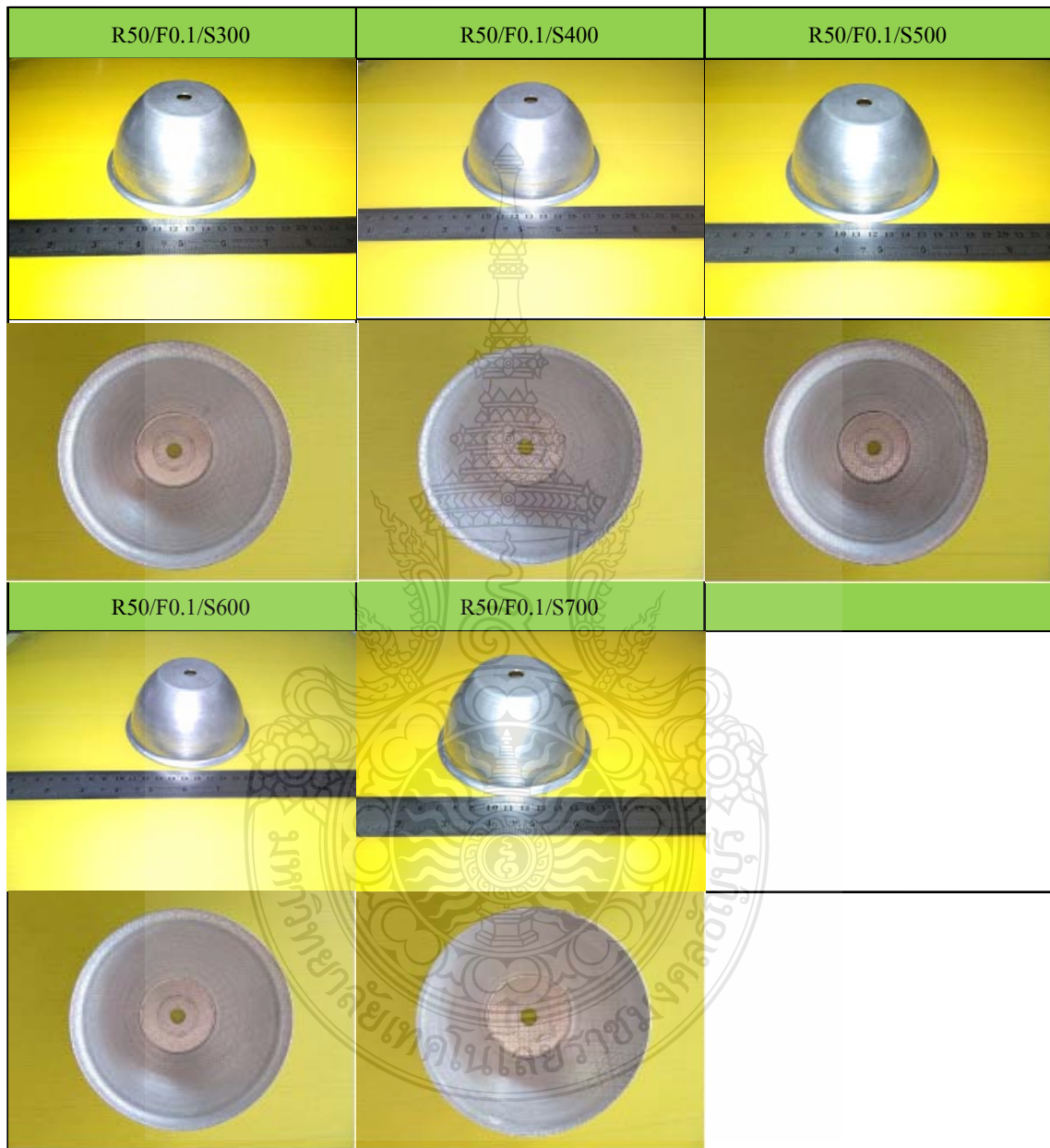
ก.6.5 รัศมีการเคลือบ น้ที่ของลูกรีดที่ R90 มิลลิเมตร





ข.1 รูปชิ้นงานหลังการหมุนขึ้นรูปด้วยความเร็วในการเคลื่อนที่ (Feeds) 0.1 มิลลิเมตร/รอบ

ข.1.1 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ R50 มิลลิเมตร



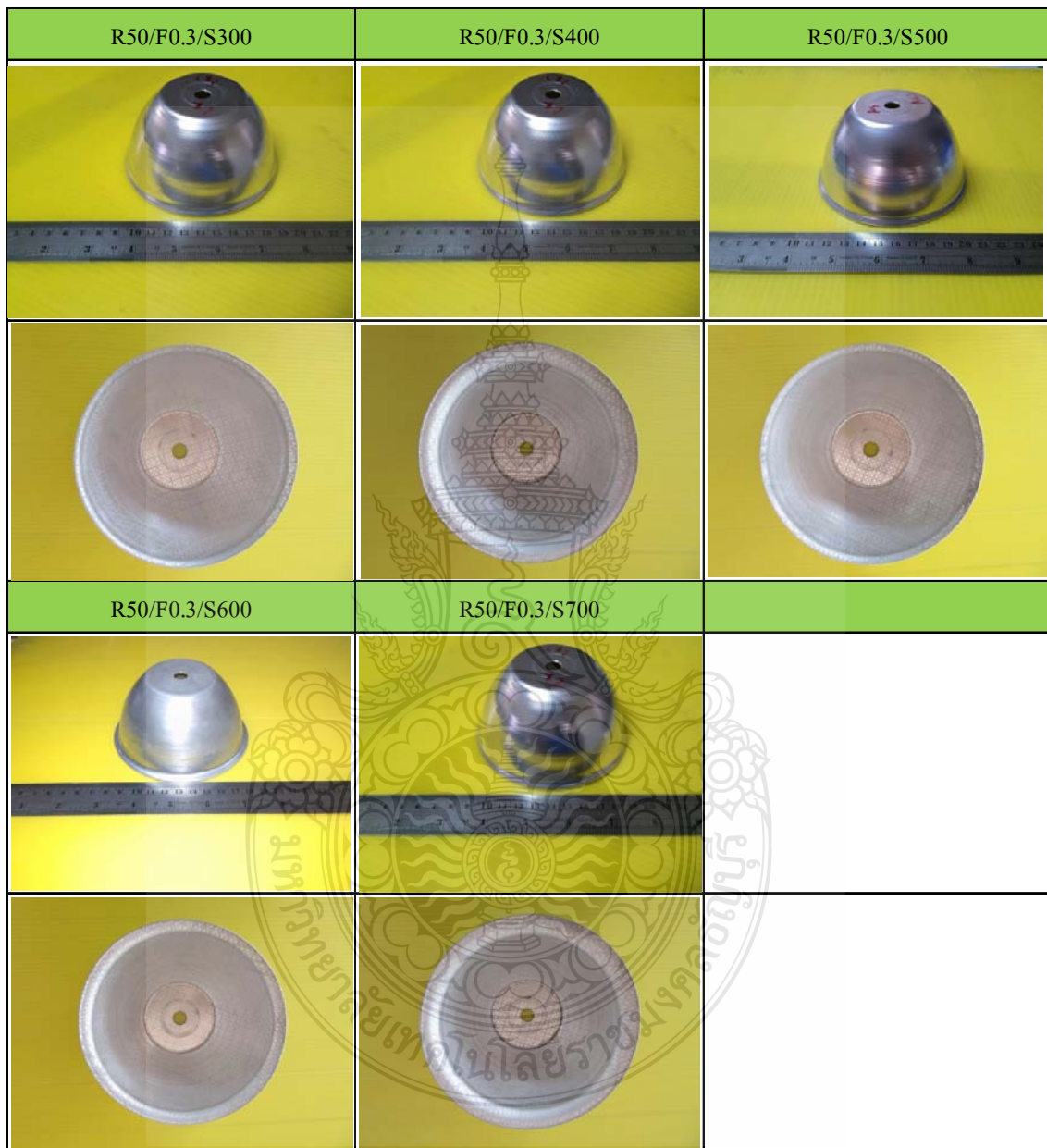
ข.2 รูปชิ้นงานหลังการหมุนขึ้นรูปด้วยความเร็วในการเคลื่อนที่ (Feeds) 0.2 มิลลิเมตร/รอบ

ข.2.1 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ R50 มิลลิเมตร



ข.3 รูปชิ้นงานหลังการหมุนขึ้นรูปด้วยความเร็วในการเคลื่อนที่ (Feeds) 0.3 มิลลิเมตร/รอบ

ข.3.1 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ R50 มิลลิเมตร











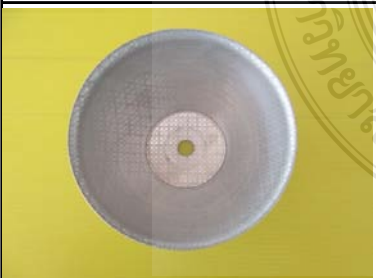

ข.4 รูปชิ้นงานหลังการหมุนขึ้นรูปด้วยความเร็วในการเคลื่อนที่ (Feeds) 0.4 มิลลิเมตร/รอบ

ข.4.1 รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ R50 มิลลิเมตร



ข.5 รูปชิ้นงานหลังการหมุนขึ้นรูปด้วยความเร็วในการเคลื่อนที่ (Feeds) 0.5 มิลลิเมตร/รอบ

ข.5.1 รัศมีการเคลื่อนที่ ของลูกกรีตที่ R50 มิลลิเมตร

R50/F0.5/S300	R50/F0.5/S400	R50/F0.5/S500
		
		
R50/F0.5/S600	R50/F0.5/S700	
		
		



ภาคผนวก ค
การสร้างกริดวงกลม

การสร้างกริดวงกลมขนาด 2.5 มิลลิเมตร ที่ใช้กรดเกลือกัดด้วยไฟฟ้ามีกระบวนการดังต่อไปนี้คือ

- นำแผ่นเหล็กทรงรีขนาด 10 x 12 นิ้วมาล้างทำความสะอาด
- ประกอบตัวปรับแปลงไฟโดยให้สายดินหนีบกับแผ่นรองอีกสายหนึ่งติดลูกกอล์ฟ
- วางแผ่นโลหะซึ่งเป็นชิ้นทดสอบที่จะใช้ขึ้นรูปบนแผ่นเหล็กทรงรีอีกทีหนึ่งโดยแผ่นชิ้นงานจะต้องผ่านการแต่งครีบบนผิวและขอบพร้อมกับล้างคราบไขมันให้สะอาดแล้วเช็ดให้แห้งระวังอย่าให้มีเศษโลหะหรือวัสดุใดๆ เพราะจะทำให้แผ่น Stencils เกิดทะลุได้ในขณะใช้ลูกกอล์ฟกดขึ้นรูปด้วยไฟฟ้า
- นำแผ่น Stencils วางบนชิ้นงานโดยจัดให้เหมาะสมกับชิ้นงาน
- นำแผ่นเบาะรองที่จุ่มด้วยน้ำยา อิเล็กโทรไลต์ หนาๆ เช็ดบนแผ่น Stencils ในบริเวณที่จะตีกริดให้ทั่วถึงโดยให้หนาๆ แล้วจัดแผ่น Stencils ให้ตั้งอย่างให้ยื่น
- นำแผ่นเบาะรองจุ่มด้วยน้ำยาอิเล็กโทรไลต์และบิดพอให้เปียกๆ วางบนแผ่น Stencils อีกทีหนึ่งในกรณีแผ่นเบาะรองยังจุ่มด้วยน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ก็ยังไม่ต้องจุ่มน้ำยาจนกว่าจะแห้งพอประมาณ
- เปิดสวิทซ์ที่เครื่องปรับไฟปรับตั้งขนาดไฟฟ้าให้เหมาะสมใช้ลูกกอล์ฟกดลงบนแผ่นเบาะรองด้วยน้ำหนักพอประมาณ (เคลื่อนที่ไปอย่างช้าๆ เพียงครั้งเดียว) ซึ่งสังเกตโดยให้เข็มวัดกระแสไฟฟ้ากระดิกมาที่กึ่งกลางหรือสูงๆ ของมาตรวัดจะทำให้กริดวงกลมบนแผ่นโลหะมีความชัดเจนและเส้นมีความคมสวยงามหลังจากนั้นจึงปิดสวิทซ์ไฟแล้วนำแผ่นเบาะรองและ Stencils ออกเพื่อดูว่ากริดวงกลมมีความชัดเจนหรือไม่
- หลังจากตีกริดวงกลมเสร็จแล้วให้นำแผ่นทดสอบมาล้างด้วยน้ำยาล้างทำความสะอาดและเช็ดให้แห้งแล้วพ่นน้ำยากัดสนิม เพื่อบำรุงชิ้นงานต่อไป



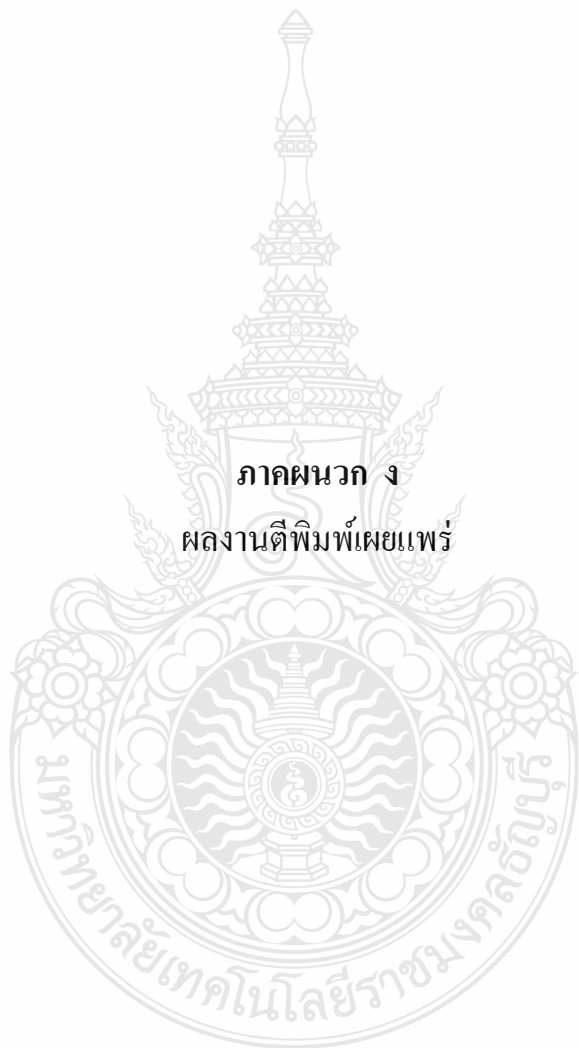
รูป ค.1 แผ่น Stencil ขนาด 10 x 12 นิ้ว



รูป ค.2 เครื่องปรับแปลงไฟที่ประกอบด้วยลูกกลิ้งและสายดิน



รูป ค.3 ลักษณะการขึ้นรูปกรีดวงกลมโดยใช้ลูกกลิ้งกด



ภาคผนวก ง
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



ตามรอยพระยุคลบาท เกษตรศาสตร์กำแพงแสน



การประชุมวิชาการแห่งชาติ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

The 9th KU-KPS Conference

ครั้งที่ 9

6-7 ธันวาคม 2555



บทคัดย่อ
Abstract

การออกแบบและสร้างโต๊ะเขียนผ้าบาติกที่ควบคุมอุณหภูมิโดยวงจรรีเลย์	51
ระบบรักษาความปลอดภัยภายในบ้านพักอาศัยแบบไร้สายที่ใช้โมดูลสื่อสารซิกบี	
ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์.....	53
กลยุทธ์การดำเนินงานสำหรับการผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดของระบบการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม	
ในโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ	55
การศึกษาอิทธิพลของการแปรพารามิเตอร์การกัดเจาะด้วยไฟฟ้าต่อคุณภาพของเหล็กกล้าเครื่องมือ.....	57
การกำจัดแบคทีเรีย Staphylococcus epidermidis ในอากาศด้วยแผ่นฟอกอากาศโฟโตคะตะไลติก ...	59
การศึกษาหาสภาพการทำงานที่เหมาะสมในด้านการประหยัดพลังงานของเครื่องดักฝุ่น	
แบบถุงกรองในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์	61
การวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงของการผลิตสินค้าบกพร่องในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์	
โดยใช้ตัวแบบเชิงเส้นน้อยทั่วไป (GLM)	63
การศึกษาอิทธิพลรัศมีและลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงาน	
รูปถ้วยอลูมิเนียมด้วยกระบวนการหมุนขึ้นรูป	65
การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยการใช้เทคนิควิศวกรรมอุตสาหกรรมกรณีศึกษา	
โรงงานผลิตรองเท้าแบบฉีด	67
อิทธิพลของการอบอ่อนหลังการเชื่อมด้วยความเสียดทานเหล็ก AISI 1045	69
การศึกษาอิทธิพลความเร็วรอบแม่พิมพ์สปีดปิ้งที่มีผลต่อการขึ้นรูปแผ่นอลูมิเนียม	
ด้วยกระบวนการสปีดปิ้ง	71
การศึกษาอิทธิพลรัศมีแม่สปีดปิ้งที่มีผลต่อการขึ้นรูปถ้วยอลูมิเนียมด้วยกระบวนการสปีดปิ้ง	73
อิทธิพลของการอบอ่อนที่มีผลต่อการเชื่อมเหล็ก AISI 1045 ด้วยแรงเสียดทาน	75
การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรพารามิเตอร์ต่อการเชื่อมความต้านทานแบบจุดเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ	
เกรด AISI 1010 กรณีศึกษาการเชื่อมแบบต่อเกย 3 ชั้น	77
การศึกษาสมบัติการไหลและการจำลองพฤติกรรมการไหลของยางคอมพาวนด์	
ภายในช่องทางการไหลขนาดเล็ก	79
สาขาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม	
การควบคุมความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในโตรเจนและอัตราการทำบำบัดแอมโมเนีย	
โดยตะกอนชีวภาพจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด	83
การเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Oxidation Pond	
และ Extended Aeration Activated Sludge ของมหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา	85
ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของเขื่อนนามือกบนตัวกลางชนิดต่างๆ	
ในถังปฏิกรณ์ซีควนซิงแบคทีเรีย	87
ผลของอะซิเตตต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนด้วยกระบวนการอนามือกในถังปฏิกรณ์	
แบบซีควนซิงแบคทีเรียที่มีตัวกลางสัมผัส	89

คณะอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการแห่งชาติ สาขาวิศวกรรมศาสตร์

ที่ปรึกษา

นายบัญชา ขวัญยืน
นายเชาว์ อินทร์ประสิทธิ์
นายเสกสรร สีหพงษ์
นายวรารุณ วุฒินิษฐ์
นายประเทือง อุษาบริสุทธิ์
นางสาวง่างาม ประจวบวัน

ประธานอนุกรรมการ

นายศิริศักดิ์ เชิดเกียรติพล

รองประธานอนุกรรมการ

นายหทัยเทพ วงศ์สุวรรณ

อนุกรรมการและเลขานุการ

นางสาวหิรัญญกานต์ กล้าทอง

อนุกรรมการ

นายวัชรพล ชยประเสริฐ

นายวิษุวัตม์ แก้วสมบัติ

นายวรศักดิ์ สมตน

นายณัฏศักดิ์ ชมหวาน

นายปรีดา ปราบกุ่มมาก

นายอมรฤทธิ์ พุฒิปิพัฒนขจร

นายสมบัติ ชาวประทีป

นายสุทธิพร เนียมหอม

นายอรรถวุฒิ วันแรงใจ

นางนงลักษณ์ สมันตรีฐ

ผู้ทรงคุณวุฒิ สาขาวิศวกรรมศาสตร์

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

รองศาสตราจารย์ประเทือง อุษาบริสุทธิ์

รองศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล

รองศาสตราจารย์วิชา หมั่นทำการ

นายวันรัฐ อับดุลลากาซิม

นายวัชรพล ชยประเสริฐ

รองศาสตราจารย์บัญชา ขวัญยืน

รองศาสตราจารย์วรารุณ วุฒินิษฐ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกสิทธิ์ ไผ่สิตสกุลชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงศธร โสภานันธุ์

นายสมชาย ตอนเจตีย์

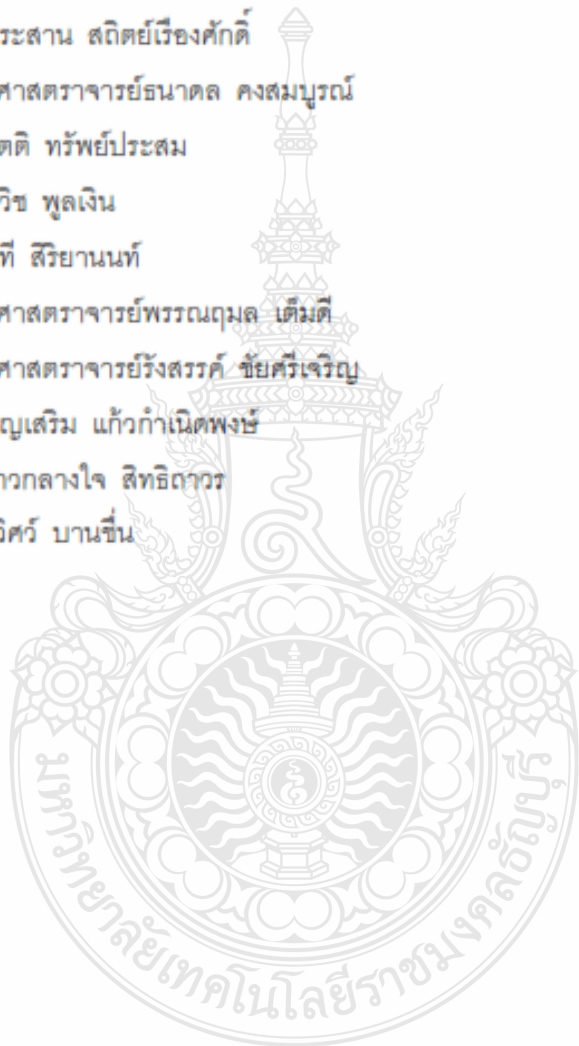
นายจิระกานต์ ศิริวิญญูไมตรี

นายวิษุวัตม์กั แต่สมบัติ
รองศาสตราจารย์รังสิณี ไสธวิทย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนต์ทิพย์ ชำของ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เชาว์ อินทร์ประสิทธิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์รณฤทธิ ฤทธิรณ
นางสาวสุกัญญา วิชชุกิจ
นายณัฐดนัย ตันตวิรุฬห์
นายหทัยเทพ วงศ์สุวรรณ
นายปรีดา ปราบฎมาก
นายสุทธิพร เนียมหอม
นายกิตติพงษ์ เจจาเว็ก
นายนันทวัฒน์ ชมหวาน
นางสาวปนัดดา กสิกิจวิวัฒน์
นายสมชาย ประยงค์พันธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์รัฐติพงษ์ สติระเมธิกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อมรฤทธิ พุทธิพิพัฒน์ขจร
นายกายรัฐ เจริญราษฎร์
นางสาวปวีฉัตร เสริมวุฒิสาร

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

รองศาสตราจารย์ปารมณัส ศิริสมบุรณ์
รองศาสตราจารย์สาทิป รัตนภาสกร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรวัดชู ตรีทัศน์วินท์
นางสาวพนิดา มุขปลุกษ์
นางสาวเทวรัตน์ ทิพย์วิมล
นายกระวี ตรีอำนาจ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อารีญา ฤทธิมา
นายวิษณุ ศรีวงษา
นางพรรณพิมพ์ พุทธิรักษา มะเปี่ยม
นายวัชร เสือดี
นางसानิตย์ดา เตียวต้อย
รองศาสตราจารย์ปารมณัส ศิริสมบุรณ์
รองศาสตราจารย์อัมพวัน ตันสกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์นวกัทรာ หนูนาค
รองศาสตราจารย์สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทศนพ กำเนิดทอง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปิ่นวสี ฤทธิประวัตติ
นายปชาณ กุลวานิช
นายประธาน สถิตย์เรืองศักดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนาตล คงสมบูรณ์
นายกิตติ ทรัพย์ประสม
นายทวิช พูลเงิน
นายนที สิริยานนท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พรรณฤมล เต็มดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์รังสรรค์ ชัยศรีเจริญ
นายบุญเสริม แก้วกำเนิดพงษ์
นางสาวกลางใจ สิทธิถาวร
นายวิศว์ บานชื่น



**การศึกษาอิทธิพลของรัศมีและลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานรูปถ้วย
อลูมิเนียมด้วยกระบวนการหมุนขึ้นรูป**

A study of influences of the radius and rolling paths of the spinning roller on part qualities of an
aluminum cup produced by a spinning process

รัตนชัย กองวงศ์¹ ศิวกร ช่างทอง²

Rattanachai Kongwong¹ Sivakorn Anghthong²

บทคัดย่อ

กระบวนการหมุนขึ้นรูปแผ่นโลหะได้มีการศึกษาและพัฒนาวิธีการกันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ในบทความนี้มุ่งศึกษาถึงอิทธิพล เกี่ยวกับรัศมีและการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานในกระบวนการหมุนขึ้นรูป มีลักษณะการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง แบบหมุนโค้งออก และแบบหมุนโค้งเข้า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาอิทธิพลรัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดผสมกันระหว่างการเคลื่อนที่แบบหมุนโค้งออกกับแบบหมุนโค้งเข้า โดยกำหนดรัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร สภาวะการหมุนขึ้นรูปกำหนดความเร็วรอบหมุนขึ้นงาน 600 รอบ/นาที อัตราป้อน 0.2 มิลลิเมตร/รอบ รัศมีมโนลูกรีด 3 มิลลิเมตร โดยทำการขึ้นรูปอลูมิเนียม เกรด AA - 1100 ความหนา 1.2 มิลลิเมตร เพื่อศึกษาอิทธิพลของแรงในแนวแกน ความหนา และความแข็งของชิ้นงาน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ารัศมีและการเคลื่อนที่ของลูกรีด ที่ 90 มิลลิเมตร ส่งผลต่อค่าความหนา และแรงในแนวแกนน้อยสุด แต่ความแข็งของชิ้นงานมีค่าต่ำสุด กล่าวได้ว่ารัศมีและการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ค่าสูงซึ่งมีแนวโน้มทำให้ความหนาและคุณภาพชิ้นงานดีขึ้น

คำสำคัญ : กระบวนการหมุนขึ้นรูป, รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีด, แม่พิมพ์สปีนนิ่ง, ลูกรีด

ABSTRACT

Sheet metal spinning has been significantly developments in recent years. This paper aims to study the influence of radius and rolling path profiles of the spinning roller on part qualities of an aluminum cup produced by a spinning process. An experiment was carried out by using three different roller path profiles such as linear path, convex and concave linear which has three different rolling radiuses i.e. 50, 70 and 90 mm. The spinning process of an aluminum cup was conducted by using 600 rpm. of workpiece revolution, 0.2 mm./rev rate and the 3 mm of tool nose-radius.

Keywords : spinning process, radius roller path profiles, mandrel, roller

E-mail address : M-Kongwong@hotmail.com

^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

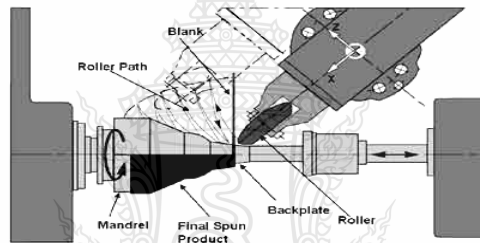
^{1,2}Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi,

Pathumthani 12110

The results showed that the tool path radius influenced the spinning force, wall thickness and hardness variations. Using the 90 mm. radius of the rolling path not only caused lower spinning force but the radius of the spinning roller were significantly influenced on the product quality.

บทนำ

การหมุนขึ้นรูปโลหะแผ่นเป็นกระบวนการหนึ่งของการขึ้นรูปโลหะ ขึ้นงาน (Blank Size) เป็นโลหะแผ่นที่ถูกทำให้เปลี่ยนรูปตามลักษณะรูปทรงของแมนเดิล (Mandrel) โดยลูกรีด (Roller) ค่อย ๆ กดขึ้นงานจนกระทั่งแนบกับแมนเดิล จนได้รูปทรงของขึ้นงาน ดังรูปที่ 1 ในระหว่างกาหมุนรีดขึ้นรูปขึ้นงานจะถูกยึดระหว่างแมนเดิลกับแผ่นกดขึ้นงานที่เกิดจากแรงในการย่นศูนย์ท้ายของเครื่องกลึง ลักษณะของการหมุนขึ้นรูปจะทำงานพร้อมกัน 3 ส่วนหลัก ๆ คือ ความเร็วรอบ (Spindle) ระยะทางการเคลื่อนที่ (Feed) และแรงกดขึ้นงาน (Tail Stock) วัสดุที่ใช้ในกระบวนการหมุนขึ้นรูปส่วนใหญ่เป็นโลหะบริสุทธิ์ สแตนเลส และโลหะนอกกลุ่มเหล็ก [1] กระบวนการนี้สามารถขึ้นรูปขึ้นงานที่มีความหนาตั้งแต่ 0.5 – 30 มม. และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 มม. ถึง 5 ม.



รูปที่ 1 ขั้นตอนกระบวนการหมุนขึ้นรูป [1]

L.Wang , H.Long [2] ได้ศึกษาการลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกรีด 4 ลักษณะ โดยทำการศึกษารเคลื่อนที่ของลูกรีดแบบผสมระหว่าง แบบหมุนโค้งเข้ากับแบบหมุนโค้งออก (Combined concave and convex) แบบหมุนโค้งออก (Concave) แบบหมุนโค้งเข้า (Convex) และการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง (Linear) ผลการเคลื่อนที่ของลูกรีดมีอิทธิพลต่อแรงที่เกิดขึ้นขณะรีด ความหนาที่เปลี่ยนไปหลังการหมุนขึ้นรูป ผลปรากฏว่าการเคลื่อนที่ของลูกรีดแบบหมุนโค้งออก ใช้แรงในการเคลื่อนที่ขณะหมุนขึ้นรูปสูงสุดของลักษณะการเคลื่อนที่ทั้งหมด ส่วนการเคลื่อนที่แบบหมุนโค้งเข้า พบว่าแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงความหนาลดต่ำสุด และรัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดมีผลต่อความหนาขึ้นงาน กล่าวคือ รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดเพิ่มขึ้น แนวโน้มของความหนาจะเปลี่ยนแปลง H.C.Sortais S.Kobayashi and E.G.Thomsen [3] ศึกษาความหนาของถ้วยที่เปลี่ยนแปลงในการหมุนขึ้นรูปกรวยอะลูมิเนียมและสร้างสมการหาแรงการหมุนขึ้นรูปในแนวเส้นสัมผัสขึ้นมาจากวิธีงานอุดมคติ โดยสมมุติว่าไม่เกิดการย่นในระหว่างการขึ้นรูป จากผลการศึกษาพบว่าความเค้นในแนวรัศมีเป็นสาเหตุให้เกิดความหนาของถ้วยไม่คงที่ และหาแรงการหมุนขึ้นรูปในแนวเส้นสัมผัสได้จากทฤษฎีกับผลการทดลองออกมาดีที่ความหนาของอะลูมิเนียม 0.05 นิ้ว และออกมาไม่ดีที่ความหนาของอะลูมิเนียม 0.088 นิ้ว M.M.El-Khabeery M.Fattouh; M.N.El-Sheikh and O.A.Hamed [4] ทดลองสปีนขึ้นรูปถ้วยอะลูมิเนียมทรงกระบอกเพื่อศึกษาถึงผลกระทบจากมุมลูกกลิ้ง อัตราการป้อน และ รัศมีมุมลูกกลิ้ง ที่ทำให้อัตราส่วนการหมุนขึ้นรูป (Spinning ratio) สูงสุด ความกลม (Roundness) ความหยาบผิว (Surface roughness) และแรงในการหมุนขึ้นรูปเกิดการเปลี่ยนแปลงในสภาพแห้งและความหนา

ด้วยเท่ากับความหนาเดิมของแผ่นชิ้นงาน จากผลทดลองสรุปได้ว่า เมื่อลดมุมลูกกลิ้งทำให้ความหนาของถ้วย เบี่ยงเบนจากความหนาเดิมของแผ่นชิ้นงานน้อยลง ความกลมของชิ้นงานเพิ่มขึ้น ผิวถ้วยเรียบขึ้น อัตราส่วนการ หมุนขึ้นรูปสูงสุดเพิ่มขึ้น และใช้แรงในการหมุนขึ้นรูปเพิ่มขึ้น เมื่อลดอัตราป้อนทำให้ถ้วยมีความกลมของถ้วย เพิ่มขึ้น อัตราส่วนการหมุนขึ้นรูปสูงสุดเพิ่มขึ้น และใช้แรงการหมุนขึ้นรูปเพิ่มขึ้น การเพิ่มรัศมีบนลูกกลิ้งทำให้ ความหนาของถ้วยเบี่ยงเบนจากความหนาเดิมของแผ่นชิ้นงานแรงในการหมุนขึ้นรูปกับความกลมของถ้วยเพิ่มขึ้น แต่อัตราส่วนการหมุนขึ้นรูปสูงสุดกลับลดลง มีค่าเท่ากับ 1.9 เมื่อใช้มุมลูกกลิ้งเท่ากับ 30 และ 40 องศา

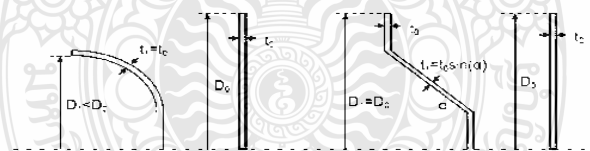
จากที่ได้ทำการศึกษางานวิจัยดังกล่าว จึงได้จัดทำโครงการวิจัยขึ้น โดยทำการศึกษารัศมีและการ เคลื่อนที่ของลูกรีดแบบผสมแบบผลระหว่างแบบหมุนโค้งออกกับแบบหมุนโค้งเข้า (Combined concave and convex) เพื่อศึกษาอิทธิพลการขึ้นรูปด้วยกระบวนการหมุนขึ้นรูป (Spinning) ที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานรูปถ้วย อลูมิเนียม

ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย

ในกระบวนการหมุนขึ้นรูปโลหะแผ่นสามารถจำแนกได้ เป็น 2 ประเภทหลัก คือ การหมุนขึ้นรูปแบบ ธรรมดา (Conventional spinning) ดังรูปที่ 2 (ก) ชิ้นงานเปลี่ยนรูปจนได้รูปร่างตามต้องการโดยผ่านการรีดอย่าง อิสระเพื่อรักษาความหนาเดิม (t_0) แต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นชิ้นงาน (D_1) จะเปลี่ยนแปลงจากขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางเดิม (D_0) ตรงกันข้ามกับการหมุนขึ้นรูปแบบเฉือน (Shear spinning) ลูกรีดจะเปลี่ยนรูปร่าง ชิ้นงานในทิศทางเดียว ดังรูปที่ 2 (ข) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในการหมุนขึ้นรูป (D_1) ยังคงไม่เปลี่ยนแปลง แต่ความ หนาของผนังชิ้นงานจะลดลงอย่างต่อเนื่อง ความหนาของชิ้นงานสุดท้ายของการหมุนขึ้นรูปชิ้นงาน (t_1) สามารถ คำนวณได้จากกฎของซายน์ลอว์ (Sine law)

$$t_1 = t_0 \sin \alpha$$

โดยที่ t_0 คือ ความหนาเดิมของชิ้นงาน , α คือ มุมเอียงของแมนเดิล



(ก) การหมุนขึ้นรูปแบบธรรมดา

(ข) การหมุนขึ้นรูปแบบเฉือน

รูปที่ 2 การหมุนขึ้นรูปแบบธรรมดาและการหมุนขึ้นรูปแบบเฉือน

ลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกรีดแบ่งเป็น 3 ลักษณะหลัก คือ การเคลื่อนที่แบบเส้นตรง (Linear) ดังรูปที่ 3 (ก) แบบหมุนโค้งออก (Concave) รูปที่ 3 (ข) และแบบหมุนโค้งเข้า (Convex) ดังรูปที่ 3 (ค) ผลการเคลื่อนที่ของลูก รีดมีผลกระทบต่อแรงที่เกิดขึ้นขณะรีด และความหนาที่เปลี่ยนไปหลังการหมุนขึ้นรูปการเคลื่อนที่ของลูกรีดแบบ หมุนตามเข็มนาฬิกาใช้แรงในการเคลื่อนที่ขณะหมุนขึ้นรูปสูงสุดของลักษณะการเคลื่อนที่ทั้งหมด ส่วนการเคลื่อนที่แบบ หมุนทวนเข็มนาฬิกา พบว่าแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงความหนาต่ำสุด และรัศมีในการเคลื่อนที่ของลูกรีดมีผลต่อ

ความหนาชิ้นงาน กล่าวคือ รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดเพิ่มขึ้นแนวโน้มของความหนาและแรงจะเปลี่ยนไป ลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกรีดดังรูปที่ 3



(ก) การเคลื่อนที่แบบเส้นตรง (ข) การเคลื่อนที่แบบหมุนโค้งออก (ค) การเคลื่อนที่แบบหมุนโค้งเข้า
รูปที่ 3 ลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกรีด (Roller Path and Passes)

อุปกรณ์และวิธีการ

การดำเนินการวิจัยการหมุนขึ้นรูปชิ้นงานด้วยอลูมิเนียมโดยกระบวนการหมุนขึ้นรูป (Spinning) เพื่อนำมาวิเคราะห์ความหนาของชิ้นงานซึ่งมีแนวทางการดำเนินการดังนี้

1. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินการวิจัย
2. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย
3. วิธีการดำเนินงาน

1. เครื่องและอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินการวิจัย

1. เครื่องกลึง CNC	1 เครื่อง
2. แม่พิมพ์สปีนนิ่ง (Mandrel) รัศมี 70 มม.	1 ชุด
3. ลูกรีด (Roller)	1 ชุด
4. อุปกรณ์วัดแรง (Load cell)	1 ชุด
5. เครื่องทดสอบความแข็ง (Hardness)	1 ชุด
6. เครื่อง EDM Wire Cut	1 เครื่อง
7. เครื่องวัดความหนาชิ้นงาน (CMM)	1 เครื่อง

2. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยการหมุนขึ้นรูปแบ่งออกเป็นแนวทางการดำเนินการดังนี้

2.1 ชุดแม่พิมพ์หมุนขึ้นรูป

2.1.1 วัสดุแม่พิมพ์ เป็นเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD 11 กลึงขึ้นรูปแม่พิมพ์หมุนขึ้นรูปชิ้นงาน โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 97.6 มิลลิเมตร สูง 49.8 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้นด้วย 49.6 มิลลิเมตร และรัศมีของก้นด้วย 70 มิลลิเมตร

2.1.2 ชุดลูกรีดขึ้นรูป เป็นเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD 11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร หนา 20 มิลลิเมตร และมีรัศมีมนลูกรีด 3 มิลลิเมตร พร้อมอุปกรณ์จับยึดลูกรีด

2.2 วัสดุชิ้นงาน

ในการศึกษาได้ทำการหมุนขึ้นรูปด้วยกระบวนการหมุนขึ้นรูปอลูมิเนียมเกรด AA – 1100 ความหนา 1.2 มม. ก่อนการกำหนดขนาดชิ้นงานเริ่มต้น (Blank size) ได้คำนวณหาขนาดชิ้นงานก่อนทำการหมุนขึ้นรูป ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 135 มม. ซึ่งได้มาจากการคำนวณทฤษฎีของ O.Music [3] มีองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกลของวัสดุอลูมิเนียมเกรด AA – 1100 ดังแสดงในตารางที่ 1

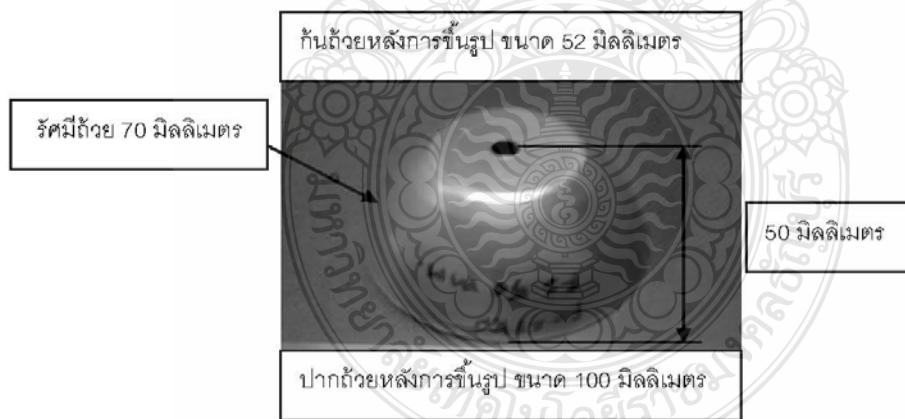
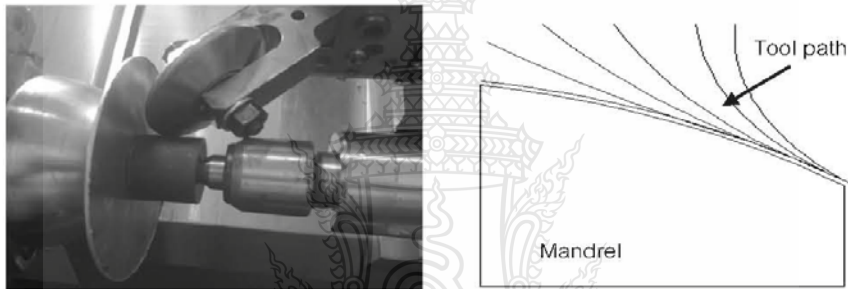
ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติทางกลและส่วนประกอบทางเคมีของวัสดุอะลูมิเนียมเกรด AA - 1100

Al	Si	Fe	Mn	Zn	Cu	อื่น ๆ	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Shear strength (MPa)	Hardness (HB)
99	1	1	0.05	0.10	0.05 - 0.20	0.05	90	34	62	23

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 เงื่อนไขในการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองอิทธิพลของรัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดในการหมุนขึ้นรูปด้วย วิเคราะห์ชิ้นงานด้วยหลังการหมุนขึ้นรูปมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางปากถ้วย 100 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางก้นถ้วย 52 มม. และมีความลึก 50 มม. รัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ใช้ 50 , 70 และ 90 มม. ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยการทดลองนี้ทำการศึกษาการเคลื่อนที่ของลูกรีดแบบผสมกันระหว่างการเคลื่อนที่แบบหมุนโค้งออกกับแบบหมุนโค้งเข้า ดังแสดงในรูปที่ 4 เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการเปลี่ยนรูปต่อไป



รูปที่ 4 กระบวนการหมุนขึ้นรูป

ตารางที่ 2 แสดงระดับและเงื่อนไขในการทดลอง

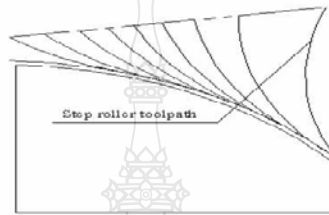
Factor	Code	Level		
		1	2	3
Feed Rate (mm./rev.)	F _r	0.2	0.2	0.2
Spindle Speed (rpm.)	S	600	600	600

Radius Rolling Paths (mm.)	R_p	50	70	90
----------------------------	-------	----	----	----

ผลการทดลองและอภิปรายผล

1. อิทธิพลของรัศมีและการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่มีผลต่อแรงที่ใช้ในการหมุนขึ้นรูป

การทดลองการหมุนขึ้นรูปขึ้นงานรูปถ้วยด้วยวัสดุอลูมิเนียมเกรด AA - 1100 โดยเปรียบเทียบรัศมีการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ 50 , 70 และ 90 มม. รัศมีมีนเดล 70 มม. รัศมีมีนลูกรีด 3 มม. ระยะทางในการรีด 50 มม. ความเร็วรอบ 600 rpm. อัตราป้อน 0.2 mm./rev. และแรงดันขึ้นงาน 15 Mpa. ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5



AA - 1100 (Spinning Process)

For Spindle 600 rpm. Feed 0.2 mm/rev. Roller nose radius 3mm.

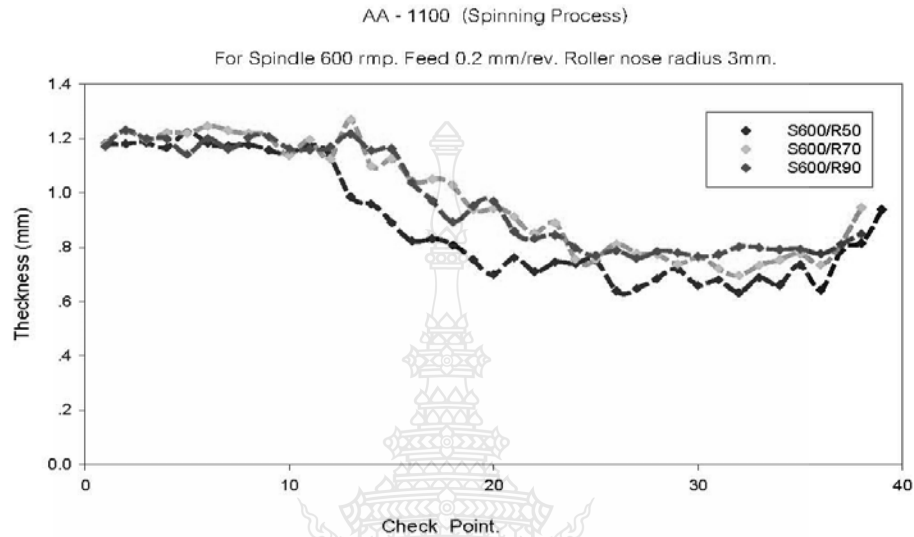


รูปที่ 5 แรงในการหมุนขึ้นรูปขึ้นงานด้วยกระบวนการหมุนขึ้นรูป

ผลการทดลองการหมุนขึ้นรูปด้วยอลูมิเนียมด้วยกระบวนการหมุนขึ้นรูป จากรูปที่ 5 พบว่ารัศมีและการเคลื่อนที่ของลูกรีดทั้ง 3 รัศมี ตำแหน่งของแรงหมุนขึ้นรูปที่บริเวณขอบปากถ้วยเกิดขึ้นสูงสุด มีแนวโน้มเหมือนกัน คือ ตำแหน่งการโน้ม ครั้งที่ 1 ใช้แรงหมุนขึ้นรูปสูงสุด และลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงครั้งที่ 9 ใช้แรงหมุนขึ้นรูปต่ำสุด จากกราฟเปรียบเทียบแรงการหมุนขึ้นรูปพบว่า รัศมีและการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ 50 มม. ใช้แรงในการหมุนขึ้นรูปสูงสุด สาเหตุเกิดจากรัศมีการเคลื่อนที่น้อย ความชันของการเคลื่อนที่สูงขึ้นตามไปด้วย ขณะที่ลูกรีดสัมผัสกับชิ้นงาน การหมุนรีดตามแนวรัศมีเป็นไปได้ยาก ทำให้โลหะไหลด้วยยากขึ้น จึงทำให้เกิดแรงต้านในการหมุนขึ้นรูปสูง ส่งผลให้แรงในการหมุนขึ้นรูปสูงตามไปด้วย ซึ่งรัศมี 50 , 70 และ 90 มม. โดยแรงในการหมุนขึ้นรูปสูงสุดมีค่าเฉลี่ยที่ 22.67KN, 22.11KN และ 21.89KN ตามลำดับ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ารัศมีและการเคลื่อนที่ของลูกรีด มีอิทธิพลต่อแรงในการหมุนขึ้นรูป ซึ่งรัศมีและการเคลื่อนที่ของลูกรีดมีค่าสูงขึ้น แนวโน้มแรงในการหมุนขึ้นรูปมีค่าลดลง

2. อิทธิพลของรัศมีและการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่มีผลต่อความหนาขึ้นงานหลังการหมุนขึ้นรูป

จากผลการทดลองการหมุนขึ้นรูป ชิ้นงานที่มีความสมบูรณ์ไม่เกิดรอยแตกและรอยย่น มาทำการผ่าวัดความหนาของผนังชิ้นงานตั้งแต่ก้นด้วยไปจนถึงปากด้วยจำนวน 37 จุด มีระยะห่างเท่ากับ 2 มม. เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างความหนาของผนังชิ้นงานที่ได้จากรีสม์และการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่แตกต่างกันมีผลการทดลองดังรูปที่ 6

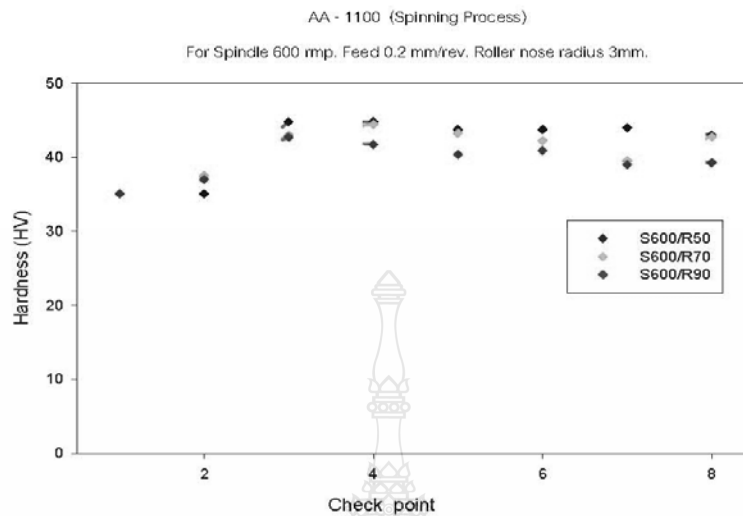


รูปที่ 6 แสดงค่าความหนาผนังชิ้นงานหลังจากการหมุนขึ้นรูป

จากรูปที่ 6 ผลความแตกต่างของความหนาชิ้นงาน โดยใช้รีสม์และการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกัน เห็นได้ว่าขนาดของรีสม์และการเคลื่อนที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาของชิ้นงาน เนื่องจากขนาดรีสม์และการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่แตกต่างกัน ทำให้ชิ้นงานไหลตัวได้ยาก รีสม์และการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่มีค่าน้อย โลหะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปลดลงมากที่สุด เปรียบเทียบกับความหนาเดิม จากกราฟรีสม์และการเคลื่อนที่ลูกรีดที่ 50 มม. มีการเปลี่ยนแปลงความหนาลดลง มีค่าเฉลี่ย 0.883 มิลลิเมตร คิดเป็น 31.65 เปอร์เซ็นต์ เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงความหนามากที่สุด รีสม์ 70 มีค่าเฉลี่ย 0.975 มิลลิเมตร คิดเป็น 22.43 เปอร์เซ็นต์ และ 90 มีค่าเฉลี่ย 0.982 มิลลิเมตร คิดเป็น 21.73 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลการวิจัยมีความสอดคล้องกับผลการทดลองของ L.Wang , H.Long [2] รีสม์ในการเคลื่อนที่ของลูกรีดมีผลต่อความหนาชิ้นงาน

3.อิทธิพลของรีสม์และการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่มีผลต่อความแข็งชิ้นงานหลังการหมุนขึ้นรูป

จากผลการทดลองการหมุนขึ้นรูป นำชิ้นงานมาทำการวัดความแข็งแบบ Vickers (HV) ตั้งแต่ก้นด้วยไปจนถึงปากด้วย จำนวน 8 จุด มีระยะห่างเท่ากับ 6 มม. เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งชิ้นงานที่ได้จากรีสม์และการเคลื่อนที่ของลูกรีด ที่แตกต่างกันมีผลการทดลองดังภาพที่ 7



รูปที่ 7 แสดงความแข็งของชิ้นงานหลังจากการหมุนขึ้นรูป

ผลการทดลองการหมุนขึ้นรูปด้วยอลูมิเนียมด้วย จากรูปที่ 7 พบว่ารัศมีและการเคลื่อนที่ของลูกรีดทั้ง 3 รัศมี มีแนวโน้มเหมือนกัน คือ ความแข็งค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากจุดเริ่มต้นไปจนถึงจุดสุดท้ายของชิ้นงาน จากกราฟการเปรียบเทียบค่าความแข็งพบว่า รัศมีและการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ 90 และ 70 มม. ให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ย 6.01 และ 6.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รัศมีและการเคลื่อนที่ของลูกรีดที่ 50 มม. ให้ค่าความแข็งสูงสุด ค่าเฉลี่ย 6.76 เปอร์เซ็นต์ สาเหตุเกิดจากรัศมีและการเคลื่อนที่น้อย จำนวนครั้งในการรีดเพิ่มมากขึ้นทำให้ชิ้นงานเกิดความเครียดสูงขึ้น ส่งผลให้ผิวของชิ้นงานมีความแข็งเพิ่มมากขึ้น จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ารัศมีและการเคลื่อนที่ของลูกรีด มีอิทธิพลต่อความแข็งบริเวณผิวชิ้นงานในการหมุนขึ้นรูป ซึ่งรัศมีและการเคลื่อนที่ของลูกรีดมีค่าสูงขึ้น แนวโน้มค่าความแข็งผิวชิ้นงานมีค่าลดลง

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาอิทธิพลของรัศมีและการเคลื่อนที่ของลูกรีดในการหมุนขึ้นรูปด้วยอลูมิเนียม ให้ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1. รัศมีและการเคลื่อนที่ของลูกรีดมีอิทธิพลต่อแรงในการหมุนขึ้นรูป ซึ่งรัศมีและการเคลื่อนที่ของลูกรีดมีค่าสูงขึ้น แนวโน้มแรงในการหมุนขึ้นรูปมีค่าลดลง
2. รัศมีและการเคลื่อนที่ของลูกรีด มีอิทธิพลต่อความหนาชิ้นงาน คือแนวโน้มรัศมีและการเคลื่อนที่ของลูกรีดเพิ่มมากขึ้น อัตราการเปลี่ยนแปลงความหนามีค่าลดลง
3. รัศมีและการเคลื่อนที่ของลูกรีด มีอิทธิพลต่อความแข็งบริเวณผิวชิ้นงานในการหมุนขึ้นรูป ซึ่งรัศมีและการเคลื่อนที่ของลูกรีดมีค่าสูงขึ้น แนวโน้มค่าความแข็งผิวของชิ้นงานมีค่าลดลง

เอกสารอ้างอิง

- [1] WANG, LIN , Analysis of Material Deformation and Wrinkling Failure in Conventional Metal Spinning Process , Durham University,2012
- [2] L.Wang , H.Long, A study of effects of roller path profiles on tool forces and part wall thickness variation in conventional metal spinning, Durham University,2011
- [3] H.C.Sortais S.Kobayashi and E.G.Thomsen , Mechanics of Conventional spinning. Trans. ASME Journal of Engineering for Industry.85(November 1963) : 346-350.
- [4] M.M.El-Khabeery M.Fattouh; M.N.El-Sheikh and O.A.Hamed. On the Conventional simple spinning of cylindrical aluminium cups. J.Mech.Tools Manufact.Vol.31.(1991) : 203-219.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายรัตนชัย กองวงศ์
วัน เดือน ปีเกิด	7 มิถุนายน 2507
ที่อยู่	19/106 หมู่ 8 ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องมือกล วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา(วิทยาเขตเทเวศร์)
ประสบการณ์การทำงาน	วิทยาลัยเทคนิคท่าหลวงซิเมนต์ไทยอนุสรณ์ ต.บ้านครัว อ.บ้านหมอ จ.สระบุรี ตำแหน่ง ครูชำนาญการพิเศษ สาขาวิชาช่างซ่อมบำรุงเครื่องจักรกล

