

รายงานการวิจัย

อิทธิพลของอุณหภูมิชิ้นงานที่มีผลต่อการขึ้นรูปโลหะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304

Influence of Warm Blank to Sheet Metal Forming SUS 304

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชูไฮดี สนิ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยงยุทธ คุณฤกษ์

นางสาวพิชญา พิศสุวรรณ

สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณเงินรายได้ พ.ศ. 2559

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยอุณหภูมิที่มีผลต่อกระบวนการขึ้นรูปโลหะเป็นกรรมวิธีการผลิตที่ถูกนำมาใช้ในการผลิตของอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ชิ้นส่วนยานยนต์ ภาชนะเครื่องครัว โดยการศึกษาการเปลี่ยนความหนาตลอดจนเปอร์เซ็นต์ความเครียดของการขึ้นรูปโลหะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 โดยมีปัจจัยการทดลอง คือ อุณหภูมิขึ้นงาน 3 ระดับ คือ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส เวลาแช่ขึ้นงาน 2 ระดับ คือ 5 และ 10 นาที เพื่อทำการขึ้นรูปขึ้นงานรูปสี่เหลี่ยมแบบไม่สมมาตร มีขนาดความกว้าง 40 มิลลิเมตร ความยาว 80 มิลลิเมตร และ ความลึก 30 มิลลิเมตร

ผลการศึกษาพบว่ากระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 ที่ผ่านกรรมวิธีการอบให้อุณหภูมิขึ้นงานมีผลให้ความหนาขึ้นงานลดลงตามที่ระดับอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส และเวลาแช่ที่ระดับ 10 นาที ตามแนวขวาง ส่งผลให้ความหนาบริเวณผนังด้านข้าง เท่ากับ 0.361 มิลลิเมตร สำหรับค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียดหลักสูงสุด +24.44 เปอร์เซ็นต์ และค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียดรอง -12.733 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ในบริเวณดังกล่าวเกิดการยืดตัวในแนวแกนหลัก และแนวแกนรองสูงสุด

คำสำคัญ: อิทธิพล, อุณหภูมิ, การขึ้นรูปโลหะ, เหล็กกล้าไร้สนิม 304

ABSTRACT

The objective of this research is to study the influence of temperature to metal forming process. This process has been popularly used in many industries, such as automobile parts and kitchen wares. The thickness and strain of forming SUS 304 stainless steel materials were investigated with the following conditions: three different temperatures are 200, 250, and 300 degree Celsius. two different etching time are 5 and 10 minutes for constructing an asymmetrical cube with 40 millimeters wide, 80 millimeters long, and 30 millimeter deep.

According to the results, it was found that the metal forming process for SUS 304 stainless steel at 300 degree Celsius and 10 minutes etching time can reduce thickness of the samples to 0.361 millimeter. In addition, the highest value of major strain test in uniaxial tension is +24.44 percent. Besides, the value of minor strain test in uniaxial compression is -12.733 percent

Keywords : Influence, Temperature, Metal Forming, Stainless Steel 304

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก งบประมาณเงินรายได้ พ.ศ. 2559 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย และขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือจนทำให้งานวิจัยสำเร็จ ลุล่วงได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

1 สิงหาคม 2560

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ค
Abstract	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฌ
คำอธิบายคำสัญลักษณ์และคำย่อ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 กรรมวิธีการขึ้นรูปโลหะ	7
2.3 สมบัติเชิงกลของโลหะ	20
2.4 ทฤษฎีเหล็กกล้าไร้สนิม	29
2.5 การหาขนาดแผ่นโลหะ	32
2.6 สรุปรูป	34
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	35
3.1 แผนการดำเนินงาน	35
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง	37
3.3 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	44
3.4 การเปรียบเทียบสรุปรูปผลการทดลอง	46
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	47
4.1 ผลการทดลอง	47
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	54

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	67
5.1 สรุปผลการทดลอง	67
5.2 ข้อเสนอแนะ	68
บรรณานุกรม	69
ภาคผนวก ก	72
ข้อมูลการทดลอง	72
ภาคผนวก ข	75
คุณสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304	75
ภาคผนวก ค	78
สมบัติน้ำยักัดกรดทำรอยชิ้นงาน	78
ภาคผนวก ง	81
แบบแม่พิมพ์ Rectangular Box Die – Set	81

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	หลักเกณฑ์การแบ่งประเภทกรรมวิธีการขึ้นรูปโลหะ	8
2.2	กลุ่มกรรมวิธีการขึ้นรูปโลหะ และการจัดกลุ่มแรงระบุ	9
2.3	ส่วนประกอบของแม่พิมพ์โลหะ	12
2.4	แสดงค่า R_{avg} ของวัสดุหลายๆชนิด	14
2.5	ค่าตัวคูณประกอบของการแตก α_{cr} ของวัสดุ	20
2.6	เปรียบเทียบมาตรฐาน และส่วนประกอบทางเคมี	31
2.7	สมบัติเชิงกลของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304	32
3.1	แผนการดำเนินงาน	35
4.1	ค่าความหนาที่เปลี่ยนแปลงหลังการขึ้นรูปที่ผ่านการอบให้ความร้อนที่ 200 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของชิ้นงาน 5 นาที	48
4.2	ค่าความหนาที่เปลี่ยนแปลงหลังการขึ้นรูปที่ผ่านการอบให้ความร้อนที่ 250 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของชิ้นงาน 5 นาที	49
4.3	ค่าความหนาที่เปลี่ยนแปลงหลังการขึ้นรูปที่ผ่านการอบให้ความร้อนที่ 300 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของชิ้นงาน 5 นาที	50
4.4	ค่าความหนาที่เปลี่ยนแปลงหลังการขึ้นรูปที่ผ่านการอบให้ความร้อนที่ 200 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของชิ้นงาน 10 นาที	51
4.5	ค่าความหนาที่เปลี่ยนแปลงหลังการขึ้นรูปที่ผ่านการอบให้ความร้อนที่ 250 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของชิ้นงาน 10 นาที	52
4.6	ค่าความหนาที่เปลี่ยนแปลงหลังการขึ้นรูปที่ผ่านการอบให้ความร้อนที่ 300 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของชิ้นงาน 10 นาที	53

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การเปลี่ยนสภาพโดยการกดโลหะแผ่นเรียบด้วย 펀ช์ให้เข้าไปในช่องว่างของ Die	7
2.2	ส่วนประกอบของแม่พิมพ์โลหะ	11
2.3	แสดงตัวแปรต่างๆในกระบวนการดึงขึ้นรูปขึ้นงาน	13
2.4	การลากขึ้นรูปลึก (Deep Drawing)	15
2.5	วงกลมหน้าสัมผัสของการลากขึ้นรูปถ้วย	16
2.6	ส่วนย่อยในวงกลมหน้าสัมผัส	16
2.7	ลักษณะความเค้น และปริมาณความเครียดของจุดต่างๆ บนผิวสัมผัส	17
2.8	ส่วนของผิวสัมผัสในระหว่างกระบวนการลากขึ้นรูปสถานะที่ปราศจากแรงเสียดทานความเค้นภายในผนังมีขนาดที่เท่ากันทุกจุด คือ รัศมีความเค้นที่รัศมีวงใน σ_r	18
2.9	เส้นกราฟของความเค้นในการลากขึ้นรูปเมื่อเปรียบเทียบกับ การเคลื่อนที่ของ 펀ช์ สำหรับวัสดุที่เกิดความเครียดแข็งตัว	19
2.10	แรงดึง (Tensile)	21
2.11	แรงกด (Compression)	21
2.12	แรงเฉือน (Shear)	21
2.13	ความเค้นความเครียดของการดึงวัสดุ	22
2.14	ความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain)	23
2.15	ความเครียดเฉือน (Shear Strain)	24
2.16	เส้นความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) แบบมีจุดคราก (Yield Point)	24
2.17	ตารางวงกลมบนโลหะแผ่น (Strain Diagram)	25
2.18	ความเครียดตำแหน่งต่างๆ ของถ้วยทรงกระบอก	26
2.19	แผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปในวิธีปฏิบัติทางอุตสาหกรรม	27
2.20	แผนภาพความเครียดที่แสดงถึงความแตกต่างของสัดส่วนความเครียด	28
2.21	ลักษณะการดึงยืดแนวแกนคู่ (Equal Biaxial Stretching)	28
2.22	ลักษณะการเปลี่ยนรูปแบบระนาบความเครียด (Plane Strain)	28
2.23	ลักษณะการขึ้นรูปแบบดึงแนวแกนเดียว (Uniaxial Tension)	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
2.24	รูปร่างของชิ้นงานที่ต้องการ	33
2.25	ลักษณะของ Blank	33
3.1	ขั้นตอน และวิธีการดำเนินงาน	36
3.2	รูปร่างของชิ้นงานที่ต้องการ	37
3.3	ลักษณะของแผ่น โลหะ (Blank)	38
3.4	ระยะห่างจากผนังของถ้วยถึงครอว์บีด	39
3.5	แผ่นชั้นทดสอบที่วางบนแผ่นรองที่ต่อพ่วงกับขั้วบวกอุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้า	40
3.6	ลักษณะแผ่นกรอกรัดกั๊ด (Stencils) ที่วางทับซ้อนแผ่นชั้นทดสอบ	40
3.7	ลักษณะผ้าสักหลาดที่ชุบน้ำยากรัดกั๊ดสูตร LNC – Z Electrolyte สำหรับเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304	41
3.8	ลักษณะกริดวงกลมตามขนาดของแผ่นกรอกรัด	41
3.9	ลักษณะชั้นทดสอบที่อยู่ในเตาอบ	42
3.10	ลักษณะการตั้งค่าที่ใช้ในการทดสอบ	42
3.11	ลักษณะชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีการขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยมแบบไม่สมมาตร	42
3.12	แสดงการวัดตามแนวขวาง และตามแนวยาวของชั้นทดสอบ	43
3.13	การวัดขนาดกริดวงกลมด้วยโปรแกรม Motic	44
3.14	เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	44
3.15	เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)	45
4.1	ตำแหน่งของการวัดความหนาของชิ้นงานหลังการขึ้นรูปตามขั้นตอนการทดลอง	47
4.2	ค่าการเปลี่ยนแปลงความหนาตามแนวขวางของชั้นทดสอบหลังการขึ้นรูป	54
4.3	ค่าการเปลี่ยนแปลงความหนาตามแนวยาวของชั้นทดสอบหลังการขึ้นรูป	55
4.4	ค่าการเปลี่ยนแปลงความหนาตามแนวขวางของชั้นทดสอบหลังการขึ้นรูป	56
4.5	ค่าการเปลี่ยนแปลงความหนาตามแนวยาวของชั้นทดสอบหลังการขึ้นรูป	57
4.6	ตำแหน่งการวัดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกริดวงกลม	58
4.7	แผ่นภาพปิดจำกัดการขึ้นรูปแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 โดยการให้อุณหภูมิความร้อนแก่ชั้นทดสอบ ที่เวลาแช่อุณหภูมิที่ 5 นาที ตามแนวขวางของชั้นทดสอบ	59

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.8	แผ่นภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 โดยการให้อุณหภูมิความร้อนแก่ชิ้นทดสอบ ที่เวลาแช่อุณหภูมิที่ 5 นาที ตามแนวยาวของชิ้นทดสอบ	60
4.9	แผ่นภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 โดยการให้อุณหภูมิความร้อนแก่ชิ้นทดสอบ ที่เวลาแช่อุณหภูมิที่ 10 นาที ตามแนวขวางของชิ้นทดสอบ	61
4.10	แผ่นภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 โดยการให้อุณหภูมิความร้อนแก่ชิ้นทดสอบ ที่เวลาแช่อุณหภูมิที่ 10 นาที ตามแนวยาวของชิ้นทดสอบ	62
4.11	เทียบความหนาตามแนวขวางของชิ้นงาน ใช้เวลาแช่อุณหภูมิของชิ้นงาน 5 และ 10 นาที	63
4.12	เทียบความหนาตามแนวยาวของชิ้นงาน ใช้เวลาแช่อุณหภูมิของชิ้นงาน 5 และ 10 นาที	64
4.13	เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความเครียดหลัก และเปอร์เซ็นต์ความเครียดรองตามแนวขวางของชิ้นงาน โดยใช้เวลาแช่อุณหภูมิของชิ้นงาน 5 และ 10 นาที	65
4.14	เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความเครียดหลัก และเปอร์เซ็นต์ความเครียดรองตามแนวยาวของชิ้นงาน โดยใช้เวลาแช่อุณหภูมิของชิ้นงาน 5 และ 10 นาที	66

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$F_{d,max}$	Maximum Punching Force
UTS	Ultimate Tensile Strength
d_m	เส้นผ่านศูนย์กลางของพินช์ (Punch Diameter)
d_0	เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นชิ้นงานเริ่มต้น (Blank Diameter)
d_l	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพินช์ (มิลลิเมตร)
T	ความหนาของแผ่นชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
σ_u	ค่าความแข็งแรงสูงสุดของวัสดุ (นิวตัน/มิลลิเมตร)
UTS	Ultimate Tensile Strength
η_{def}	ค่าประสิทธิภาพในการลากขึ้นรูปกำหนดให้มีค่าระหว่าง 0.5-0.7
σ_{cr}	ค่าความแข็งแรงสูงสุดที่ทำให้เกิดรอยแตก
S_u	ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด
F_{cr}	แรงที่ทำให้เกิดการแตก
σ	ความเค้น (Stress) มีหน่วยเป็นปาสคาล
P	แรงภายนอกที่มากกระทำ มีหน่วยเป็น N หรือ kgf
A	พื้นที่ภาคตัดขวางที่แรงกระทำ : m^2 หรือ mm^2
e	ความเครียดเชิงเส้น
ΔL	ความยาวที่เปลี่ยนไป ($L-L_0$)
L_0	ความยาวเดิมของวัสดุที่สนใจ หรือ Gage Length
γ	$\tan \theta \approx \theta$ (Radian ในกรณีที่เป็นมุมเล็ก)
a	ระยะที่เคลื่อนที่ไป (Displacement)
h	ระยะห่างระหว่างระนาบ
θ	มุมที่เปลี่ยนไป
L_1	ความกว้างของชิ้นงานจริง (มิลลิเมตร)
L_2	ความยาวของชิ้นงานจริง (มิลลิเมตร)
r_c	รัศมีของมุมทั้ง 4 มุม
r_p	รัศมีที่ฐาน

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

h_d	ความสูงส่วนตรงของรูปถ้วย (มิลลิเมตร)
h'_d	ความสูงของผนังถ้วย (มิลลิเมตร)
w_1	ความกว้างของผนังรูปถ้วย (มิลลิเมตร)
w_2	ความยาวของผนังรูปถ้วย (มิลลิเมตร)
C	คาร์บอน
Mn	แมงกานีส
S	กำมะถัน
Cr	โครเมียม
Ni	นิกเกิล
V	วานาเดียม

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมด้านการผลิตชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์ได้จากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 ได้เข้ามาสัมพันธ์กับชีวิตประจำวันของคนไทยมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ในครัวเรือน อุตสาหกรรมอาหาร เฟอร์นิเจอร์ และอุปกรณ์เครื่องทางการแพทย์ เป็นต้น ซึ่งกระบวนการอุตสาหกรรมการผลิตดังกล่าว ใช้กรรมวิธีการผลิตด้วยวิธีการบีบขึ้นรูปโลหะ (Metal Forming)

องค์ประกอบที่สำคัญของการเปลี่ยนรูปแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 ด้วยวิธีการบีบขึ้นรูปโลหะ ขึ้นอยู่กับสมบัติและสภาพการขึ้นรูปได้ ของแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 เครื่องจักรสำหรับการขึ้นรูป แม่พิมพ์และสารหล่อลื่น ดังนั้น ความสามารถที่จะขึ้นรูปให้ได้รูปทรงมีมิติในด้านความลึกที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นปัญหาที่พบในกระบวนการขึ้นรูปแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมด้วยวิธีการดึงขึ้นรูปลึก คือ ไม่ได้รูปทรงชิ้นงานตามที่ออกแบบไว้ เนื่องจากการเกิดรอยย่น (Wrinkling) การเกิดการคอด (Necking) การเกิดการฉีกขาด (Fracture) ปัญหาดังกล่าวล้วนแล้วแต่เป็นสิ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียเวลาและต้นทุนการผลิตทั้งสิ้น ซึ่งวิธีการแก้ปัญหาของภาคอุตสาหกรรมการผลิตในปัจจุบัน ทำได้โดยการทดลองปรับแต่ง เครื่องอุปกรณ์ แม่พิมพ์ จนได้ชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความเครียดจากการเปลี่ยนแปลงของกริดวงกลมเป็นวงรี ทำให้ทราบบริเวณวิกฤตบนชิ้นงาน การเกิดรอยย่น การเกิดการคอด และการฉีกขาดที่เกิดขึ้นในการผลิต การศึกษาความสามารถทางกลของการนำโลหะแผ่นที่ผ่านการอบให้อุณหภูมิความร้อนก่อนทำการขึ้นรูปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดตัวตามความเหมาะสมในกระบวนการผลิต ออกแบบผลิตภัณฑ์นั้น และยังสามารถลดต้นทุนกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ [1]

ดังนั้น การจัดทำงานวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาถึงพฤติกรรมของการเปลี่ยนรูปของชิ้นงานที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 ที่ผ่านการอบให้อุณหภูมิความร้อนก่อนจะทำการขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยมแบบไม่สมมาตร โดยมีการศึกษามุ่งเน้นถึงปัจจัยของกรรมวิธีการอบให้อุณหภูมิความร้อนคือ อุณหภูมิในการให้ความร้อน และเวลาแช่ชิ้นงาน มีผลต่อพฤติกรรมของการเปลี่ยนรูปของกระบวนการขึ้นรูปโลหะอย่างไร

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิของแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 ที่มีผลต่อการขึ้นรูปเหล็กแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 กล่องสี่เหลี่ยมแบบไม่สมมาตร

1.3 ขอบเขต

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มุ่งที่จะศึกษาหาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการขึ้นรูปของเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 โดยมุ่งเน้นถึงปัจจัยดังนี้ คือ อุณหภูมิ และเวลาแช่ชิ้นงาน

1.3.1 วัสดุทดลองเป็นแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 ขนาดความหนา 0.5 มิลลิเมตร

1.3.2 ปัจจัยการทดลอง

1) อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองโดยการอบให้ความร้อน คือ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส

2) เวลาชิ้นงาน คือ 5 และ 10 นาที

3) ขนาดของชิ้นงานเป็นรูปกล่องสี่เหลี่ยม กว้าง 40 ยาว 80 ลึก 20 มิลลิเมตร

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ได้ทราบถึงอิทธิพลของการเปลี่ยนรูป (Transformation) ของแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 ที่ผ่านกรรมวิธีขึ้นรูปโดยการอบให้ความร้อน กล่องสี่เหลี่ยมแบบไม่สมมาตร

1.4.2 ได้ทราบถึงขีดความสามารถการขึ้นรูป (Forming Limits Diagram ; FLD) ของแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 ที่ผ่านกรรมวิธีขึ้นรูปโดยการอบให้ความร้อนได้อย่างถูกต้อง

1.4.3 ได้นำความรู้การขึ้นรูปแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 ไปประยุกต์ใช้กับการขึ้นรูปของชิ้นงานรูปแบบอื่น ๆ ต่อไป

บทที่ 2

งานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลทางความร้อนที่มีผลต่อแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 ดังนั้นในรายละเอียดที่ศึกษาจะกล่าวถึงหัวข้อที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 งานที่วิจัยที่เกี่ยวข้อง

คมสันต์ งามขำ [2] เพื่อสร้างแผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูป (Forming Limit Diagram ; FLD) เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนไนต์ SUS 304 ตามมาตรฐาน ASTM E 2218-02 จากการเปลี่ยนความหนาตลอดจนประยุกต์ใช้แผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์ผลการขึ้นรูปอ่างล้างภาชนะ ด้วยทรงกรวย และเปรียบเทียบแผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปที่ได้จากการทดลองและการขึ้นรูปขึ้นงานจริงกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ใช้วัสดุหนา 0.40 มิลลิเมตร, 0.58 มิลลิเมตร และ 0.78 มิลลิเมตร นำขึ้นทดสอบมาสร้างกริดวงกลมด้วยวิธีการกัดกรดด้วยไฟฟ้า ขึ้นรูปด้วย punches ทรงกลม (Hemispherical Dome Punch) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร วัดค่าความเครียดบริเวณจุดปลอดภัย บริเวณจุดเกิดการคอด บริเวณจุดเสียหาย มาลงจุดบนแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดหลัก ความเครียดรอง สร้างเส้นโค้งขีดจำกัดการขึ้นรูป (Forming Limit Curve ; FLC) จากนั้นนำแผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปไปวิเคราะห์การขึ้นรูปอ่างล้างภาชนะ และด้วยทรงกรวย โดยสร้างกริดวงกลมบนแผ่นแบล็ก (Blank) ขึ้นรูปแผ่นแบล็ก วัดค่าความเครียดบนชิ้นงาน และนำมาลงจุดบนแผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูป พร้อมกับเปรียบเทียบผลจำลองการขึ้นรูปด้วยโปรแกรม AUTOFORM 3.26

ผลการวิจัย พบว่า แผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปสำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนไนต์ SUS 304 สร้างได้ตามมาตรฐาน ASTM E 2218-02 และความหนาขึ้นทดสอบเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ขีดจำกัดการขึ้นรูปสูงขึ้นไม่เป็นไปตามสัดส่วนความหนา สามารถประยุกต์ใช้แผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์ผลการขึ้นรูปอ่างล้างภาชนะ และด้วยทรงกรวยได้ การเปรียบเทียบแผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง และการขึ้นรูปขึ้นงานจริงให้สอดคล้องกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

สัญญา คำจริง, ญาณพินิจ วชิรสุรงค์ และปพน สมประสงค์ [3] ศึกษาความสามารถในการลากขึ้นรูปด้วยสี่เหลี่ยม โดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อให้ได้มาซึ่งผลของการวิเคราะห์ความเครียดประสิทธิผล (Equivalent Strain) ที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน จนทำให้ทราบผลที่เกิดขึ้นกับแผ่น Blank หลังขึ้นรูป โดยแผ่น Blank ก่อนปั๊มขึ้นรูปจะมีอยู่ด้วยกัน 3 ลักษณะ คือ ชิ้นงานเป็นสี่เหลี่ยม

ชิ้นงานเป็นสี่เหลี่ยมตัดขอบข้างเป็นมุม 45 องศา และชิ้นงานเป็นแผ่นกลมทั้งนี้ยังใช้โปรแกรม ไฟไนต์เอลิเมนต์ มาช่วยในการจำลองการขึ้นรูปเพื่อง่ายต่อการตัดสินใจในการเลือกลักษณะของ แผ่นชิ้นงานก่อนป้อนขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยม โดยเลือกขนาดของกล่องสี่เหลี่ยม คือ ขนาดกล่อง สี่เหลี่ยม ขนาด 24 x 30 x 20 มิลลิเมตร ความหนา 2 มิลลิเมตร ชิ้นงานเป็นเหล็กเกรด SUS 430 และ SUS 304 และกำหนดค่ารัศมี Punch และ Die คงที่ 5 มิลลิเมตร

สำหรับการสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ก็จะเริ่มด้วยการสร้างแบบจำลองการขึ้น รูปชิ้นงาน โดยจำลอง Upper Die, Lower Die และแผ่น Blank ขั้นตอนที่ 2 สร้างแบบจำลอง Formability Step ขั้นตอนที่ 3 สร้างแบบจำลอง Blank Final Shape ขั้นตอนที่ 4 สร้างแบบจำลอง การขึ้นรูปชิ้นงาน (Thinning) และขั้นตอนสุดท้าย คือ Simulation Report (Forming Limit Diagram)

ผลการวิจัยพบว่า การจำลองความสามารถในการลากขึ้นรูปด้วยสี่เหลี่ยม โดยใช้โปรแกรมไฟ ไนต์เอลิเมนต์ เพื่อให้ได้มาซึ่งผลของการวิเคราะห์ความเครียดประสิทธิผล (Equivalent strain) ที่ เกิดขึ้นกับชิ้นงานนั้นก็หมายความว่าบริเวณที่มีความเครียดสูง โอกาสที่บริเวณดังกล่าวจะเกิดความ เสียหาย (ฉีกขาด) ก็มีสูงขึ้นไปด้วย ทั้งนี้ข้อมูลในการจำลอง คือ การกำหนดรัศมีพUNCH (Punch) และ Die คงที่ 5 มิลลิเมตร วัสดุชิ้นงานเป็นเหล็กเกรด SUS 430 และ SUS 304 ความหนา 2 มิลลิเมตร และ ลักษณะของชิ้นงาน (Blank) ที่ศึกษา มี 3 ชนิด ประกอบด้วย การขึ้นรูปโดยใช้ แผ่น Blank เป็นแผ่นสี่เหลี่ยม, แผ่นสี่เหลี่ยม ตัดขอบข้างละ 15 มิลลิเมตร และ มุม 45 องศา และ แผ่นชิ้นงานกลม ซึ่งพบว่า การป้อนลากขึ้นรูปด้วยสี่เหลี่ยม ขนาด 24 x 30 x 20 มิลลิเมตร วัสดุชิ้นงาน เป็นเหล็กสแตนเลส เกรด SUS 430 และ SUS 304 ความหนา 2 มิลลิเมตร ที่เหมาะสมควรมีลักษณะ เป็นแผ่นสี่เหลี่ยม เพราะชิ้นงานหลังการขึ้นรูปนั้นจะไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงที่จะเสียหาย

จักรินทร์ คงสิบ และ ศิริชัย ต่อสกุล [4] อิทธิของการอบอ่อนที่มีผลต่อการเชื่อมเหล็ก AISI 1045 ด้วยแรงเสียดทาน เพื่อศึกษาลักษณะของโครงสร้างจุลภาคของเหล็กคาร์บอนปานกลาง AISI 1045 ที่ผ่านการอบอ่อน และทำการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน ภายใต้เงื่อนไขการเชื่อม คือ แรงดันใน การอัด 20, 30 และ 40 บาร์ เวลาในการอัด 2, 3 และ 4 วินาที อุณหภูมิในการอบอ่อน 790, 850 และ 970 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 1,800 รอบต่อนาที วัสดุคิบบที่ใช้ในการศึกษาเป็นเหล็ก AISI 1045 หน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ความยาว 100 มิลลิเมตร จำนวน 720 ชิ้น

ผลการวิจัยพบว่าที่อุณหภูมิปกติของชิ้นงานหลังจากการเชื่อมชิ้นงานค่าแรงดึงมีค่าสูงกว่า ชิ้นงานเชื่อมที่ผ่านการอบอ่อน แต่ค่าความแข็งของรอยเชื่อมชิ้นงานที่อุณหภูมิปกติของรอยเชื่อมจะ มีค่าน้อยกว่าชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อน ในส่วนของโครงสร้างจุลภาคพบว่าเกรนของเหล็กที่บริเวณ รอยเชื่อมชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนมีเกรนที่ละเอียดมากกว่าชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบอ่อน จึงส่งผล ทำโครงสร้างมีความแข็งมากกว่า

สุรศิษฐ์ ไรจนันต์, สุทัศน์ ทิพย์ปรักมาศ และ สุทธาวัลย์ อิมอุไร [5] เพื่อศึกษาอิทธิพลของการแปรรูปเย็น การอบอ่อนที่มีต่อสมบัติทางกล และการติดตัวกลับของอะลูมิเนียมผสมแมงกานีส เริ่มจากนำชิ้นงานไปอบไฮโดรเจนที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นปล่อยให้ชิ้นงานเย็นในเตาภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน นำชิ้นงานไปรีดเย็นมีปริมาณการแปรรูป 50 ถึง 87 เปอร์เซ็นต์ มีความหนาสุดท้าย 1 มิลลิเมตร ศึกษาสมบัติทางกล และวัดมุมการคืนตัว นำชิ้นงานที่แปรรูป 87 เปอร์เซ็นต์ ไปอบอ่อนที่อุณหภูมิต่างๆ กันช่วง 100 ถึง 600 องศาเซลเซียส ใช้เวลาคงที่ 30 นาที ทดสอบสมบัติต่างๆ ผลการทดสอบแรงดึง พบว่าชิ้นงานชิ้นงานที่แปรรูปเย็น 87 เปอร์เซ็นต์ ความต้านทานแรงดึงสูงสุด 244 เมกกะปาสคาล มีความแข็ง 79 วิกเกอร์ มุมการติดตัวกลับ 6.5 องศา ส่วนชิ้นงานอะลูมิเนียมที่รีดแปรรูปต่ำสุด 50 เปอร์เซ็นต์ มีความต้านทานดึงสูงสุด 185 เมกกะปาสคาล มีความแข็ง 52 วิกเกอร์ มุมการติดตัวกลับ 4.5 องศา การอบอ่อนแต่ละอุณหภูมิสามารถลดมุมการติดตัวกลับได้ปริมาณแตกต่างกัน การอบที่อุณหภูมิสูงกว่า 400 องศาเซลเซียสขึ้นไป สามารถลดการติดตัวกลับได้หมด 100 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตามหลังการอบอ่อนมีผลให้ความแข็งแรงลดลง จึงต้องคำนึงถึงการรับแรงขณะใช้งานได้จากงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้อุณหภูมิอบให้เหมาะสมกับความต้องการในการลดปริมาณการติดตัวกลับของชิ้นงาน เป็นประโยชน์ด้านการแปรรูปที่ช่วยลดปัญหาการแก้ไขแม่พิมพ์หรือลดต้นทุนการทำแม่พิมพ์ชุดใหม่ได้

มาโนช ธิทินโย, ชานนท์ บุนนัท, กัมปนาท ถ่ายสูงเนิน และ จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนาร [6] ได้ศึกษาอิทธิพลของกรรมวิธีการอบชุบภายใต้สภาวะการเผาอ่อนที่มีต่อพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์บีมตัด เพื่อศึกษาการสึกหรอของพื้นที่อบชุบด้วยกรรมวิธีแก๊สคาร์บูไรซิ่ง กรรมวิธีบรรยากาศสุญญากาศ และกรรมวิธีเผาอ่อนสภาวะอบต่อเนื่องกำหนดให้ชุดคมตัดแม่พิมพ์ใช้รูปร่างสี่เหลี่ยม ขนาด Die เท่ากับ 10 x 10 มิลลิเมตร ขนาด Punch เท่ากับ 9.86 x 9.86 มิลลิเมตร บีมตัดวัสดุ เหล็กคาร์บอน AISL 1020 ความหนา 1.5 มิลลิเมตร ด้วยพื้นที่อบชุบทั้ง 3 วิธี ตัวอย่างละ 22,000 ชิ้น ในสภาพไม่ใช้สารหล่อลื่น ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส 600 องศาเซลเซียส 800 องศาเซลเซียส และ 1,050 องศาเซลเซียส เวลาในการอบ 30 นาที ผลของการทดลองวิจัยพบว่ากรรมวิธีเผาอ่อนสภาวะอบต่อเนื่องสามารถทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้นได้เมื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงการอบชุบปกติ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการสึกหรอของพื้นที่และคุณภาพของชิ้นงาน

สุริยา น้ำแก้ว [7] ได้ศึกษากระบวนการลากขึ้นรูปลึกด้วยกระบวนการไฮโดรไดนามิกโดยใช้น้ำมันไฮดรอลิกตามมาตรฐาน มอก.3 ระดับค่าความหนืด คือ 68 มิลลิเมตร² ต่อวินาที ตามค่าความหนืดเชิงจลศาสตร์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่แรงดันน้ำมัน 3 ระดับ คือ 5, 10 และ 15

เมกกะปาสคาล ทำการขึ้นรูปแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 และ SUS 430 ที่แรงดันกดขึ้นงาน 2 ระดับ คือ 3.9 และ 7.1 กิโลนิวตัน ศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อแรงในการลากขึ้นรูป และแรงกดพื้นที่กระทำต่อชิ้นงาน ชิ้นงานหลังการขึ้นรูป การเปลี่ยนแปลงความหนาของชิ้นงาน และความเครียดที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน

ผลการทดลองพบว่า อิทธิพลในการลากขึ้นรูปแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมด้วยกระบวนการไฮโดรไดนามิก ใช้แรงลากขึ้นรูป และใช้แรงกดพื้นที่สูงสุดมากกว่าการลากขึ้นรูปแบบปกติโดยในการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 430 ไม่สามารถขึ้นรูปได้ในทุกสภาวะการขึ้นรูป ส่วนแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 สามารถขึ้นรูปได้ในทุกสภาวะการขึ้นรูป โดยมีการเปลี่ยนแปลงความหนา ค่าเฉลี่ย 3.58 เปอร์เซ็นต์ ความเครียดหลัก ค่าเฉลี่ย 14.06 เปอร์เซ็นต์ และความเครียดรอง ค่าเฉลี่ย 8.50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าความเครียดเฉลี่ยน้อยกว่าชิ้นงานที่ลากขึ้นรูปแบบปกติ

Xiaohong, C., Yang, W. & Ming, G. [8] ได้ทดลองหาผลกระทบท่อแรงดึงได้รับการดำเนินการตรวจสอบพฤติกรรมทางกลของ สแตนเลส SUS 304 ในช่วงอุณหภูมิ 25-537 องศาเซลเซียส ในทางตรงกันข้ามความตึงเครียดเสมือนแบบคงที่ที่ได้รับการดำเนินการเกี่ยวกับ MTS810 ที่สามอุณหภูมิคือ 25, 400 และ 537 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแรงดึงอุณหภูมิสูงส่งผลกระทบต่อการศึกษาเทคนิคและวิธีการที่นำมาใช้จะเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ สแตนเลส SUS 304 คือการจัดเรียงของอุณหภูมิและอัตราความเครียดขึ้นอยู่กับโลหะ เช่น อัตราความเครียดมีผลของการเสริมสร้างความเครียดผลผลิตและความเครียดที่ดีที่สุด แต่กระบวนการ Embrittlement ส่งผลให้ความเครียดที่ไม่แน่นอนลดลงด้วยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในอัตราคงที่ การแสดงอุณหภูมิสูงปรากฏการณ์ Embrittlement การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคเผยให้เห็นว่าปรากฏการณ์ Embrittlement อุณหภูมิสูงเป็นเพราะ สแตนเลส SUS 304 ในกรณีของการโหลดผลกระทบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นแบบปกตินอกจากนี้ยังสามารถนำไปสู่ ความแตกต่างของตัวอย่าง Fractograph ระหว่างผลกระทบท่อแรงดึงและความตึงเครียดเสมือนแบบคงที่อาจจะเกี่ยวข้องกับความคิดปกติที่แตกต่างกันและกลไกการแตกหัก และยังสามารถพบว่าส่วนปริมาณของ $\gamma \rightarrow \alpha$ มีการเปลี่ยนแปลงความเครียดต่ออุณหภูมิ

Noriyuki, T., Tomoyuki T. & Rintaro U. [9] ได้ศึกษาทดลองผลของอุณหภูมิที่มีต่อสมบัติแรงดึงคงที่ของเหล็กสแตนเลส Metastable JIS-SUS 304 ถูกตรวจสอบเพื่อชี้แจงเงื่อนไขของการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม Martensitic ความเครียดที่เกิดขึ้นสำหรับการยืดตัวสูงสุดเครื่องแบบ ผลการทดสอบแรงดึงคงที่แสดงให้เห็นว่าแรงดึงเพิ่มขึ้นด้วยการลดอุณหภูมิและการยืดตัวเครื่องแบบถึงค่าสูงสุดที่ 308K ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิผกผันของ 0.2 เปอร์เซ็นต์ ความเครียดหลักฐานก็สังเกตเห็น

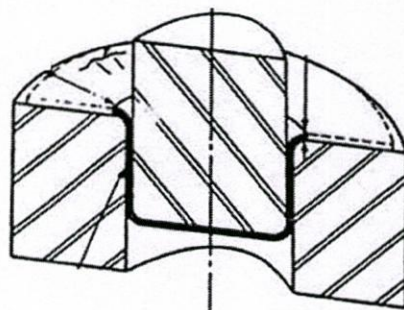
ด้านล่าง 243K ส่วนปริมาณของ Martensite เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิความผิดปกติลดลง ภายใต้เงื่อนไขที่การเปลี่ยนแปลงเกิดความเครียดมีผลในการยึดตัวสูงสุดเครื่องแบบเนื่องจากการขึ้นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีผลบังคับใช้ใน SUS 304 เหล็กสกรูในแง่ของส่วนปริมาณ Martensite และอัตราของการ Transforma ส่วนปริมาณ Martensite ที่แท้จริงซึ่งบอกถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดพบว่าประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ เป็นอิสระจากอุณหภูมิความผิดปกติ ในความสัมพันธ์ความเครียดซึ่งการยึดตัวสูงสุดในเครื่องแบบที่ได้รับทั้งอัตราการวิวัฒนาการของความหนาแน่นของการเคลื่อนที่และการทำงานที่แข็งแกร่งเพิ่มขึ้นจนใกล้ยึดตัวเครื่องแบบก็สังเกตเห็นและสูงสุดคำนวณมูลค่าของการทำงานที่แข็งแกร่ง 20 เมกะปาสคาลต่อเปอร์เซ็นต์

2.2 กรรมวิธีการขึ้นรูปโลหะ (Metal Forming Processes)

การขึ้นรูปโลหะ คือแปรสภาพโลหะจากแผ่นเรียบให้เป็นภาชนะรูปถ้วย (Shell) โดยที่ความหนาของโลหะไม่เปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนสภาพนี้ทำได้โดยการกดโลหะแผ่นเรียบด้วย Punch ให้เข้าไปในช่องว่างของ Die ซึ่งรูปถ้วยนี้อาจเป็นรูปทรงกระบอก, รูปกล่อ่ง ที่มีด้านตรง, เอียง หรือมีทั้ง ตรง, เอียง และเป็นเส้นโค้งด้วยก็ได้

2.2.1 การแบ่งประเภทกรรมวิธีการขึ้นรูปโลหะ ซึ่งมีแนวความคิดที่เป็นพื้นฐานต่างกันแต่ก็มีจุดประสงค์คล้ายกันคือ เมื่อแบ่งแล้วกรรมวิธีต้องไม่ซ้ำซ้อนกันในหลายกลุ่ม นิยามของการขึ้นรูปและการแบ่งประเภทกรรมวิธีการขึ้นรูปดูได้จากตาราง 2.1

1) กลุ่มกรรมวิธีการแบ่งกลุ่มกรรมวิธีการขึ้นรูปตามมาตรฐาน DIN 8582 [10] ทำได้โดยพิจารณา ชนิดของความเค้นในบริเวณการขึ้นรูปซึ่งบริเวณการขึ้นรูปคือ บริเวณที่มีการเปลี่ยนรูปทรงของชิ้นงาน ตำแหน่ง, ขนาด และรูปทรงของบริเวณการขึ้นรูปสามารถเปลี่ยนแปลงไปได้ในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปในบางครั้งมีบริเวณการขึ้นรูปหลายแห่งบนชิ้นงานชิ้นเดียว



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนสภาพโดยการกดโลหะแผ่นเรียบด้วยพื้นที่ให้เข้าไปในช่องว่างของ Die [11]

ตาราง 2.1 หลักเกณฑ์การแบ่งประเภทกรรมวิธีการขึ้นรูปโลหะ [12]

ระดับการแบ่ง	หลักเกณฑ์การแบ่งประเภท
กลุ่มกรรมวิธี	ชนิดของแรงระบุในบริเวณการขึ้นรูป
กลุ่มย่อยของกรรมวิธีพื้นฐาน	ชนิดของการเคลื่อนที่หลักที่เกิดขึ้นเลื่อนหรือหมุน ซึ่งไม่ใช่การเคลื่อนที่ในระนาบการสลิป (Slip plane) ใช้แสดงกลุ่มการขึ้นรูปเพื่อช่วยให้ง่ายขึ้น
กรรมวิธีเดี่ยว	ลักษณะเฉพาะของกรรมวิธี 1. ชนิดและลักษณะการจัดเครื่องมือ, ตัวกลางทำงาน หรือพลังงานทำงาน 2. ชนิด, จำนวน และทิศทางของการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างเครื่องมือกับชิ้นงาน 3. ชนิดของการเปลี่ยนรูปจากรูปทรงเริ่มต้นจนได้รูปทรงสุดท้ายของชิ้นงานลักษณะเฉพาะของกรรมวิธีทั้งหมดเป็นผลลัพธ์จากหลักการของกรรมวิธี
การแปรผันกรรมวิธี	กรรมวิธีอื่นที่เป็นไปได้โดยใช้หลักการของกรรมวิธีเดิม เช่น การใช้เครื่องมือที่ออกแบบเป็นพิเศษสภาวะการขึ้นรูปพิเศษ (อุณหภูมิ, ความเร็วขึ้นรูป) ชนิดของเครื่องจักรสำหรับการขึ้นรูปที่นำมาใช้

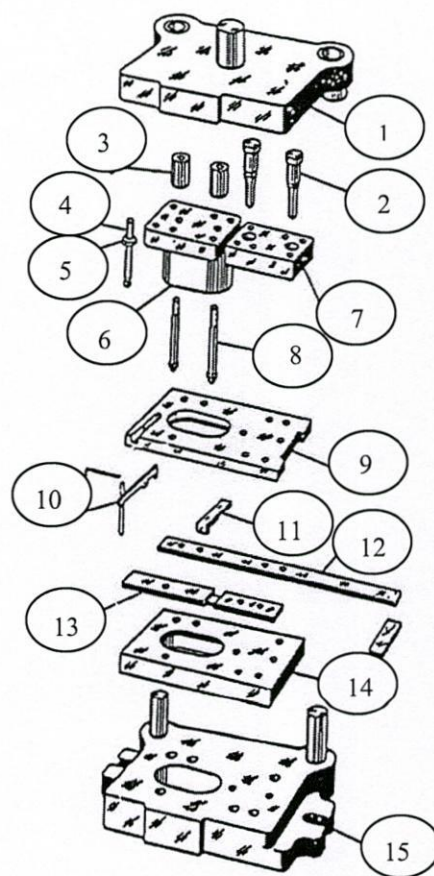
ชนิดของแรงซึ่งอาจเรียกว่า แรงระบุ (Nominal force) แบ่งออกเป็นแรงพื้นฐาน 5 ชนิด คือ แรงกด, แรงดึง, แรงตัด, แรงเฉือน และ แรงบิด เนื่องจากในการขึ้นรูปมักพิจารณาแรงที่กระทำในทิศทางหลัก 3 ทิศทาง แรงที่กระทำในทิศทางหลักแต่ละทิศทางมีค่าแตกต่างกันได้ แรงที่มีค่าสัมบูรณ์สูงสุดในทิศทางหลักเรียกว่า แรงระบุสูงสุด ซึ่งจะใช้แรงนี้เป็นเกณฑ์กำหนดชนิดของแรงในกระบวนการขึ้นรูป การจัดกลุ่มกรรมวิธีจัดโดยพิจารณากรรมวิธีที่ใช้แรงระบุคล้ายกัน ตาราง 2.2 แสดงกลุ่มกรรมวิธีของเทคโนโลยีการขึ้นรูป โดยแบ่งกลุ่มตามชนิดของแรงระบุ พร้อมทั้งนิยามของกลุ่มกรรมวิธีต่างๆ การแบ่งกลุ่ม 3 กลุ่มแรกแบ่งตามแรงระบุที่ทำให้เกิดการขึ้นรูป เพราะความสามารถในการขึ้นรูปลดลงเมื่อสภาพความเค้นในบริเวณการขึ้นรูปเปลี่ยนจาก การกดหลายทิศทาง ไปเป็นการกดกับการดึงร่วมกัน และขึ้นรูปได้น้อยลงอีกเมื่อแรงเปลี่ยนไปเป็น การดึงใน 2 ทิศทาง, การดึงใน 1 ทิศทางและการเฉือน

ตาราง 2.2 กลุ่มกรรมวิธีการขึ้นรูปโลหะ และการจัดกลุ่มแรงระบุ [13]

กลุ่มกรรมวิธี	แรงระบุ	นิยาม
การขึ้นรูปด้วยการกด และการดึง	แรงกด และ แรงดึง	การขึ้นรูปวัตถุแข็งซึ่งแรงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูป ถาวรคือ แรงกด และแรงดึงร่วมกันในทิศทางเดียวหรือหลาย ทิศทาง
การขึ้นรูปด้วยการดึง	แรงดึง	การขึ้นรูปวัตถุแข็งซึ่งแรงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูป ถาวรคือ แรงดึงในทิศทางเดียวหรือหลายทิศทาง
การขึ้นรูปด้วยการตัด	แรงตัด	การขึ้นรูปวัตถุแข็งซึ่งแรงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูป ถาวรคือ แรงตัดในทิศทางเดียวหรือหลายทิศทาง
การขึ้นรูปด้วยการ เฉือน	แรงเฉือน	การขึ้นรูปวัตถุแข็งซึ่งแรงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูป ถาวรคือ แรงเฉือนในทิศทางเดียวหรือหลายทิศทาง
การขึ้นรูปด้วยการกด และการดึง	แรงกด และ แรงดึง	การขึ้นรูปวัตถุแข็งซึ่งแรงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูป ถาวรคือ แรงกด และแรงดึงร่วมกันในทิศทางเดียวหรือหลาย ทิศทาง
การขึ้นรูปด้วยการดึง	แรงดึง	การขึ้นรูปวัตถุแข็งซึ่งแรงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูป ถาวรคือ แรงดึงในทิศทางเดียวหรือหลายทิศทาง
การขึ้นรูปด้วยการตัด	แรงตัด	การขึ้นรูปวัตถุแข็งซึ่งแรงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูป ถาวรคือ แรงตัดในทิศทางเดียวหรือหลายทิศทาง
การขึ้นรูปด้วยการ เฉือน	แรงเฉือน	การขึ้นรูปวัตถุแข็งซึ่งแรงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูป ถาวรคือ แรงเฉือนในทิศทางเดียวหรือหลายทิศทาง
การขึ้นรูปด้วยการกด และการดึง	แรงกด และ แรงดึง	การขึ้นรูปวัตถุแข็งซึ่งแรงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูป ถาวรคือ แรงกด และแรงดึงร่วมกันในทิศทางเดียวหรือหลาย ทิศทาง

2) กลุ่มย่อยของกรรมวิธี การแบ่งกลุ่มย่อยของกรรมวิธีการขึ้นรูปแบ่งตามชนิดของการเคลื่อนที่หลักการเคลื่อนที่สัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือกับชิ้นงานความแตกต่างของการเคลื่อนที่หลักในการขึ้นรูปคือการเลื่อน และการหมุน ดังนั้นเมื่อใช้หลักการนี้จึงแบ่งกลุ่มกรรมวิธีออกเป็นกลุ่มย่อยของกรรมวิธี 2 กลุ่มตัวอย่าง เช่น การขึ้นรูปด้วยการกด แบ่งเป็น การขึ้นรูปด้วยการกดจากการเลื่อน และการขึ้นรูปด้วยการกดจากการหมุน

3) กรรมวิธีพื้นฐาน กรรมวิธีเดี่ยว และการแปรผันกรรมวิธีเป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่กล่าวในตาราง 2.1

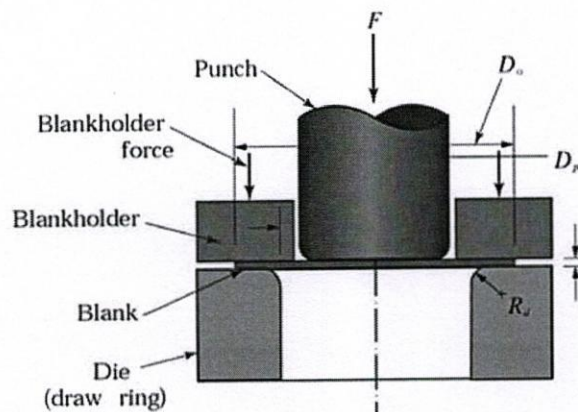


รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์โลหะ [11]

ตาราง 2.3 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์โลหะ [11]

ชั้นที่	ชื่อชิ้นส่วน	หน้าที่หลัก
1	Punch holder of die set	เป็นแผ่นยึดจับชุดพUNCH ซึ่งมีหน้าที่ในการยึดจับพUNCH
2	Piercing Punch	เป็นพUNCHขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก มีไว้เพื่อตัดรูของชิ้นงาน
3	Pilot nut	เป็นแป้นเกลียวที่ใช้ในการยึดไฟล๊อตให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง
4	Square head set screw	ทำหน้าที่ในการกระทุ้งอุปกรณ์หยุดตำแหน่งอัตโนมัติ
5	Jam nut	เป็นอุปกรณ์ช่วยป้องกันส่วนรูของวัสดุไม่ให้เสียหายจากแรงกด
6	Blanking Punch	เป็นพUNCHที่มีรูปร่างเหมือนแผ่นชิ้นงานเอาไว้เพื่อตัดแผ่นชิ้นงาน พUNCHชนิดนี้จะมีหัวขนาดใหญ่
7	Punch plate	อุปกรณ์ชนิดนี้มีไว้สำหรับยึดจับพUNCHตัดรู
8	Pilot	เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่กำหนดตำแหน่งของรูที่ได้ตัดมาแล้ว
9	Stripper plate	เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการปลดแผ่นป้อนตัดชิ้นงานซึ่งถูกตัด เป็นรูแล้ว ไปตกอยู่ในลำตัวของพUNCH
10	Automatic stop	เป็นอุปกรณ์ที่ใช้หยุดตำแหน่งชิ้นงานเมื่อตัดชิ้นงานหลุดออกไปแล้ว
11	Finger stop	เป็นอุปกรณ์ที่ใช้หยุดตำแหน่งชิ้นงานที่สถานีแรกของการตัด
12	Back gage	เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการประคองแผ่นป้อนตัดชิ้นงาน
13	Front spacer	เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รองรับแผ่นปลดชิ้นงาน
14	Die block	เป็นอุปกรณ์ที่เป็นคมตัดชิ้นงานด้านล่างเพื่อให้ชิ้นงานหลุด ออกจากการตัด
15	Die holder of die set	เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการยึดจับตาย (Die) และอุปกรณ์ทุกชิ้นที่อยู่ ส่วนล่างของชุดแม่พิมพ์

4) การลากขึ้นรูปลึก (Deep Drawing) เป็นการขึ้นรูปด้วยการกดและการดึงโลหะแผ่นให้ป็นรูปทรงกลวง หรือทำให้รูปทรงกลวงมีขนาดเล็กลงโดยความหนาโลหะแผ่นไม่เปลี่ยนแปลง การดึงขึ้นรูปลึกทำได้โดยใช้ความดันของเหลว คลื่นกระแทก (Shock Waves) สนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) และอื่น ๆ การเปลี่ยนรูปทรงเรขาคณิตของชิ้นงานทำโดยใช้แม่พิมพ์ ตัวกลางทำงาน (Working Medium) พลังงานกระตุ้น (Energy Activation) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ การดึงขึ้นรูปลึกด้วยแม่พิมพ์, ด้วยตัวกลางทำงาน และด้วยพลังงาน



รูปที่ 2.3 แสดงตัวแปรต่างๆในกระบวนการดึงขึ้นรูปชิ้นงานแผ่น โดยที่ทุกตัวแปร ยกเว้น F (Punch Force) เป็นตัวแปรต้น (Independent Variable)

สมการที่ใช้ในการหาแรงสูงสุดของพื้นที่ในการลากขึ้นรูปชิ้นงานแผ่น [14]

$$F_{d,max} = \pi d_m T \left[1.1 \frac{\sigma_{f,m,I}}{\eta_{def}} \left(\ln \frac{d_0}{d_1} - 0.25 \right) \right] \quad (2.1)$$

โดยที่

$F_{d,max}$ คือ Maximum Punching Force

d_m คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของพินช์ (Punch Diameter)

d_0 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นชิ้นงานเริ่มต้น (Blank Diameter)

d_1 คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพินช์ (มิลลิเมตร)

T คือ ความหนาของแผ่นชิ้นงาน (มิลลิเมตร)

σ_u คือ ค่าความแข็งแรงสูงสุดของวัสดุ (นิวตัน/มิลลิเมตร)

UTS คือ Ultimate Tensile Strength

η_{def} คือ ค่าประสิทธิภาพในการลากขึ้นรูปกำหนดให้มีค่าระหว่าง 0.5-0.7

ความสามารถในการดึงขึ้นรูป (Deep Drawability) โดยทั่วไปแผ่นชิ้นงานจะผ่านการรีดขึ้นรูปแบบเย็นมา ซึ่งค่า R ของชิ้นงานจะขึ้นกับทิศทางในการรีดขึ้นรูปชิ้นงานนั้นมา ดังนั้นจึงมีการวัดค่า R ที่มุมมองต่างๆ อ้างอิงจากทิศทางของการรีดขึ้นรูปแสดงในตาราง 2.4

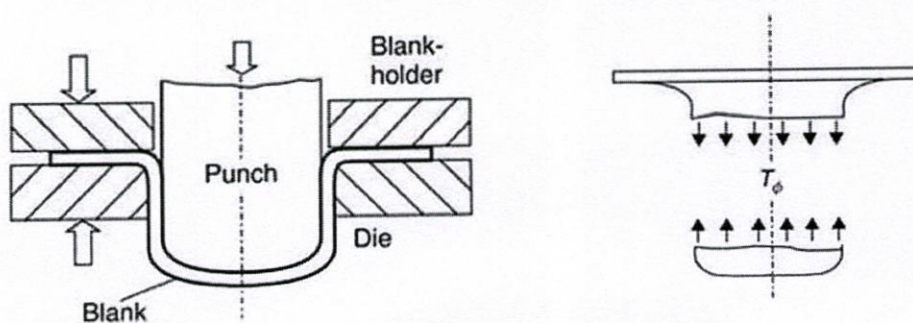
สมการที่ใช้ในการหาทิศทางในการรีดขึ้นรูปชิ้นงาน

$$R_{avg} = \frac{R_0 + 2R_{45} + R_{90}}{4} \quad (2.2)$$

ตาราง 2.4 แสดงค่า R_{avg} ของวัสดุหลายๆชนิด [11]

<i>Typical Ranges of Average Normal Anisotropy, R_{avg}, For Various Sheet Metals</i>	
Zinc Alloys	0.4-0.6
Hot - Rolled steel	0.8-1.0
Cold-Rolled, Rimmed Steel	1.0-1.4
Cold - Rolled, Aluminum - Killed Steel	1.4-1.8
Alumium Alloys	0.6-0.8
Copper And Brass	0.6-0.9
Titanium Alloys	3.0-5.0
Stainless Steels	0.9-1.2
High - Strength, Low - Alloy Steel	0.9-1.2

การลากขึ้นรูปลึก (Deep Drawing) กระบวนการลากขึ้นรูปลึกเป็นการขึ้นรูปวัสดุแผ่นเรียบให้มีรูปร่างต่างๆ โดยการใช้แรงกดจากแม่พิมพ์พUNCH กดลงไปยังแผ่นชิ้นงานผ่านแม่พิมพ์ตาย (Die) โดยที่ความหนาของชิ้นงานยังเท่ากับวัสดุตั้งต้นกระบวนการลากขึ้นรูปลึกมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ดาย, พUNCH และตัวกดแผ่นชิ้นงาน (Blank Holder Ring) สำหรับกดแผ่นชิ้นงานให้แนบกับแม่พิมพ์ตาย ในขณะที่ทำการขึ้นรูป (Blank Holder Ring) [15-16]



- (ก) การลากขึ้นรูปด้วยวงกลมทรงกระบอก (ข) การขยายตัวตามแนวการขึ้นรูปและแรง ลาก
ขึ้นรูปโดยเป็นแรงดึงที่เกิดขึ้นบริเวณผนังถ้วย

รูปที่ 2.4 การลากขึ้นรูปลึก (Deep Drawing) [15]

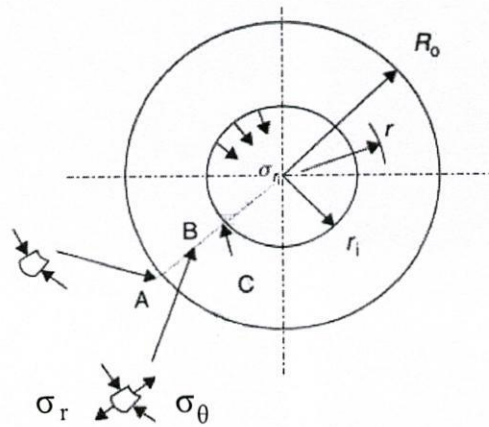
1) หน้าสัมผัสในการลากขึ้นรูปหน้าสัมผัสระหว่างวัสดุแผ่นกับพื้นผิวในขณะทำการ ลากขึ้นรูป พิจารณาได้ตามรูปที่ 2.5 เมื่อพิจารณาถึงส่วนย่อยตามรูปที่ 2.6 ความเค้นที่เกิดขึ้นกับ ส่วนย่อยที่รัศมี r ดังแสดงในรูปที่ 2.7 สมการอนุพันธ์สำหรับส่วนย่อยนั้นเมื่อไม่คำนึงถึงความเสียดทาน คือ [15]

$$(\sigma_r + d\sigma_r)(t + dt)(r + dr)d\theta = \sigma_r t r d\theta + \sigma_\theta t dr d\theta \quad (2.3)$$

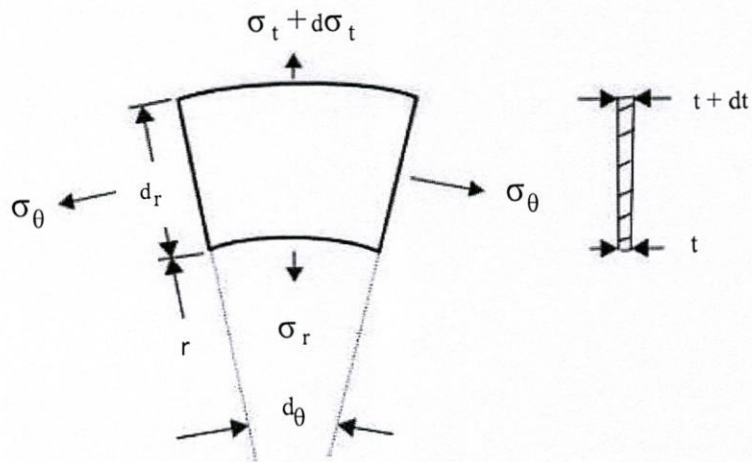
เมื่อบูรรวมสมการแล้วจะได้

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r}{t} \frac{dt}{dr} - \frac{\sigma_\theta - \sigma_r}{r} = 0 \quad (2.4)$$

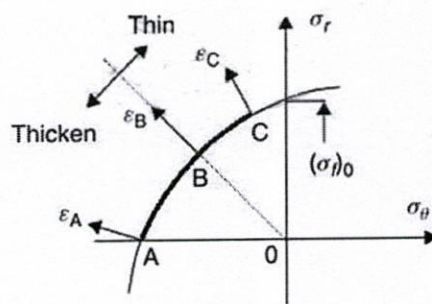
ที่บริเวณขอบของวงกลมจุด A เป็นพื้นผิวอิสระ $\sigma_r = 0$ ดังนั้น ความเค้นอัดในแนวแกนที่เกิดขึ้น $\sigma_\theta = \sigma_f$ เมื่อ σ_f คือ ความเค้นไหลที่เกิดขึ้นจริง ที่เส้นรัศมีกลางที่จุด B รัศมีความเค้นจะ อยู่ตรงข้ามกันและมีขนาดเท่ากัน นั่นก็คือ ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง (Hoop Stress) อยู่บริเวณ ขอบด้านใน จุด C รัศมีความเค้นมีค่าสูงสุด ลักษณะของการเกิดความเค้น และความสอดคล้องกัน ปริมาณความเครียด ปรากฏเป็นตำแหน่งของการเกิดความเค้นจุดครากฟอนมิสเชส (Von Mises) ในรูปที่ 2.6 บริเวณขอบด้านนอก A วัสดุแผ่นจะมีความหนาเพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ใน ขณะเดียวกันที่จุด B ความหนาจะไม่มีเปลี่ยนแปลงลงไป บริเวณด้านในขอบ C จะเกิดเป็นแผ่น บาง ทั้งหมดนี้เป็นภาพรวมของการลากขึ้น พื้นผิวสัมผัสทั้งหมดของวัสดุในช่วงต้นจะไม่ได้มีการ เปลี่ยนแปลง ดังนั้นการกำหนดขนาดของวัสดุแผ่นก่อนการขึ้นรูปเป็นเพียงการประมาณการเท่านั้น



รูปที่ 2.5 วงกลมหน้าสัมผัสของการลากขึ้นรูปด้วย [15]



รูปที่ 2.6 ส่วนย่อยในวงกลมหน้าสัมผัส [15]



รูปที่ 2.7 ลักษณะความเค้นและปริมาณความเครียดของจุดต่างๆ บนผิวสัมผัส [15]

ความเค้นซึ่งก่อตัวเพิ่มขึ้นของผิวสัมผัสในกระบวนการการลากขึ้นรูปหาได้โดยสมการที่ 2.5 และการเปลี่ยนรูปที่ตามมาจะใช้วิธีการความสัมผัสทางคณิตศาสตร์ ซึ่งปัจจุบันได้ล้าสมัยไปแล้วแต่เราสามารถพิจารณาเพิ่มเติมได้จากสถานะความเสียหายที่จุดครากของทีคา (Tresca)

$$\sigma_{\theta} - \sigma_r = -(\sigma_f)_0 \quad (2.5)$$

เมื่อ $(\sigma_f)_0$ คือความเค้นไหลเริ่มต้น และเมื่อความหนาเริ่มต้นเป็นไปอย่างมีรูปแบบ เช่น $t-t_0$ สมการที่ 2.4 สามารถจัดใหม่โดยอินทิเกรตได้ เมื่อกำหนดให้ขอบเขตสถานะ $\sigma_r = 0$ ที่รัศมีวงนอก R_0 และ $\sigma_r = \sigma_{ri}$ ส่วนรัศมีวงใน r_i เป็นการกำหนดขึ้น

$$\sigma_{ri} = -(\sigma_f)_0 \ln \frac{r_i}{R_0} \quad (2.6)$$

หรือ

$$\sigma_{\theta i} = -[(\sigma_f)_0 - \sigma_{ri}] \quad (2.7)$$

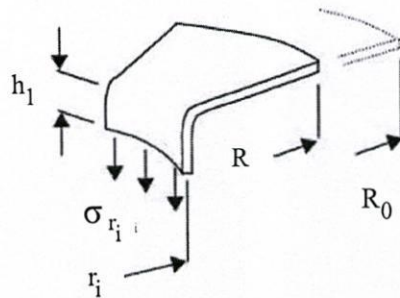
สำหรับวัสดุที่ไม่เกิดความเครียดแข็งตัว รัศมีความเค้นซึ่งให้ไว้โดยสมการที่ 2.6 เป็นตัวหารร่วมที่จุดเริ่มต้น และจะลดลงเมื่อเข้าใกล้รัศมีวงนอก ความเค้นที่ผนังของถ้วยวัสดุเกิดขึ้นได้อย่างถาวร เมื่อ $(\sigma_f)_0$ คือ ความเค้นตามสถานะทีคา ดังนั้นเอา $\sigma_{ri} = (\sigma_f)_0$ เข้าไปแทนที่ในสมการที่ 2.7 ทำให้ทราบถึงความกว้างของแผ่นวัสดุที่จะสามารถนำมาลากขึ้นรูปได้ นั่นก็คือค่าของ “อัตราส่วนขีดจำกัดของการลากขึ้นรูป” (Limiting Drawing Ratio)

$$\frac{R_0}{r_i} = 1 \gg 2.72 \quad (2.8)$$

2) ผลกระทบของความเครียดแข็งตัว ค่าความเครียดแข็งตัว ความเค้นที่กระทำต่อพื้นผิวสัมผัส อาจเพิ่มสูงขึ้นในระหว่างการลากขึ้นรูป ในขณะที่ถึงแม้ว่ารัศมีวงนอกจะลดลง เมื่อพื้นผิวจะถูกลากขึ้นรูปเข้าไปยังด้านใน รัศมีวงนอก R จะลดลงอย่างรวดเร็วดังรูปที่ 2.9 ค่าความเครียดแข็งตัวจากความเค้นไหลจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ ถ้าสมมุติให้เป็นค่า

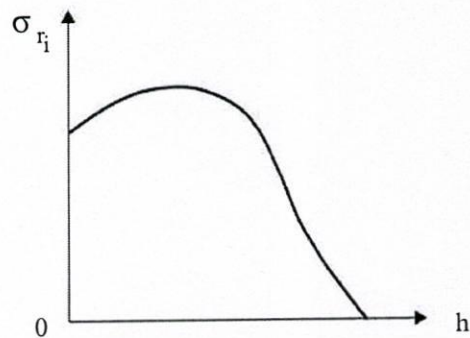
ความเค้นเฉลี่ย $(\sigma_f)_{av}$ กระทำอยู่บนพื้นผิวทั้งหมด และไม่คำนึงถึงความหนาที่ไม่เสมอกันจะสามารถเขียนได้เป็นสมการที่ 2.9

$$\sigma_{ri} = (\sigma_f)_{av} \ln \frac{R}{r_i} \quad (2.9)$$



รูปที่ 2.8 ส่วนของผิวสัมผัสในกระบวนการลากขึ้นรูปสถานะที่ปราศจากแรงเสียดทาน ความเค้นภายในผนังมีขนาดที่เท่ากันทุกจุดคือรัศมีความเค้นที่รัศมีวงใน σ_{ri} [15]

ดังนั้นการกำหนดค่าตัวแปรทั้งสองที่ตรงข้ามกันคือ การเพิ่มขึ้นของความเค้นจนกระทั่งวัสดุเกิดการแข็งตัว และการลดลงของความเค้นที่รัศมี R อย่างช้าๆ โดยปกติแล้วความเค้นในขณะการลากขึ้นรูปจะเพิ่มสูงขึ้นในช่วงต้น จนกระทั่งมีค่าสูงสุดและจะลดลงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 เส้นกราฟของความเค้นในการลากขึ้นรูปเมื่อเปรียบเทียบกับเคลื่อนที่ของพื้นผิว สำหรับวัสดุที่เกิดความเครียดเชิงตัว [15]

แรงที่กระทำให้เกิดรอยแตกในการเลือกอัตราส่วนการขึ้นรูปที่มีค่ามากที่สุดคือ $\beta = d_0 / d_1$ ค่านี้จะเป็นค่าที่ใช้แรงสูงสุด ในการลากขึ้นรูปภายใต้เงื่อนไขที่ไม่เปลี่ยนแปลง ค่าแรงสูงสุดนี้จะลงผ่านไปที่ผนังของชิ้นงานที่ถูกขึ้นรูป ดังนั้นอัตราส่วนการขึ้นรูปจะต้องไม่มากกว่าค่าสูงสุด ค่าขีดจำกัดอัตราส่วนการขึ้นรูปสูงสุด β_{max} เป็นค่าเพื่อป้องกันการเกิดรอยแตกที่กั้นชิ้นงานในสมการที่ 2.10 จะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่าความแข็งแรงสูงสุดที่ทำให้เกิดรอยแตก (Maximum Cracking Strength) σ_{cr} กับค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) s_u ของวัสดุที่แสดงไว้แล้ว

$$\sigma_{cr} = s_u \times a_{cr} \quad (2.10)$$

โดยที่

σ_{cr} คือ ค่าความแข็งแรงสูงสุดที่ทำให้เกิดรอยแตก

s_u คือ ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด

โดยใช้ค่าความแข็งแรงสูงสุด ที่ทำให้เกิดรอยแตก σ_{cr} ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่กึ่งกลางของความหนา d_m และความหนาชิ้นงาน s_0 ในสมการที่ 2.11 เป็นการคำนวณหาแรงที่ทำให้เกิดการแตก F_{cr} ดังนี้

$$F_{cr} = \pi \times d_m \times s_0 \times s_u \times a_{cr} \quad (2.11)$$

โดยที่

F_{cr} คือ แรงที่ทำให้เกิดการแตก

d_m คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของความหนา

ตาราง 2.5 ค่าตัวคูณประกอบของการแตก a_{cr} ของวัสดุ [16]

วัสดุ	a_{cr}
Deep-Drawing Steel Sheet, RSt 14 (SAE 1006)	1.05-155 \approx 1.30
Austenite Steel Sheet, X 5 Cr Ni 18 9 (AISI 304)	0.95-1.305 \approx 1.13

Drass, Cu Zn 37 (UNS C27000)	0.92-1.27 \approx 1.045
Pure Aluminum, Al 99.7 w (AA 1050-0)	0.99-1.22 \approx 1.105

2.3 สมบัติเชิงกลของโลหะ [17]

2.3.1 ความเค้น (Stress)

ความเค้นหมายถึง แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีผลต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติ และความยากในการวัดหาค่านี้ เราจึงมักจะพูดถึงความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยเหตุผลที่ว่า แรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านภายใน

การหาค่าความเค้นสามารถเขียนสมการได้ ดังนี้

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.12)$$

โดยที่

σ คือ ความเค้น (Stress) มีหน่วยเป็นปาสคาล

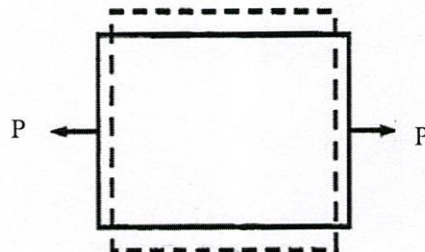
(Pa, 1 Pa = 1N/m²) หรือ kgf/mm²

P คือ แรงภายนอกที่มากระทำ มีหน่วยเป็น N หรือ kgf

A คือ พื้นที่ภาคตัดขวางที่แรงกระทำ; m² หรือ mm²

โดยทั่วไปความเค้นแบ่งออกได้ 3 ชนิดตามลักษณะของแรงที่มากระทำโดยในทางปฏิบัติ ความเค้นที่เกิดขึ้นจะมีทั้ง 3 แบบนี้พร้อม ๆ กัน

1) ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกันดังรูปที่ 2.10



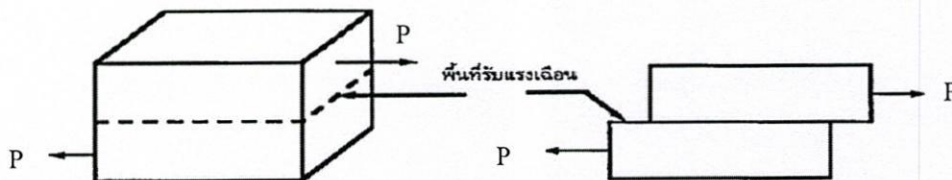
รูปที่ 2.10 แรงดึง (Tensile) [18]

2) ความเค้นแรงอัด (Compressive Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แรงกด (Compression) [18]

3) ความเค้นแรงเฉือน (Shear Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากกระทำให้ทิศทางขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อให้วัสดุเคลื่อนผ่านจากกันดังรูป มีค่าเท่ากับแรงเฉือน (Shear Force) หารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวาง A ซึ่งขนานกับทิศทางของแรงเฉือน ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แรงเฉือน (Shear) [18]

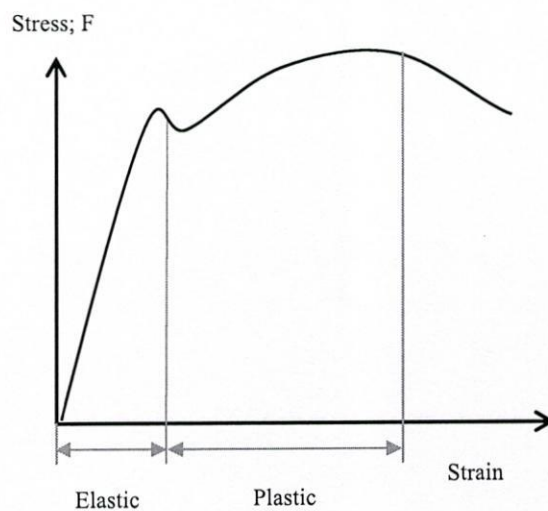
2.32 ความเครียด (Strain)

ความเครียด คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ (เกิดความเค้น) การเปลี่ยนรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งลักษณะของมันสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ

1) การเปลี่ยนรูปแบบอีลาสติกหรือความเครียดแบบคืนรูป (Elastic Deformation or Elastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำ อะตอมซึ่งเคลื่อนไหวเนื่องจาก

ผลของความเค้นจะเคลื่อนกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้ ตัวอย่างได้แก่ พวงยางยืด สปริง ถ้าเราดึงมันแล้วปล่อยมันจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม

2) การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูป (Plastic Deformation or Plastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไปนั้น โดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับไปตำแหน่งเดิม



รูปที่ 2.13 ความเค้นความเครียดของการดึงวัสดุ [18]

วัสดุทุกชนิดจะมีพฤติกรรมเปลี่ยนรูปทั้งสองชนิดนี้ขึ้นอยู่กับแรงที่มากระทำ หรือความเค้นว่ามีมากน้อยเพียงใด หากไม่เกินพิกัดการคืนรูป (Elastic Limit) แล้ววัสดุนั้นก็จะมีพฤติกรรมคืนรูปแบบอิลาสติก (Elastic Behavior) แต่ถ้าความเค้นเกินกว่าพิกัดการคืนรูปแล้ววัสดุก็จะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบถาวรหรือแบบพลาสติก (Plastic Deformation) นอกจากความเครียดทั้งสองชนิดนี้แล้ว ยังมีความเครียดอีกประเภทหนึ่งซึ่งพบในวัสดุโพลิเมอร์ เช่น พลาสติกเรียกว่า ความเครียดกึ่งอิลาสติกจะมีลักษณะที่เมื่อปราศจากแรงกระทำวัสดุจะมีการคืนรูป แต่จะไม่กลับไปจนมีลักษณะเหมือนเดิม การคำนวณหาค่าความเครียดมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ

- แบบเส้นตรงความเครียดที่วัดได้จะเรียกว่า ความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain) จะใช้เมื่อแรงที่มากระทำมีลักษณะเป็นแรงดึงหรือแรงกด ดังรูปที่ 2.14 ค่าความเครียดจะเท่ากับความยาวที่เปลี่ยนไปต่อ ความยาวเดิม ดังสมการที่ 2.13

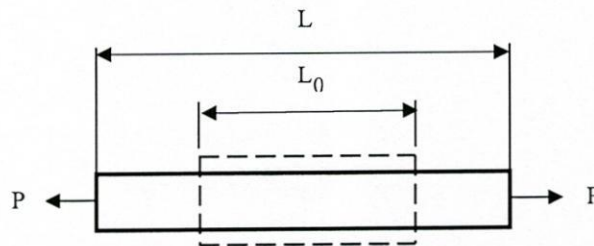
$$e = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2.13)$$

โดยที่

e คือ ความเครียดเชิงเส้น

ΔL คือ ความยาวที่เปลี่ยนไป ($L - L_0$)

L_0 คือ ความยาวเดิมของวัสดุที่สนใจ หรือ Gage Length



รูปที่ 2.14 ความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain) [18]

- แบบเฉือน เรียกว่า ความเครียดเฉือน (Shear Strain) ใช้กับกรณีที่แรงที่กระทำ มีลักษณะเป็นแรงเฉือน (τ) ดังรูปที่ 2.15 ค่าความเครียดจะเท่ากับระยะที่เคลื่อนที่ไปต่อระยะห่างระหว่างระนาบ ดังสมการที่ 2.14

$$\gamma = \frac{a}{h} \quad (2.14)$$

โดยที่

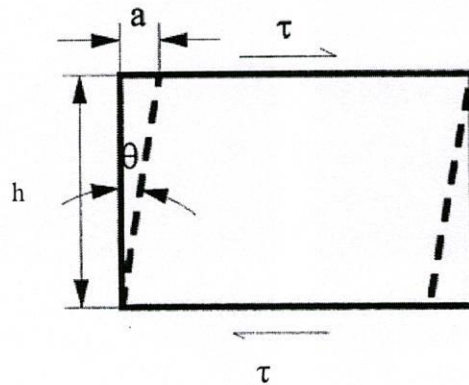
γ คือ $\tan\theta \approx \theta$ (Radian ในกรณีที่เป็นมุมเล็ก)

a คือ ระยะที่เคลื่อนที่ไป (Displacement)

h คือ ระยะห่างระหว่างระนาบ

θ คือ มุมที่เปลี่ยนไป

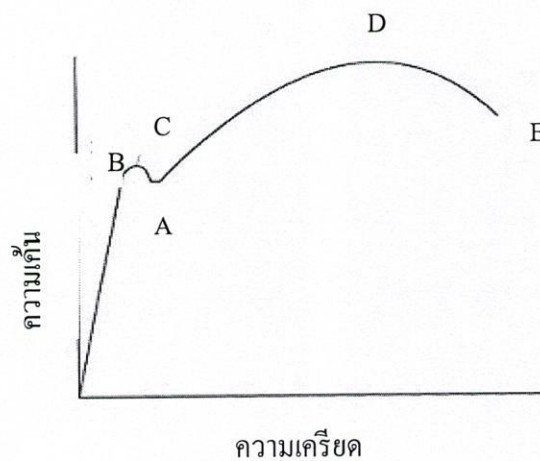
a τ



รูปที่ 2.15 ความเครียดเฉือน (Shear Strain) [18]

3) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (Stress-Strain Relationship)

ในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ในที่นี้เราจะใช้เส้นโค้งความเค้น-ความเครียด ซึ่งได้จากการทดสอบแรงดึงเป็นหลัก โดยจะพล็อตค่าความเค้นในแกนตั้งและความเครียดในแกนนอน ดังรูปที่ 2.16 การทดสอบแรงดึง นอกจากจะให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดแล้ว ยังแสดงความสามารถในการรับแรงดึงของวัสดุ ความเปราะเหนียวของวัสดุ และบางครั้งอาจใช้บอกความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุ ได้อีกด้วย

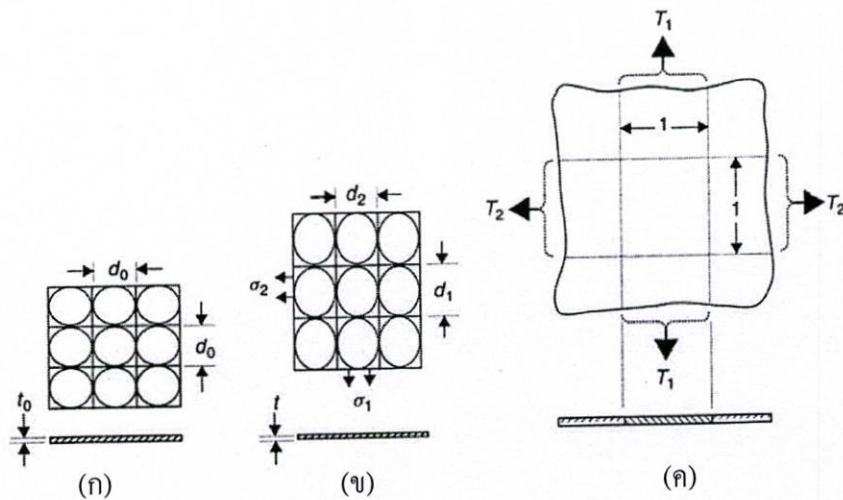


รูปที่ 2.16 เส้นความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) แบบมีจุดคราก (Yield Point) [18]

2.2.3 การเปลี่ยนรูปของโลหะแผ่น

ในระนาบความเค้น (Deformation of Sheet In Plane Stress) ในขณะที่มีการเปลี่ยนรูปบนระนาบความเค้น (Plane Stress) พิจารณา (Work- Hardening) ของวัสดุ ซึ่งเข้ากำลังประยุกต์ใช้

ทฤษฎีสัดส่วนการเปลี่ยนรูปใน ดังรูปที่ 2.17 ลักษณะที่ยังไม่มีการเปลี่ยนรูปที่ความหนา t_0 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลาง d_0 หรือตารางขนาด d_0 แสดงดังรูปที่ 2.17 (ก) ดังนั้นในระหว่างการเปลี่ยนรูปวงกลมจะเปลี่ยนไปเป็นวงรี แกน ของ Major คือ d_1 แกนของ Minor คือ d_2 ถ้าปรับตารางสี่เหลี่ยมให้เข้ากับทิศทางการหลักของกริดวงกลมจะกลายเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังรูปที่ 2.17 (ข) ส่วนความหนา คือ t ตามที่กรณี แสดงดังรูปที่ 2.17 (ค) ความเค้นที่ทำให้เปลี่ยนรูปคือ σ_1 และ σ_2

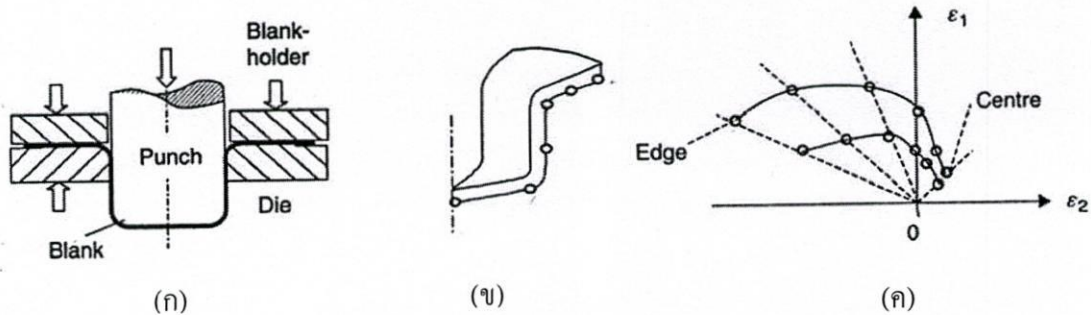


- (ก) ขณะที่ยังไม่เปลี่ยนรูปกริดวงกลมที่อยู่ตารางคงสภาพเดิม
 (ข) เมื่อมีการเปลี่ยนรูปกริดวงกลมจะเปลี่ยนเป็นรูปวงรีขนาดของแกนหลักคือ d_1 และขนาดแกนรอง คือ d_2
 (ค) การดึง (T) หรือแรงส่งผ่านต่อหน่วยความกว้าง

รูปที่ 2.17 ตารางวงกลมบนโลหะแผ่น (Strain Diagram) [15]

2.2.4 แผนภาพความเครียด (Strain Diagram)

ความเครียดเฉพาะจุดที่เกิดขึ้นในรูปที่ 2.18 สามารถวัดได้จากกริดวงกลมรูปที่ 2.17



(ก) การขึ้นรูปด้วยทรงกระบอก

(ข) ชั้นส่วนย่อยของถ้วยทรงกระบอกแสดงค่าความเครียดที่วัดได้

(ค) ผลค่าความเครียดที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยทรงกระบอก

รูปที่ 2.18 ความเครียดตำแหน่งต่าง ๆ ของถ้วยทรงกระบอก [15]

การใช้แผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปในวิธีปฏิบัติทางอุตสาหกรรม (Use of Forming Limit Diagram in Industrial Practice) วิธีการประเมินทางด้านเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพเป็นไปได้จริงมากที่สุดของการผลิตขึ้นส่วนและหลีกเลี่ยงการออกแบบที่ไม่ประสบความสำเร็จต่อการประยุกต์ใช้วิธีแผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปซึ่งมีแนวทางกับการกำหนด

- 1) ช่วงความปลอดภัยสำหรับการตีปรอว์
- 2) บริเวณวิกฤติของการเกิดรอยคอดและรอยแตกที่น่าจะเป็นไปได้มากที่สุด
- 3) ระดับความเครียด
- 4) เงื่อนไขสนับสนุนการทำงาน, แรงจذبชิ้นงาน, การหล่อลื่น

ในการปฏิบัติกับการใช้ตามวิธีนี้ หลังจากมีรูปร่าง ขนาดและคุณภาพวัสดุของชิ้นงานที่กำหนด โดยผู้ออกแบบด้วยเทคโนโลยีการขึ้นรูปและออกแบบเครื่องมือ สำหรับจุดประสงค์เพื่อหาความเครียดสูงสุดในชิ้นส่วนด้วยแผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูป สามารถประเมินรอยแตกหรือรอยคอดที่เกิดขึ้นระหว่างการขึ้นรูปได้ ถ้าไม่มีจุดบัพหรือคาดว่าข้อมูลที่ได้จะประมาณได้ว่ามีระยะห่างจากขีดจำกัดการเปลี่ยนแปลงของวัสดุ ถ้าจุดที่กำหนดโดยความเครียดสูงสุด สูงกว่าเส้นโค้งขีดจำกัดการขึ้นรูปควรมีการปรับปรุงดังนี้

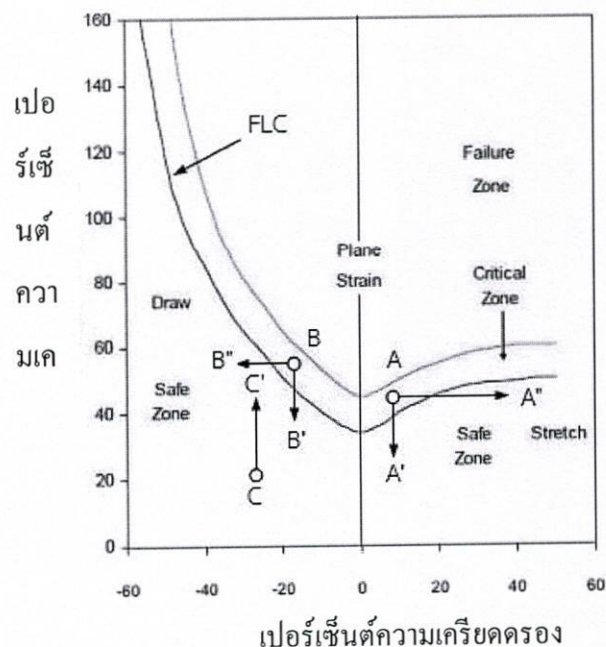
- 1) เงื่อนไขการทำงาน เช่น แบลงก์โฮลเดอร์ การหล่อลื่น

2) การออกแบบชิ้นส่วน เช่น รัศมีโค้ง มุมต่าง ๆ

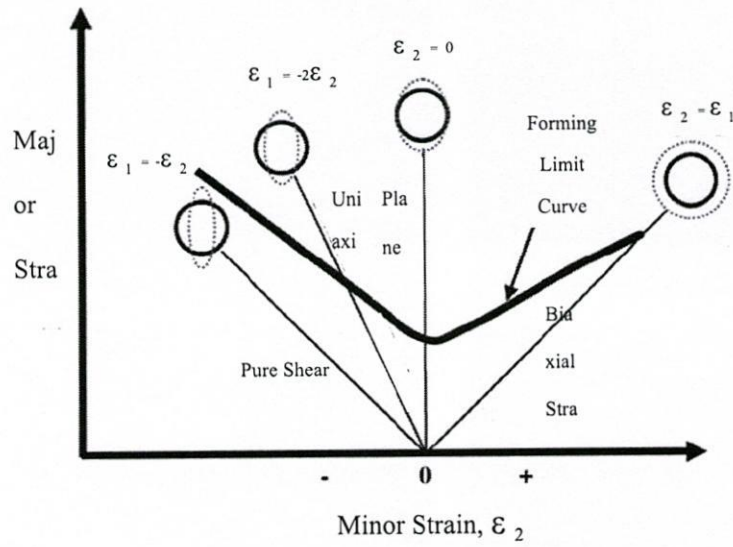
ผลการปรับปรุงแสดงในรูปที่ 2.19 กรณีแรกลักษณะของจู่จะเปลี่ยนจาก A ไปยัง A' หรือ A" กรณีที่สองจาก B ไปยัง B' หรือ B" ในกรณีที่ 3 เส้นโค้งจำกัดการขึ้นรูปจะเปลี่ยนเป็นเส้นประ

ในการประเมินการเปลี่ยนรูปของวัสดุด้วยแผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูป ถ้าจุดที่ความเครียดสูงสุดยังต่ำและห่างไกลจากเส้นโค้งจำกัดการขึ้นรูปเช่น จุด C ไปยัง C' หรือใช้วัสดุที่มีเส้นโค้งขีดจำกัดความเครียดต่ำกว่าขอบเขตความปลอดภัยที่เหมาะสมและป้องกันวัสดุที่มีจุดบกพร่องเกิดขึ้นในบริเวณที่เปลี่ยนรูปจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัสดุที่ดิบในตัวแปรของกระบวนการผลิตการเลือกวัสดุไม่ใช่มีอิทธิพลกับแผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปเท่านั้น แต่จะมีกับวิถีความเครียดและการเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุด้วย

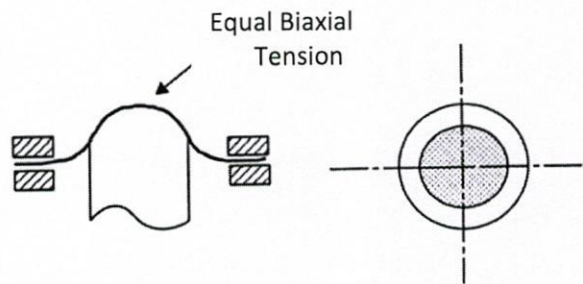
การพิจารณาความเครียดสูงสุดสำหรับการเปรียบเทียบด้วยแผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปสามารถทำได้ยากถ้าเป็นชิ้นงานที่ซับซ้อน ไม่สามารถคำนวณการเปลี่ยนรูปโดยการวิเคราะห์และการหาความเครียดสูงสุดจากการทดลองด้วยกริดวงกลมขนาดเล็กหรือการวิเคราะห์เชิงตัวเลขได้ในการทดลองเริ่มต้นจะมีการใช้อย่างกว้างๆเท่านั้น แต่ในสองทศวรรษที่ผ่านมาถือว่าเป็นความก้าวหน้าที่สำคัญเพราะมีการเลือกใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และวิธีบราวน์ดารีเอลิเมนต์ (Boundary Element Method)



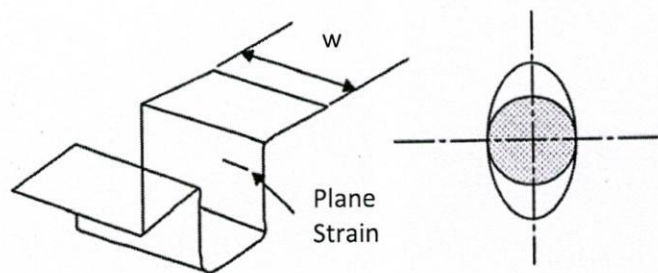
รูปที่ 2.19 แผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปของโลหะในวิธีปฏิบัติทางอุตสาหกรรม [16]



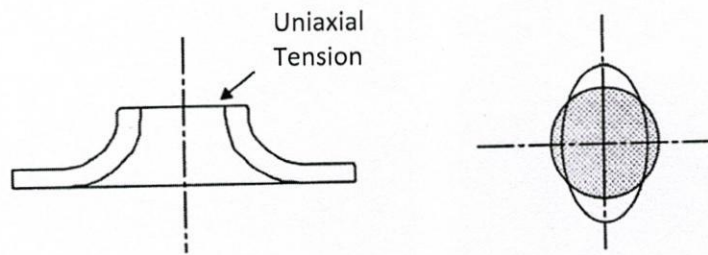
รูปที่ 2.20 แผนภาพความเครียดที่แสดงถึงความแตกต่างของสัดส่วนความเครียดที่สอดคล้องกับการขึ้นรูป [2]



รูปที่ 2.21 ลักษณะการดึงยืดแนวแกนคู่ (Equal biaxial stretching) เกิดจากการขึ้นรูปโดม [2]



รูปที่ 2.22 ลักษณะการเปลี่ยนรูปแบบระนาบความเครียด (Plane Strain) เกิดขึ้นด้านข้างของชิ้นส่วนที่มีการขึ้นรูปแนวยาว [2]



รูปที่ 2.23 ลักษณะการขึ้นรูปแบบการดึงแนวแกนเดียว (Uniaxial Tension) ของขอบชิ้นงานแบบ Extrude Hole [2]

2.4 ทฤษฎีเหล็กกล้าไร้สนิม [19]

เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) เป็นอัลลอยของเหล็ก (Iron-Base Alloys) ที่มีคุณสมบัติต้านทานต่อการกัดกร่อนได้สูงกว่าเหล็กทั่วไป จึงทำให้ไม่เป็สนิม สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากมายในชีวิตประจำวัน เช่น อุปกรณ์ทำครัว อุปกรณ์ทางการแพทย์ และเครื่องเฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ

เหล็กกล้าไร้สนิมทำมาจากเหล็ก (Fe) ซึ่งมีส่วนประกอบของธาตุอื่น ๆ ในปริมาณเล็กน้อย ได้แก่ คาร์บอน (C) แมงกานีส (Mn) ฟอสฟอรัส (P) และกำมะถัน (S) เนื่องจากเหล็กสามารถถูกกัดกร่อนและเป็นสนิมได้ง่าย จึงนำเหล็กมาผ่านกระบวนการเติมโลหะบางชนิด เช่น โครเมียม (Cr) นิกเกิล (Ni) หรือ วานาเดียม (V) ลงไป ทำให้คุณสมบัติของเหล็กดีขึ้น และไม่เป็สนิมง่าย โลหะที่มักเติมลงไปมีปริมาณมากเพื่อทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี คือ โครเมียมโดยเติมลงไปมีปริมาณร้อยละ 10 ถึง 30 เมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ โครเมียมในเหล็กกล้าไร้สนิมจะเกิดเป็นแผ่นฟิล์มที่บางมากในรูปของโครมิออกไซด์ (Cr_2O_3) ซึ่งเราไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ถ้าแผ่นฟิล์มนี้ถูกขูดขีดหรือทำลาย ก็จะเกิดชั้นบาง ๆ ของโครเมียมออกไซด์ขึ้นมาใหม่อย่างรวดเร็ว ชั้นบาง ๆ ของฟิล์มนี้จะกั้นไม่ให้น้ำหรืออากาศ ซึมผ่านเข้าไปในเนื้อเหล็ก ซึ่งช่วยในการป้องกันเหล็กจากการเกิดสนิมได้

2.4.1 โครงสร้างผลึกของเหล็กกล้าไร้สนิม

การที่เหล็กกล้าไร้สนิมมีคุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความต้านแรงดึง ความแรงคราก การยืด ความแข็งและความเหนียวที่แตกต่างกันเนื่องจากมีลักษณะของโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกัน ส่วนสำคัญที่ทำให้มีลักษณะโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกันคือ ลักษณะของแลตทิซเฟสทรานซิชัน (Phase Transition) และองค์ประกอบทางเคมีในขบวนการผลิตเหล็กกล้าไร้สนิม จะต้องควบคุมการเติมธาตุต่าง ๆ และการให้ความร้อน (Heat Treatment) เป็นอย่างดี เพื่อควบคุมให้เหล็กกล้าไร้สนิมที่ผลิตออกมามีโครงสร้างผลึกและเฟสทรานซิชันตามที่ต้องการ เหล็ก และอัลลอยของเหล็กที่แลตทิซหลายรูปแบบที่รู้จักกันทั่วไปเป็นแบบ บอดี-เซ็นเตอร์-คิวบิก (Body-Center-Cubic) เรียกย่อว่า บีซีซี

(BCC) และเฟส-เซ็นเตอร์-คิวบิก (Face-Center-Cubic) เรียกย่อว่าเอฟซีซี (FCC) สำหรับเหล็กที่บริสุทธิ์ แลตทิซแบบเอฟซีซีจะอยู่ที่อุณหภูมิ 910-1,400 องศาเซลเซียส ส่วนแลตทิซแบบบีซีซี จะอยู่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 910 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่สูงกว่า 1,400 องศาเซลเซียส จนถึงจุดหลอมเหลวที่ 1,539 องศาเซลเซียส โลหะที่สำคัญที่ใช้ในการควบคุมให้ได้เฟสทรานซิชัน (Phase Transition) ตามต้องการ คือ โครเมียมและนิกเกิล โดยที่โครเมียมเป็นธาตุที่ทำให้โครงสร้างแบบเฟอร์ไรต์ และนิกเกิลเป็นธาตุที่ทำให้ได้โครงสร้างแบบออสเทนไนต์ [18]

2.4.2 สมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304

เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้จะมีปริมาณ โครเมียมผสมอยู่ประมาณ 16-25% โดยน้ำหนัก และมีปริมาณ นิกเกิลผสมอยู่ประมาณ 8-20% โดยน้ำหนัก มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ Face-Centered-Cubic (FCC) ซึ่งเรียกว่าออสเทนไนต์ และจะคงลักษณะ โครงสร้างนี้ไว้ในทุกอุณหภูมิ เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้จะเป็นกลุ่มที่ไม่สามารถเหนียวนำไปเป็นแม่เหล็กได้ และไม่สามารถทำให้แข็งได้ด้วยกรรมวิธีทางความร้อนเช่นเดียวกับกลุ่มเฟอร์ริติก ตามมาตรฐานของ America Iron and Institute (AISI) ได้กำหนดไว้อยู่ในตระกูล 200 และตระกูล 300 เป็นกลุ่มที่มีความยืดหยุ่นและความเหนียวดีมาก มีความสามารถขึ้นรูปได้ดีตุนอกจากนั้นยังสามารถทำให้แข็งได้ด้วยวิธี Cold Work การที่โครงสร้างของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้ จะสามารถคงลักษณะเป็นออสเทนไนต์ได้ตลอดทุกอุณหภูมิ จึงจำเป็นต้องมีธาตุผสมที่สามารถทำให้โครงสร้างออสเทนไนต์เสถียรในเหล็กกล้าไร้สนิมด้วย เช่น นิกเกิล ซึ่งเป็นธาตุหลัก นอกจากนั้นแล้วยังมีคาร์บอนและไนโตรเจนอีกด้วย เนื่องจากเป็นธาตุที่ละลายอยู่ในโครงสร้าง FCC ได้ตามธรรมชาติเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเทนไนต์สามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 กลุ่มย่อย ตามลักษณะผสมระหว่างโครเมียมกับธาตุอื่น คือ กลุ่มโลหะผสม โครเมียม-นิกเกิล (Chromium-Nickle Alloys) ได้แก่เกรด AISI 304 และ AISI 316 และกลุ่มโลหะผสมโครเมียม-แมงกานีส-ไนโตรเจน (Chromuim-Mangancaac-Nitrogen Alloys) ได้แก่เกรด AISI 201 และ AISI 241 โดยที่กลุ่มหลังนี้จะมีปริมาณนิกเกิลน้อยจะใช้ปริมาณที่สูงเป็นตัวรักษาโครงสร้างเพิ่มความสามารถในการละลายออสเทนไนต์ และป้องกันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ และการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนยังส่งผลให้เพิ่มความแข็งแรงต่อเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้ด้วย ธาตุผสมต่างๆ ที่ผสมในเหล็กกล้าไร้สนิมจะส่งผลให้มีสมบัติเชิงกลดีขึ้น เช่น การผสมโมลิบดีนัมลงในเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 316 และ AISI 317 เพื่อช่วยต้านทานต่อการเกิดการกัดกร่อนในสภาพที่มีคลอไรด์ หรือในเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มที่มีโครเมียมสูง เช่น AISI 309 และ AISI 310 จะใช้ในลักษณะงานในสภาพที่มีการ Oxidation และการใช้งานที่ระดับอุณหภูมิสูง ในขณะที่เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนิกเกิลสูง เช่น กลุ่ม AISI 20Cb-3 มักจะใช้ในลักษณะงานที่เป็นกรดรุนแรงหรืองานที่ต้องการป้องกันมิให้เกิดการกัดกร่อนตามขอบเกรน (Intergranular

Corrosion) เมื่อใช้งานในระดับอุณหภูมิสูง จะมีการผสมไทเทเนียมหรือนิโอบีียม เช่น เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่ม AISI 347 และ AISI 321 [19]

สมบัติโดยรวมของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเทนนิติกสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) ไม่สามารถเหนียวนำไปเป็นแม่เหล็กได้
- 2) มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนทั่วไปในระดับดี
- 3) ไม่สามารถใช้กระบวนการทางความร้อนได้จึงไม่สามารถอบชุบด้วยความร้อนเพื่อเพิ่มความแข็งแรงหรือความแข็งแรงได้
- 4) สามารถทำให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นได้ด้วยวิธี Cold Work
- 5) มีความยึดตัวและความเหนียวดีที่อุณหภูมิต่ำ (มักเกิดเป็นธาตุที่ช่วยต้านสมบัติใช้งานที่อุณหภูมิต่ำมาก)
- 6) มีความต้านทานต่อสิ่งต่อไปนี้ไม่ดี
 - Stress Corrosion
 - Pitting Corrosion
 - Crevice Corrosion

ตาราง 2.6 เปรียบเทียบมาตรฐาน และส่วนประกอบทางเคมี [2]

เรดของไทน็อกซ์	ค่าเปรียบเทียบเท่ากับ			ส่วนประกอบทางเคมี				
	TISI	JIS	ASTM	C	Cr	Ni	Si Max.	Mn Max.
TNX SC17	SST 430	SUS 430	430	≤ 0.12	16.0 – 18.0	-	0.75	1.0
TNX SI89	SST 304	SUS 304	304	≤ 0.8	18.0 – 20.0	8.0-9.0	0.75	2.0
TNX SC17	SST 304	SUS 304	304	≤ 0.8	18.0 – 20.0	8.0-9.0	0.75	2.0
TNX SC17	SST 304	SUS 304	304	≤ 0.8	18.0 – 20.0	8.0-9.0	0.75	2.0