



อิทธิพลของรอยแตกในระดับจุลภาคที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการ
ขยายตัวของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง

โดย

นายประสาน แสงเขียว

สนับสนุนงบประมาณโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2560

Influence of Micro Crack to Hole expansion behavior
of High Strength Steel Sheet

By

PRASAN SANKHLEO

Granted

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2016

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสภาวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๐ ในแผนงานบูรณาการส่งเสริมการวิจัยและพัฒนา ภายใต้โครงการวิจัยเพื่อสร้าง สะสมองค์ความรู้ที่มี ศักยภาพ กิจกรรม วิจัยประยุกต์ ในโครงการวิจัย เรื่อง “อิทธิพลของรอยแตกในระดับจุลภาคที่ส่งผล ต่อพฤติกรรมการขยายตัวของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง” เลขที่สัญญาวิจัย /2560

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ในการ สนับสนุนและดูแลโครงการวิจัยนี้ตลอดมา

ประสาน แสงเขียว
กรกฎาคม 2560



บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : /2560

ชื่อโครงการ : อิทธิพลของรอยแตกในระดับจุลภาคที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการขยายตัวของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง

ชื่อนักวิจัย : นายประสาน แสงเขียว

การขึ้นรูปขยายรู (Hole expansion) เป็นกระบวนการหนึ่งที่มีมักเกิดปัญหาการฉีกขาดจากขอบรูเจาะ งานวิจัยนี้จึงศึกษาวิธีการเพิ่ม ขีดจำกัดอัตราส่วนการขยายรูและวิเคราะห์ถึงกระบวนการต่างๆในการเจาะรูที่ส่งผลให้เกิดความหยาบผิวของรูเจาะและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุ ความสามารถในการขึ้นรูปขยายรู (Hole flangeability) นั้นสามารถหาได้จากการทดสอบอัตราส่วนของการขยายรู (Hole expansion ratio) วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบเป็นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด 590 และ 780 หนา 1.2 มิลลิเมตร ผลจากการทดลองพบว่ากระบวนการเจาะรูด้วยวิธีที่มีค่าอัตราส่วนการขึ้นรูปขยายรูสูงที่สุด การเจาะรูด้วยพันธซ์ที่ใช้เคาท์เตอร์พันธซ์ สามารถเพิ่มอัตราส่วนการขยายรูได้มากกว่าการเจาะรูด้วยพันธซ์เจาะ

คำสำคัญ : เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง, การขึ้นรูปขยายรู, กระบวนการเจาะ

E-mail Address : Prasan.san@rmutr.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : ๑ ตุลาคม ๒๕๕๙ – ๓๐ กันยายน ๒๕๖๐



Abstract

Code of project : /2560

Project name : Influence of Micro Crack to Hole expansion behavior of High Strength Steel Sheet

Researcher name : PRASAN SANKHLEO

The hole flange ability can be evaluated by limiting hole expansion ratio from hole expansion test. High strength steel grade 590 and 780 with 1.2 mm of thickness were used in this research. This results showed that the hole cut by laser and pierced by piercing punch which cause changing in microstructure thus increasing hardness introduced low ability of hole flanging. From experimental results, it was found that the hole making by wire cut process shows highest hole expansion ratio. The hole from piercing with counter punch can be increased the hole expansion ratio more than hole from piercing process.

Keywords: High strength steel, Hole expansion ratio, Piercing process

E-mail Address : Prasan.san@rmutr.ac.th

Period of project : 1 October 2016 – 31 September 2017

สารบัญ

	หน้า	
กิตติกรรมประกาศ	ก	
บทคัดย่อภาษาไทย	ข	
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค	
สารบัญ	ง	
สารบัญตาราง	ฉ	
สารบัญภาพ	ช	
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
	1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
บทที่ 2	ทฤษฎี และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	3
	2.1 ทฤษฎีการตัดโลหะแผ่น	7
	2.2 การเคลื่อนตัวของโลหะ	9
	2.3 การดีดตัวกลับ	10
	2.4 คุณสมบัติทางกลของวัสดุเหนียวและวัสดุเปราะ	15
	2.5 กรอบแนวคิดการวิจัย	23
	2.6 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	24
บทที่ 3	ระเบียบวิธีการวิจัย	29
	3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	30
	3.2 วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในงานวิจัย	30
	3.3 เครื่องจักรกลที่ใช้สนับสนุนงานวิจัย	31
	3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล	36

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4	ผลการวิจัยและผลการวิเคราะห์	31
	4.1 ผลการทดสอบการดัดขึ้นรูปแบบไม่มีแผ่นรอง	31
	4.2 ผลการทดสอบการดัดขึ้นรูปแบบมีแผ่นรองและดันทกลับ	32
	4.3 แรงดันที่ส่งผลต่อการติดตัวกลับ	33
	4.4 ความแข็งแรงของวัสดุที่ส่งผลต่อการติดตัวกลับ	35
	4.5 การนำผลการทดสอบสมบัติแรงดึง-แรงอัดไปใช้ในการจำลองการขึ้นรูป เหล็กกล้าความแข็งแรงสูงด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์	35
บทที่ 5	สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	39
	5.1 สรุปผลการวิจัย	39
	5.2 ข้อเสนอแนะ	40
บรรณานุกรม		41
ภาคผนวก ก	รูปร่างชิ้นงาน	44
ภาคผนวก ข	ส่วนผสมทางเคมี	46
ภาคผนวก ค	ผลการทดสอบแรงดึง	48
ประวัติผู้วิจัย		55



สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

4.1 Material parameter of Y-U model [GPa]

35

4.2 Elastic parameter of Y-U model [GPa]

35

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ประเภทของเหล็กที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ แบ่งตามความสัมพันธ์ของความแข็งแรงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว	3
2	ความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ตัด	6
3	การเคลื่อนตัวของโลหะ	8
4	กลไกการเกิดการตีตัวกลับของชิ้นงานหลังการขึ้นรูป	8
5	การตัดให้มุมมากกว่าที่ต้องการ	9
6	การยืดชิ้นงานก่อนการตัด	10
7	มุมมองของชิ้นงานที่ต้องการตัดและที่ได้หลังจากการตัด	11
8	เครื่องทดสอบแรงดึง	11
9	ตัวอย่างชิ้นทดสอบแรงดึง	12
10	การจับยึดชิ้นงาน	12
11	กราฟความเค้น – ความเครียดของโลหะที่มีคุณสมบัติเหนียว	13
12	คุณสมบัติทางกลของโลหะแบบเหนียวภายใต้แรงในแนวแกน	14
13	การเกิดคอคอดของโลหะขณะรับแรงดึง	14
14	รอยขาดของชิ้นงานแบบเหนียว	15
15	การหาค่า yield strength บน stress-strain curve	16
16	Stress – strain curve ของวัสดุทองเหลือง	17
17	กลไกการเกิดการปัญหาผนังโค้ง	18
18	การกระจายความเค้นที่ผนังชิ้นงาน	18
19	ชิ้นงานจากการใช้กระบวนการแม่เหล็กไฟฟ้าในการแก้ปัญหาผนังโค้ง	19
20	arc bottoming process	20
21	pinching die process	20
22	การติดตั้งแม่พิมพ์บน CNC servo press	21

23	sided coined-bead process	21
24	พันธึ่และตายในการทดลอง	24
25	ชั้นส่วนแม่พิมพ์	25

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	เครื่องปั้โลหะแบบไฮดรอลิกส์ขนาด 50 ตัน	26
27	ประเภทของเหล็กที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์แบ่งตาม ความสัมพันธ์ของความแข็งแรงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว	27
28	แบบจำลอง	27
29	ชุดกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	28
30	เครื่อง CNC CMM	28
31	วิธีการวัดการตีตัวกลับ	29
32	ทดสอบการตัดขึ้นรูปแบบไม่มีแผ่นรอง	31
33	ผลการทดสอบการตัดขึ้นรูปแบบไม่มีการดันกลับ	31
34	การตัดขึ้นรูปแบบมีแผ่นรอง	32
35	การตัดขึ้นรูปแบบมีแผ่นรองและดันกลับ	32
36	ผลการทดสอบการตัดขึ้นรูปใช้แรงแผ่นรอง 2 kN	33
37	ผลการทดสอบการตัดขึ้นรูปใช้แรงแผ่นรอง 4 kN	34
38	ผลการทดสอบการตัดขึ้นรูปใช้แรงแผ่นรอง 6 kN	34
39	การกระจายตัวของความเค้นเหล็กกล้าเกรดความแข็งแรงสูง 980	36
40	การกระจายตัวของความเค้นเหล็กกล้าเกรดความแข็งแรงสูง 980 เมื่อใช้แรงดันด้านล่าง	36
41	ตัวอย่างชิ้นงานเหล็กกล้าเกรดความแข็งแรงสูง 980	37



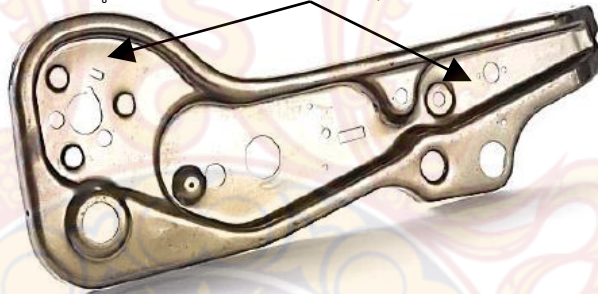
บทที่ 1

บทนำ

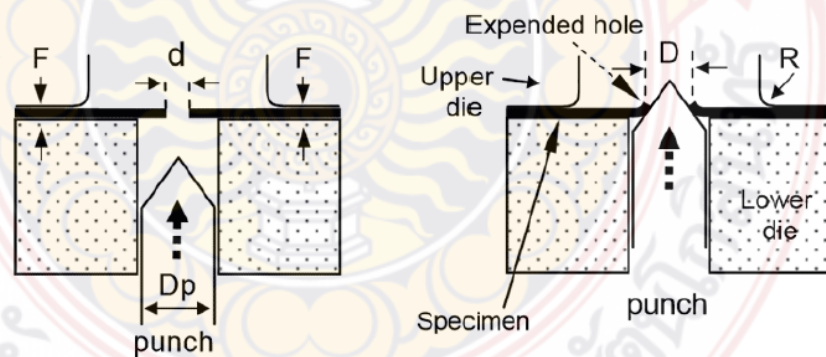
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางโดยเฉพาะการผลิตชิ้นส่วนอุตสาหกรรมรถยนต์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและลดน้ำหนักให้กับตัวรถ ซึ่งการนำเหล็กกลุ่มนี้เข้ามาเป็นวัตถุดิบในการผลิตตั้งแต่ปี 2543 จนกระทั่งปัจจุบันยังได้เพิ่มความแข็งแรงของเหล็กสูงขึ้น ซึ่งปัญหาที่ตามมาภายหลังค่าความแข็งแรงที่สูงขึ้นคือ ความสามารถในการเปลี่ยนรูปต่ำ และการขยายตัวต่ำ ในส่วนของวิธีการทดสอบถึงสมบัติการเปลี่ยนรูปที่นิยมมากเนื่องจากมีลักษณะการทดสอบใกล้เคียงกับการใช้งานจริงคือการทดสอบแบบ Hole expansion test ดังภาพที่ 1

รูที่ผ่านการกระบวนกร Hole expansion



(ก) ชิ้นส่วนรถยนต์



(ข) ลักษณะการทดสอบ Hole expansion

ภาพที่ 1 กระบวนกร Hole expansion

แม้ว่าจะมีมาตรฐานการทดสอบ ISO/T16630 อยู่แล้ว แต่มาตรฐานนั้นรองรับแค่เหล็กกล้าคาร์บอน เท่านั้นไม่ได้รวมไปถึงเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เนื่องจากเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงมีความสามารถขึ้นรูปได้ไม่มากจึงเกิดปัญหาความเสียหายระหว่างการขึ้นรูป ซึ่งเป็นปัญหาหลักของกระบวนการ Hole expansion process ทำให้เกิดการสูญเสียเวลาและค่าใช้จ่ายกับการทดลองพิมพ์เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้โรงงานผลิตชิ้นส่วนหลายๆแห่งต้องประสบปัญหาจากการรับทำแม่พิมพ์เพื่อขึ้นรูปเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงนี้ โดยปัจจัยหลักของปัญหาความเสียหายทำให้ขึ้นรูปไม่สำเร็จคือการเกิดรอยแตกในระดับจุลภาค (Micro crack) จากสาเหตุดังกล่าวผู้วิจัยจึงเล็งถึงการค้นหาสาเหตุของปัญหาดังกล่าวพร้อมทั้งเสนอกระบวนการใหม่ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพสัดส่วนการขึ้นรูป Hole expansion ratio (HER) ในงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าตัวแปรที่สามารถช่วยเพิ่มอัตราการขยายตัวได้คือ คุณภาพความเรียบและความฉากของรูก่อนทำการขึ้นรูป ซึ่งการเจาะรูให้ได้ความเรียบและได้ฉากนั้น หากใช้วิธีการไวร์คัท หรือเลเซอร์ จะสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์การขยายตัวได้แต่จะสิ้นเปลืองทรัพยากรเป็นอย่างมากเนื่องจากกระบวนการดังกล่าว ใช้ชั่วโมงในการทำงานนาน โดยเฉพาะการตัดด้วยไวร์คัท ชิ้นงานจะเป็นสนิมได้ง่าย ในขณะที่เจาะรูเริ่มต้นด้วยแม่พิมพ์ตัดธรรมดา นั้นแม้จะประหยัดเวลาในการทำงานแต่พบครีโบลหะขึ้น ซึ่งเป็นอุปสรรคในการขยายตัวอย่างสม่ำเสมอในขณะทดสอบ Hole expansion ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างวิธีการเจาะรู ที่ให้ผลทั้งปริมาณชิ้นงานที่รวดเร็ว และสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์ Hole expansion ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยวิธีการ กัดตัดและดันกลับ (Push back blanking)

ในงานวิจัยนี้มีแนวคิดใช้องค์ความรู้ในด้านการสร้างเทคโนโลยีในการสร้างรูเริ่มต้น (pre hole shearing) ด้วยวิธีที่ให้ผลทั้งปริมาณชิ้นงานที่รวดเร็ว ใหม่เพื่อเพิ่ม ขีดจำกัดการขึ้นรูป Hole expansion ratio (HER) ทำให้งานวิจัยนี้ตอบโจทย์ของภาคการผลิตได้เป็นอย่างดีในด้านการเพิ่มคุณภาพและลดต้นทุนการผลิต ภายหลังทำการเผยแพร่ข้อมูลสู่ภาคอุตสาหกรรม จะช่วยลดขั้นตอนในการลองพิมพ์ ซึ่งเป็นการยกระดับเทคโนโลยีการผลิตในภาพรวมได้

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพิ่มอัตราส่วน Hole expansion ratio (HER) ของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง

2.2 ลดรอยแตกในระดับจุลภาคในขณะขึ้นรูปด้วยกระบวนการ Hole expansion

3. ขอบเขตการวิจัย

3.1 ศึกษาสมบัติทางกลเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด DP 590 MPa และ TRIP 780 MPa ด้วยวิธีทดสอบแรงดึง

3.3 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยเป็นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด DP 590 MPa และ TRIP 780 MPa ความหนา 1.2 มิลลิเมตร ทำการเตรียมชิ้นงานทดสอบให้มีขนาดกว้าง 100 ยาว 100 มิลลิเมตร

3.4 ทำการเจาะรู (Pre hole shearing) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร เพื่อเตรียมการ Hole expansion ด้วย 3

- เจาะรูด้วยแม่พิมพ์ตัด (Piercing die)
- เจาะรูด้วยไวร์คัท (Wire cut)
- เจาะรูด้วยแม่พิมพ์ตัดแบบไคร์ริบ (Push back blanking)

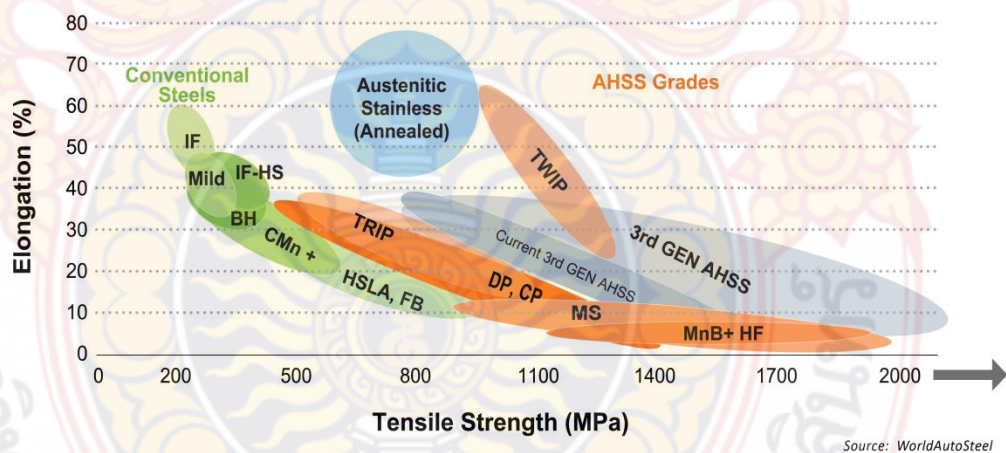
3.5 ระหว่างทดสอบการดัดขึ้นรูปทำการเก็บข้อมูลโดยวิเคราะห์ผลจาก

- ลักษณะรอยแตกระดับจุลภาคภายหลัง Pre Hole shearing
- ค่าความเรียบผิวบริเวณรอบชิ้นงานภายหลัง Hole expansion
- ความฉากของรูภายหลังทำการ Hole expansion
- เปอร์เซนต์ Hole expansion ratio (HER)

บทที่ 2

ทฤษฎี และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

International Iron & Steel Institute ได้จัดการประชุมร่วมกันระหว่างบริษัทผู้ผลิตเหล็กจากทั่วโลก เพื่อกำหนดประเภทเหล็กที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยพิจารณาจากสมบัติทางด้านโลหะวิทยา และสมบัติทางกลของวัสดุ สามารถแบ่งประเภทเหล็กได้ 3 ประเภทดังแสดงในภาพที่ 2 คือเหล็กกล้าคาร์บอน (Mild steel or Low strength steel) เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง (HSS) และเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเป็นพิเศษ (AHSS) โดยเหล็กที่มีค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) น้อยกว่า 270 MPa จะจัดอยู่ในประเภทเหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กที่มีค่าความแข็งแรงดึงระหว่าง 270 ถึง 700 MPa จะเป็นเหล็ก HSS และถ้าค่าความแข็งแรงดึงกล่าวมีค่ามากกว่า 700 MPa ก็จะจัดอยู่ในกลุ่มเหล็ก AHSS ซึ่งโดยปกติเหล็ก HSS จะมีโครงสร้างแบบเฟสเดียว (Single phase) ที่เป็นเฟอร์ไรท์ (Ferrite) ส่วนเหล็ก AHSS จะมีโครงสร้างพื้นฐานเป็นแบบหลายเฟส (Multi phase) ซึ่งอาจประกอบด้วย เฟอร์ไรท์ มาร์เทนไซต์ (Martensite) เบนไนท์ (Bainite) และ/หรือ มีส่วนผสมของออสเทนไนท์ (Austenite) รวมอยู่ด้วย [1]

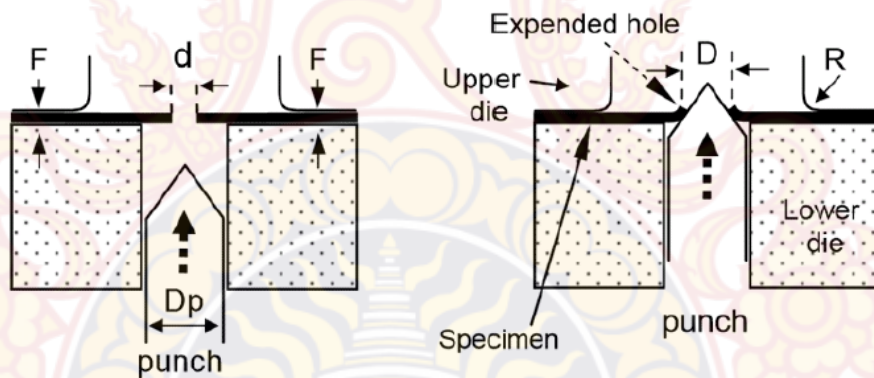


ภาพที่ 2 ประเภทของเหล็กที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ แบ่งตามความสัมพันธ์ของความแข็งแรงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว [1]

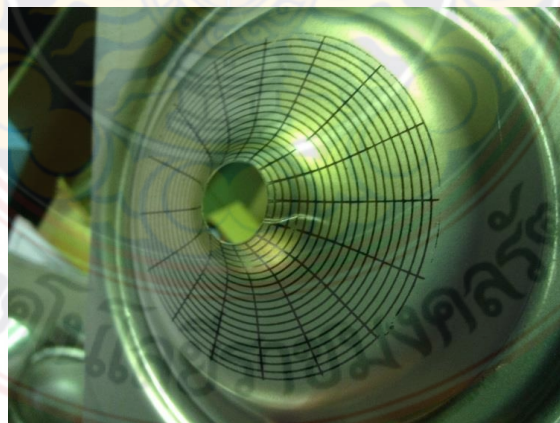
ภาพที่ 2 พบว่าเมื่อค่าความแข็งแรงของวัสดุเพิ่มสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Elongation (%)) ของวัสดุจะลดลง และเมื่อค่าความแข็งแรงของวัสดุสูงตามทฤษฎี ค่าความแข็งแรงก็จะแปรผันตามด้วย รายงานของ Takita และคณะ [2] ได้กล่าวถึงการใช้ HSS เป็นวัสดุหลักในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ในประเทศญี่ปุ่นเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งก็ทำให้น้ำหนักของรถยนต์รุ่นใหม่ที่ถูกผลิตออกมามีน้ำหนัก

ลดลงด้วย การใช้งานของเหล็กกลุ่มดังกล่าวจะพิจารณาถึงลักษณะการใช้งานของชิ้นส่วนยานยนต์นั้น เช่นชิ้นส่วนเสริมแรงของประตูรถ กันชนรถ และในอีกหลายชิ้นส่วน จะใช้เหล็กที่มีค่าความแข็งแรงไม่เกิน 590 MPa ส่วนกรณีเหล็กที่มีค่าความแข็งแรงเกินนี้จะใช้สำหรับผลิตชิ้นส่วนที่มีรูปร่างง่าย ไม่ซับซ้อน เพื่อป้องกันการบิดตัวกลับของชิ้นงานหลังการขึ้นรูปอันเนื่องมาจากค่าความแข็งแรงที่เพิ่มสูงขึ้น นอกจากปัญหาการบิดตัวกลับ และความสามารถในการขึ้นรูปที่ลดต่ำลงแล้ว ค่าความแข็งแรงที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ต้องเปลี่ยนวิธีการขึ้นรูป ต้องปรับปรุงและพัฒนาเครื่องมือเพื่อใช้ในการขึ้นรูปให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ตลอดจนการพัฒนาสารหล่อลื่นเพื่อใช้ในการขึ้นรูปเหล็กกลุ่มดังกล่าว จากปัญหาดังกล่าวจึงทำให้มีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่มีมุ่งแก้ปัญหาการขึ้นรูปเหล็กกลุ่ม HSS และ AHSS

Hole expansion test เป็นวิธีการทดสอบการขยายตัวของวัสดุซึ่งเป็นวิธีที่แพร่หลายมาก ซึ่งหลักการพื้นฐานคือนำแผ่นโลหะที่จะทำการทดสอบไปเจาะรูบริเวณกึ่งกลางและ ในขั้นตอนแรกของการทดสอบนั้นจะนำชิ้นงานไปกดยึดให้แน่น จากนั้นใช้ 펀ช์ดันรูขึ้นมาดังภาพที่ 3 จนกระทั่งพบรอยแตกบริเวณขอบดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 การทดสอบการขยายตัวด้วยกรรมวิธี Hole expansion test [3]



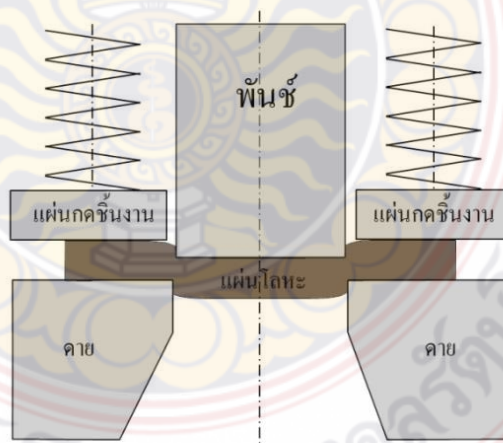
ภาพที่ 4 รอยแตกบริเวณขอบภายหลังจาก Hole expansion test

หลักการตัดโลหะแผ่น (Principle of blanking) [4]

ในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นศึกษารอยแตกในระดับจุลภาคที่เกิดจากการเจาะรู (Pre hole shearing) จึงมีความจำเป็นต้องทราบถึงกลไกการเปลี่ยนรูปของโลหะในงานตัดด้วยแม่พิมพ์ตัด ซึ่งเครื่องปั๊มโลหะจะให้แรงส่งผ่านมายังพUNCH เพื่อที่กดชิ้นงานให้ทะลุลงไปในตาย ภายหลังจากการตัดวัสดุให้ขาดออกจากกันทำให้ได้ชิ้นงานที่มีรูปร่างเหมือนกับพUNCHหรือตาย ในขณะที่ตัดชิ้นงานนั้นเราสามารถแบ่งช่วงการเปลี่ยนรูปของชิ้นงานได้ 3 ขั้นตอน ซึ่งแต่ละขั้นตอนนี้มีความสำคัญมากเนื่องจากการเปลี่ยนรูปของชิ้นงานในแต่ละช่วงเพราะสิ่งเหล่านี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดและคุณภาพของชิ้นงานที่ได้ ทำให้ผู้ออกแบบแม่พิมพ์ต้องเข้าใจถึงกลไกการเปลี่ยนรูปของโลหะจึงจะสามารถออกแบบแม่พิมพ์ที่ตัดชิ้นงานได้คุณภาพ ประหยัด และทนทาน สูงสุด โดยขั้นตอนทั้งหมดมีดังต่อไปนี้

กลไกการเปลี่ยนรูปถาวรของโลหะ

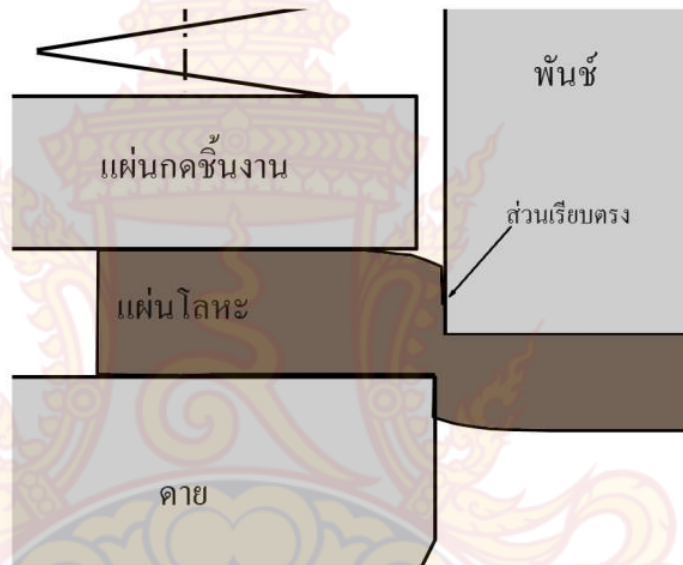
การเปลี่ยนรูปของชิ้นงานในบริเวณที่สัมผัสกับคมตัดของพUNCHและตาย เมื่อวัสดุวางอยู่บนตายจากนั้นเครื่องปั๊มโลหะส่งผ่านแรงมายังพUNCHให้เคลื่อนที่ลงกดบนชิ้นงาน จากนั้นการตัดจะเริ่มต้นจากการที่พUNCHเคลื่อนที่มาสัมผัสชิ้นงาน และก่อให้เกิดแรงดันบนแผ่นชิ้นงานจนกระทั่งเกินขีดจำกัดยืดหยุ่นของวัสดุ จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปถาวรขึ้นลักษณะขอบตัดในช่วงแรก(ด้านบน)จะมีลักษณะเป็นส่วนโค้งมนดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การเกิดส่วนโค้งมน

ระยะกินลึก (Deep penetration)

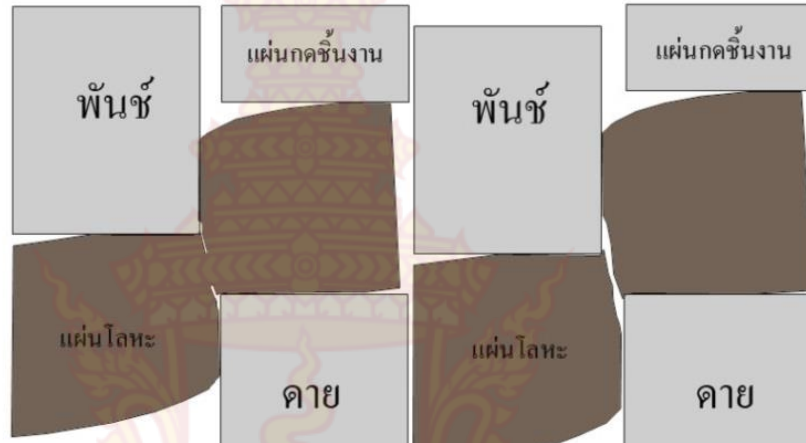
เมื่อพื้นที่กดลงบนชิ้นงานอย่างต่อเนื่องทำให้แผ่นชิ้นงานถูกดันลงไปในช่วงของตาย (Die opening) อย่างต่อเนื่องดังภาพที่ 6 ขอบตัดของชิ้นงานที่ได้ในช่วงนี้จะมีผิวเรียบตรง (Smooth sheared surface) มันและเงา เนื่องจากถูกคมตัดของพื้นที่ตัดเฉือน ส่วนที่เรียบตรงของชิ้นงานตัดมีความสำคัญมากเนื่องจากบริเวณส่วนนี้ของขอบตัดเท่านั้นที่ขนาดของชิ้นงานเป็นไปตามที่แบบกำหนดไว้



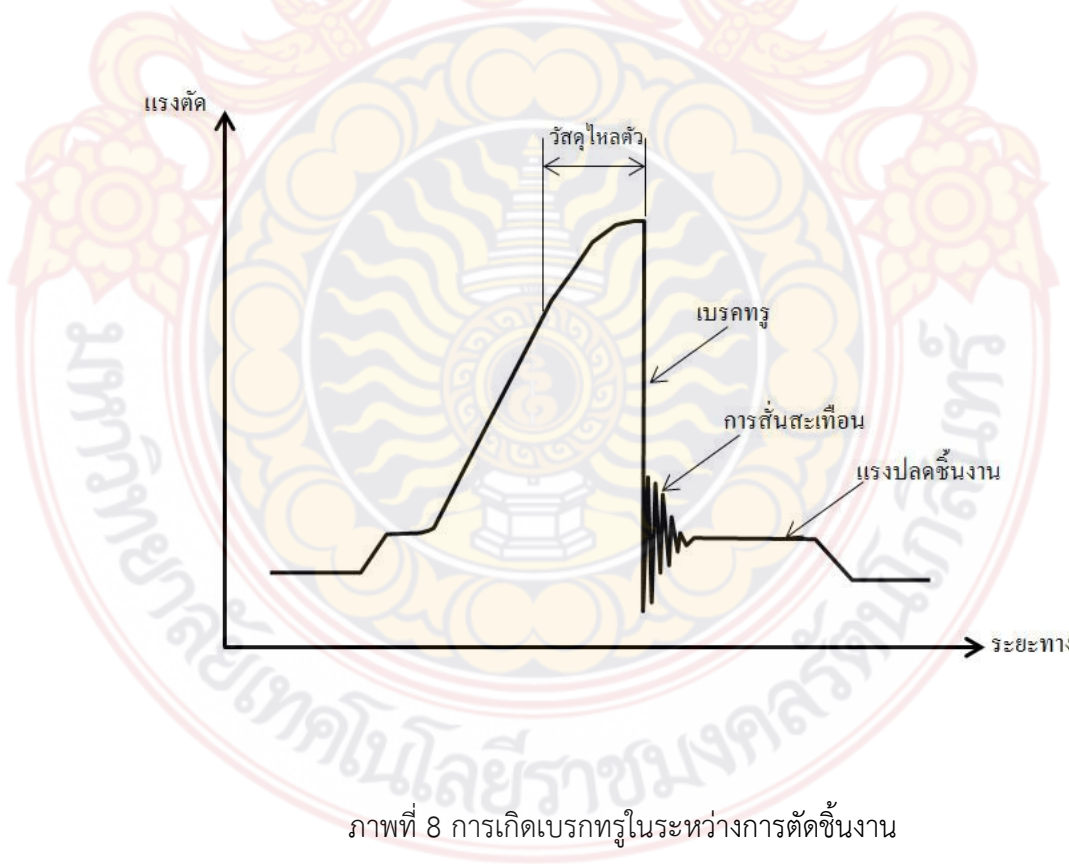
ภาพที่ 6 ระยะกินลึก

การฉีกขาดของเนื้อวัสดุ (Fracture surface)

เมื่อชิ้นงานเกิดส่วนเรียบตรงและมีแรงกดจากพื้นที่อย่างต่อเนื่อง ความเค้นดึงภายในเนื้อวัสดุจะมีค่าสูงมากขึ้นจนกระทั่งเกินค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุ ชิ้นงานจึงเริ่มแยกตัวออกจากกัน ซึ่งการขาดของชิ้นงานจะเริ่มจากการเกิดรอยแตกเล็กๆ (Crack initiation) ขึ้นเหนือขอบคมตัดของพื้นที่และตายเล็กน้อย เนื่องจากบริเวณนี้เกิดความเค้นดึงที่มีค่าสูงกว่าบริเวณอื่น และเมื่อรอยแตกจะขยายยาวออกไปจนมาบรรจบกันดังภาพ 7 ทำให้ชิ้นงานหรือเศษโลหะแยกออกจากกัน ซึ่งในขณะที่วัสดุแยกออกจากกันนั้นแรงตัดจะลดลงอย่างรวดเร็ว และมีเสียงดังเกิดขึ้นซึ่งถูกเรียกว่า เบรกทู (Break through) ดังภาพ 8 ซึ่งขณะที่เกิด เบรกทู แม่พิมพ์และเครื่องปั๊มจะเกิดการสั่นสะเทือน โดยเฉพาะตัดโลหะที่มีความหนาและความแข็งแรงมาก การสั่นสะเทือนและเสียงที่เกิดขึ้นก็จะดังมากเช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นปัญหาหลักของโรงงานปั๊มโลหะและหาทางแก้ไขได้ยาก



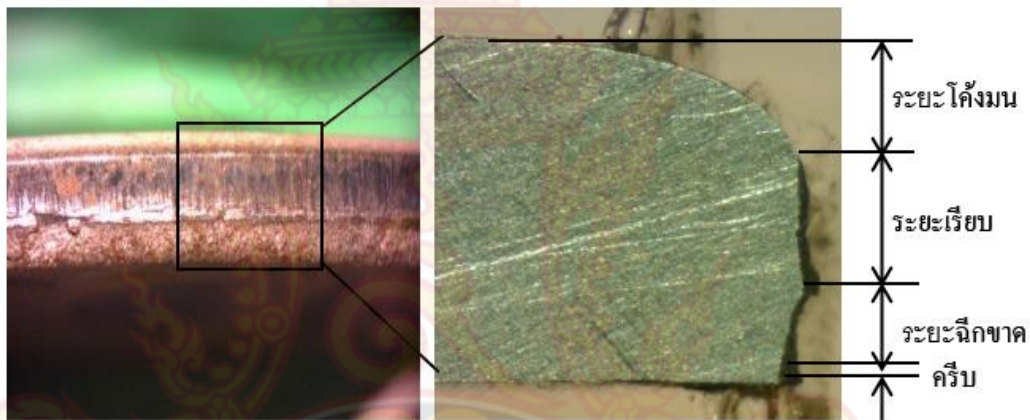
ภาพที่ 7 การบรรจุบกันของรอยแตก



ภาพที่ 8 การเกิดเบรคทัวในระหว่างการตัดชิ้นงาน

ขอบชิ้นงานที่ได้จากการตัด

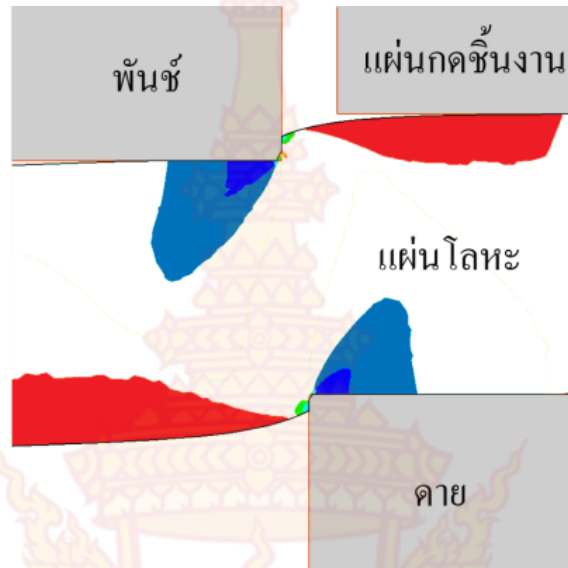
ในการกำหนดคุณภาพของชิ้นงานหลังจากทำการตัดสามารถกำหนดได้จากส่วนเรียบตรง ทำให้วิศวกรออกแบบแม่พิมพ์ต้องเข้าใจถึงกลไกการเกิดส่วนต่างๆของขอบตัด สามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้ส่วนโค้งมน (Die roll) ส่วนเรียบตรง (Shear surface) รอยฉีกขาด (Fracture surface) และครีป (Burr) ดังแสดงในภาพตัดขวางที่ 9 และกลไกของการเกิดส่วนต่างๆนั้นจะได้อธิบายในหัวข้อต่อไป



ภาพที่ 9 ขอบชิ้นงานที่ได้จากการตัด

กลไกการเกิดส่วนโค้งมน

ส่วนโค้งมนที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานนั้นเป็นส่วนที่ต้องเกิดขึ้นตามปกติเมื่อทำการตัดชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ตัดเนื่องจากคุณสมบัติ ductile material ของวัสดุ แต่สามารถที่จะลดปริมาณของส่วนโค้งมนได้ด้วยเทคนิคการออกแบบแม่พิมพ์ ในเบื้องต้นนี้จึงต้องเข้าใจถึงกลไกการเกิดส่วนโค้งมนเสียก่อน จึงจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเกิดส่วนโค้งมนเริ่มจากเมื่อฟันซ์เริ่มต้นกดชิ้นงานลงลึกไปในตาย เนื้อชิ้นงานบริเวณใต้ฟันซ์และเหนือตายจะมีความเค้นอัดที่มีค่าสูงมาก ในขณะที่เนื้อชิ้นงานบริเวณด้านข้างของฟันซ์และตายจะมีความเค้นดึงดังภาพที่ 10 ทำให้เนื้อชิ้นงานตรงบริเวณนี้ถูกดึงให้ไหลตามการเคลื่อนที่ของฟันซ์และวัสดุชิ้นงานที่มีคุณสมบัติยืดตัว ก่อให้เกิดส่วนโค้งมนขึ้น

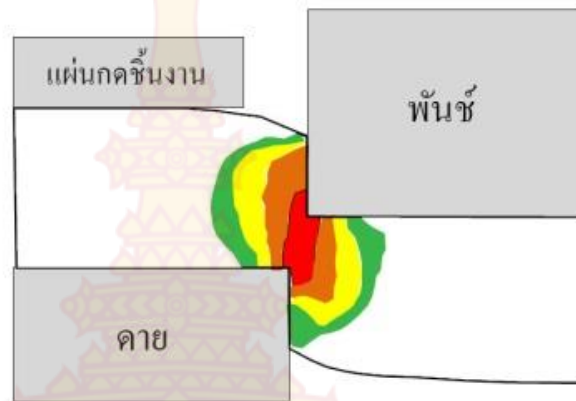


ภาพที่ 10 กลไกการเกิดส่วนโค้งมน

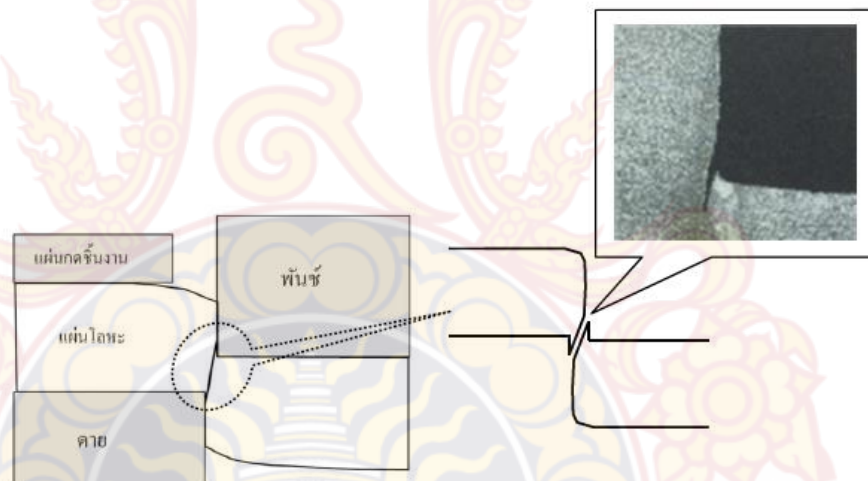
กลไกการเกิดครีบ

ครีบโลหะที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานที่ถูกตัดด้วยแม่พิมพ์ตัดเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงได้ยาก และต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัด โดยปกติแล้วการเริ่มเกิดรอยแตกของชิ้นงานจะไม่ได้เกิดตรงคมตัดของพินช์พอดี แต่จะเกิดขึ้นเหนือคมตัดพินช์เล็กน้อยดังในภาพที่ 11 เนื่องจากความเค้นดึงจะมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นตรงบริเวณดังกล่าว เมื่อชิ้นงานเริ่มแตกออกจากกันรอยแตกในเนื้อวัสดุจากด้านพินช์และคายมาบรรจบกันจะทำให้วัสดุแยกออกจากกัน แต่ส่วนเนื้อวัสดุบริเวณด้านข้างของคมตัดจะยังเหลืออยู่ที่ขอบตัดซึ่งส่วนนี้ก็คือครีบที่เกิดขึ้นนั่นเอง

สำหรับค่าความสูงของครีบนั้นจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งในการตัดชิ้นงานดังภาพที่ 12 เมื่อเพิ่มจำนวนครั้งในการตัดชิ้นงานเพิ่มมากขึ้น พินช์และคายจะเกิดการสึกหรอทำให้เคลือบแรนซ์ห่างกันมากขึ้น เมื่อตำแหน่งที่เริ่มเกิดรอยแตกห่างจากคมตัดมากขึ้น ทำให้เนื้อวัสดุที่เหลืออยู่บนขอบตัดหรือครีบบมีขนาดใหญ่มากขึ้นนั่นเอง



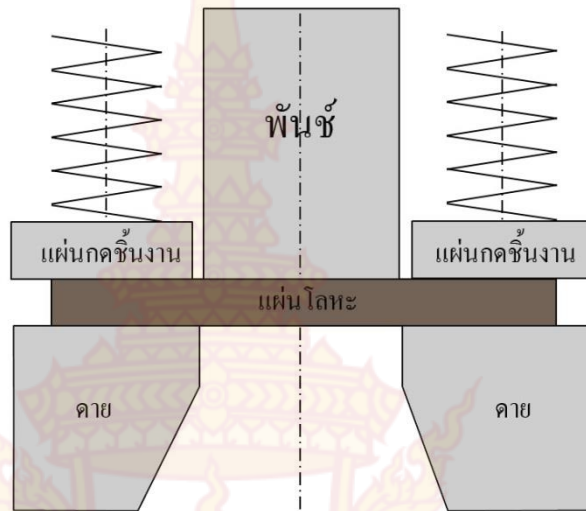
ภาพที่ 11 ความเค้นสูงสุดก่อนการเกิดครีบ



ภาพที่ 12 กลไกการเกิดครีบ

ขนาดช่องว่างแม่พิมพ์หรือระยะเคลียแรนซ์ (Effects of cutting clearance)

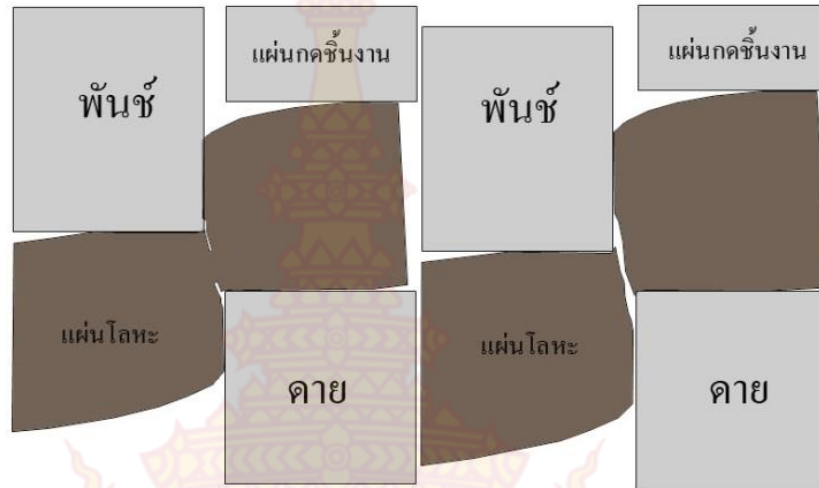
ช่องว่างระหว่างพื้นที่กับคานหรือเคลียแรนซ์ (Die clearance) คือความแตกต่างของขนาดรูของคานกับขนาดของพื้นที่โดยมักจะพิจารณาเพียงแค่มุมเดียวดังแสดงในภาพที่ 13 ซึ่งเป็นค่าเคลียแรนซ์ของชิ้นงานกลม แต่กรณีชิ้นงานที่มีรูปร่างเหลี่ยมหรือรูปร่างซับซ้อนระยะเคลียแรนซ์ก็สามารถคำนวณได้ในทำนองเดียวกันและใช้โปรแกรมเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยเช่น Auto CAD โดยปกติค่าของเคลียแรนซ์จะถูกแนะนำเป็นเปอร์เซ็นต์ของความหนาของวัสดุ การออกแบบแม่พิมพ์ตัดที่ดีจำเป็นต้องกำหนดค่าเคลียแรนซ์ให้เหมาะสม เพราะเคลียแรนซ์เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่ส่งผลต่อคุณภาพชิ้นงาน แรงที่ใช้ในการตัด ความเที่ยงตรงของขนาดของชิ้นงานที่ได้ และยังมีผลต่ออัตราการผลิตของพื้นที่และคานอีกด้วย เมื่อระยะเคลียแรนซ์เป็นตัวแปรที่สำคัญจึงต้องทราบถึงอิทธิพลของระยะดังกล่าวเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการออกแบบ



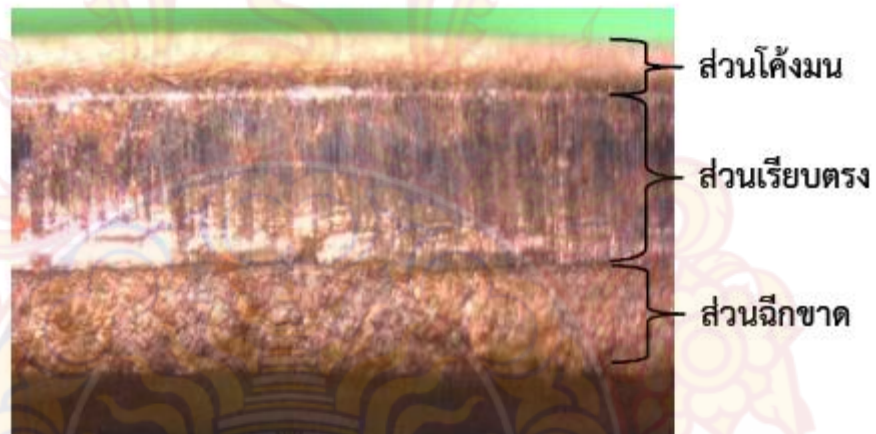
ภาพที่ 13 ระยะเคลียแรนซ์ในงานตัด

กรณีระยะเคลียแรนซ์เหมาะสม (Optimum cutting clearance)

การเลือกใช้ระยะเคลียแรนซ์ที่เหมาะสมจะทำให้รอยแตกของชิ้นงานทั้งด้านพินซ์และคายบรรจบตรงกลางชิ้นงานพอดีดังภาพ 14 ส่งผลให้ระยะเรียบตรงของชิ้นงานยาวสม่ำเสมอ ขอบตัดของชิ้นงานหรือเศษจึงจะถือว่าเป็นคุณภาพสูงสุดดังภาพที่ 15 เมื่อพิจารณาขอบตัดที่ได้ ในขั้นตอนแรกของการตัดจะเกิดการเปลี่ยนรูปถาวรของวัสดุ ซึ่งมีลักษณะเป็นส่วนโค้งมน หลังจากนั้นเมื่อพินซ์ทำการกดอย่างต่อเนื่อง จะทำให้ได้ขอบตัดซึ่งเป็นแนวเรียบตรงสม่ำเสมอ มีลักษณะเป็นเงามัน ซึ่งเป็นสภาวะการตัดในขั้นตอนที่สอง ส่วนสุดท้ายของขอบตัดจะมีลักษณะเป็นรอยฉีกขาดหรือรอยแตก มีลักษณะขรุขระเนื่องจากชิ้นงานการฉีกขาด เนื่องจากความเค้นภายในเนื้อวัสดุมีค่าสูงเกินกว่าขีดจำกัดความแข็งแรงของวัสดุนั้นๆ เมื่อรวมความสูงของส่วนโค้งมน แนวเรียบตรงและรอยฉีกขาดเข้าด้วยกัน จะต้องได้เท่ากับความหนาของวัสดุชิ้นงาน โดยปกติได้ส่วนที่เป็นรอยฉีกขาดจะเกิดครีบน้ำมันเสมอ ถึงแม้จะกำหนดระยะเคลียแรนซ์ที่เหมาะสมแล้วก็ตาม ระยะเคลียแรนซ์ที่เหมาะสมจะถูกแนะนำจากความแข็งแรงของวัสดุแต่ละชนิดกันเนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดมีค่าความแข็งแรงและความสามารถในการยึดตัวแตกต่างกัน ทำให้ตำแหน่งที่เริ่มเกิดรอยแตก (หรือระยะยกนิกของวัสดุ) แตกต่างกันไป



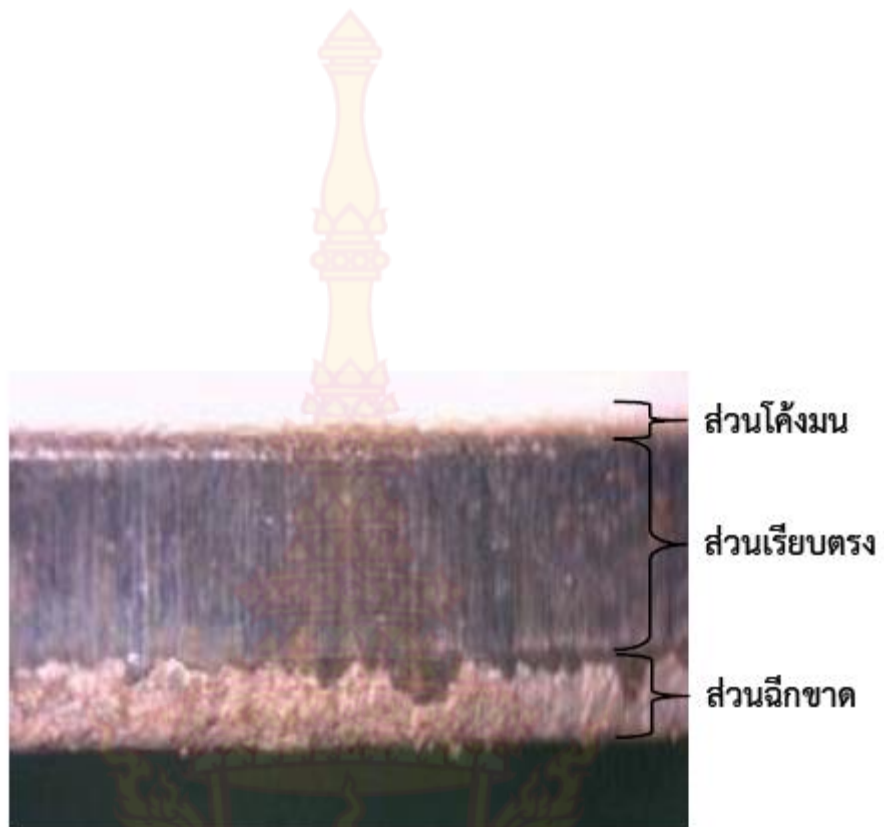
ภาพที่ 14 การบรรจบกันของรอยแตกในชิ้นงาน



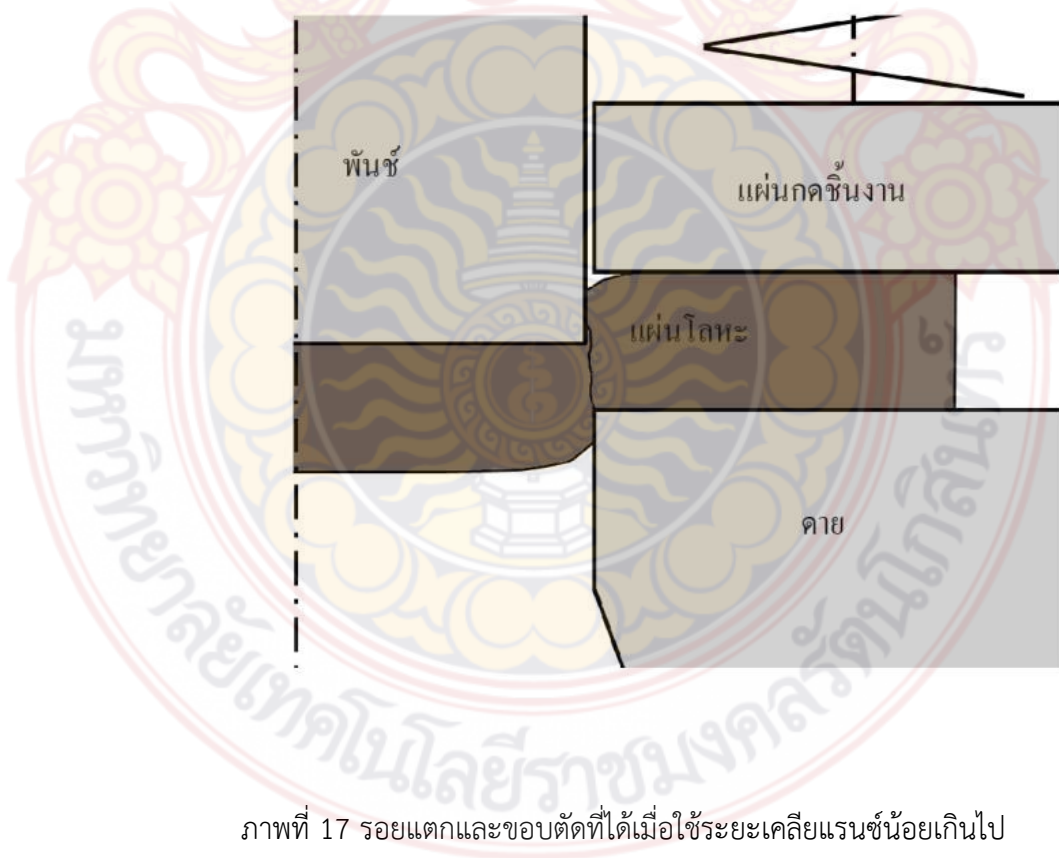
ภาพที่ 15 ขอบตัดชิ้นงานที่มีระยะเคลียแรนซ์ที่เหมาะสม

กรณีระยะเคลียแรนซ์น้อยเกินไป (Insufficient cutting clearance)

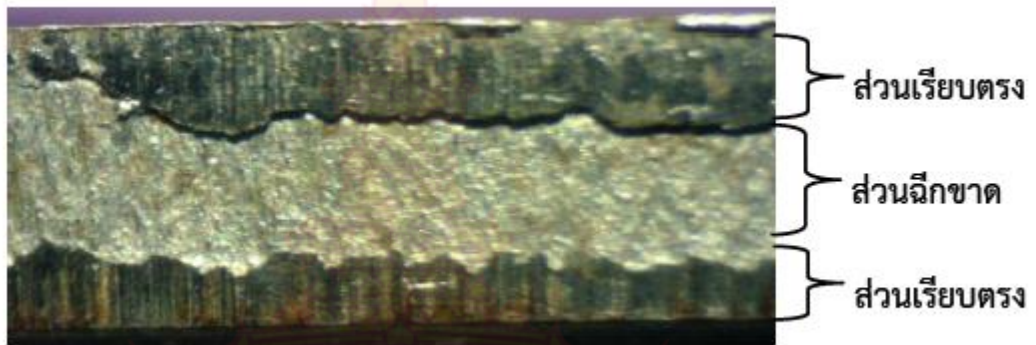
ในกรณีที่เลือกใช้ระยะเคลียแรนซ์ระหว่างพินช์และดายน้อยเกินไปทำให้ส่วนโค้งมนน้อยลง ระยะเรียบตรงยาวขึ้น และระยะฉีกขาดน้อยลงดังภาพที่ 16 เนื่องจากระยะเคลียแรนซ์แคบเนื้อวัสดุจะถูกบีบเพื่อให้ไหลลงไปในดายส่งผลให้การแตกของชิ้นงานจะเกิดขึ้นช้า นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดรอยตัดเฉือนที่สอง (Secondary shear) เนื่องจากเมื่อระยะเคลียแรนซ์แคบรอยแตกของชิ้นงานทางด้านพินช์และดายจะไม่บรรจบกันดังภาพที่ 17 ทำให้มีรอยตัดเฉือนที่สองเกิดขึ้นดังภาพที่ 18 ส่วนผลกระทบอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญคือแรงที่ใช้ในการตัดชิ้นงาน การเลือกใช้เคลียแรนซ์แคบแม้ว่าจะได้ขอบตัดที่ดีมีระยะเรียบตรงมากแต่ส่งผลให้ใช้แรงในการตัดมากกว่าเนื่องจากชิ้นงานไหลลงไปในดายได้ยากจึงต้องใช้แรงในการดันมากกว่าปกติ



ภาพที่ 16 ขอบตัดชิ้นงานที่มีระยะเคลือบแรนซ์ที่น้อยเกินไป



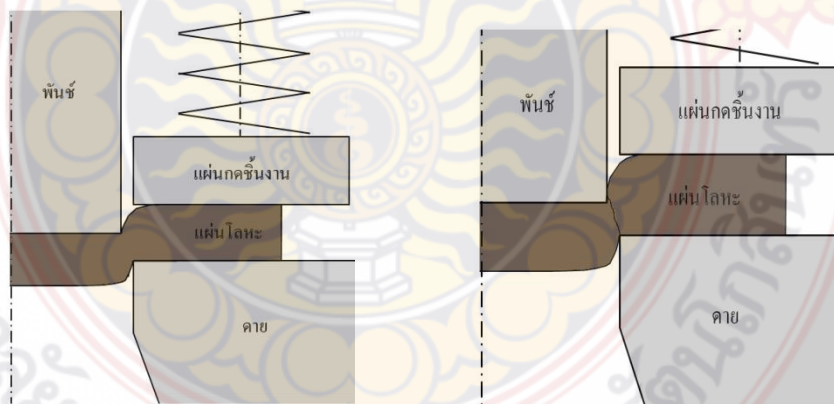
ภาพที่ 17 รอยแตกและขอบตัดที่ได้เมื่อใช้ระยะเคลือบแรนซ์น้อยเกินไป



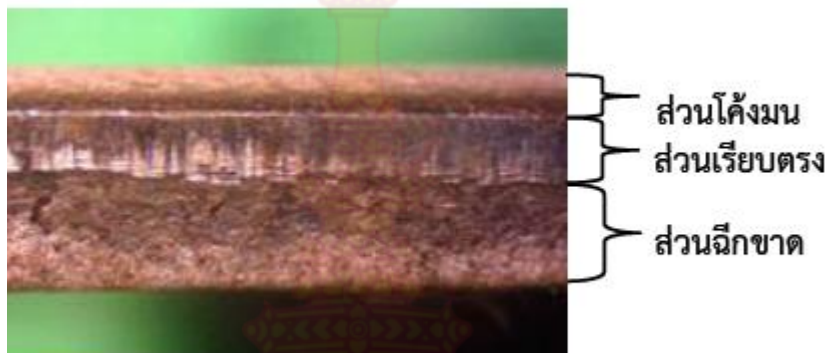
ภาพที่ 18 รอยตัดเฉือนที่สองในกรณีใช้ระยะเคลียแรนซ์น้อยเกินไป

กรณีระยะเคลียแรนซ์มากเกินไป (Excessive cutting clearance)

เมื่อใช้ระยะเคลียแรนซ์ในการตัดระหว่างฟันซ์กับคายมากเกินไปดังภาพที่ 19 เมื่อระยะห่างมากส่วนโค้งมนจะมีขนาดใหญ่ ระยะเรียบตรงเกิดขึ้นน้อย และพบว่าการขาดออกจากกันของวัสดุจะมีลักษณะคล้ายกับการถูกดึงให้ขาด (ผิวขรุขระไม่เรียบ) มากกว่าการถูกตัดซึ่งจะเห็นได้ว่าในกรณีนี้จะมีส่วนเรียบตรงน้อยดังภาพที่ 20 ในขณะที่ส่วนโค้งมนและรอยฉีกขาดจะมีขนาดใหญ่ขึ้น และครีบบจะมีความสูงและมีความหนามากขึ้นทำให้กำจัดได้ยาก



ภาพที่ 19 การขยายตัวของรอยแตกและขอบตัดเมื่อใช้ระยะเคลียแรนซ์มากเกินไป

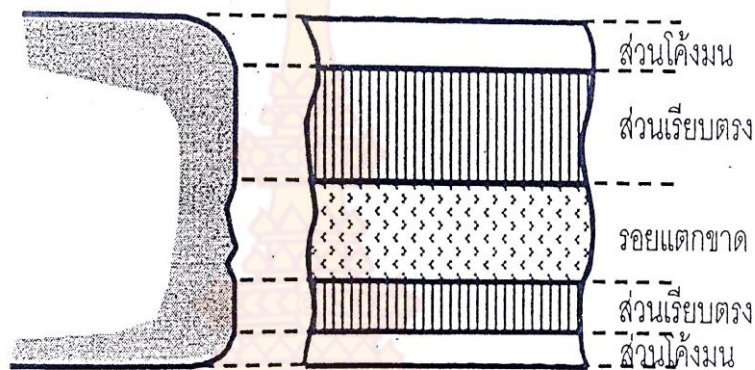


ภาพที่ 20 ขอบตัดที่ได้เมื่อใช้ระยะเคลือบแรนซ์มากเกินไป

หลักการการทำงานของกระบวนการตัดโลหะแผ่นต้นกลับ

จากลักษณะกลไกการตัดโลหะแผ่นของกระบวนการตัดโลหะแผ่นทั่วไป ทำให้เกิดลักษณะของผิวรอยตัดที่ประกอบด้วย ส่วนโค้งมน ส่วนเรียบตรง รอยแตกขาด และครีบ มีลักษณะกลไกการทำงานดังนี้คือ พันซ์เคลื่อนที่ตกลงบนชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร โดยเกิดความเค้นอัดบริเวณที่ถูกพันซ์กดและบริเวณปากตาย ในขณะเดียวกันก็เกิดความเค้นดึงบริเวณที่ติดกับด้านข้างของพันซ์และตาย ทำให้เนื้อวัสดุถูกดึงลงมาตามการเคลื่อนที่ของพันซ์ จึงเกิดลักษณะของส่วนโค้งมน และเมื่อเคลื่อนที่พันซ์ต่อเนื่องลงมาทำให้เกิดความเค้นเพิ่มขึ้นแต่ความเค้นดึงที่เกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุยังไม่ทำให้วัสดุแตกขาดจึงเกิดส่วนเรียบตรงจนกระทั่งการเคลื่อนที่พันซ์ลงมามากพอ ทำให้ความเค้นดึงเพิ่มขึ้นเกินกว่าที่สมบัติของวัสดุรับได้ทำให้วัสดุแตกขาดซึ่งการแตกขาดที่เกิดขึ้นไม่ได้เกิดขึ้นที่มุมของขอบคมตัดพันซ์และตายพอดี แต่เกิดขึ้นที่บริเวณด้านข้างของพันซ์และตายโดยเกิดขึ้นสูงกว่ามุมขอบคมตัดพันซ์และตายเล็กน้อย ดังนั้นจากลักษณะกลไกการตัดดังกล่าว จึงทำให้เกิดครีบ

จากลักษณะกลไกการตัดโลหะแผ่นของกระบวนการตัดโลหะแผ่นทั่วไปดังกล่าว การป้องกันไม่ให้เกิดครีบสามารถทำได้โดยป้องกันไม่ให้เกิดรอยแตกขาด แต่การป้องกันไม่ให้เกิดรอยแตกขาดทำได้ยาก และที่สำคัญวัสดุก็ไม่สามารถแตกขาดออกจากกันได้และไม่สามารถได้ชิ้นงานสำเร็จ แต่จากลักษณะกลไกการตัดโลหะแผ่นของกระบวนการตัดโลหะแผ่นทั่วไป เมื่อเคลื่อนที่พันซ์กดลงบนชิ้นงานทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวรและเกิดส่วนโค้งมน ดังนั้นถ้าสามารถทำให้เกิดส่วนโค้งมนที่ผิวชิ้นงานทั้งสองฝั่งสามารถป้องกันไม่ให้เกิดครีบได้ จึงต้องพยายามบังคับไม่ให้เกิดรอยแตกขาดขึ้นที่ผิวทั้งสองด้านของชิ้นงาน แต่ต้องทำให้เกิดรอยแตกขาดต่อเนื่องจากส่วนเรียบตรงของทั้งสองด้านมาบรรจบกัน ดังแสดงในภาพที่ 21 ดังนั้นจึงมีการนำเสนอกระบวนการตัดโลหะแผ่นต้นกลับ [1,4]

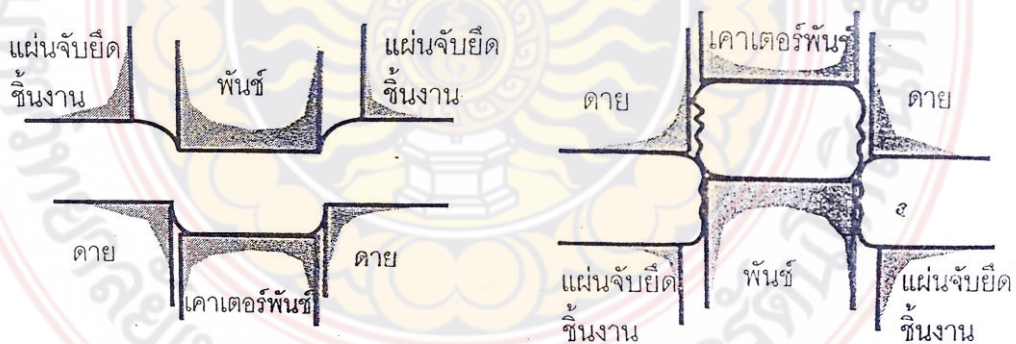


ภาพที่ 21 ลักษณะผิวเรียบตัดที่เกิดส่วนโค้งมนทั้งสองด้าน

หลักการกลไกการตัดงานของกระบวนการตัดโลหะแผ่นตันกลับ

เริ่มจากการตัดงานโดยการเคลื่อนที่พินซ์กดลงบนชิ้นงาน ในขั้นตอนนี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร และเกิดส่วนโค้งมนและส่วนเรียบตรง ดังแสดงในภาพที่ 22 (ก) โดยในขั้นตอนนี้ระยะการเคลื่อนที่ของพินซ์ต้องไม่มากจนทำให้วัสดุแตกขาด ลักษณะการตัดดังกล่าวเรียกว่า “กระบวนการตัดครึ่ง (Half-blanking process)”

หลังจากการตัดครึ่งแล้วจะตัดครั้งที่ 2 เพื่อให้วัสดุแตกขาดออกจากกันได้เป็นชิ้นงานสำเร็จตามที่ต้องการ โดยพลิกกลับด้านแผ่นชิ้นงานที่ถูกตัดครึ่ง หรือสลับด้านการเคลื่อนที่ของชุดแม่พิมพ์ โดยพินซ์ ดาย เคาเตอร์พินซ์ และแผ่นจับยึดชิ้นงาน ของกระบวนการตัดครึ่ง (การตัดครั้งที่ 1) ทำหน้าที่เป็นตาย พินซ์ แผ่นจับยึดชิ้นงาน และเคาเตอร์พินซ์ ตามลำดับ สำหรับการตัดวัสดุให้แตกขาดออกจากกันในการตัดครั้งที่ 2 ดังแสดงในภาพที่ 22 (ข)



(ก) ขั้นตอนการตัดครึ่ง (การตัดครั้งที่ 1) (ข) ขั้นตอนการตัดขาด (การตัดครั้งที่ 2)

ภาพที่ 22 หลักการกระบวนการตัดโลหะแผ่นตันกลับ

เมื่อวัสดุแตกขาดออกจากกันทำให้เกิดลักษณะของผิวรอยตัดที่เกิดส่วนโค้งมนและส่วนเรียบตรงขึ้นทั้งสองด้าน โดยเกิดรอยแตกขาดขึ้นบริเวณตรงกลางและไม่มีครีบเกิดขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2.1 สำหรับขนาดสัดส่วนของส่วนโค้งมน ส่วนเรียบตรง ของแต่ละด้าน และสัดส่วนขนาดรอยแตกขึ้นอยู่กับการกำหนดตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องของกระบวนการตัดทั้งสองครั้ง นอกจากนี้หลักการของกระบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับดังกล่าว สามารถประยุกต์ใช้กับการตัดดัดกลับมากกว่าสองขั้นตอนการตัดได้ เช่น การบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับ 3 ขั้นตอนการตัดรวมทั้งสามารถประยุกต์ใช้ชุดแม่พิมพ์หน้าเรียบในการตัดครั้งที่สองหรือสามได้ ซึ่งทั้งหมดนี้จะได้กล่าวโดยละเอียดในหัวข้อถัดไป

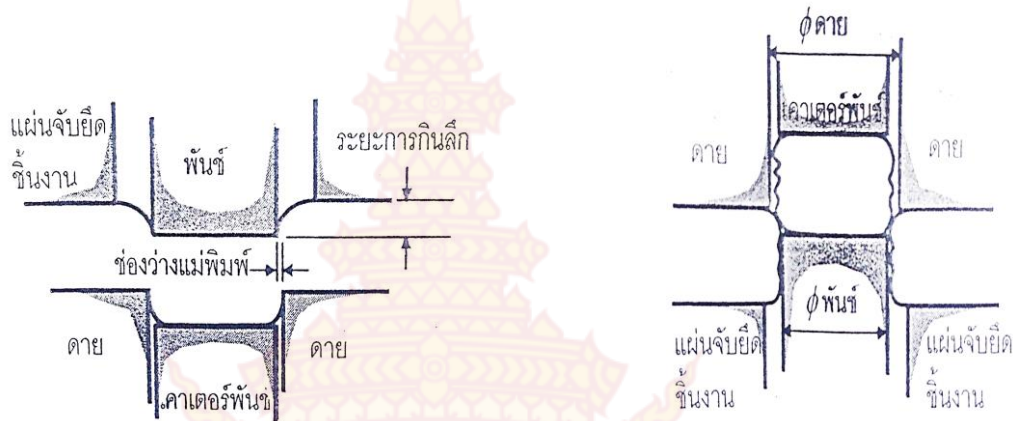
การจำแนกประเภทกระบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับ

จากหลักการการตัดของกระบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับ ที่เกิดส่วนโค้งมนทั้งด้านบนและด้านล่างของผิวรอยตัด โดยตัดสวนทิศทางจนกระทั่งขึ้นงานแตกขาดดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น การแบ่งประเภทของกระบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับสามารถแบ่งออกได้อย่างง่ายๆโดยอาศัยจำนวนครั้งของการตัดจนกระทั่งวัสดุแตกขาด แต่การใช้จำนวนครั้งการตัดที่มากเกินไปกว่า 3 ขั้นตอนการตัดไม่ได้ช่วยให้การทำงานง่ายขึ้นหรือได้ลักษณะผิวรอยตัดที่ดีขึ้น หรือมีต้นทุนการผลิตลดลง แต่ในทางตรงกันข้ามทำให้การทำงานยากขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการทำให้การกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ที่เหมาะสมทำได้ยาก รวมทั้งทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของขั้นตอนการตัด นอกจากนี้การแบ่งประเภทของกระบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับ ยังสามารถแบ่งออกตามลักษณะของชุดแม่พิมพ์ได้ กล่าวคือขั้นตอนของการตัดขาดสามารถประยุกต์ใช้แม่พิมพ์หน้าเรียบเพื่อให้การทำงานสะดวกและรวดเร็วขึ้น

กระบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับ 2 ขั้นตอนการตัด

กระบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับ 2 ขั้นตอนการตัด จากชื่อของกระบวนการตัดสามารถสื่อถึงหลักการการทำงานของกระบวนการได้คือ กระบวนการตัดโลหะแผ่นที่ทำให้โลหะแผ่นแตกขาดออกจากกันโดยมีจำนวนครั้งของการตัดสองครั้ง และเป็นการตัดที่มีทิศทางการตัดในทิศทางตรงกันข้าม สำหรับรายละเอียดของหลักการการทำงานของกระบวนการตัดและตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อลักษณะผิวรอยตัดได้แสดงไว้ในภาพที่ 23 โดยกระบวนการตัดมีลักษณะการทำงานเริ่มจากเคลื่อนที่พันธักดลงบนชิ้นงานเกิดลักษณะของส่วนโค้งมนและส่วนเรียบตรง โดยไม่เกิดส่วนแตกขาด ดังแสดงในภาพที่ 23 (ก) ลักษณะการตัดขั้นตอนนี้มีชื่อเรียกว่า ขั้นตอนการตัดครั้งแรก จากนั้นเคลื่อนที่พันธักกลับได้ลักษณะชิ้นงานที่ถูกตัดเพียงครึ่ง หลังจากนั้นก็ตัดครั้งที่สองเพื่อให้ชิ้นงานแตกขาดออกจากกัน โดยพลิกกลับด้านแผ่นชิ้นงานที่ถูกตัดครึ่ง หรือสลับด้านการเคลื่อนที่ของชุดแม่พิมพ์โดย พันซ์ ดาย เคา

เตอร์พันซ์ และแผ่นจับยึดชิ้นงานของกระบวนการตัดครึ่ง (การตัดครั้งที่1) ทำหน้าที่เป็นตาย พันซ์ แผ่นจับยึดชิ้นงาน และเคาเตอร์พันซ์ ตามลำดับ สำหรับการตัดชิ้นงาน



(ก) ขั้นตอนการตัดครึ่ง (การตัดครั้งที่1)

(ข) ขั้นตอนการตัดขาด (การตัดครั้งที่2)

ภาพที่ 23 หลักการกระบวนการตัดโลหะแผ่นต้นกลับ

ให้ขาดออกจากกันของขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 ตามที่แสดงในภาพที่ 23 (ข) เป็นการสลับด้าน การเคลื่อนที่ของชุดแม่พิมพ์ โดยเคลื่อนที่พันซ์จากด้านล่างต้นกลับชิ้นงานขึ้นด้านบนจนกระทั่งชิ้นงาน แตกขาดออกจากกัน และเมื่อเคลื่อนที่พันซ์กลับและนำชิ้นงานออกจะได้ลักษณะชิ้นงานที่ไม่เกิดครีบ โดยเกิดส่วนโค้งมนที่ขอบของผิวรอยตัดทั้งฝั่งด้านบนและด้านล่างของชิ้นงาน จากหลักการการทำงาน ดังกล่าว ความสำเร็จในการตัดงานที่ไม่เกิดครีบโดยเกิดส่วนโค้งมนขึ้นอยู่กับกำหนัดตัวแปรต่าง ๆ ที่เหมาะสมและสอดคล้องกันของขั้นตอนการตัดครั้งที่1 และครั้งที่ 2 โดยตัวแปรที่ส่งผลในขั้นตอน การตัดครั้งที่ 1 ได้แก่ ระยะช่องว่างแม่พิมพ์ในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 และระยะการกินลึกในขั้นตอน การตัดครั้งที่1 สำหรับขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 มีตัวแปรที่ส่งผลต่อลักษณะผิวรอยตัดคือ ระยะช่องว่าง แม่พิมพ์ในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 ซึ่งก็คือการกำหนดขนาดพันซ์และขนาดตายในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 จากตัวแปรที่ส่งผลต่อลักษณะผิวรอยตัดเป็นจำนวนมากดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น จึงทำให้เกิดความ ยากในการควบคุมแปรต่าง ๆ ให้เหมาะสมเพื่อประสบความสำเร็จในการผลิตชิ้นงานตัดไร้ครีบ นอกจากนี้ยังเป็นการยากและต้องใช้ต้นทุนสูงในการหาค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เหมาะสม สำหรับการ ทำงานแต่ละงาน อย่างไรก็ตามเมื่อมีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ จึงทำให้สามารถลด ต้นทุนและเวลาในการทดลองผิดทดลองถูกเพื่อหาค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เหมาะสมได้ ดังนั้นจึงได้มีการ ศึกษาวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการตัดนี้เพิ่มขึ้น ทำให้สามารถอธิบายรายละเอียดของ กระบวนการตัดรวมทั้งเกิดความรู้ความเข้าใจในกระบวนการตัดเพิ่มขึ้น

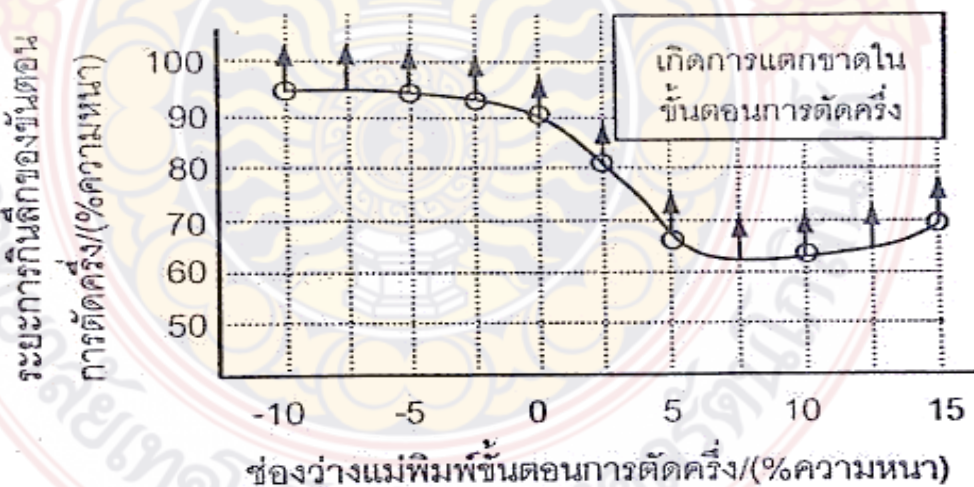
อิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการตัดโลหะแผ่นต้นกลับ 2 ขั้นตอนการตัด

การศึกษากระบวนการตัดโลหะแผ่นต้นกลับ 2 ขั้นตอนการตัด ด้วยการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ทำให้ทราบอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการตัดที่ส่งผลต่อลักษณะผิวรอยตัด

ช่องว่างแม่พิมพ์ในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1

จากหลักการการตัดของกระบวนการตัดโลหะแผ่นต้นกลับ 2 ขั้นตอนการตัด ที่ทำการตัดโลหะแผ่นในครั้งที่ 1 แบบการตัดครึ่ง โดยชิ้นงานยังไม่แตกขาออกจากกันดังที่ได้กล่าวโดยละเอียดแล้วข้างต้น จึงทำให้ในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 ของกระบวนการตัดสามารถกำหนดใช้ค่าระยะช่องว่างแม่พิมพ์ที่เป็นลบได้ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพันทึ้นใหญ่กว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตาย) เนื่องจากพันทึ้นจะไม่กระทบกับตาย ดังนั้นจึงไม่ก่อให้เกิดความเสียหายของแม่พิมพ์ ซึ่งแตกต่างจากกระบวนการตัดโลหะแผ่นทั่วไปที่ทำการตัดให้เกิดการแตกขาในขั้นตอนการตัดครึ่งเดียว ซึ่งหากใช้ระยะช่องว่างแม่พิมพ์ที่เป็นลบจะทำให้เกิดความเสียหายของแม่พิมพ์

ดังนั้นการตรวจสอบอิทธิพลของระยะช่องว่างแม่พิมพ์ในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 จึงตรวจสอบระยะช่องว่างแม่พิมพ์ที่เป็นบวก (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพันทึ้นเล็กกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตาย) และระยะช่องว่างแม่พิมพ์ที่เป็นลบ ระยะช่องว่างแม่พิมพ์ส่งผลโดยตรงต่อระยะการกินลึก กล่าวคือ เมื่อระยะช่องว่างแม่พิมพ์เพิ่มขึ้นระยะการกินลึกมีค่าลดลงดังแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างระยะช่องว่างแม่พิมพ์ และระยะการกินลึกในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 ในภาพที่ 24 โดยมีระยะกินลึกประมาณ 95% ความหนาชิ้นงาน ที่ระยะช่องว่างแม่พิมพ์



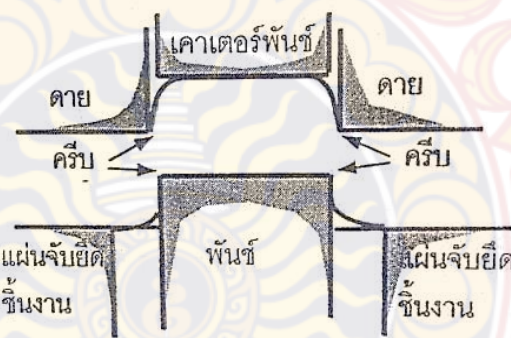
ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างแม่พิมพ์และระยะการกิน

ลึกของกระบวนการตัดโลหะแผ่นต้นกลับ [6]

-10% และ -5% ความหนาขึ้นงาน และระยะการกินลึกมีค่าลดลงตามลำดับ โดยจะมีค่าระยะการกินลึกประมาณ 90% และ 80% ความหนาขึ้นงาน ที่ระยะช่องว่างแม่พิมพ์ 0% และ 2.5% ความหนาขึ้นงาน ตามลำดับ และค่อนข้างคงที่ประมาณ 65-70% ความหนาขึ้นงาน ที่ระยะช่องว่างแม่พิมพ์ 5-15% ความหนาขึ้นงาน

ระยะการกินลึกในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1

ขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 เป็นลักษณะการตัดครึ่ง ดังนั้นระยะการกินลึกในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเคลื่อนที่พ้นขีดตัดลงบนขึ้นงาน แต่ระยะการกินลึกในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 ต้องไม่ทำให้ขึ้นงานแตกขาด ดังนั้นระยะการกินลึกในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 มีค่าตั้งแต่พ้นขีดเริ่มเคลื่อนที่กัดตัดขึ้นงานไปจนกระทั่งขึ้นงานเริ่มแตกขาด ซึ่งได้ขอบเขตกว้าง นอกจากนี้ระยะการกินลึกในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 ขึ้นอยู่กับการกำหนดระยะช่องว่างแม่พิมพ์ในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 ดังแสดงในภาพที่ 24 การกำหนดระยะการกินลึกในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 ที่ไม่เหมาะสมทำให้ไม่สามารถประสบความสำเร็จในการตัดขึ้นงานไว้ครีบได้ เพราะการกำหนดระยะการกินลึกที่น้อยทำให้ส่วนโค้งมนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 ถูกหักล้างหมดไปจากการเคลื่อนที่ของพ้นขีดในการตัดครั้งที่ 2 ดังแสดงในภาพที่ 25 ดังนั้นการกำหนดระยะการกินลึกที่เหมาะสมเพื่อประสบความสำเร็จในการตัดจึงกำหนดได้ยาก

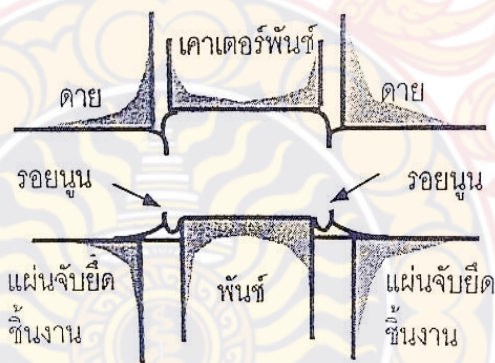


ภาพที่ 25 การเกิดครีบเมื่อระยะการกินลึกของขั้นตอนการตัดครึ่งน้อยเกินไป

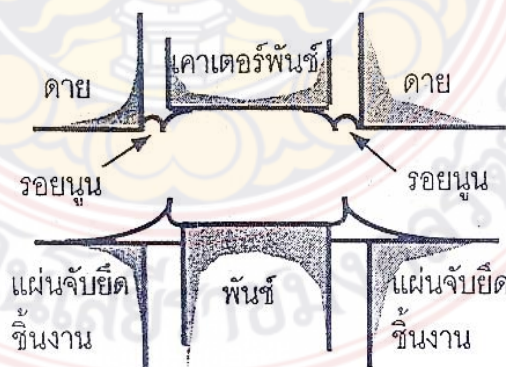
ขนาดฟันซ์และตายในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2

นอกจากระยะช่องว่างแม่พิมพ์และระยะการกินลึกในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 ที่ส่งผลต่อลักษณะผิวรอยตัด ดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว นอกจากการกำหนดระยะช่องว่างแม่พิมพ์และระยะการกินลึกในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 ที่เหมาะสมโดยขึ้นงานไม่แตกขาดในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 การประสบความสำเร็จในการตัดยังคงต้องขึ้นกับตัวแปรที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 คือ ช่องว่างแม่พิมพ์ใน

ขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 การกำหนดช่องว่างแม่พิมพ์ในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 จะอิสระโดยไม่ต้องกำหนดระยะช่องว่างแม่พิมพ์เป็นเปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน เช่นเดียวกับในขั้นตอนการตัดครั้ง ดังนั้นตัวแปรที่มีผลในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 คือ ขนาดพื้นที่และขนาดตายเมื่อกำหนดขนาดพื้นที่เล็กส่งผลให้ในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 เมื่อเคลื่อนที่พื้นที่กดตัดลงบนชิ้นงานทำให้กดได้ไม่เต็มพื้นที่ของชิ้นงานที่ผ่านการตัดครั้งแรกในการตัดครั้งที่ 1 ดังนั้นเมื่อเคลื่อนที่พื้นที่ต่อเนื่องไปจะทำให้พื้นที่กดลงบนชิ้นงานเฉพาะส่วนที่สัมผัสกับพื้นที่ จึงทำให้เกิดเป็นลักษณะรอยนูนเล็ก ๆ บนชิ้นงานรอบตัวพื้นที่ ดังแสดงในภาพที่ 26 ดังนั้นการตัดโลหะแผ่นดัดกลับ 2 ขั้นตอนการตัดจึงไม่ประสบความสำเร็จ ในทำนองกลับกัน การกำหนดขนาดตายที่มีขนาดใหญ่เมื่อเคลื่อนที่พื้นที่กดตัดลงบนชิ้นงาน ทำให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ขึ้นตามทิศทางการเคลื่อนที่ของพื้นที่โดยที่พื้นที่จะดันให้บริเวณด้านข้างของชิ้นงานที่อยู่บนตายโก่งงอขึ้น ทำให้บริเวณดังกล่าวเกิดการกดตัดขึ้นที่ขอบคมตัดของตายอีกครั้ง จึงเกิดลักษณะรอยนูนขึ้นรอบชิ้นงานที่ต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 27 ดังนั้นจึงให้การตัดโลหะแผ่นดัดกลับ 2 ขั้นตอนการตัด ไม่ประสบความสำเร็จเช่นเดียวกัน แม้ว่าการกำหนดขนาดพื้นที่ที่เล็กหรือขนาดตายที่ใหญ่จะไม่ก่อให้เกิดครีบก็ตาม แต่ลักษณะรูปร่างที่ได้ไม่เป็นไปตามลักษณะรูปร่างชิ้นงานที่ต้องการ ดังนั้นการกำหนดขนาดพื้นที่และตายจึงมีความสำคัญ นอกจากนี้ยังต้องเลือกให้เหมาะสมกับการกำหนดระยะช่องว่างแม่พิมพ์และระยะการกินลึกในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 ด้วย



ภาพที่ 2.6 การเกิดรอยนูนเมื่อขนาดพื้นที่ของขั้นตอนการตัดขาดมีขนาดเล็กเกินไป



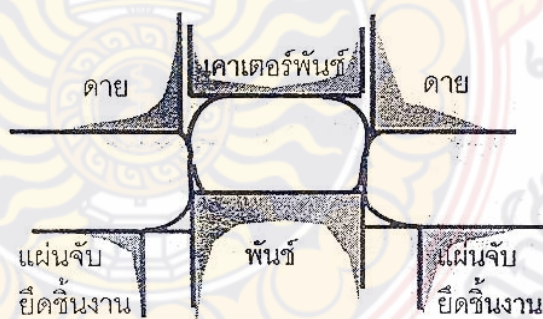
ภาพที่ 2.7 การเกิดรอยนูนเมื่อขนาดตายของขั้นตอนการตัดขาดมีขนาดใหญ่เกินไป

รูปแบบการตัดในกระบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับ 2 ขั้นตอนการตัด

ในกระบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับ 2 ขั้นตอนการตัด มีตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการที่เกี่ยวข้องเป็นจำนวนมาก ทั้งในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ดังนั้นการกำหนดตัวแปรต่าง ๆ จึงส่งผลโดยตรงต่อลักษณะผิวรอยตัดที่ได้ นอกจากนี้ยังส่งผลต่อลักษณะรูปแบบการตัดที่เกิดขึ้นโดยมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่กระบวนการตัดไม่ประสบความสำเร็จ กล่าวคือการไม่ประสบความสำเร็จในกระบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับ 2 ขั้นตอนการตัด นอกจากเกิดการตัดที่ไม่ประสบความสำเร็จจากการเกิดครีบ ยังเกิดการตัดที่ไม่ประสบความสำเร็จจากสาเหตุอื่น ๆ ได้ เช่น รูปร่างของชิ้นงานที่ได้ไม่เป็นไปตามรูปร่างชิ้นงานที่ต้องการแม้ว่าไม่เกิดครีบก็ตาม ดังนั้นการกำหนดเลือกค่าตัวแปรต่าง ๆ ของกระบวนการทั้งในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 และในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 ที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งเพื่อประสบความสำเร็จในการตัด และเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพที่ต้องการ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจลักษณะรูปแบบการตัดและผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการ จึงจำแนกรูปแบบลักษณะการตัดที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับ 2 ขั้นตอนการตัดได้ดังนี้

(1) รูปแบบการตัดที่ประสบความสำเร็จ

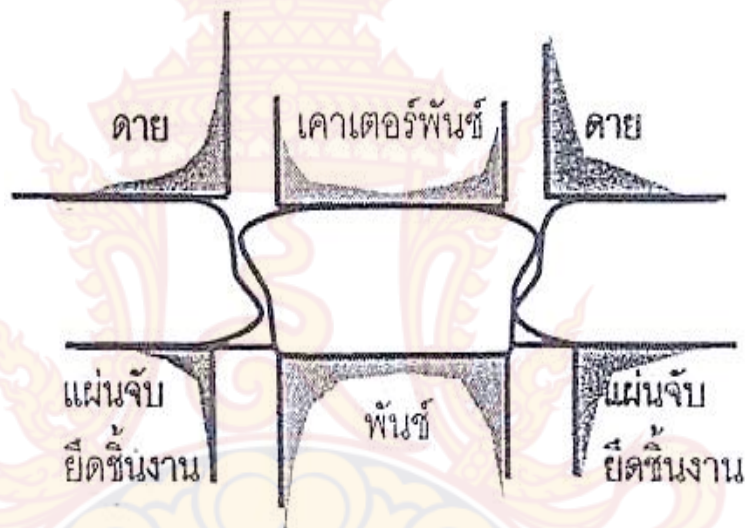
กระบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับ 2 ขั้นตอนการตัด มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่ไม่เกิดครีบ โดยเกิดส่วนโค้งมนแทน ดังนั้นลักษณะรูปแบบการตัดที่ประสบความสำเร็จคือ การเกิดส่วนโค้งมนที่บริเวณขอบผิวรอยตัดทั้งด้านบนและด้านล่าง ดังแสดงในภาพที่ 28 ซึ่งการประสบความสำเร็จขึ้นอยู่กับกำหนัดตัวแปรต่าง ๆ ของกระบวนการในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 และในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 ที่เหมาะสม



ภาพที่ 28 รูปแบบการตัดที่ประสบความสำเร็จ

รูปแบบผิวรอยตัดที่ได้สูญเสียความได้ฉาก

การกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ของกระบวนการในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 และในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 ในบางกรณีสามารถทำให้เกิดการตัดที่ไม่เกิดครีบขึ้นที่ขอบของผิวรอยตัดทั้งด้านบนและด้านล่างได้ แต่ลักษณะผิวรอยตัดที่ได้สูญเสียความได้ฉากอย่างมาก ดังแสดงในภาพที่ 29 ซึ่งลักษณะการสูญเสียความได้ฉากดังกล่าวที่เกิดขึ้น ในบางกรณีของการนำไปใช้งานจะไม่สามารถนำชิ้นงานที่ได้ไปใช้งานได้ ทำให้ลักษณะงานที่ได้ดังกล่าวจึงไม่ประสบความสำเร็จในการตัด

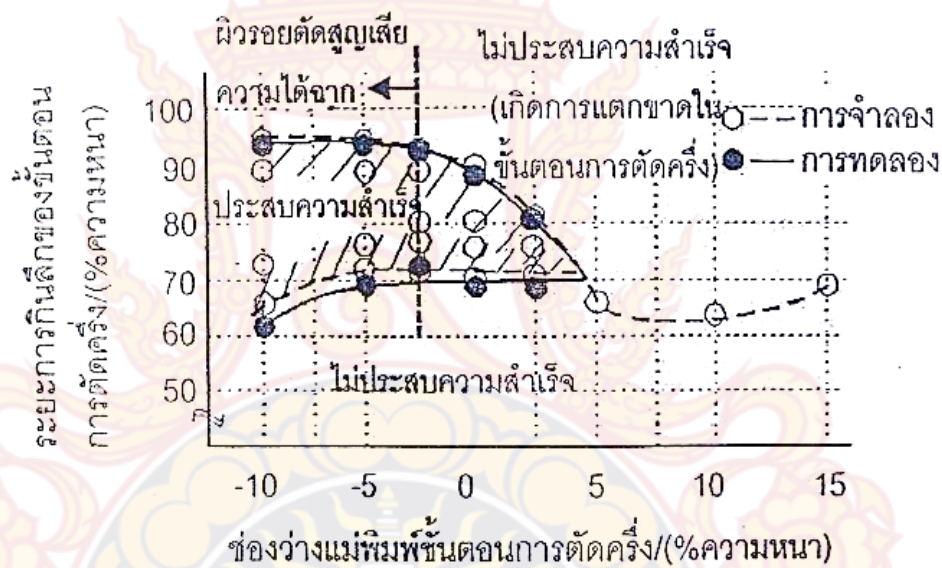


ภาพที่ 29 รูปแบบการตัดที่สูญเสียความได้ฉาก

ขอบเขตความสำเร็จของตัวแปรต่างๆในกระบวนการตัดโลหะแผ่นตันกลับ 2 ขั้นตอนการตัด

จากการตรวจสอบขอบเขตความสำเร็จของค่าตัวแปรต่าง ๆ และอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อขอบเขตความสำเร็จของการตัดโลหะแผ่นตันกลับ 2 ขั้นตอนการตัด สามารถอธิบายได้ดังนี้ อิทธิพลของระยะช่องว่างแม่พิมพ์ในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 ทำให้ระยะการกินลึกลดลงเมื่อระยะช่องว่างแม่พิมพ์ในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 เพิ่มขึ้น ดังที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น ดังนั้นเมื่อตรวจสอบขอบเขตความสำเร็จของระยะช่องว่างแม่พิมพ์ในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 ระยะช่องว่างแม่พิมพ์ในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 ที่เป็นค่าลบจะทำให้สามารถกำหนดระยะการกินลึกได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระยะช่องว่างแม่พิมพ์ในขั้นตอนครั้งที่ 1 ที่เป็นค่าบวกและจะมีขอบเขตลดลง ดังแสดงในภาพที่ 30 ขอบเขตความสำเร็จของระยะการกินลึกในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 มีขอบเขตที่ลดลงตามลำดับตามการเพิ่มขึ้นของระยะช่องว่างแม่พิมพ์ในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 ระยะการกินลึกที่น้อยสุดของขอบเขตความสำเร็จมีค่าประมาณ 70% ความหนาชิ้นงานและถ้ามีการกำหนดระยะช่องว่างแม่พิมพ์ในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 มากกว่า 5% ความหนาชิ้นงาน จะไม่สามารถประสบความสำเร็จ

ในการตัดชิ้นงานให้เกิดส่วนโค้งมนขึ้นทั้งสองฝั่งของชิ้นงานได้ เมื่อตรวจสอบขอบเขตความสำเร็จของตัวแปรขนาดฟันซ์และตายในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 ขอบเขตความสำเร็จของขนาดฟันซ์และตายในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 ขึ้นอยู่กับการกำหนด ระยะช่องว่างแม่พิมพ์และระยะการกินลึกในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 ดังนั้นคือ เมื่อกำหนดระยะช่องว่างแม่พิมพ์ในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 มีค่าน้อยลงหรือเป็นค่าลบมากขึ้น ทำให้ขอบเขตความสำเร็จของขนาดฟันซ์และตายในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 มีขอบเขตกว้างขึ้น รวมทั้งการกำหนดระยะการกินลึกในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 เพิ่มขึ้น ทำให้ขอบเขตความสำเร็จของขนาดฟันซ์และตายในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 มีขอบเขตที่กว้างขึ้นเช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 30



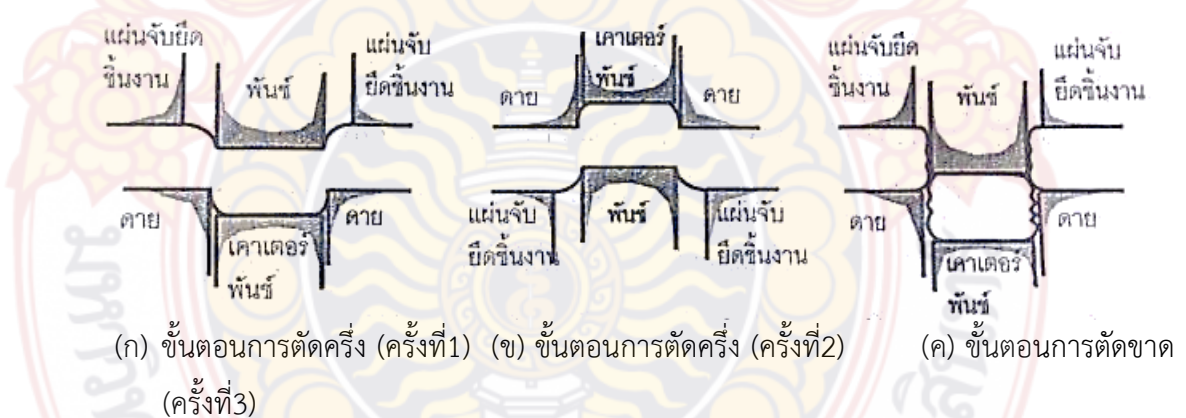
ภาพที่ 30 ขอบเขตความสำเร็จของกระบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับ 2 ขั้นตอนการตัด [6]

กระบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับ 3 ขั้นตอนการตัด

จากที่ได้อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับ 2 ขั้นตอนการตัด ซึ่งมีขอบเขตความสำเร็จของตัวแปรในการตัดแคบ ส่งผลให้การนำไปประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทำได้ยากเช่น ถ้าตัดโดยการกำหนดระยะช่องว่างแม่พิมพ์ในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 ต่ำกว่า -2.5% ความหนาชิ้นงาน ทำให้สูญเสียความได้ฉากของผิวรอยตัด ในขณะที่ถ้าตัดด้วยระยะช่องว่างแม่พิมพ์มากกว่า 2.5% ความหนาชิ้นงาน ทำให้การตัดประสบความสำเร็จได้ยาก [6] ดังนั้น ขอบเขตของระยะช่องว่างแม่พิมพ์ ที่ทำให้สามารถตัดชิ้นงานประสบความสำเร็จมีขอบเขตประมาณ -2.5% ถึง 2.5% ความหนาชิ้นงาน ซึ่งเป็นขอบเขตของระยะช่องว่างแม่พิมพ์ที่แคบทำให้แม่พิมพ์ทำได้ยาก

นอกจากนี้ขอบเขตระยะช่องว่างแม่พิมพ์ในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 ดังกล่าว มีขอบเขตความสำเร็จของระยะการกินลึกในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 ที่แคบเช่นเดียวกัน ดังนั้นการใช้กระบวนการตัดโลหะแผ่นด้นกลับ 2 ขั้นตอนการตัด จึงมีความยากลำบากในการกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ให้เหมาะสมเพื่อประสบความสำเร็จในการตัด ด้วยข้อจำกัดและปัญหาที่เกิดขึ้นของกระบวนการตัดโลหะแผ่นด้นกลับ 2 ขั้นตอนการตัด ดังที่ได้กล่าวข้างต้น จึงได้มีการนำเสนอกระบวนการตัดโลหะแผ่นด้นกลับ 3 ขั้นตอนการตัด เพื่อใช้ขอบเขตความสำเร็จของตัวแปรต่าง ๆ กว้างมากขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้มากขึ้น

กระบวนการตัดโลหะแผ่นด้นกลับ 3 ขั้นตอนการตัด ได้ถูกนำเสนอครั้งแรกในปี 1977 โดยกระบวนการตัดนี้ใช้หลักการการทำงานเช่นเดียวกับกระบวนการตัดโลหะแผ่นด้นกลับ 2 ขั้นตอนการตัด แต่เพิ่มจำนวนครั้งในการตัดเป็น 3 ขั้นตอนการตัด กล่าวคือทำการตัดครั้งแรกในครั้งที่ 1 เช่นเดียวกับกระบวนการตัดโลหะแผ่นด้นกลับ 2 ขั้นตอนการตัด หลังจากนั้นตัดกลับทิศทางการตัดครั้งแรก โดยในการตัดครั้งที่ 2 ทำการตัดครึ่ง (Second step semi-blanking) เช่นเดียวกัน และตัดครั้งสุดท้ายให้ชิ้นงานแตกขาดในทิศทางตรงกันข้ามกับการตัดครึ่งในครั้งที่ 2 ดังแสดงในภาพที่ 31 กระบวนการดังกล่าวทำให้ขอบเขตความสำเร็จของตัวแปรต่าง ๆ กว้างขึ้นแต่การที่ต้องเพิ่มจำนวนครั้งของการตัดอีก 1 ครั้ง ทำให้มีตัวแปรต่าง ๆ ของกระบวนการเพิ่มขึ้น

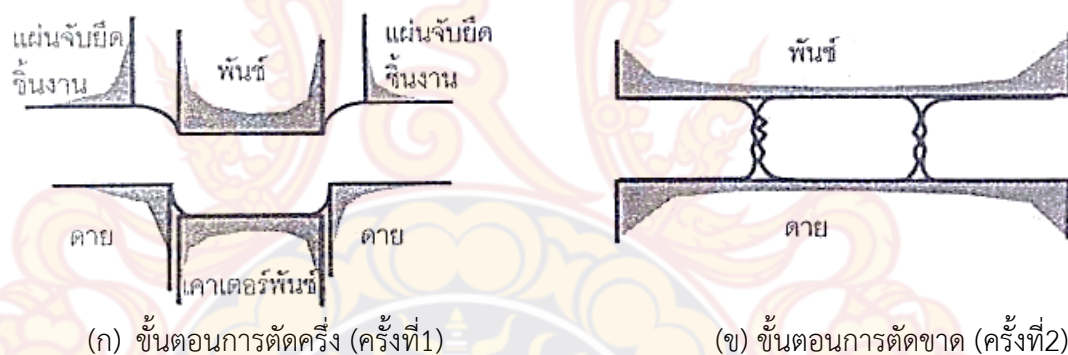


ภาพที่ 31 หลักการกระบวนการตัดโลหะแผ่นด้นกลับ 3 ขั้นตอนการตัด

และเกิดความลำบากในการกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ที่เหมาะสมเพื่อให้ประสบความสำเร็จในการตัดรวมทั้งการเพิ่มขึ้นของจำนวนครั้งการตัด ส่งผลให้อัตราการผลิตลดลงและต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น

กระบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับด้วยแม่พิมพ์หน้าเรียบ

กระบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับด้วยแม่พิมพ์หน้าเรียบ ได้ถูกนำเสนอในปี 1975 เป็นกระบวนการที่มีหลักการการตัดเช่นเดียวกับกระบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับ 2 ขั้นตอนการตัดโดยทำการตัด 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 ตัดครึ่ง และครั้งที่ 2 ตัดขาด โดยมีข้อแตกต่างกันตรงที่ในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 ของกระบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับด้วยแม่พิมพ์หน้าเรียบ ใช้แม่พิมพ์ที่มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ ดังแสดงในภาพที่ 32 สำหรับขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 ใช้หลักการตีขึ้น (Upsetting) ในการทำให้ชิ้นงานแตกขาด ดังนั้นกระบวนการตัดนี้บางครั้งเรียกว่า “ กระบวนการตัดครึ่งและตีขึ้น (Half blanking and upsetting process)” กระบวนการตัดนี้ทำให้สามารถลดต้นทุนการทำแม่พิมพ์สำหรับขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 ได้ รวมทั้งไม่ต้องคำนึงถึงการกำหนดตัวแปรของขนาดพื้นที่และตายในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2



ภาพที่ 32 หลักการกระบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับด้วยแม่พิมพ์หน้าเรียบ

อิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับด้วยแม่พิมพ์หน้าเรียบ

เนื่องจากกระบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับด้วยแม่พิมพ์หน้าเรียบ เป็นการประยุกต์ใช้แม่พิมพ์ที่มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 ดังนั้นในกระบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับด้วยแม่พิมพ์หน้าเรียบจึงมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องของกระบวนการเฉพาะในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 เท่านั้น ได้แก่ ระยะช่องว่างแม่พิมพ์ในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 และระยะการกินลึกในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 อิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับในกระบวนการตัดโลหะแผ่นดัดกลับ 2 ขั้นตอนการตัด ดังที่ได้อธิบายไว้ข้างต้นแล้ว

รูปแบบการตัดในกระบวนการตัดโลหะแผ่นด้นกลับด้วยแม่พิมพ์หน้าเรียบ

กระบวนการตัดตัดโลหะแผ่นด้นกลับด้วยแม่พิมพ์หน้าเรียบ เป็นการประยุกต์ใช้แม่พิมพ์ที่มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 ดังนั้นรูปแบบการตัดในกระบวนการตัด มีลักษณะรูปแบบการตัดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ประกอบด้วย [8]

ลักษณะรูปแบบการตัดที่ประสบความสำเร็จ

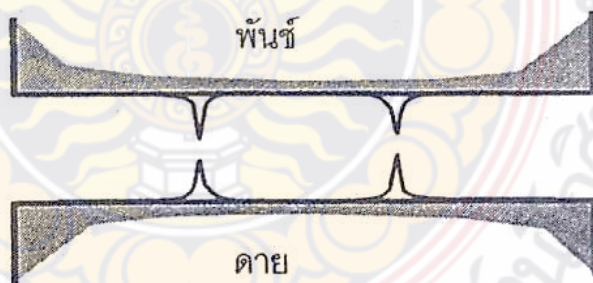
เมื่อกัดด้วยแม่พิมพ์หน้าเรียบในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 จนชิ้นงานแตกขาด บริเวณขอบผิวรอยตัดทั้งด้านบนและด้านล่างเกิดส่วนโค้งมน เช่นเดียวกับในกระบวนการตัดโลหะแผ่นด้นกลับ 2 ขั้นตอนการตัด และ 3 ขั้นตอนการตัด การประสบความสำเร็จในการตัดขึ้นอยู่กับข้อกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ของกระบวนการในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 ซึ่งได้แก่ ระยะช่องว่างแม่พิมพ์ในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 และระยะการกินลึกในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 ที่เหมาะสม

ลักษณะผิวรอยตัดที่ได้สูญเสียความได้ฉาก

เมื่อกัดด้วยแม่พิมพ์หน้าเรียบในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 จนชิ้นงานแตกขาด บริเวณขอบผิวรอยตัดทั้งด้านบนและด้านล่างเกิดส่วนโค้งมน แต่ผิวรอยตัดที่ได้สูญเสียความได้ฉากเช่นเดียวกับในกระบวนการตัดโลหะแผ่นด้นกลับ 2 ขั้นตอนการตัด และ 3 ขั้นตอนการตัด

ลักษณะรูปแบบการตัดที่ตัดไม่ขาด

ขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 เป็นการประยุกต์ใช้แม่พิมพ์ที่มีลักษณะเป็นหน้าเรียบ ดังนั้นเมื่อกัดด้วยแม่พิมพ์หน้าเรียบในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 2 ระยะการเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์สามารถเคลื่อนที่ลงมาได้ต่ำสุดที่ระดับความหนาของชิ้นงาน การกำหนดระยะช่องว่างแม่พิมพ์ในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 และระยะการกินลึกในขั้นตอนการตัดครั้งที่ 1 ที่ไม่เหมาะสม จึงทำให้ชิ้นงานไม่เกิดการแตกขาด ดังแสดงในภาพที่ 33



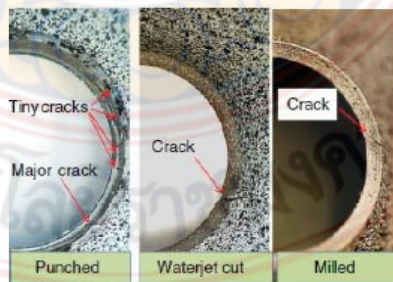
ภาพที่ 33 รูปแบบการตัดไม่ขาด

กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

จากทฤษฎีและวิธีการทดสอบการขยายตัวของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง พบว่ามีเป็นวิธีการพื้นฐานที่เข้าใจง่ายและสามารถทำการทดสอบได้ไม่ยุ่งยาก แต่กลับพบว่าการเอาชนะขีดจำกัดการขยายตัวนั้นทำได้ยากมาก ซึ่งเกิดจากสมบัติเฉพาะตัวของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงทำให้เกิดรอยแตกในระดับจุลภาคในขั้นตอนการเจาะรูเริ่มต้น แต่เนื่องจากข้อจำกัดของการสร้างรูเริ่มต้นนั้นต้องการวิธีที่รวดเร็วไม่ยุ่งยาก และขึ้นมีส่วนในอุตสาหกรรมมากมายที่ต้องผ่านกระบวนการนี้ ด้วยเหตุนี้เองผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างวิธีการใหม่ที่จะสร้างรูขึ้นงานเริ่มต้นที่คุณภาพสูงไว้ครีด้วยวิธีกัดตัดและดันกลับ(Push back blanking) ซึ่งเชื่อมั่นว่าจะสามารถลดรอยแตกในระดับจุลภาคในขั้นตอนการเตรียมรูเจาะซึ่งจะทำให้สามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์การขยายตัวในกระบวนการ Hole expansion ได้ จากสมมุติฐานนี้ผู้วิจัยมีความมั่นใจว่าภายหลังเสร็จสิ้นงานวิจัยและได้เผยแพร่ผลงานให้กับภาคอุตสาหกรรม เทคโนโลยีนี้จะสามารถตอบสนองอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ได้เป็นอย่างดี

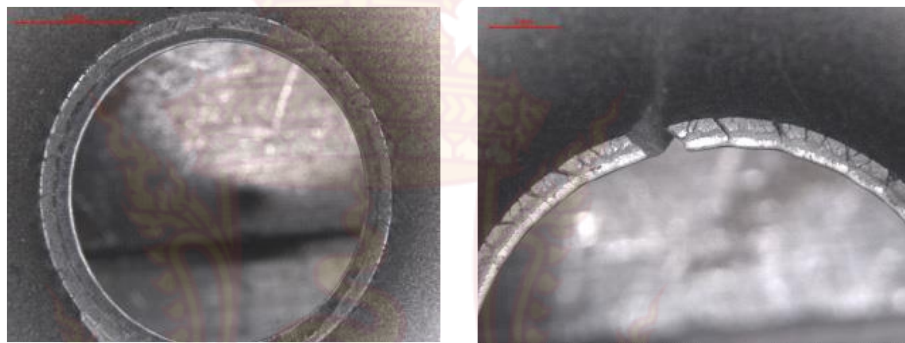
การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

R. Narayanasamy [11] และคณะ ศึกษาผลกระทบจากคุณสมบัติทางกลและ fractographic ที่มีผลต่อการขยายเพิ่มขนาดรูจากเหล็กหลายชนิดที่ใช้ในยานยนต์ ที่มีความหนาของแผ่นเหล็กแตกต่างกัน 7 ชนิด พบว่าองค์ประกอบด้านคุณสมบัติทางกลและเคมีรวมถึงโครงสร้างของวัสดุมีอิทธิพลต่อ % HER Kai Wang [12] และคณะ ศึกษาพฤติกรรมการแตกบริเวณขอบของวัสดุเหล็ก AHSS เกรด DP780 ดังภาพที่ 34 โดย การทดสอบ hole expansion ร่วมกับการใช้ CAE ในการวิเคราะห์ โดยในการทดลองมีเงื่อนไขของขอบตัดที่แตกต่างกัน 3 แบบ คือจาก milled, จาก water jet และจากการใช้ punch พบว่า % HER ของวัสดุเหล็ก DP780 มีค่าประมาณ 38% และ 35% สำหรับ ชิ้นงานที่ผ่านการ milled และ water jet ตามลำดับ ส่วนชิ้นงานที่ผ่านการ punching มีค่า % HER ประมาณ 12-16%



ภาพที่ 34 รอยแตกบริเวณขอบภายหลังจาก Hole expansion test

2014 Xinping Chen [10] และคณะ ศึกษาลักษณะการขยายตัวของรูในเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงพิเศษดังภาพที่ 35 ผลการศึกษาพบว่ามีความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างอัตราการขยายตัวของรู (%HER) และความต้านทานแรงดึง (tensile strength) ในขณะที่ความต้านทานแรงดึงของเหล็กน้อยกว่า 700 MPa อัตราการขยายตัวของรู (%HER) มีค่าลดลงเป็นเส้นตรง ในขณะที่ความต้านทานแรงดึงมากกว่า 700 MPa อัตราการขยายตัวของรูจะมีแนวโน้มที่จะมีค่าคงที่ (ประมาณ 30 ~ 40%)



ภาพที่ 35 Hole edge morphology observed by stereo microscope



บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

วิธีการทดสอบการขยายตัว (Hole expansion) ของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เป็นวิธีการพื้นฐานที่เข้าใจง่ายและสามารถทำการทดสอบได้ไม่ยุ่งยาก แต่การเอาชนะขีดจำกัดการขยายตัวนั้นทำได้ยากมาก สาเหตุเกิดจากสมบัติเฉพาะตัวของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงทำให้เกิดรอยแตกในระดับจุลภาคในขั้นตอนการเจาะรูเริ่มต้นโดยใช้แม่พิมพ์ตัด แม้ว่ากระบวนการไวร์คัทเป็นกระบวนการสร้างรูเจาะที่มีคุณภาพแต่ใช้เวลาเจาะรูนานใช้ค่าใช้จ่ายสูง ด้วยเหตุนี้เองผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างรูขึ้นงานเริ่มต้นที่คุณภาพสูงไว้ครีบบด้วยวิธีกัดตัดและดันกลับ (Push back blanking) ซึ่งเชื่อมั่นว่าการตัดขึ้นงานไว้ครีบบจะสามารถลดรอยแตกในระดับจุลภาคในขั้นตอนการเตรียมรูเจาะส่งผลให้สามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์การขยายตัวในกระบวนการ Hole expansion ได้ จากสมมุติฐานนี้ผู้วิจัยมีความมั่นใจว่าภายหลังเสร็จสิ้นงานวิจัยและได้เผยแพร่ผลงานให้กับภาคอุตสาหกรรม เทคโนโลยีนี้จะสามารถตอบสนองอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ได้เป็นอย่างดี โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

- ศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- ศึกษาสมบัติทางกลด้วยวิธีทดสอบแรงดึงของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด 590 MPa และ 780 MPa
- สร้างแม่พิมพ์ Piercing และ Push back piercing
- เจาะรูเริ่มต้น (Pre hole shearing) ขนาด .มม 10 ด้วย กระบวนการ 3
เจาะรูด้วยแม่พิมพ์ตัด (Piercing die)
เจาะรูด้วยไวร์คัท (Wire cut)
เจาะรูด้วยแม่พิมพ์ตัดแบบ (Push back blanking)
- ตรวจสอบรอยแตกในระดับจุลภาคจากกระบวนการเจาะรูเริ่มต้นด้วยกล้องขยายกำลังสูง เช่น Micro scope หรือ SEM
- ภายหลังเจาะรูจากสามกระบวนการข้างต้นนำชิ้นงานที่เจาะรูมาทดสอบหาอัตราการขยายตัวของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงด้วยวิธี Hole expansion test ด้วยมาตรฐาน

ISO/T16630 โดยกำหนดให้คงที่ แรงกดแผ่นจับยึดชิ้นงาน (Blank holder force) 65kN ความเร็วในการขึ้นรูป ประมาณ นาที่/มิลลิเมตร 28-27

- ตรวจสอบรอยแตกในระดับจุลภาคด้วยกล้องขยายกำลังสูงเช่น Micro scope หรือ SEM
- วิเคราะห์สาเหตุการเกิดรอยแตกในระดับจุลภาคด้วย FEM
- ตัวชี้วัดประสิทธิภาพของกระบวนการ
 - ขนาดของรอยแตกในระดับจุลภาค
 - ค่าความเรียบผิวบริเวณรอบชิ้นงาน
 - ความฉากของรูก่อนทำการ Hole expansion
 - ค่าเปอร์เซ็นต์ Hole expansion ratio (HER) สูงสุด

3.2 วัสดุและแม่พิมพ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ในการออกแบบและจัดสร้างแม่พิมพ์ตัดสำหรับงานโครงการนี้ เพื่อให้ได้ข้อมูลต่างๆที่ถูกต้องตามจุดประสงค์ และขอบเขตของโครงการจึงได้ใช้ชุดตายเซ็ทที่สามารถถอดเปลี่ยนชุดพินซ์และตายได้สะดวก เพื่อให้สามารถเปลี่ยนชุดพินซ์และตายได้ง่ายซึ่งชุดแม่พิมพ์ที่ใช้ในการทดลองดังภาพที่ 3.1 จึงทำการออกแบบชุดพินซ์และตาย เพื่อให้เข้ากับชิ้นส่วนมาตรฐานของแม่พิมพ์เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาภายหลังในการประกอบ



ภาพที่ 3.1 แม่พิมพ์เจาะรูที่ได้จากการออกแบบ

ชุดพันธ์เป็นชิ้นส่วนมาตรฐาน เป็นการออกแบบเพื่อการเจาะรู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm จึงกำหนดขนาดของพันธ์ไว้คงที่ โดยจะเพิ่มความโตของตายตามเปอร์เซ็นต์ระยะเคลียแรนซ์ตามความหนาของชิ้นงานที่กำหนด



ภาพที่ พันธุ์ที่ใช้ในการทดลอง 3.2

ชุดตายชิ้นส่วนมาตรฐานตามขนาดที่ออกแบบ โดยวิธีนำตายใส่ลงไปในแผ่นยึดตาย ซึ่งขนาดตายต่างกันตามเปอร์เซ็นต์ที่กำหนด 5% 10% 15% และ %20และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง คือ 10.12 mm, 10.24 mm, 10.36 mm, และ 10.48mm จำนวน ตัว 4



ภาพที่ ตายที่ใช้ในการทดลอง 3.3

3.3 เครื่องจักรกลที่ใช้สนับสนุนงานวิจัย

เครื่องปั๊มโลหะไฮดรอลิกส์ (Hydraulic press) การส่งผ่านแรงจะถูกส่งผ่านโดยใช้แรงดันผ่าน(ของเหลว) สามารถให้แรงเท่ากันทุกตำแหน่งที่ตำแหน่งใดๆ ของ stroke เครื่องปั๊มจะได้รับกำลังจากลูกสูบของกระบอกสูบของกระบอกไฮดรอลิกส์เพื่อส่งกำลังให้แกนเลื่อน กำลังอัดของเครื่องนั้นจะขึ้นอยู่กับความโตของลูกสูบกระบอกไฮดรอลิกส์กับอัตราแรงดันของน้ำมันไฮดรอลิกส์ ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 เครื่องปั๊มแบบแมคคานิกส์

3.4 วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาวัสดุชิ้นงาน เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง DP 590 MPa, TRIP 780 MPa ความหนา 1.2 มิลลิเมตร เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง (HSS) และเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเป็นพิเศษ (AHSS) โดยเหล็กที่มีค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) น้อยกว่า 270 MPa จะจัดอยู่ในประเภทเหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กที่มีค่าความแข็งแรงดึงระหว่าง 270 ถึง 700 MPa จะเป็นเหล็ก HSS และถ้าค่าความแข็งแรงดึงกล่าวมีค่ามากกว่า 700 MPa ก็จัดอยู่ในกลุ่มเหล็ก AHSS ซึ่งโดยปกติเหล็ก HSS จะมีโครงสร้างแบบเฟสเดียว (Single phase) ที่เป็นเฟอร์ไรท์ (Ferrite) ส่วนเหล็ก AHSS จะมี

โครงสร้างพื้นฐานเป็นแบบหลายเฟส (Multi phase) ซึ่งอาจประกอบด้วย เฟอไรต์ มาร์เทนไซต์ (Martensite) เบนไนท์ (Bainite) และ/หรือ มีส่วนผสมของออสเทนไนท์ (Austenite) รวมอยู่ด้วย



ภาพที่ 3.5 ประเภทของเหล็กที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ แบ่งตามความสัมพันธ์ของความแข็งแรงและเปอร์เซ็นต์การยัดตัว

3.5 เครื่องมือวัดที่ใช้ในการวิจัย

ชุดกล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope)



ภาพที่ 3.6 กล้องจุลทรรศน์

ชุดกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)



ภาพที่ 3.6 ชุดกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)



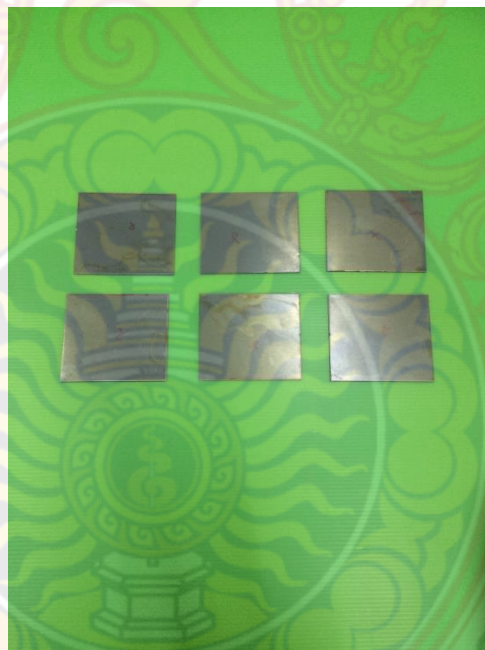
ภาพที่ 3.7 Universal Sheet Metal Testing Machine

ฟันซ์และตายที่ใช้ในการทดสอบด้วยวิธี Hole Expansion Test วัสดุคือเหล็กกล้าเครื่องมือเย็นเกรด JIS : SKD11 ผ่านการชุบแข็งให้มีค่าความแข็ง 60 ± 1 HRC โดยฟันซ์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มม บริเวณ

ส่วนหัว 펀ช์จะมีลักษณะเป็นรูปทรงกรวยทำมุม 60 องศา ส่วนดายมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มม บริเวณปากดายมีรัศมี 5 มม ดังแสดงในภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 ฟันช์และดายที่ใช้ในการทดสอบ Hole Expansion Test



ภาพที่ 3.9 การเตรียมแผ่นชิ้นงานเปล่า



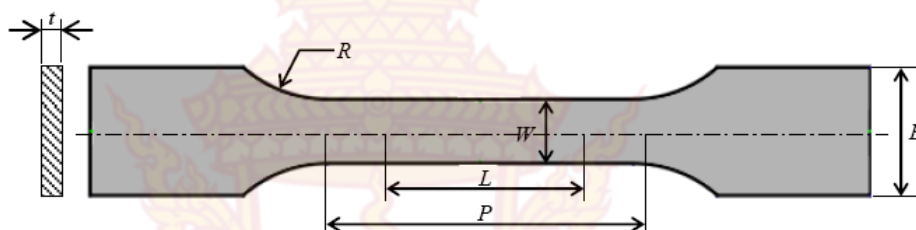
ภาพที่ 3.10 แผ่นชิ้นงานภายหลังการเจาะรู



บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกล

ในการทดสอบการดึงเพื่อหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงมาตรฐานของชิ้นงานทดสอบคือ JIS: Z 2201 [12]



ภาพที่ 4.1 รูปร่างและความหนาของชิ้นงานตามมาตรฐาน JIS : Z 2201

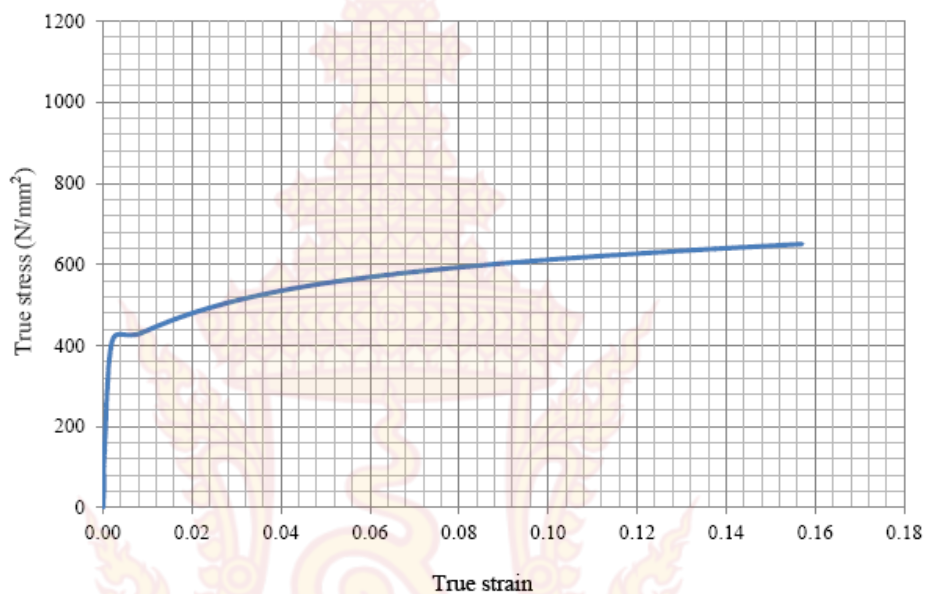
การทดสอบการดึงเพื่อตรวจสอบสมบัติทางกลจะใช้ Strain gage เป็นตัวตรวจจับการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน ซึ่งจะทำให้สามารถหาค่าความเค้นและความเครียดจริง (True stress – true strain) เครื่องทดสอบการดึงที่ใช้แสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 การติดตั้ง Strain gage ที่ชิ้นงาน

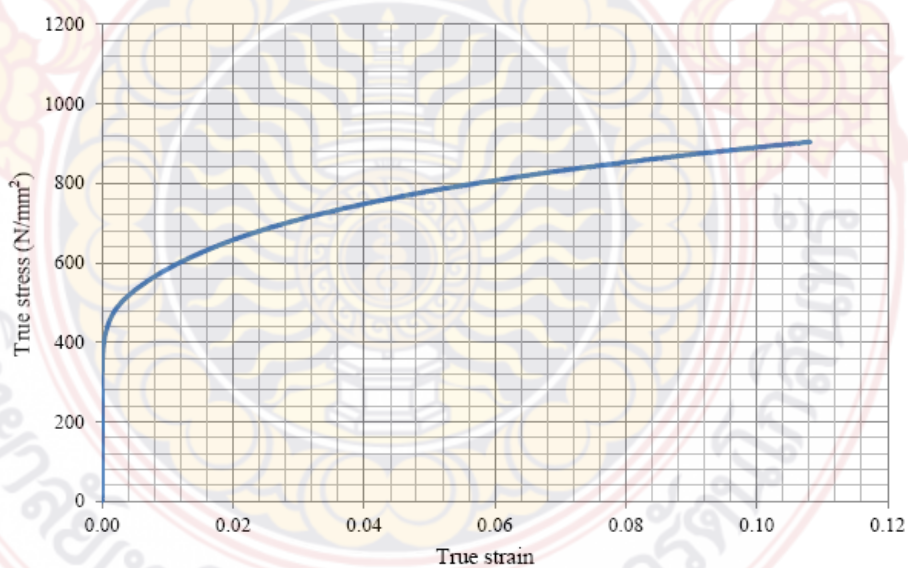
ผลการทดสอบแรงดึง

ผลการทดสอบ Uniaxial Tensile test HSS 590 MPa



ภาพที่ 4.3 ความเค้นและความเครียดจริง (True stress – true strain) ของ HSS 590

ผลการทดสอบ Uniaxial Tensile test HSS 780 MPa

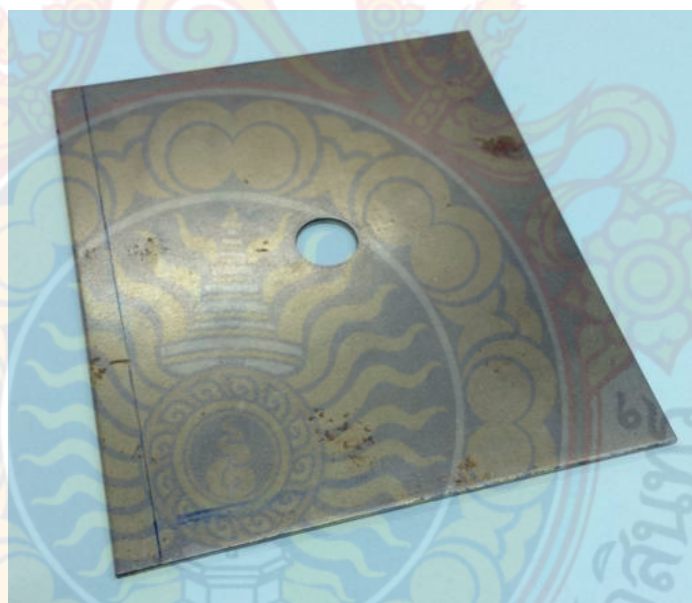


ภาพที่ 4.4 ความเค้นและความเครียดจริง (True stress – true strain) ของ HSS 780

จากภาพ 4.4 – 4.5 สามารถสรุปสมบัติทางกลของวัสดุได้ดังนี้ ค่าความแข็งแรงคราก (Yield strength) ของวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรดต่างๆ พบว่าเมื่อค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มมากขึ้น ค่าความแข็งแรงครากก็จะสูงขึ้นตามลำดับ ซึ่งในการนำไปขึ้นรูปจะทำได้ยากมากขึ้น ซึ่งเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Percentage of elongation) ของวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงนั้นจะมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการขึ้นรูป (Formability) จากการทดสอบ พบว่าเหล็ก 590Y ซึ่งมีอัตราส่วนการยืดตัวอยู่ที่ 27 เปอร์เซ็นต์ในขณะที่เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง 780 เปอร์เซ็นต์การยืดตัวอยู่ที่ 23 เปอร์เซ็นต์เมื่อค่าความแข็งแรงสูงขึ้น อัตราส่วนการยืดตัวจะต่ำลง หรือกล่าวได้ว่าอัตราส่วนการยืดตัวของวัสดุแปรผกผันกับค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดนั่นเอง

4.2 กระบวนการสร้างรูเริ่มต้น (Pre hole shearing)

ในงานวิจัยนี้มีแนวคิดใช้องค์ความรู้ในด้านการสร้างเทคโนโลยีในการสร้างรูเริ่มต้น (pre hole shearing) ดังภาพที่ 4.5 ด้วยวิธีที่ให้ผลทั้งปริมาณชิ้นงานที่รวดเร็ว ใหม่เพื่อเพิ่ม ชิดจำกัดการขึ้นรูป Hole expansion ratio (HER) ทำให้งานวิจัยนี้ตอบโจทย์ของภาคการผลิตได้เป็นอย่างดีในด้านการเพิ่มคุณภาพและลดต้นทุนการผลิต



ภาพที่ 4.5 การสร้างรูเริ่มต้น

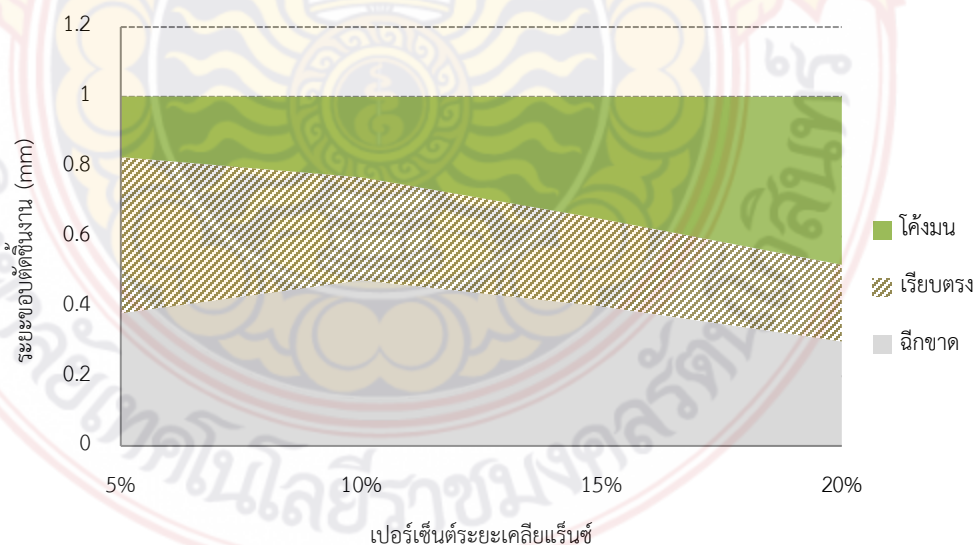
4.2.1 การสร้างรูด้วยแม่พิมพ์ตัด (Pre hole by using piercing die)

ในกระบวนการทดลองนี้ ค้นหาคุณภาพขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการม้วนรีดตัด 2 ชนิด คือ เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง 590 และเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง 780 ขนาดความ 1.2 มิลลิเมตร โดยกำหนดช่องว่างระหว่างคมตัด ในกระบวนการบ่มชิ้นงาน เท่ากับ 5% 10% 15% และ 20% ของความหนาชิ้นงาน เพื่อทำการเลือกระยะเคลือบเร็นซ์นำไปสร้างรูเริ่มต้น

อิทธิพลของระยะเคลือบเร็นซ์ที่ส่งผลต่อคุณภาพขอบตัด

จากการทดลอง ในกระบวนการตัดวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง 590 โดยนำชิ้นงานที่ได้จากการทดลองทำการส่องกล้องจุลทรรศน์ เพื่อตรวจสอบลักษณะขอบตัดของชิ้นงานและเก็บผล จะเห็นได้เห็นว่าขอบตัดชิ้นงานประกอบด้วย 3 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนโค้งมน (Die roll) ส่วนเรียบตรง (Shear Surface) และส่วนฉีกขาด (Fracture Surface) ดังภาพที่ 4.6 สามารถสรุปได้ว่าระยะเคลือบเร็นซ์ที่ (5%) ส่วนโค้งมนจะมีค่าสั้นที่สุด เนื่องจากระยะเคลือบเร็นซ์แคบการแตกภายในเนื้อชิ้นงานเกิดขึ้นช้าทำให้ส่วนเรียบตรงมีความยาวมากขึ้น

- ที่ระยะเคลือบเร็นซ์ (10%) ส่วนฉีกขาดมีความยาวมากที่สุดเนื่องจากการชดเชยของส่วนเรียบตรงมีความยาวลดลง
- ตั้งแต่เคลือบเร็นซ์ (10% ถึง 20%) ส่วนเรียบตรงมีแนวโน้มสั้นลงเรื่อยๆ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเคลือบเร็นซ์ที่กว้างขึ้นทำให้ส่วนโค้งมนมีความยาวมากขึ้นไปชดเชยกับส่วนเรียบตรง



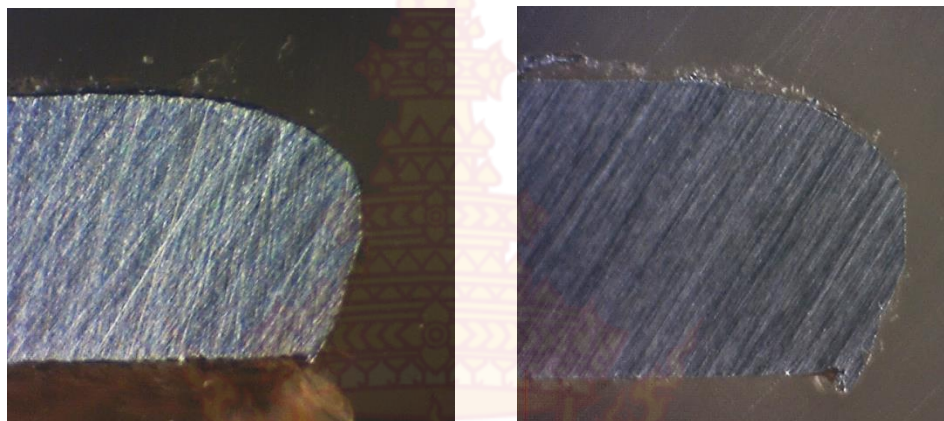
ภาพที่ 4.6 ขอบตัดวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เกรด DP590

จากการทดลอง ในกระบวนการตัดวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด 780 ซึ่งมีค่าความแข็งแรง สูงกว่า เหล็ก 590 พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงของขอบตัดชิ้นงานแตกต่างจาก เหล็กเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เกรด 590 ดังภาพที่ 4.7 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า

- ที่เคลือบเร็นซ์ (5%t ถึง 10%t) ระยะส่วนเรียบตรงมีความยาวที่สุดเนื่องจากส่วนโค้งมนสั้น
- ที่เคลือบเร็นซ์ (10%t ถึง 20%t) ระยะส่วนเรียบตรงเริ่มมีแนวโน้มสั้นลงเรื่อยๆเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของระยะเคลือบเร็นซ์ ทำให้ส่วนโค้งมนยาวมากขึ้นไปชดเชยกับส่วนเรียบตรง
- ส่วนฉีกขาดตั้งแต่เคลือบเร็นซ์ (5%t ถึง 20%t) มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเนื่องจากอิทธิพล การเปลี่ยนแปลงขอบชิ้นงานส่วนมากเปลี่ยนแปลงที่ส่วนโค้งมนและส่วนเรียบตรง



ภาพที่ 4.7 ขอบตัดวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เกรด DP780



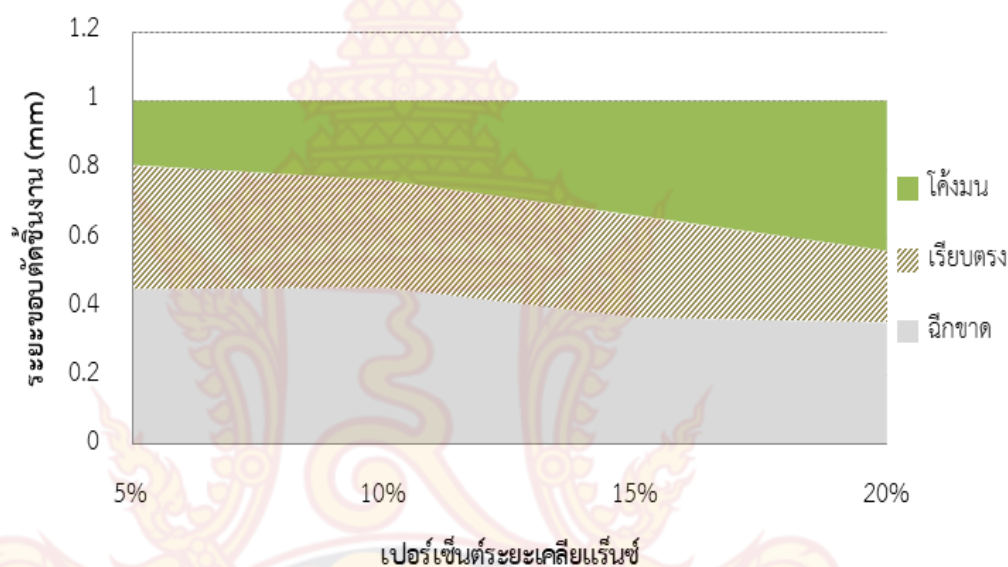
(ก) ขอบตัดวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง 590 (ข) ขอบตัดวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง 780

ภาพที่ 4.8 ขอบตัดวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงที่เคลือบเรซินซ์ 10%t

4.2.2 การสร้างรูด้วยแม่พิมพ์ตัดแบบมีแรงดันด้วยเคาท์เตอร์พUNCH (Pre hole by using Piercing die with counter punch)

การเปรียบเทียบผลการทดลอง วัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด DP590 ทั้งในกรณีที่ใช้แรงดันเคาท์เตอร์พUNCH และไม่มีการใช้แรงดันเคาท์เตอร์พUNCH พบว่าแรงดันเคาท์เตอร์สามารถเพิ่มส่วนเรียบตรงได้เล็กน้อย แต่สามารถลดส่วนโค้งมนได้เมื่อระยะเคลือบเรซินซ์ที่มีความกว้างมากขึ้นเรื่อยๆ ผลการทดลองดังภาพที่ สรุปได้ว่า 4.9

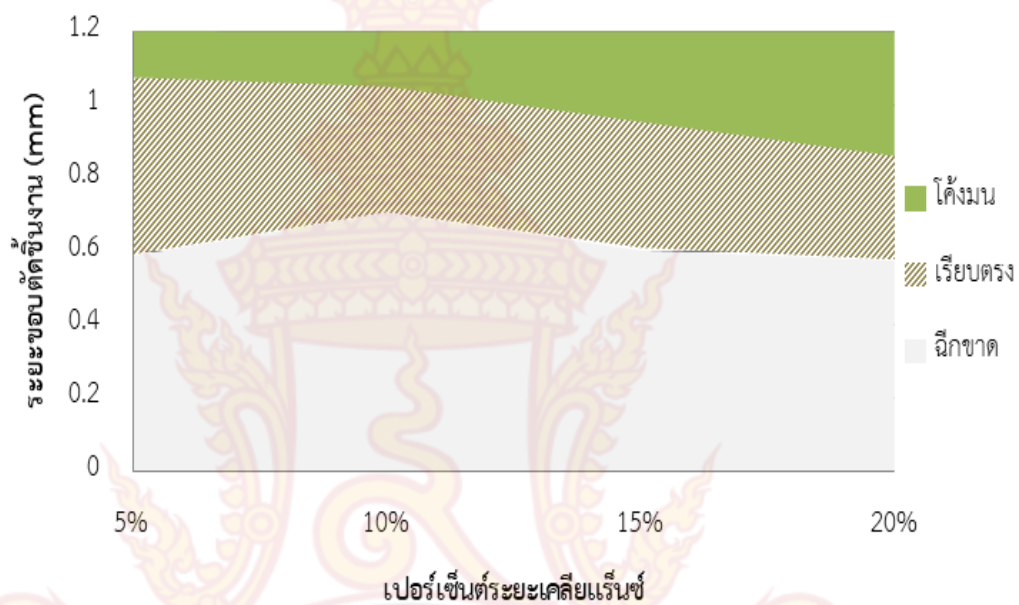
- ระยะเรียบตรงที่ระยะเคลือบเรซินซ์ที่ (5%t) ของความหนาชิ้นงาน ยาวขึ้นเมื่อใช้แรงดันเคาท์เตอร์พUNCH
- ที่ระยะเคลือบเรซินซ์ตั้งแต่ (10% ถึง 20%) พบว่าที่ใช้แรงดันเคาท์เตอร์พUNCH 5% และ 10% ผลต่อระยะเรียบตรงเพียงเล็กน้อยแต่มีแนวโน้มช่วยในการลดเรื่องของส่วนโค้งมน
- ที่ระยะเคลือบเรซินซ์ตั้งแต่ (10% ถึง 20%) พบว่าเมื่อใช้แรงดันเคาท์เตอร์พUNCH เพิ่มขึ้นถึง 15% มีแนวโน้มช่วยในการลดเรื่องของส่วนโค้งมน



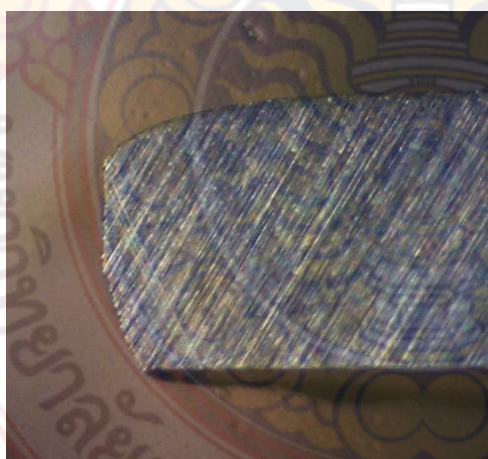
ภาพที่ 4.9 ขอบตัดวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เกรด 590 ใช้แรงดัน เปอร์เซ็นต์ 15

กรณีการตัดเหล็กกล้าที่มีความแข็งแรงสูงจะต้องใช้ระยะเค็ลยเร็นซ์ที่ค่อนข้างกว้างเพื่อป้องกันการเกิดรอยตัดเฉือนที่สอง ซึ่งผลทดลองการเปรียบเทียบสามารถสรุปได้ดังนี้

- วัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เกรด 780 ทั้งในกรณีที่ใช้เคาท์เตอร์พันซ์และไม่มีการใช้เคาท์เตอร์พันซ์ พบว่าแรงดันเคาท์เตอร์พันซ์สามารถลดส่วนค้ังมนและเพิ่มส่วนเรียบตรงได้ดี โดยมีผลกับทุกระยะเค็ลยเร็นซ์ดังภาพที่ 4.10
- ระยะเรียบตรงของทุกเค็ลยเร็นซ์ ยาวขึ้นเมื่อใช้แรงดันเคาท์เตอร์พันซ์ และในทางกลับกัน ส่งผลดีต่อส่วนค้ังมนที่มีสั้นลงตามไปด้วย
- ส่วนฉีกขาดมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเนื่องจากส่วนมากจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ส่วนเรียบตรงและส่วนค้ังมนเป็นหลักเมื่อใช้แรงดันเคาท์เตอร์พันซ์



ภาพที่ 4.10 ขอบตัดวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เกรด 780 ใช้แรงดัน 15 เปอร์เซ็นต์



(ก) เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง 590



(ข) เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง 780

ภาพที่ 4.11 ขอบตัดวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเมื่อใช้แรงดัน เพอร์เซ็นต์ 15

4.2.3 การสร้างรูด้วยไวร์คัท (Pre hole by using Wire cut)

การสร้างรูด้วยกระบวนการไวร์คัทจะส่งผลดีเนื่องเนื่องจากเป็นกระบวนการที่ไม่มีครีบภายหลังที่ตัดรูออกไปแล้ว เนื่องจากใช้กระบวนการทางไฟฟ้าดังภาพที่ 4.12 โดยทำการปล่อยกระแสไฟมาที่ลวดจากนั้นเส้นลวดจะเดินผ่านชิ้นงานจนกระทั่งชิ้นงานขาดออกจากกัน อย่างไรก็ตามผิวที่ได้จะมีความหยาบมากกว่าการตัดด้วยแม่พิมพ์



ภาพที่ 4.12 การสร้างรูด้วยเครื่องไวร์คัท

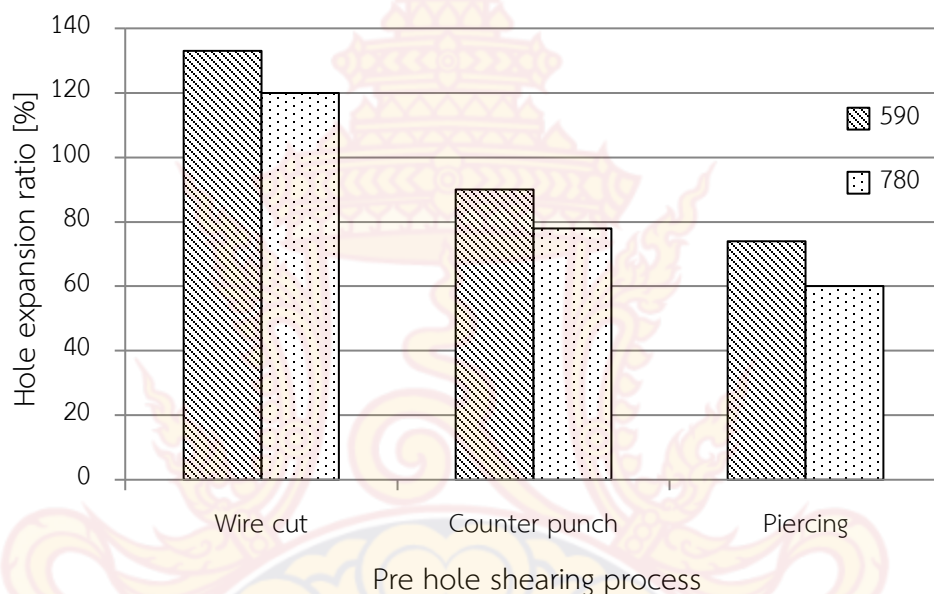
4.3 ผลการทดสอบการขยายตัวของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง

ในการทดลองนี้ทำการทดสอบด้วยกระบวนการ Hole expansion ด้วยมาตรฐาน ISO/T16630 โดยกำหนดให้คงที่ แรงกดแผ่นจับยึดชิ้นงาน (Blank holder force) 65kN ความเร็วในการขึ้นรูป ประมาณ 27-28 มิลลิเมตร/นาที และคำนวณเปอร์เซ็นต์การขยายตัวสูงสุดได้จากสมการที่ 1

$$\left[\frac{df - dh}{dh} \right] \times 100$$

$$\% \text{ HER} = \quad (1)$$

เมื่อ df คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเมื่อเกิดรอยแตก
 dh คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเริ่มต้น



ภาพที่ 4.13 ผลการทดสอบการขยายตัว

ภาพที่ 4.13 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวจากการสร้างรูเจาะจากกระบวนการต่างกัน ผลการทดลองพบว่า การตัดเจาะรูแผ่นชิ้นงานด้วยกระบวนการไวร์คัท มีความสามารถในการขึ้นรูปสูงที่สุด โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวสูงถึง 133% รองลงมาได้แก่ชิ้นงานที่ผ่านการตัดเจาะรูด้วยแม่พิมพ์ตัดแบบมีแรงดันด้วยเคาท์เตอร์ฟันซ์ และการใช้ฟันซ์ในการเจาะรู โดยแนวโน้มค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวที่ผ่านการตัดเจาะรูด้วยกระบวนการตัดแบบมีแรงดันด้วยเคาท์เตอร์ฟันซ์ สามารถเพิ่มอัตราส่วนการขยายรูได้มากกว่าและการเจาะรูด้วยฟันซ์เจาะรู เมื่อพิจารณาถึงชนิดของวัสดุพบว่า เหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด 590 มีความสามารถในการขึ้นรูปสูงกว่าเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด 780 และรอยแตกของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด 780 จะขยายตัวมากกว่า 590 ดังภาพ 4.14 เนื่องจากค่าอัตราการยึดตัวที่แตกต่างกัน



(ก) HSS 590

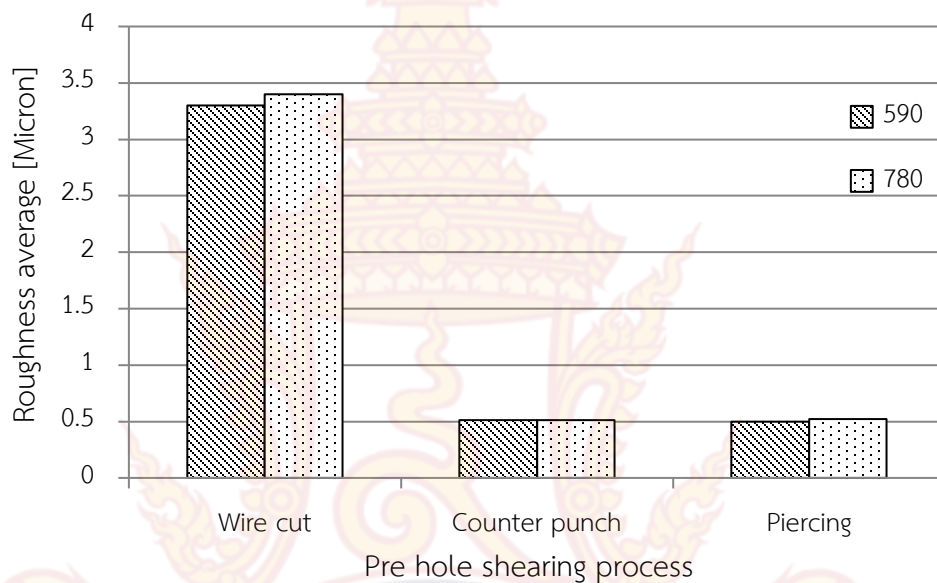
(ข) HSS 780

ภาพที่ 4.14 ลักษณะการแตกของปลายชิ้นงาน

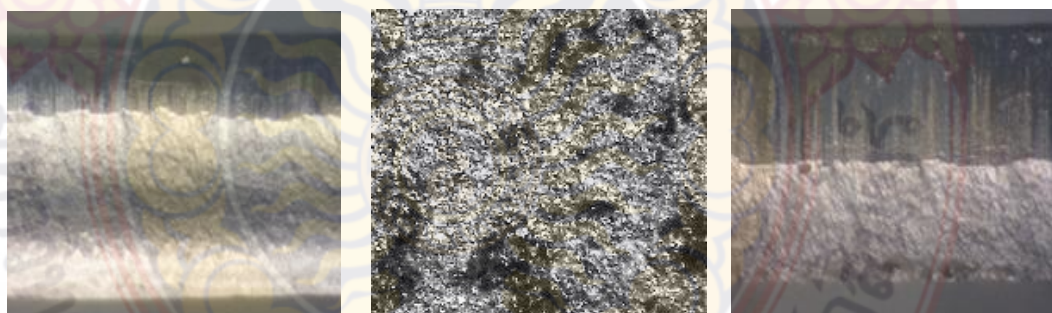
4.4 ค่าความหยาบผิวบริเวณรูเจาะที่ส่งผลต่อความสามารถในการขยายรู

การตรวจสอบพื้นผิวบริเวณขอบรูเจาะด้วยการวัดค่าความหยาบของพื้นผิวเฉลี่ย (Ra) แสดงในภาพที่ 4.15 พบว่าที่ผิวของชิ้นงานบริเวณรู การใช้กระบวนการไวร์คัทสร้างรูนั้นมีความหยาบมากที่สุดรองลงมา คือการตัดเจาะรูด้วยแม่พิมพ์ตัดแบบมีแรงดันด้วยเคาท์เตอร์ฟันซ์และตัดด้วยแม่พิมพ์ตัดดังภาพที่ 4.15 การตัดเจาะรูด้วยไวร์คัทเมื่อพิจารณาในเรื่องของโครงสร้างจุลภาคทั่วไปของแผ่นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด 590 และ 780 ดังแสดงในภาพที่ 4.17 แม้ว่าจะมีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องแต่ โครงสร้าง ในกรณีของชิ้นงานที่ตัดเจาะรูด้วยไวร์คัท ในขณะที่ทำการตัดชิ้นงานจะจมอยู่ใต้น้ำตลอดเวลา ดังนั้นความร้อนในขณะที่ตัดชิ้นงานจึงไม่ส่งผลต่อโครงสร้าง

สำหรับความเรียบผิวที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของการขยายรู พบว่าไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน โดยการตัดเจาะรูชิ้นงานด้วยไวร์คัทพบค่าความหยาบของพื้นผิวบริเวณรูเจาะมากกว่าการตัดเจาะรูด้วยแม่พิมพ์ตัดแบบมีแรงดันด้วยเคาท์เตอร์ฟันซ์และตัดด้วยแม่พิมพ์แต่สามารถให้อัตราการขยายตัวได้สูงกว่าซึ่งสาเหตุหลักคือ ครีโบลหะที่เกิดขึ้นบริเวณปากรูของชิ้นงานที่ผลิตจากการตัดเจาะรูด้วยแม่พิมพ์ตัดแบบมีแรงดันด้วยเคาท์เตอร์ฟันซ์และตัดด้วยแม่พิมพ์ซึ่งต่างจากการตัดด้วยไฟฟ้าซึ่งเป็นกระบวนการที่ไม่มีครีโบลหะเกิดขึ้นเลย



ภาพที่ 4.15 ค่าความหยาบของพื้นผิวเฉลี่ย (Ra)

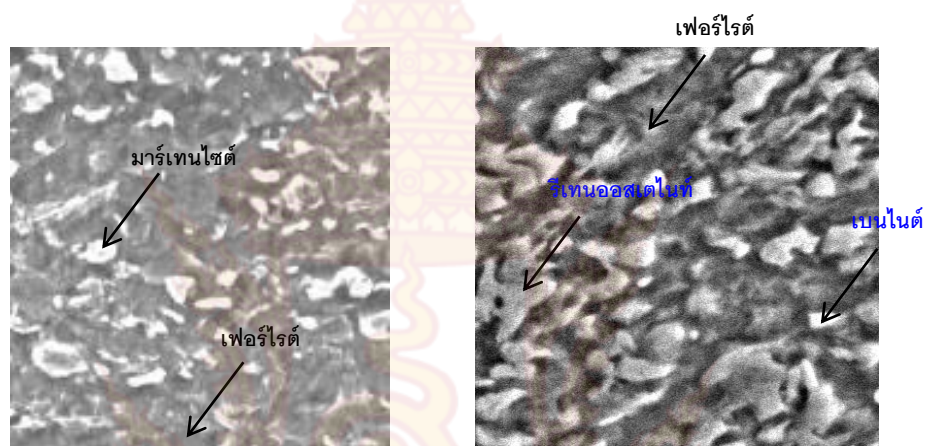


ก) Piercing)

ข) Wire cut)

ค) Piercing with counter)

ภาพที่ 4.16 ลักษณะพื้นผิวขอบตัดในแต่ละกระบวนการสร้างรู (เหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด590)



(ก)HSS 590

(ข)HSS 780

ภาพที่ 4.17 ลักษณะโครงสร้างของวัสดุ



บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้มีแนวคิดใช้องค์ความรู้ในด้านการสร้างเทคโนโลยีในการสร้างรูเริ่มต้น (pre hole shearing) ด้วยวิธีที่ให้ผลทั้งปริมาณชิ้นงานที่รวดเร็ว ใหม่เพื่อเพิ่ม ขีดจำกัดการขึ้นรูป Hole expansion ratio (HER) ทำให้งานวิจัยนี้ตอบโจทย์ของภาคการผลิตได้เป็นอย่างดีในด้านการเพิ่มคุณภาพและลดต้นทุนการผลิต ภายหลังทำการการเผยแพร่ข้อมูลสู่ภาคอุตสาหกรรม จะช่วยลดขั้นตอนในการลองพิมพ์ ซึ่งเป็นการยกระดับเทคโนโลยีการผลิตในภาพรวมได้

5.1 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของวัสดุที่ส่งผลต่ออัตราส่วนการขยายรู

ผลของการทดสอบค่าความแข็งแรงของวัสดุนั้นพบว่า วัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด 780 ซึ่งแข็งแรงกว่า 590 และมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Percentage of elongation) น้อยกว่า 590 ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการขึ้นรูป (Formability) และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวส่งผลซึ่งกันและกันเมื่อการยืดตัวลดลงอัตราส่วนการขยายรูก็จะลดลงด้วย

5.2 การเพิ่มขีดจำกัดการขยายรูโดยการสร้างรูด้วยแม่พิมพ์ตัดแบบมีแรงดันด้วยเคาท์เตอร์ฟันซ์

การตัดเจาะรูด้วยกระบวนการตัดแบบมีแรงดันด้วยเคาท์เตอร์ฟันซ์ สามารถเพิ่มอัตราส่วนการขยายรูได้มากกว่าและการเจาะรูด้วยฟันซ์เจาะรู

5.3 ค่าความหยาบผิวบริเวณรูเจาะที่ส่งผลต่อความสามารถในการขยายรู

การใช้กระบวนการไวร์คัทสร้างรูนั้นมีความหยาบมากสุดรองลงมาคือการตัดเจาะรูด้วยแม่พิมพ์ตัดแบบมีแรงดันด้วยเคาท์เตอร์ฟันซ์และตัดด้วยแม่พิมพ์ตัดอย่างไรก็ตามแม้ว่ากระบวนการไวร์คัทจะพบความหยาบผิวสูงสุดแต่เนื่องจากความต่อเนื่องกันของรอยตัดจึงทำให้อัตราส่วนการขยายรูสูงกว่ารูที่ผลิตจากแม่พิมพ์

5.4 ประสิทธิภาพด้านเวลาในการผลิตรู

แม้ว่ากระบวนการไวร์คัทจะให้ผลอัตราส่วนการขยายรูสูงที่สุดแต่กลับยุ่งยากในการสร้างรูเนื่องจากต้องใช้เครื่องไวร์คัทซึ่งยุ่งยากทั้งการป้อนข้อมูลการตัดและเวลาในการตัดเฉลี่ยต่อชิ้นอาจสูงถึง 30 นาที/1รู ในขณะที่การใช้แม่พิมพ์ใช้เวลาสั้นมากเพียง 2-3 วินาที/1รู

ข้อเสนอแนะ

การเลือกกรรมวิธีในการสร้างฐานมีผลอย่างยิ่งในระบบการผลิตซึ่งการพิจารณาถึงการประสบความสำเร็จในการสร้างรูปที่ได้คุณภาพเพื่อให้สามารถนำไปใช้เพิ่มอัตราส่วนการขยายรูปต้องพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการใช้งานและความยุ่งยากของกระบวนการด้วย



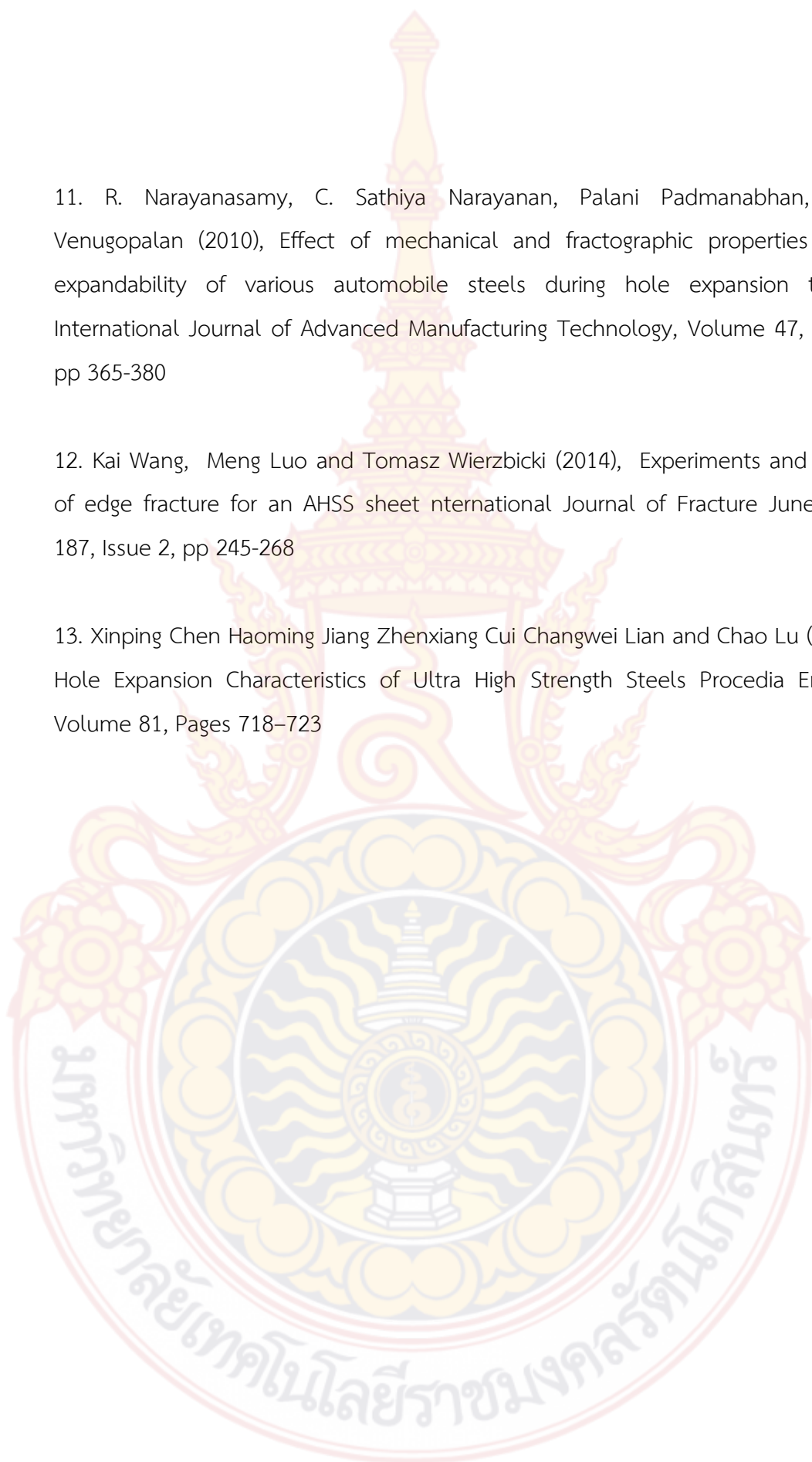
บรรณานุกรม

1. <http://www.worldautosteel.org>
2. Takita, M. and Ohashi, H., Application of High-strength Steel Sheets for Automobiles in Japan.
3. <http://www.daytonprogress.com/lists/archive/30.php>
4. Schuler, (1998), Metal Forming Handbook, 2nded., Springer, Berlin Heidelberg, pp. 156-388.
5. Lange, K (1985), Handbook of Metal Forming, 2nded., McGraw-Hill, New York, pp. 2.1-20.66.
6. Sutasn Thipprakmas, Precision Die Cutting Technology (2554), Chula Book center.
7. Maeda, T. and Aoki, I. (1980), "The Development of Burr-Free Blanking Roll Blanking", Journal of The Faculty of Engineering, The University of Tokyo, pp. 753-767.
8. Sutasn Thipprakmas (2010), Application of Taguchi technique to investigation of geometry and position of V-ring indenter in fine-blanking process Materials & Design (1980-2015), Volume 31, Issue5, Pages 2496-2500
9. M. Murakawa, M. Suzuki, T. Shionome, F. Komuro, A. Harai, Ak. Matsumoto, N. Koga. (2014), Precision Piercing and Blanking of Ultrahigh-strength Steel Sheets, Procedia Engineering, 81, pp. 1114-1120.
10. Maeda, T. and Aoki, I. (1990), "Experimental Study on Process Mechanism of Burr-Free Blanking", Journal of the JSTP, Vol. 332, No. 364.

11. R. Narayanasamy, C. Sathiya Narayanan, Palani Padmanabhan, and T. Venugopalan (2010), Effect of mechanical and fractographic properties on hole expandability of various automobile steels during hole expansion test, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 47, Issue 1-4, pp 365-380

12. Kai Wang, Meng Luo and Tomasz Wierzbicki (2014), Experiments and modeling of edge fracture for an AHSS sheet International Journal of Fracture June, Volume 187, Issue 2, pp 245-268

13. Xinping Chen Haoming Jiang Zhenxiang Cui Changwei Lian and Chao Lu (2014), Hole Expansion Characteristics of Ultra High Strength Steels Procedia Engineering Volume 81, Pages 718–723

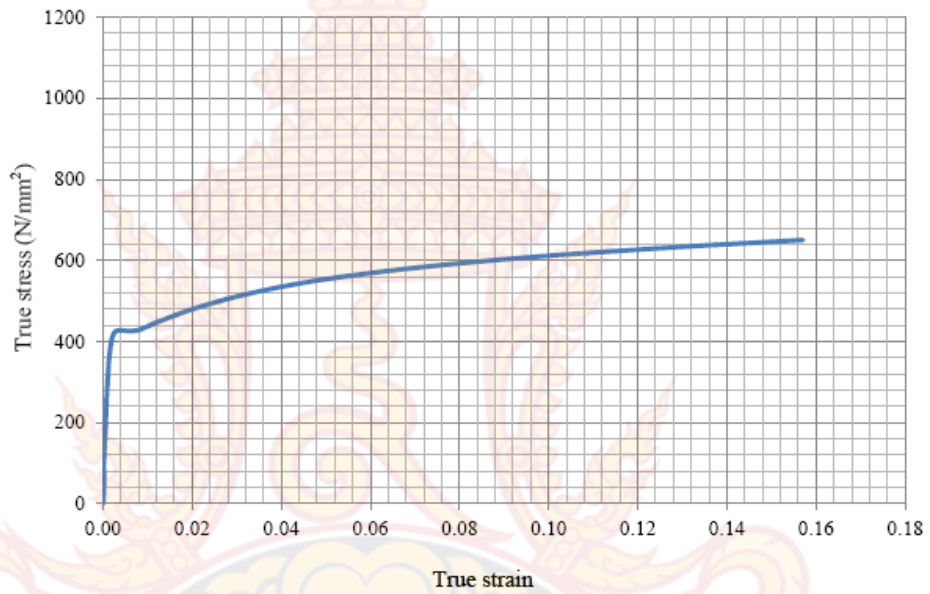




ภาคผนวก ก

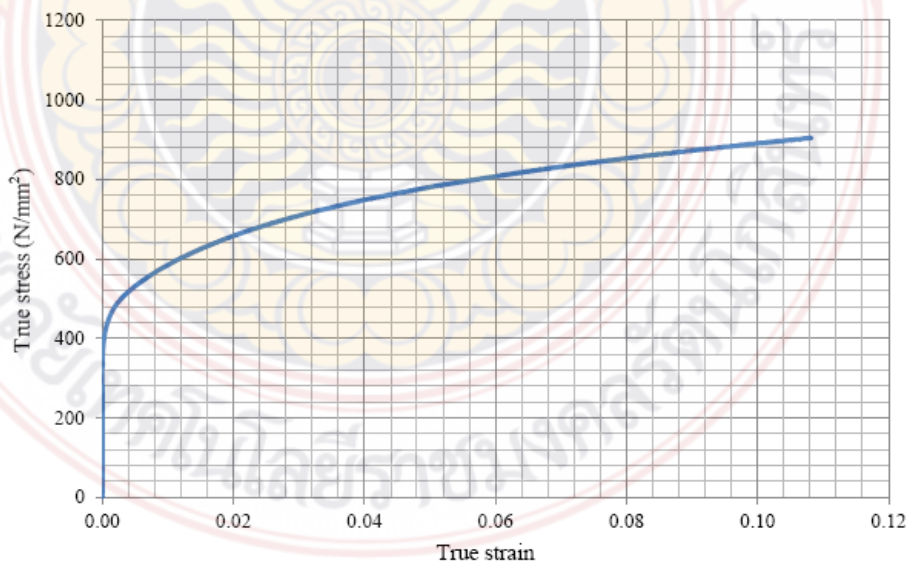
สมบัติทางกล

Uniaxial Tensile test HSS 590 MPa



ความเค้นและความเครียดจริง (True stress – true strain) ของ HSS 590

Uniaxial Tensile test HSS 780 MPa



ความเค้นและความเครียดจริง (True stress – true strain) ของ HSS 780



ภาคผนวก ข

ส่วนผสมทางเคมี

ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุ 590

Contents (%)								
C	Si	Mn	P	S	Al	V	B	Cu
Max %	Max %	Max %	Max %	Max %	Max %	Max %	Max %	Max %
0.12	0.40	1.60	0.025	0.010	0.015	0.2	0.005	0.2

ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุ 780

Contents (%)								
C	Si	Mn	P	S	Al	V	B	Cu
Max %	Max %	Max %	Max %	Max %	Max %	Max %	Max %	Max %
0.16	0.40	1.80	0.020	0.010	0.015	-	0.005	0.2

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายประสาน แสงเขียว

ชื่อ - นามสกุล(ภาษาอังกฤษ) MR.PRASAN SANKHLEO

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 9301 00724 44 9

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก

สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มทร.

รัตนโกสินทร์ โทร.032-618500 ต่อ 4047 E-Mail :Prasan.san@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา ระดับปริญญา ชื่อปริญญา สาขาวิชา ชื่อสถาบันการศึกษา ประเทศ

2548 ตรี อส.บ. เทคโนโลยีอุตสาหกรรม มทร.รัตนโกสินทร์ ไทย

2553 โท วศ.ม. วิศวกรรมอุตสาหกรรม มทร.ธัญบุรี ไทย

6. สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิมการศึกษ) ระบุสาขาวิชาการ
CNC, CAD/CAM, Manufacturing Process, ปฏิบัติงานทำแม่พิมพ์โลหะ

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุ
สถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วม
วิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

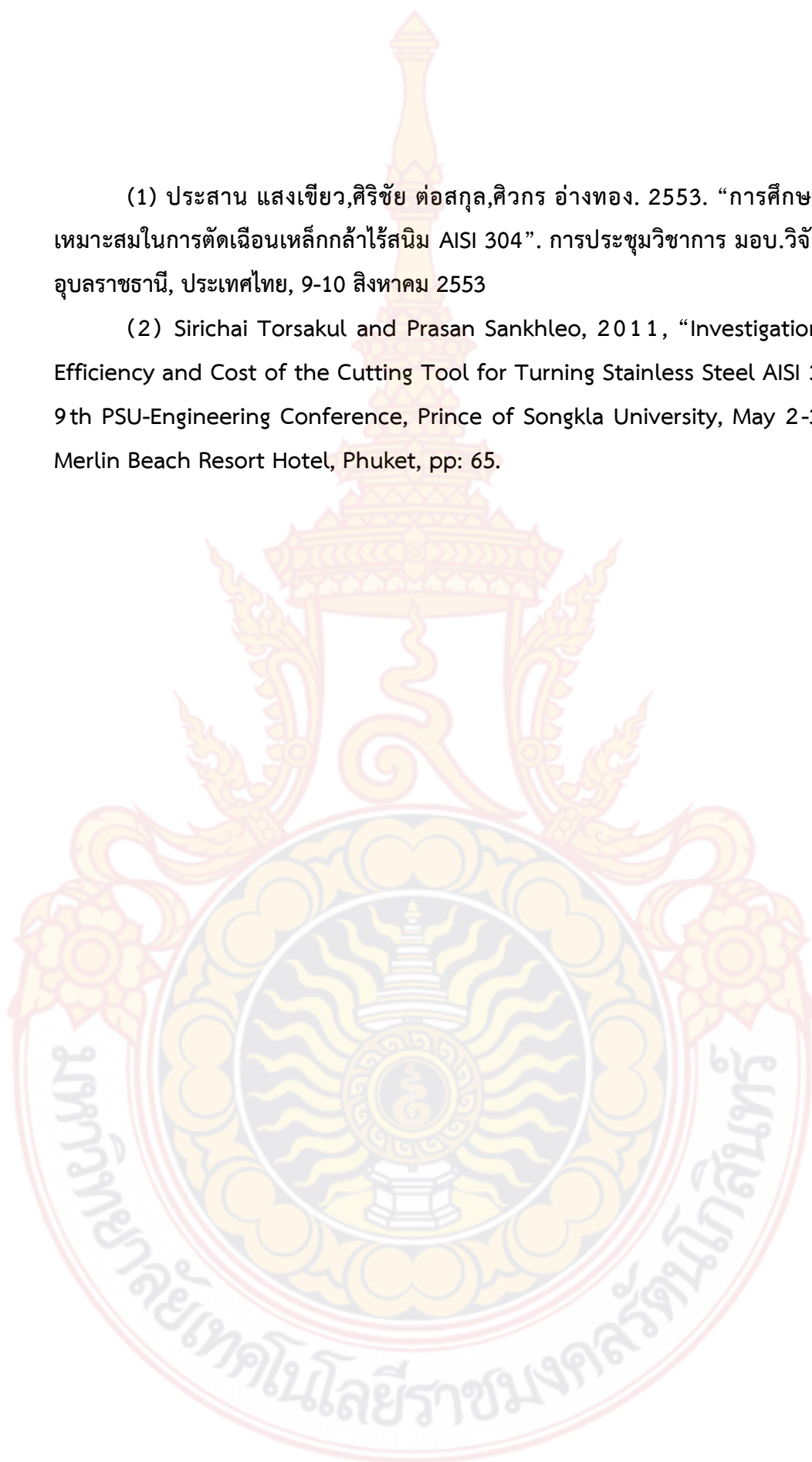
7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจ มากกว่า
1 เรื่อง)

(1) ประสาน แสงเขียว,ศิริชัย ต่อสกุล,ศิวกร อ่างทอง. 2553. “การศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมในการตัดเฉือนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304”. การประชุมวิชาการ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 4. อุบลราชธานี, ประเทศไทย, 9-10 สิงหาคม 2553

(2) Sirichai Torsakul and Prasan Sankhleo, 2011, “Investigation of the Efficiency and Cost of the Cutting Tool for Turning Stainless Steel AISI 304” The 9th PSU-Engineering Conference, Prince of Songkla University, May 2-3, 2011: Merlin Beach Resort Hotel, Phuket, pp: 65.



ประวัติผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ สกุล คมกริช ละวรรณวงษ์

2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

3. หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้

สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

มทร.รัตนโกสินทร์ วังไกลกังวล โทร.094-821 5727 E-Mail Komgrit.law@kmutt.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

ปี ที่ จบ ระดับ การศึกษา	ระดับปริญญา	ปริญญา	สาขาวิชา	สถาบันการศึกษา	ประเทศ
2544	ตรี	อส.บ.	วิศวกรรมอุตสาหการ	ม.เซนต์จอห์น	ไทย
2547	โท	วศ.ม.	เทคโนโลยีการขึ้นรูป โลหะ	พระจอมเกล้าธนบุรี	ไทย
2558	เอก	วศ.ด.	Mechanical Engineering (Elasto-Plastic)	Hiroshima University	Japan

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

Wear in metal forming, Tool Engineering, แม่พิมพ์โลหะ, FEM in metal forming

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

(1) “Development in Metal Forming Die Design on Tribological Aspect”, MTEC: National Metal and Materials Technology Center, July 2002 – July 2005. (Assistant Researcher)

(2) “Research on Performance of Hard Film Coating of Metal Stamping Dies”,

TGI: Thai-German Institute, May 2005 – May 2006. (Researcher)

(3) “**Forming Behavior of High Tensile Strength Steels**”, TGI: Thai-German Institute, May 2006 – May 2007. (Researcher)

(4) “**Selection of appropriate hard film coating or surface modifying for the dies used for stamping high tensile strength steel**”, TGI: Thai-German Institute, Oct 2006 – Oct 2007. (Researcher)

(5) “**Study on reduction of adhesion between stamping die and high tensile strength steel sheet material**”, TGI: Thai-German Institute, Nov 2006 – Nov 2007. (Researcher)

(6) “**Production of U-Channel Parts by Draw Bending Process Instead of Using Press Machine**”, TGI: Thai-German Institute, Nov 2006 – Nov 2007. (Researcher)

(7) “**Life Extension of Hot Forging Die for Brass Components**”, TGI: Thai-German Institute, Nov 2007 – May 2008. (Researcher)

(8) “**Improvement of Blanking Tool for Industrial Chain Manufacturing by Using Stripper of Moving Type**”, The Thailand Research Fund (TRF), 2007. (Researcher)

(19) “**Improvement of Forming Die for Internal Floating Roof Tank Production Line**”, The Thailand Research Fund (TRF), 2007. (Researcher)

(10) “**Study on Influence of cutting clearance to quality of cutting surface of aluminum alloy**”, Rajamangala University of Technology Rattanakosin Fund, 2009. (Head Researcher)

(11) **A Study Reduction of Spring-back in U Bending of High strength steel**, National Research Council of Thailand Fund. 2008-2009, Finished (Head Researcher)

ตัวอย่างสัณปรายงานการวิจัย

ตัวอย่างที่ 1 กรณีที่มีนักวิจัย 1 คน

เครื่องย่อยคอนกรีตเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่	เฉลิมพล ไชยแก้ว	2552
--	-----------------	------

ตัวอย่างที่ 2 กรณีที่มีนักวิจัยมากกว่า 1 คน

เครื่องย่อยคอนกรีตเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่	เฉลิมพล ไชยแก้ว และคณะ	2552
--	------------------------	------

ตัวอย่างที่ 3

การสร้างบทเรียนผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต วิชาหลักการบัญชี 1	เกษรา คำเปียง	2552
เรื่อง บัญชีของกิจการให้บริการ		

ข้อกำหนดการจัดทำรูปเล่มรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

1. พิมพ์ด้วย MS office 2010 ขึ้นไปเท่านั้น
2. ตัวอักษรที่ใช้พิมพ์ต้องเป็น TH Sarabun New ขนาดตัวอักษรตามรูปแบบที่มีให้ดาวน์โหลดข้อมูลใน Website ของสถาบันวิจัยและพัฒนา
3. การจัดเก็บข้อมูลลงในแผ่น CD ให้จัดเก็บเป็นไฟล์ Word นามสกุล .docx 1 ไฟล์ และเป็นไฟล์ Pdf 1 ไฟล์
 - 3.1 กำหนดการย่อหน้าในเล่มต้องเป็นการตั้ง Tab เท่านั้น
 - 3.2 การเว้นวรรคในประโยค ใช้การเว้นวรรค 1 ตัวอักษร
 - 3.3 กั้นหน้า – กั้นหลัง ด้วยการกระจายแบบไทย (Thai distribution)
 - 3.4 จัดรูปแบบการพิมพ์เล่มรายงานฉบับสมบูรณ์ตามแบบตัวอย่างที่ให้ดาวน์โหลดใน Website ของสถาบันวิจัยและพัฒนา