การศึกษากระบวนการตัดขอบเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง SPFC440

โดย

พงศกร หลีตระกูล

วิชัย พุ่มจันทร์

สนับสนุนงบประมาณโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2557

The Study Trimming Process of High Strength Steel SPFC440 steel.

By
Pongsakorn Leetarkul
Wichai pumchan

Grated by
Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Fiscal year 2014

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : Social 002/2557

ชื่อโครงการ : การศึกษากระบวนการตัดขอบเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง SPFC440

ชื่อนักวิจัย : นายพงศกร หลีตระกูล, นายวิชัยพุ่มจันทร์

ขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการตัดขอบด้วยแม่พิมพ์มีความสำคัญอย่างยิ่งในการผลิตโลหะแผ่นซึ่งการตัดขอบเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง SPFC440 จะมีส่วนเรียบตรงน้อยและเกิดครีบมากบริเวณขอบตัดชิ้นงาน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของรูปร่างมุมเครื่องมือตัดในงานตัดขอบที่ส่งผลต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือ เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เกรด SPFC440 ความหนา 1 มิลลิเมตร แม่พิมพ์ที่ใช้ในการทดลองการตัดขอบถูกออกแบบให้พันช์และดาย เป็นเหล็ก JIS SKD11 มีช่องว่างระหว่างคมตัดพันช์และดาย ร้อยละ 2, 5 และ 8 ของความหนาชิ้นงาน โดยที่กำหนดให้มีรูปร่างมุมพันช์ที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ คือ 90 องศา, 45 องศา และ 30 องศา ผลการทดลองพบว่ารูปร่างมุมพันช์มีส่วนช่วยในการเพิ่มส่วนเรียบตรงและลดความสูงของครีบที่เกิดขึ้นบริเวณขอบตัดได้ ในการทดลองที่สามารถทำให้ขอบตัดได้คุณภาพมากที่สุดคือ พันช์ทำมุม 30° ทำการตัดชิ้นงานที่ช่องว่างระหว่างคมตัดพันช์และดาย ร้อยละ 5 ของความหนาชิ้นงาน อย่างไรก็ตามการใช้เครื่องมือตัดที่มีรูปร่างเป็นมุมแหลมมากจะส่งผลให้เกิดการสึกหรอเร็วจึงต้องคำนึงถึงจำนวนการผลิต

คำสำคัญ: กระบวนการตัดขอบ, ขอบตัดชิ้นงาน, เหล็กกล้าความเข็งแรงสูง

E-mail Address: pongsakorn.lee@rmutr.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: 1 ตุลาคม 2556- 30 กันยายน 2557

Abstract

Project Title : **Social 002/2557**

Project Credits : The Study Trimming Process of High Strength Steel SPFC440 steel.

Prepared By : Mr. pongsakorn Leetrakul, Mr. Wichai Pumchan

Cutting edge of the trimming process is particularly important in the production of sheet metal. Generally, the trimming process with high strength steel SPFC440 has narrow shear surface and large burr on cutting edge of work piece. The objective of this research is to study the effect of punch angle to quality of workpiece. The materials used in experiments high strength steel grad SPFC440 with thickness 1 mm. The punch and die were made from tool steel grad JIS SKD11. Tool clearance betwean punch and die has far levels 2%,5% and 8% of the work piece thickness. The punch angles 90°, 45° and 30° were used for finding an appropriate condition in this research. The experiment in trimming process that the punch angle can contribute to increase shear surface and decreasing burr on cutting edge of work piece. The parameters of the experiment with punch angles 30° Tool clearance bet wean punch and die has far levels 5% of the work piece thickness an appropriate condition in this research. However, using cutting tools shaped horn will result in faster wear.

Keywords: Trimming Process, Cutting Edge, High Strength Steel

---

E-mail Address: pongsakorn.lee@rmutr.ac.th

Period of Project: October 1,2556 – September 30,2557

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ ผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่สนับสนุนงบประมาณสำหรับงานวิจัย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่และอาจารย์ในสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิตและสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ที่ให้การสนับสนุนทางด้านเทคนิคและข้อมูล จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

พงศกร หลีตระกูล และคณะ
กันยายน 2557

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		ก
บทคัดย่อภาษาไทย		ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ค
สารบัญ		ง
สารบัญตาราง		ฉ
สารบัญภาพ		ช
บทที่1	**บทนำ**	**1**
	1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
	2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1
	3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	1
	4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	2
บทที่2	**ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**	**3**
	1 การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์	3
	2 ความหมายและกลไกของการตัด	4
	3 ขอบชิ้นงานที่ได้จากการตัด (Cutting Edge)	5
	4 ระยะกินลึก (Depth Penetretion)	7
	5 การเลือกขนาดกำลังของเครื่องเพรส	9
	6 แรงตัดเฉือน (Cutting Force)	9
	7 การคำนวณแรงตัดเฉือน (Cutting Force Calculating)	9
	8 อิทธิพลของช่องว่างคมตัดที่มีต่อชิ้นงาน	11
	9 กรรมวิธีทางความร้อน (Heat Treatments)	13
	10 กรรมวิธีการตัดเฉือน (Conventional Blanking Process)	20
	11 การวิเคราะห์การตัด	20
	12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแม่พิมพ์ตัด	21

สารบัญ(ต่อ)

		หน้า
บทที่3	**การดำเนินการวิจัย**	**26**
	1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วิจัย	26
	2 วิธีการดำเนินการวิจัย	27
	3 การเก็บผลและเปรียบเทียบผลการทดลอง	33
บทที่4	**ผลการวิจัย**	**34**
	1 ผลการตัดขอบที่ทำให้เกิดส่วนโค้งมน (Edge Radius)	34
	2 ผลการตัดขอบที่ทำให้เกิดส่วนเรียบตรง (Shear Surface)	35
	3 ผลการตัดขอบที่ทำให้เกิดรอยฉีกขาด (Fracture Surface)	36
	4 ผลการตัดขอบที่ทำให้เกิดครีบ (Burr)	36
	5 ลักษณะขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการตัดขอบ (Trimming)	37
บทที่5	**สรุปผล อภิปรายผล และ ข้อเสนอแนะ**	**39**
	1 สรุปผล	39
	2 ข้อเสนอแนะ	39
	บรรณานุกรม	**40**
	ภาคผนวก ก มาตรฐานและการคำนวณที่เกี่ยวข้อง	42
	ภาคผนวก ข ส่วนผสมทางเคมีแม่พิมพ์และวัสดุชิ้นงาน	45
	ประวัติผู้วิจัย	**48**

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ระยะกินลึกของวัสดุชนิดต่าง ๆ	8
3.1	ขนาดของพันช์ที่ใช้ในการทดลอง	29
3.2	ตัวอย่างใบบันทึกผลการทดลองกระบวนการตัดขอบ	33
ก.1	มาตรฐานเปอร์เซ็นต์ช่องว่างคมตัดของวัสดุต่างๆ	42
ก.2	ตารางแสดงแรงกดแผ่นชิ้นงาน (Stripping Pressure)	42
ข.1	ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11	45
ข.2	ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้า S50C	46
ข.3	ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง JIS G 3135 SPFC 440	46

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
2.1	แสดงกลไกการตัด	4
2.2	แสดงขั้นตอนการตัด	5
2.3	แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการตัดโดยทั่วไป	5
2.4	แสดงกลไกการเกิดส่วนโค้งมน	6
2.5	แสดงกลไกการเกิดครีบ	7
2.6	แสดงระยะกินลึก	8
2.7	แสดงแรงในการตัดเฉือน	9
2.8	แสดงพันช์และดายในงานแม่พิมพ์ตัด	10
2.9	แสดงลักษณะชิ้นงานจากการใช้ระยะช่องว่างคมตัดที่เหมาะสม	11
2.10	แสดงลักษณะชิ้นงานจากการใช้ช่องว่างคมตัดที่มากเกินไป	12
2.11	แสดงลักษณะชิ้นงานจากการใช้ระยะช่องว่างที่น้อยเกินไป	12
2.12	แสดงลักษณะชิ้นงานที่เกิดจากตำแหน่งของพันช์และดายที่เยื้องศูนย์กัน	13
2.13	แสดงการอบชุบความร้อนเหล็กกล้าเครื่องมือ (Heat treatments)	15
2.14	แสดงการชุบแข็งเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น (Cold work tool steels)	16
2.15	กราฟแสดงกรรมวิธีการทำการชุบแข็ง (Hardening)	17
2.16	แสดงอัตราการเผาและช่วงเวลาที่เหมาะสม	18
2.17	แสดงค่าความแข็งที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบคืนตัว	19
2.18	แสดงแผ่นปลดชิ้นงาน (Stripping Plate)	20
2.19	แสดงรูปแบบของการตัดโลหะของพันช์และดาย	21
3.1	แสดงแผนภาพการดำเนินการวิจัยการศึกษากระบวนการตัดขอบเหล็กกล้าความแข็งสูง SPFC440	27
3.2	แสดงลักษณะพันช์ในการทดลอง	28
3.3	แสดงชุดแม่พิมพ์ตัดที่ใช้ในการทดลอง	29
3.4	แสดงลักษณะการเตรียมชิ้นงาน	30
3.5	เครื่องปั๊มชิ้นงานแบบเพลาข้อเหวี่ยง	31

สารบัญภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.6	เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบ	31
3.7	ชิ้นงานหล่อเรซิ่นและผ่านการขัด	32
3.8	เครื่องขัดชิ้นงานแบบจานหมุน	33
3.9	กล้องจุลทรรศน์ Optical Microscopes	33
3.10	ลักษณะความสูงของครีบที่เกิดบนชิ้นงาน	33
4.1	แสดงตำแหน่งการวัดส่วนต่างๆที่เกิดขึ้นกับขอบตัด	34
4.2	แสดงความสูงของส่วนโค้งมน	35
4.3	แสดงความสูงของส่วนเรียบตรง	35
4.4	แสดงความสูงของรอยฉีกขาด	36
4.5	แสดงความสูงของครีบ	37
4.6	แสดงขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการตัดที่ช่องว่างระว่างคมตัด 2% ของความหนาชิ้นงาน	37
4.7	แสดงขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการตัดที่ช่องว่างระว่างคมตัด 5% ของความหนาชิ้นงาน	38
4.8	แสดงขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการตัดที่ช่องว่างระว่างคมตัด 8% ของความหนาชิ้นงาน	38

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

บทที่ 1
บทนำ

1.ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านการออกแบบแม่พิมพ์ได้เข้ามามีบทบาทในการเพิ่มผลผลิต ในอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนและขึ้นรูปต่าง ๆ แม่พิมพ์มีความจำเป็นอย่างมากต่อโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิตให้สูงขึ้น ซึ่งกระบวนการทางด้านแม่พิมพ์ตัดเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิต มีทั้งการตัดเจาะ การตัดขอบ เป็นต้น ซึ่งในการผลิต จะมีปัญหาทั้งทางด้านการสึกหรอของแม่พิมพ์เกิดจากการผลิตชิ้นเป็นจำนวนมาก และการเลือกใช้วัสดุที่นำมาเป็นเครื่องมือตัดไม่เหมาะสมมาทำการตัดจึงส่งผลทำให้งานที่ทำการผลิตออกมาไม่ได้ตามความต้องการ อย่างไรก็ตามงานแม่พิมพ์เป็นการผลิตชิ้นงานเป็นจำนวนมากจึงส่งผลให้งานแม่พิมพ์มีราคาสูงทั้งทางด้าน ราคาวัสดุ ค่าออกแบบ ค่าผลิต รวมไปถึงค่าซ่อมบำรุงรักษา ทำให้ผู้ผลิตแม่พิมพ์ต้องการชิ้นงานที่ออกมาได้ตามความต้องการด้วย นอกจากนี้งานแม่พิมพ์ตัดจะมีการตัดหลายกระบวนการ ล้วนมีความต้องการชิ้นงานที่ได้คุณภาพ ซึ่งในการตัดขอบ (Trimming) โดยทั่วไปบริเวณขอบตัดจะมีส่วนเรียบตรงน้อย และครีบสูง จึงทำให้ชิ้นงานที่ผลิตออกมามีขอบตัดไม่ได้คุณภาพ เช่น มีครีบมากทำให้ยากต่อการประกอบและทำให้เกิดอันตรายได้ จึงมีการพัฒนาและคิดหาวิธีการทำงานของแม่พิมพ์ ตัดขอบ เพื่อตัดแต่งขอบตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดครั้งสุดท้าย คือ ลดส่วนโค้งมน เพิ่มส่วนเรียบตรง ลดรอยแตก และลดครีบ

จึงได้มีผู้วิจัยทำการศึกษาของกระบวนการตัดที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงาน เช่น การศึกษาอิทธิพลของมุมเอียงที่มีต่อการตัดขอบอลูมิเนียมเจือโดยไฟไนต์เอลิเมนต์ ทดลองตัดตัวถังอลูมิเนียมโดยกระบวนการตัดขอบเพื่อตรวจสอบรอยตัดและครีบ และศึกษารอยแตกในระหว่างตัดขอบอลูมิเนียมแผนชิ้นส่วนยานยนต์ ปัจจุบันในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ได้นำเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง มาใช้เป็นชิ้นส่วนรถยนต์เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีความแข็งแรง,น้ำหนักเบา ซึ่งในกระบวนการตัดขอบ วัสดุชนิดนี้จะพบปัญหาเรื่องคุณภาพขอบตัด และที่ผ่านมายังไม่มีงานวิจัยใดได้ศึกษาการเพิ่มคุณภาพขอบตัดสำหรับเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงอย่างแพร่หลาย

จากที่ได้กล่าวมาจึงทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดทำการศึกษาพฤติกรรมการแตกหักในระหว่างการตัดขอบของโลหะแผ่น เหล็กกล้าความแข็งแรงสูงโดยการกำหนดเงื่อนไขการทำงานต่างๆที่เหมาะสมเช่น ระยะช่องว่างคมตัดพันช์และดาย (Clearance) และรูปร่างของพันช์ เพื่อเพิ่มส่วนเรียบตรงของขอบตัดชิ้นงานเพื่อเปรียบเทียบหาตัวแปรที่ดีที่สุดในกระบวนการตัดของโลหะแผ่น จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้ และพัฒนาในอุตสาหกรรมต่อไป

2.วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษากลไกลการตัดขอบชิ้นงาน

2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน

3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

3.1 กำหนดพันช์และดาย เป็นวัสดุ SKD11 ในการตัดขอบ มีช่องว่างระหว่างคือ 2%, 5%, และ8% ของความหนาชิ้นงาน

3.2 กำหนดรูปร่างมุมพันช์ ทำมุม 90°, 45°, 30°

3.3วัสดุที่ใช้ในการทดลองตัดขอบ เป็นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง SPFC440 ความหนา 1 มิลลิเมตร

3.5 พารามิเตอร์ที่ใช้วัดประเมินผล

- ตรวจวัดขอบตัดชิ้นงาน เช่น ความสูงส่วนโค้งมน ความสูงส่วนเรียบตรง ความสูงรอยฉีกขาด และความสูงครีบ

3.5วิเคราะห์ผลการทดลองพร้อมสรุปผล

4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

4.1 สามารถเลือกใช้ตัวแปรที่เหมาะสมในกระบวนการตัดขอบ

4.2 สามารถเพิ่มคุณภาพของขอบตัดชิ้นงาน

4.3สามารถเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการตัดสินใจที่จะนำตัวแปรประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ตัด

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์

2.2.1 การออกแบบแม่พิมพ์

ในกระบวนการผลิตใดๆ ก็ตามที่มีจำนวนมากจำเป็นต้องอาศัยแม่พิมพ์ที่สามารถครอบคลุมถึงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ให้ได้ทั้งรูปทรง ขนาด และน้ำหนัก ตามที่ผู้ออกแบบกำหนดไว้ ซึ่งลักษณะของกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันจะส่งผลโดยตรงมากจากแม่พิมพ์ที่นำมาให้งาน ดังนั้น การออกแบบและการสร้างแม่พิมพ์จึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งต้องยึดหลักการที่ว่า

- แม่พิมพ์คุณภาพดี ผลผลิตที่ดีย่อมเกิดขึ้น
- แม่พิมพ์ผลิตชิ้นงานออกมาได้เร็วผลตอบแทนจากการลงทุนจะคืนกลับมาโดยเร็ว
- แม่พิมพ์มีราคาที่เหมาะสม ย่อมส่งผลให้ได้เปรียบทางธุรกิจ

ดังนั้น สรุปได้ว่าการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ต้องคำนึงถึง คุณภาพ การส่งมอบ และราคาที่เหมาะสมซึ่งเป็นปัจจัยหลักของอุตสาหกรรมนี้ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายทั้ง 3 ประการข้างต้นการออกแบบแม่พิมพ์ที่ดีจึงควรพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

2.2.1.1 มาตรฐานการออกแบบ ซึ่งในการออกแบบแต่ละครั้งจำเป็นต้องมีมาตรฐานที่ดีโดยการกำหนดกฎเกณฑ์ต่าง ๆ นั้นสามารถกระทำได้โดยผู้ผลิตแม่พิมพ์เอง หรือเป็นมาตรฐานที่ลูกค้ากำหนด

2.2.1.2 เลือกใช้ชิ้นส่วนมาตรฐานที่เหมาะสม เพื่อช่วยลดเวลาในการออกแบบ

2.2.1.3 สามารถนำแม่พิมพ์ไปใช้ในการผลิตได้โดย ไม่มีอุปสรรคใดๆ เกิดขึ้น

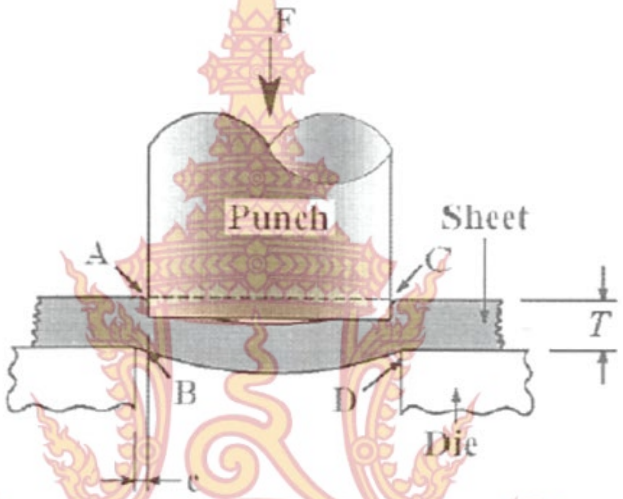
2.2.1.4 เลือกวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ได้อย่างเหมาะสมกับปริมาณการผลิต เพื่อลดต้นทุนในการทำแม่พิมพ์

2.2.1.5 ลดความซับซ้อน ในการทำงานของแม่พิมพ์ เพื่อให้เกิดความสะดวกและรวดเร็วในการซ่อมบำรุง เมื่อเกิดความเสียหายระหว่างกระบวนการผลิต ในปัจจุบันการออกแบบแม่พิมพ์ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยมีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยให้ การออกแบบมีความแม่นยำและถูกต้องมากยิ่งขึ้น เนื่องจากในหน่วยความจำของระบบคอมพิวเตอร์ ได้เก็บรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและการวิเคราะห์ความถูกต้อง

2.2.1.6 ขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์ เมื่อเราได้ศึกษาเกี่ยวกับส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์เรียบร้อยแล้วต่อไปเราจะมาศึกษาถึงการออกแบบแม่พิมพ์ ซึ่งได้มีผู้พยายามรวบรวมวิธีการออกแบบแม่พิมพ์ที่มีส่วนประกอบ รูปร่างและขนาดต่างๆ ตามลำดับ

2.2 ความหมายและกลไกของการตัด

กระบวนการตัด คือ การตัดโลหะออกจากกันโดยให้คมตัดของพันช์และดายกดบนเนื้อโลหะจน ความเค้นเกิดขึ้นในชิ้นงานมีค่าสูงกว่าความต้านทานของแรงดึงสูงสุดของวัสดุซึ่งทำให้โลหะฉีกขาดออกจากกัน โดยชุดแม่พิมพ์ตัดจะประกอบด้วยพันช์ (Punch) ดาย (Die) ชิ้นงาน และแผ่นปลดชิ้นงาน ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงกลไกการตัด[1]

สำหรับขั้นตอนการตัดแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 2.2

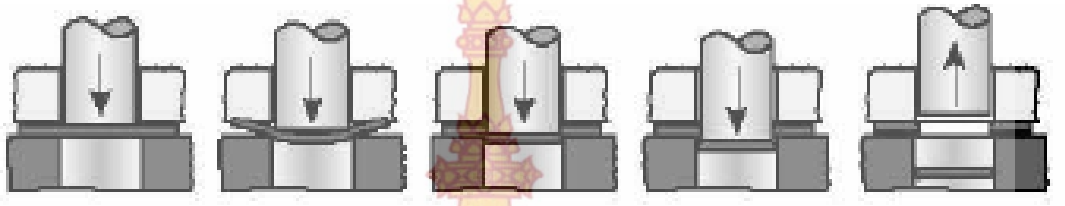
ขั้นตอนที่ 1 : พันช์เลื่อนลงมาสัมผัสกับเนื้อวัสดุชิ้นงานโดยจะมีแรงกดจากแผ่นปลดชิ้นงานกดแผ่นงานที่ระดับหนึ่ง

ขั้นตอนที่ 2 : วัสดุชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปในช่วงยืดหยุ่นการดัดตัว (Bending) และพาเนื้อโลหะเข้าไป ในช่องว่างดาย และเกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (Plastic Deformation)

ขั้นตอนที่ 3 : วัสดุชิ้นงานถูกตัดเฉือนและเกิดการแตกเมื่อสิ้นสุดขั้นตอนนี้ผิวหน้าของพันช์กับดายจะอยู่ในระดับเดียวกัน

ขั้นตอนที่ 4 พันช์จะดันให้ชิ้นงานทะลุลงไปในช่องของดายหลังจากสิ้นสุดการตัดแล้ววัสดุบริเวณรูมีการดีดมายังพันช์เนื่องจากการดีดตัวกลับ (Spring Back) ของวัสดุส่วนที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างในช่วงยืดหยุ่นหรืออาจเกิดจากในบางขณะจะมีการเชื่อมติดกัน (Cold welding) ระหว่างเนื้อวัสดุกับผิวพันช์เช่นเดียวกับด้านนอกของแผ่นมีการดีดตัวกลับมายังช่องบนดาย

ขั้นตอนที่ 5 : การปลดชิ้นงานให้หลุดจากพันช์ความเค้นในแนวเส้นสัมผัสและแนวรัศมีที่เหลือข้างในเนื้อวัสดุทำให้เกิดความเสียดทานระหว่างพันช์กับผนังรูเจาะเพิ่มมากขึ้นในขณะที่พันช์ถอยกลับ



ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนที่ 4 ขั้นตอนที่ 5

ภาพที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการตัด[1]

2.3 ขอบชิ้นงานที่ได้จากการตัด (Cutting Edge)

โดยทั่วไปเมื่อเอาโลหะมาตัดด้วยพันช์และดาย จะต้องกำหนดช่องว่างระหว่างพันช์กับดายซึ่งปกติช่องว่างดังกล่าวจะมีค่าอยู่ระหว่าง 5 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ ของความหนาชิ้นงาน จะพบว่าขอบตัดที่ได้สามารถแบ่งเป็น 4 ส่วนดังแสดงในภาพที่ 2.3

ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการตัดโดยทั่วไป[1]

2.3.1 ช่วงโค้งมน (Roll Over)

ในการออกแบบแม่พิมพ์โดยส่วนใหญ่มักจะเกิดส่วนโค้งมนของขอบตัดชิ้นงานส่วนที่เกิดขึ้นเมื่อพันช์กดชิ้นงานให้ไหลตัวลงไปในช่องว่างระหว่างพันช์กับดายทำให้มีรูปร่างคล้ายกับก้นถ้วย ส่วนโค้งมนจะเกิดมากขึ้นถ้าโลหะนั้นเป็นโลหะอ่อนสาเหตุการเกิดส่วนโค้งมนเกิดจากพันช์เมื่อเริ่มต้นกดชิ้นงานลงไปในดายเนื้อชิ้นงานบริเวณใต้พันช์และเหนือดายจะมีความเค้นอัดที่มีค่าสูงมากกระทำในขณะที่

เนื้อชิ้นงานบริเวณด้านข้างของพันช์และดายจะมีความเค้นดึงมากระทำดังภาพที่ 2.4 ทำให้เนื้อชิ้นงานตรงบริเวณนี้ถูกดึงให้ไหลตามการเคลื่อนที่ของพันช์ก่อให้เกิดส่วนโค้งมนขึ้น

ภาพที่ 2.4 แสดงกลไกการเกิดส่วนโค้งมน[1]

2.3.2 ช่วงการตัดเฉือน (Shear Zone)

เป็นส่วนที่เกิดขึ้นหลังจากพันช์ ถูกกดลึกลงไปในเนื้อของโลหะระยะหนึ่งแล้วจะเกิดหน้าตัดเฉือนในแนวดิ่ง ระหว่างขอบตัดของพันช์และเนื้อของโลหะที่ถูกตัด ส่วนที่ถูกตัดตรงบริเวณพื้นที่นี้จะมีลักษณะเป็นมันวาวและแนวที่ถูกตัดจะได้ฉากกับผิวหน้าของแผ่นชิ้นงาน หน้าตัดเฉือนเป็นส่วนที่สำคัญมากเพราะขนาดและความเที่ยงตรงของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกกำหนดไว้ที่ส่วนนี้

2.3.3 ช่วงการแตก (Fracture Zone)

เป็นส่วนที่เกิดหลังจากมีการตัดเฉือนของพันช์บนแผ่นชิ้นงานแล้วแรงที่ใช้บนแท่นพันช์จะทำให้เกิดความเค้นดึงสูงกว่าความแข็งแรงสูงสุดของโลหะนั้นจึงทำให้เกิดการแตกขึ้นการแตกจะเกิดขึ้นในลักษณะถูกดึงขาดดังนั้นรูปร่างของรอยแตกจึงมีรูปร่างขรุขระไม่เป็นระเบียบความสัมพันธ์ของรอยแตกที่เกิดขึ้นและขนาดของช่องว่างระหว่างพันช์และดายนั้นจะแตกต่างในความสัมพันธ์ในส่วนอื่น ๆ ในกรณีที่ใช้ขนาดของช่องว่างน้อยกว่า 10 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ เกือบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่รอยแตกแต่ถ้าขนาดของช่องว่างที่ใช้มากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ความกว้างของรอยแตกเพิ่มขึ้นอีกและถ้าใช้ขนาดช่องว่างมาก ที่มุมรอยแตกกระทำกับพื้นผิวของแผ่นชิ้นงานก็จะยิ่งโตขึ้นดังนั้นจึงควรกำหนดขนาดของช่องว่างที่ใช้ให้เหมาะสมงานนั้น ๆ

2.3.4 ครีบ (Burr)

มีลักษณะบาง ๆ ไม่เรียบเกิดขึ้นที่ขอบล่างรอบ ๆ แนวตัด ส่วนนี้จะเกิดขอบคมตัดพันช์และดายเกิดการสึกหรอ ถ้าขอบคมตัดสึกหรอมากก็จะเกิดครีบขึ้นมากสาเหตุการเกิดครีบตามที่อธิบายหลักการและขั้นตอนของการตัดไว้ข้างต้นโดยปกติการเริ่มเกิดรอยแตกในเนื้อวัสดุจะไม่ได้เกิดตรงคมตัดพอดีแต่จะเกิดขึ้นเหนือคมตัดเล็กน้อยดังในภาพที่ 2.5 เนื่องจากความเค้นดึงจะมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นตรงจุดดังกล่าวหลังจากรอยแตกในเนื้อวัสดุจากด้านพันช์และดายบรรจบกันจะทำให้วัสดุแยกออกจากกันแต่ส่วนเนื้อวัสดุบริเวณด้านข้างของคมตัดจะยังเหลืออยู่ที่ขอบตัดซึ่งส่วนนี้ก็คือครีบที่เกิดขึ้นนั่นเอง

ภาพที่ 2.5 แสดงกลไกการเกิดครีบ[2]

2.4 ระยะกินลึก (Depth Penetration)

ระยะกินลึก หมายถึง ระยะที่ขอบคมตัดของพันช์กดลงไปในดายจนเนื้อวัสดุฉีกขาดระยะกินลึกหาได้จากระยะความสูงของหน้าตัดเฉือนรวมกับระยะความสูงของส่วนโค้งมนระยะกินลึกนั้นตามปกติจะใช้หน่วยเปอร์เซ็นต์ ความหนาของโลหะแผ่นที่ถูกตัดนั้นจึงมักจะเรียกเทอมนี้ว่า เปอร์เซ็นต์ระยะกินลึก (Depth Penetration) เปอร์เซ็นต์ระยะกินลึกของโลหะต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 โลหะแผ่นที่มีความแข็งจะมีเปอร์เซ็นต์ ระยะกินลึกน้อยดังนั้นโลหะแข็งจะมีระยะโค้งมนและระยะหน้าตัดเฉือนน้อย การเปรียบเทียบระยะกินลึกของ โลหะสองชนิดทำได้โดยดูจากระยะหน้าตัดเฉือนของโลหะที่มีความหนากว่าต้องการระยะกินลึกมากกว่าโลหะที่บาง

ตารางที่ 2.1 ระยะกินลึกของวัสดุชนิดต่าง ๆ[3]

ชนิดวัสดุ	เปอร์เซ็นต์ ระยะกินลึก
ตะกั่ว	50
ดีบุก	40
อลูมิเนียม	60
สังกะสี - 0	50
ทองแดง	55
ทองเหลือง	50
บรอนซ์	25
เหล็กกล้า 0.10 C	50 อบคืนตัว
	38 รีดเย็น
เหล็กกล้า 0.20 C	40 อบคืนตัว
	28 รีดเย็น
เหล็กกล้า 0.30 C	33 อบคืนตัว
	22 รีดเย็น
เหล็กกล้าซิลิกอน	30
นิกเกิล	55

ภาพที่ 2.6 แสดงระยะกินลึก

2.5 การเลือกขนาดกำลังของเครื่องเพรส

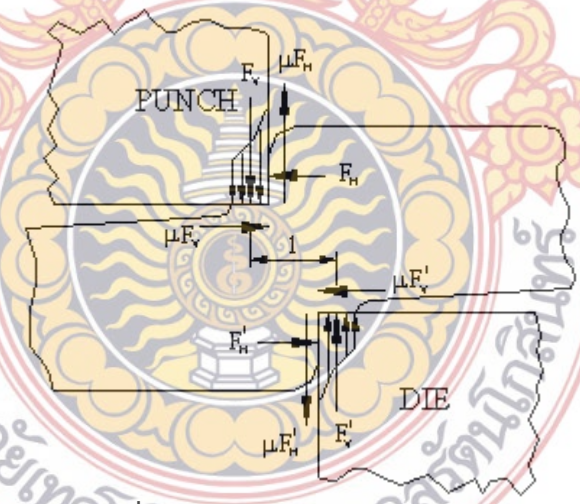
ในการเลือกขนาดของเครื่องเพรส จำเป็นต้องเลือกเครื่องเพรส ที่สามารถสร้างแรงอัดได้มากกว่าค่าแรงที่ต้องการใช้ในการตัดที่คำนวณได้ 30-50 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เพื่อช่วยให้สามารถตัดชิ้นงานได้ในกรณีที่วัตถุดิบมีความหนาไม่สม่ำเสมอ วัสดุชิ้นงานเกิดการทำให้แข็งด้วยความเครียด (Strain Hardening) การเลือกใช้สารหล่อลื่นต่าง ชนิดขนาดช่องว่างคมตัดระหว่างพันช์และดายที่เปลี่ยนแปลง และกรณีที่คมตัดของดายทื่อ เป็นต้น

2.6 แรงตัดเฉือน (Cutting Force)

คือ แรงที่ใช้ในการกดพันช์ให้ทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ ถ้าแม่พิมพ์ชุดหนึ่งใช้พันช์และดายหลายตัวในเวลาเดียวกัน แรงตัดก็เพิ่มขึ้นโดยรวมจากจำนวนพันช์แต่ละตัวที่ใช้ สำหรับงานแม่พิมพ์ตัดทั่วไปแรงตัดเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเลือกใช้ปั๊มโลหะ

2.7 การคำนวณแรงตัดเฉือน (Cutting Force Calculating)

แรงย่อยในการตัดเฉือน แรง F_v และ F_v กระทำห่างออกจากคมตัดเล็กน้อย ซึ่งเกิดจากการที่ความเค้นกดบริเวณใกล้คมตัดกระจายอย่างสม่ำเสมอ แรงที่กระทำห่างกันเป็นระยะ L ทำให้เกิดโมเมนต์ซึ่งพยายามดัดหรือเอียงชิ้นงาน ดังแสดงในภาพที่ 2.7 จึงเกิดโมเมนต์ปฏิกิริยาขึ้นในทิศทางกันข้ามซึ่งเป็นผลมาจากการดัดและความเค้นตั้งฉากในแนวระดับชิ้นงานและแม่พิมพ์ตัดพันช์และดาย



ภาพที่ 2.7 แสดงแรงในการตัดเฉือน[3]

ความเค้นตั้งฉากในแนวระดับสามารถแทนด้วยผลลัพธ์ FH และ FH นอกจากนั้นยังมีแรงในแนวระดับเกิดขึ้นเมื่อแม่พิมพ์ตัด (พันช์และดาย) มีมุมที่ขอบไม่เท่ากับ 90 องศา หรือเมื่อผิวรอยตัดไม่ตั้งฉาก

กับระนาบของโลหะแผ่น นอกจากแรง F_V,F_V,F_H,F_H แล้วยังมีแรงเสียดทานกระทำพันช์และดายอีกด้วย แรงในแนวระดับ F_H, และ F_H ทำให้เกิดแรงเสียดทานบนผิวด้านข้างของพันช์และดายนั่น คือ μF_H และ μF_H สมการสำหรับคำนวณหาค่าแรง F_S ที่ต้องการใช้ในการตัดหรือเจาะวัสดุกำหนดโดยให้ผิวหน้าตัดพันช์และดายมีลักษณะเรียบ นั่นคือ ไม่มีการเอียงของคมเฉือน ดังภาพที่ 2.8

แรงที่ใช้ในการตัดสามารถหาได้จากสมการ

$F_B = \tau Lt$ (นิวตัน), สำหรับงานตัดรูปทรงใด ๆ (2.1)

$F_P = \tau\pi dt$ (นิวตัน) , สำหรับงานตัดรูปกลม (2.2)

เมื่อ

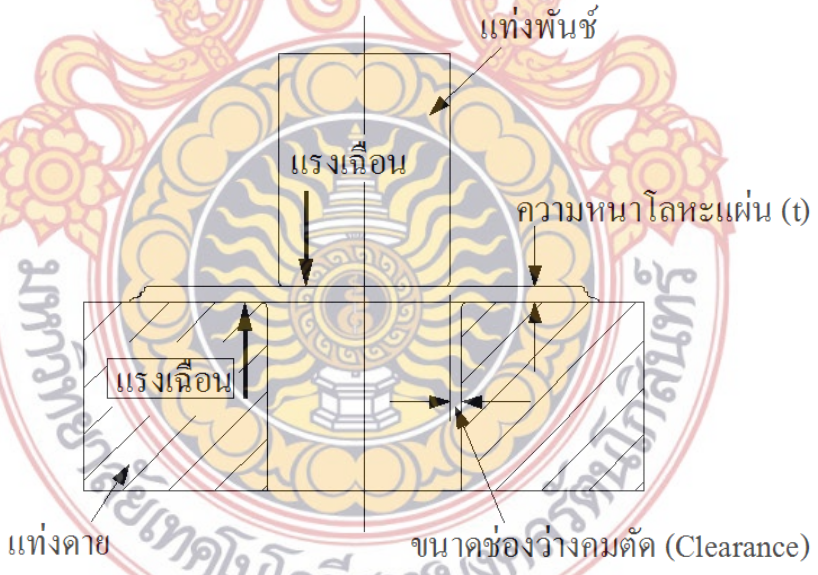
F_B = แรงที่ต้องการใช้ในการตัด (นิวตัน)

τ = ความต้านทานเฉือนของวัสดุ (นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร)

L = ความยาวรอยตัด (นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร)

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพันช์ (มิลลิเมตร)

t = ความหนาของวัตถุดิบ (มิลลิเมตร)

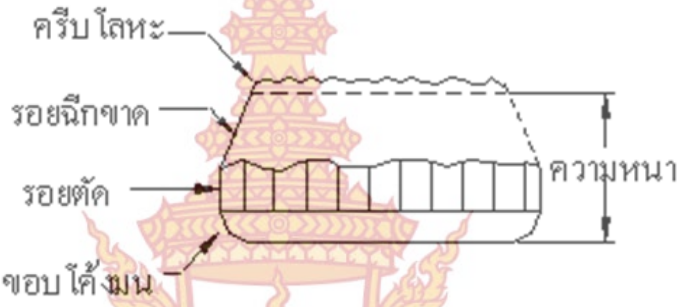


ภาพที่ 2.8 แสดงพันช์และดายในงานแม่พิมพ์ตัด[3]

2.8 อิทธิพลของช่องว่างคมตัดที่มีต่อชิ้นงาน

ผลที่เกิดจากการกำหนดช่องว่างระหว่างคมตัดในลักษณะต่าง ๆ (Effects of Cutting Clearance) ระยะช่องว่างระหว่างพันช์และดายที่เหมาะสมสามารถดูจากสภาพรอยตัดของชิ้นงานได้ดังนี้

2.8.1 กรณีที่ระยะช่องว่างคมตัดเหมาะสม (Optimum Cutting Clearance)

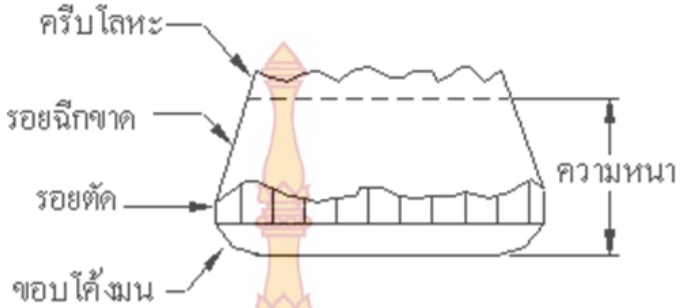


ภาพที่ 2.9 แสดงลักษณะชิ้นงานจากการใช้ระยะช่องว่างคมตัดที่เหมาะสม[4]

จากภาพที่ 2.9 เป็นชิ้นงานหรือเศษที่ได้จากสภาพการตัดที่เหมาะสม จากสภาวะในขั้นตอนแรกของการเปลี่ยนรูป (Plastic Deformation) ระหว่างคมตัดจะเกิดขอบโค้งมน (Edge Radius) ขึ้นที่ขอบของชิ้นงาน รอยตัด (Shear Surface) ซึ่งเป็นแนวเส้นตรงมีลักษณะเงามัน เกิดจากสภาวะตัดในขั้นตอนที่ 2 การกดลึก (Penetration) ความกว้างของรอยตัดจะมีขนาดประมาณ 1 ต่อ 3 ของความหนาวัสดุและสัดส่วนของรอยฉีกขาดเกิดจากปฏิกิริยาการตัดในขั้นตอนที่ 3 จะเป็นลักษณะของรอยตัดหรือการฉีกขาด (Fracture Surface)

2.8.2 กรณีของระยะช่องว่างคมตัดมากเกินไป (Excessive Cutting Clearance)

ผลที่เกิดจากการใช้ช่องว่างคมตัดระหว่างพันช์และดายมากเกินไป จากการเปรียบเทียบจากการใช้ระยะช่องว่างคมตัดระหว่างพันช์และดายให้มากที่สุดเท่าที่จะทำการตัดวัสดุได้นั้น ผลที่ได้จากปฏิกิริยาการตัดในครั้งแรกจะเหมือนการขึ้นรูปมากกว่าการตัด ขอบโค้งมนชิ้นงานจะใหญ่และรอยตัดจะแคบและไม่ราบเรียบสม่ำเสมอมีลักษณะเป็นรอยขรุขระดังภาพที่ 2.10



ภาพ**ที่ 2.10** แสดงลักษณะชิ้นงานจากการใช้ช่องว่างคมตัดที่มากเกินไป[4]

2.8.3 กรณีที่ระยะช่องว่างคมตัดน้อย (Insufficient Cutting Clearance)

ผลที่เกิดจากช่องว่างคมตัดระหว่างพันช์และดายน้อยไป สภาพของรอยตัด จะมีรอย**กว้างไม่**สม่ำเสมอและอาจเกิดขึ้นมากกว่า 2 แห่ง ดังภาพที่ 2.11

ภาพที่ 2.11 แสดงลักษณะชิ้นงานจากการใช้ระยะช่องว่างที่น้อยเกินไป[4]

เนื่องจากมุมที่สูงชันมากเกินไประหว่างพันช์และดาย เป็นอุปสรรคต่อการฉีกขาด**ของวัสดุ**เพิ่มมากขึ้นทำให้ต้องใช้แรงกดในการฉีกเนื้อวัสดุในครั้งแรกสูงกว่าปกติ ถ้า**รอย**แตกขาดยาวออก**ไปแต่ไม่**บรรจบกันทำให้**รอย**ฉีก**ของ**วัสดุไม่สมบูรณ์เกิดขึ้นเป็นบางส่วนเท่านั้น แรงกดที่ยังคงมีอยู่ที่พันช์**จะเป็น**สาเหตุทำให้เกิดรอยฉีก**ขาด**ครั้งที่สองขึ้นผลก็คือครั้งที่สองเกิดขึ้นที่รอยตัดชิ้นงาน

2.8.4 ตำแหน่งพันช์และดายเยื้องศูนย์กัน

จากตำแหน่งของพันช์และดายเยื้องศูนย์กันและกันจะทำให้พันช์และดายจะได้**รับแรงไม่**เท่ากันทุกจุด ทำให้รอยตัดของชิ้นงานมีลักษณะไม่เหมือนกันทุกด้าน คือ ด้านหนึ่งอาจมีลักษ**ณะแบบ**เดียวกับชิ้นงานที่ได้จากการกำหนดช่องว่างคมตัดน้อยเกินไป ส่วนอีกด้านหนึ่งจะเกิดในลักษณะการ

กำหนดระยะช่องว่างคมตัดมากเกินไป ซึ่งจะส่งผลทำให้อายุการใช้งานของพันช์และดายสั้นลงและเป็นตัวบ่งถึงความสามารถของเครื่องจักรและผู้สร้างแม่พิมพ์ตัด ในการติดตั้งแม่พิมพ์ตัดซึ่งสามารถตรวจสอบพบและแก้ไขตำแหน่งการเยื้องศูนย์ได้ระหว่างการใช้งาน

ภาพที่ 2.12 แสดงลักษณะชิ้นงานที่เกิดจากตำแหน่งของพันช์และดายที่เยื้องศูนย์กัน[4]

2.9 กรรมวิธีทางความร้อน (Heat Treatments)[5]

2.9.1 การชุบแข็ง (Hardening)

การอบชุบเหล็กนั้นมีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเหล็กที่ผ่านการผลิตต่าง ๆ มา เช่น การขึ้นรูปร้อน (Forging) การขึ้นรูปเย็น (Cold rolling) การเชื่อม (Welding) เป็นต้น ซึ่งเหล็กที่ผ่านขั้นตอนดังกล่าว จะมีคุณสมบัติไม่ดีหลายประการ ดังนั้นเพื่อเป็นการปรับปรุงโครงสร้างภายในของเหล็กและเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ จึงได้มีการพัฒนากรรมวิธีการอบชุบเหล็ก ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ เป็นการอบชุบความร้อนเพื่อต้อง การให้เหล็กภายหลังการอบชุบมีความแข็งเพิ่มขึ้น เพื่อทนต่อการเสียดสีในขณะใช้งาน การชุบแข็งเป็นวิธีที่จะให้โครงสร้างของเหล็กสุดท้ายเป็นมาร์เทนไซท์ (Martensite) หรือเบนไนท์ (Benite) ขึ้นอยู่ค่าความแข็งสุดท้ายที่เราต้องการ การที่จะทำให้ได้ค่าความแข็งสูงภายหลังการอบชุบนั้น มีองค์ประกอบที่สำคัญอย่างน้อย 3 ประการ คือ

1. ปริมาณคาร์บอน
2. อุณหภูมิก่อนการชุบ
3. อัตราการเย็นตัว

โดยวิธีการชุบแข็งนั้น จะทำการให้ความร้อนกับเหล็กหรือชิ้นงาน จนกระทั่งมีอุณหภูมิประมาณ 800 – 900 องศาเซลเซียส ขึ้นกับชนิดของเหล็ก โดยปกติแล้วอุณหภูมิในการอบชุบจะสูงกว่าเส้น Ac3 ประมาณ 30 – 50 องศาเซลเซียส สำหรับเหล็ก Hypereutectoid Steel เมื่ออบเหล็กได้อุณหภูมิที่ต้องการแล้ว จะปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิดังกล่าวตามความหนาของชิ้นงาน คือ ประมาณ 1 ชั่วโมง ต่อความหนา 1 นิ้ว เพื่อให้มั่นใจว่า ชิ้นงานมีอุณหภูมิเท่ากันทั่วทั้งชิ้นงาน จากนั้นนำไปจุ่มในตัวกลาง (Quenching Media) เช่น น้ำ น้ำมัน หรืออากาศ เพื่อให้ได้ความแข็งและโครงสร้างที่เราต้องการนำไปใช้งาน ในเหล็กเครื่องมือ บางชนิด ค่าความแข็งสูงสุดจะไม่ได้มาจากการอบชุบเพียงครั้ง

เดียวเนื่องจากมีโครงสร้างออสเตนไนท์เหลือค้าง (Retained Austentie) เหลืออยู่ในโครงสร้าง ซึ่งจะทำให้ขาดคุณสมบัติทางด้านความเหนียวจากกรรมวิธีการอบชุบที่กล่าวมา จะต้องนำมาทำการอบชุบอีกครั้ง หรือเรียกว่า การอบคืนตัว (Tempering) เพื่อให้ได้ค่าความแข็ง ความเหนียว และคุณสมบัติทางกลอื่น ๆ ที่เราต้องการ

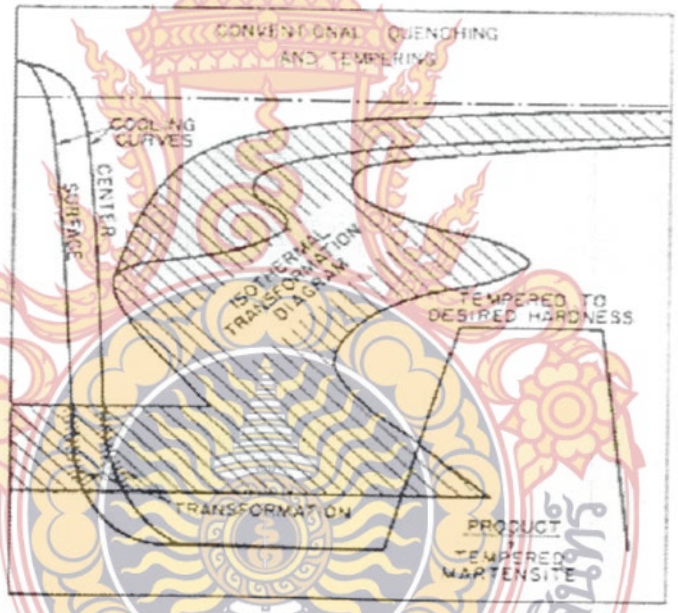
2.9.2 การชุบแข็งเหล็กกล้าแบ่งเป็น 2 วิธี

การชุบแข็งทั้งชิ้นงาน และการชุบผิวแข็ง การชุบแข็งทั้งชิ้นงาน สามารถทำได้โดยการชุบโดยตรงในสารชุบ ซึ่งได้แก่ น้ำ น้ำเกลือ น้ำมัน ก๊าซไนโตรเจน หรืออากาศ ขึ้นอยู่กับชนิดของเหล็กกล้านั้น ๆ การเลือกสารชุบ พิจารณาจากความร้อนในการเย็นตัว ของเหล็กกล้า ขณะชุบลงในสารชุบต้องสูงกว่าอัตราเย็นตัววิกฤตของเหล็กชนิดนั้น ๆ เพื่อให้ได้โครงสร้างมาร์เทนไซดนอกจากนั้นควรคำนึงถึงการเสียรูป การแตกร้าวซึ่งอาจเกิดขึ้นกับชิ้นงานในขณะชุบด้วย ปัจจัยดังกล่าวทำให้ได้ความลึกของผิวแข็ง สำหรับการชุบผิวแข็ง สำหรับการชุบผิวแข็งเป็นการชุบแข็งชิ้นงานเพื่อให้ชิ้นงานมีความแข็งเฉพาะผิว โดยบริเวณแกนกลาง ยังคงความเหนียวอยู่ ชิ้นงานที่ผ่านการชุบจะทนต่อการเสียดสีและสามารถรับแรงกดอัดที่ผิวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผิวที่ผ่านการชุบแข็งยังสามารถป้องกันการแตกร้าวจากความล้าได้ดี การชุบผิวแข็งแบบคาร์บูไรซิ่ง การชุบผิวแข็งแบบคาร์โบไนไตรด์ดิ่ง การชุบผิวแข็งแบบไนไตรดิ่ง ภายหลังชุบแข็ง ต้องทำการตรวจสอบคุณภาพ ชิ้นงานชุบแข็ง ได้แก่ การเกิดออกซิเดชั่นที่ผิว การเสียรูป การบิดตัว การขยายตัว การหดตัวของชิ้นงานชุบแข็ง ได้แก่ การเกิดออกซิเดชั่นที่ผิว การเสียรูปจุลภาค และวัดค่าความแข็งที่เกิดขึ้นด้วย

2.9.3 การอบชุบความร้อนเหล็กกล้าเครื่องมือ (Heat Treatments)

การอบชุบที่ถูกต้องตามหลักวิชาการเป็นแฟคเตอร์ที่มีความสำคัญมากต่ออายุการใช้งานของชิ้นส่วนเครื่องมือที่ทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือ พิจารณาทางด้านราคาค่าอบชุบแล้วจะมีราคาต่ำกว่าราคาเหล็กและการกลึงตัดและเจาะรวมกัน ภายหลังการอบชุบเกิดกรณีแตกร้าวก่อนการใช้งานหรือใช้งานได้ในระยะเวลาสั้นเกินควรเป็นการสูญเสียที่มีผลต่อระบบการผลิตและรวมถึงการประหยัดในขบวนการผลิตเป็นอย่างมาก ยิ่งเป็นประเทศที่ไม่สามารถผลิตเหล็กกล้าเครื่องมือได้เองต้องสั่งจากทางประเทศ ราคาเหล็กกล้าจะสูงและอาจต้องเสียเวลาสั่งจากทางประเทศข้อผิดพลาดที่มาจากการอบชุบจะเกิดได้ทั้งในขณะทำการเผาเหล็กและขณะทำให้เหล็กเย็นตัว เหล็กกล้าเครื่องมือจะไม่ทำการเผาด้วยอัตราสูงเพื่อไม่ให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวภายในสูงเกินไป (Large Temperature Gradient) โดยวิธีการเผาเป็นขั้น ๆ (Pre-Heating) เพื่อเปิดโอกาสให้อุณหภูมิที่ผิวกับใจกลางปรับตัวให้เข้าใกล้ที่สุดก่อนเพิ่มอุณหภูมิให้สูงจนถึงช่วงที่ต้องการ ต้องหลีกเลี่ยงไม่ให้อุณหภูมิที่สูงเกินควร (Over Heating) คือ ปัญหาการเกิดออกซิเดชั่นและสูญเสียคาร์บอนส่วนใหญ่เหล็กกล้าเครื่องมือจะทำการเผาภายในเตาที่ควบคุมบรรยากาศ เพราะชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือส่วนใหญ่จะผ่านการกลึง การไส,การตัด

หรือเจาะจนได้ขนาดใกล้เคียงกับสภาพการใช้งานแล้ว การเกิดอ๊อกซิเดชั่นจะทำให้ขนาดคลาดเคลื่อนได้ และสูญเสียปริมาณคาร์บอนที่ผิวเป็นปัญหาในด้านความแข็งหลังชุบแข็ง สำหรับการชุบ (Quenching Media) สามารถเลือกใช้ได้ตามลักษณะการเย็นตัวที่ต้องการของเหล็ก ซึ่งมีตั้งแต่น้ำ น้ำเกลือ น้ำด่าง น้ำมัน อากาศนิ่ง และลมเป่า ภายหลังการชุบจะไม่ปล่อยให้เหล็กเย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้องจะต้องรับนำเหล็กเข้าเตาอบคืนตัวหรือคลายตัวทันที เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแตกร้าวอันเนื่องมาจากการเกิดความเครียดระหว่างการอบชุบ ยิ่งเป็นเหล็กกล้าผสมคาร์บอนสูงอัตรายจากการแตกร้าวขณะทำการชุบจะมีมาก การอบคลายตัวจะมีผลทำให้ความแข็งลดลงแต่ความเหนียวจะดีขึ้นในเหล็กกล้าเครื่องมือผสมสูงอาจต้องทำการอบคืนตัวหลายครั้ง ในช่วงที่เกิด Secondary Hardening และในบางกรณีจะต้องทำ Stabilisation หรือ Sub – Zero Treatment เพื่อกำจัดหรือลดปริมาณของออสเตนไนท์เหลือค้าง ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนขนาด (Dimension Change) ภายหลังการชุบ ดังแสดงในภาพที่ 2.13

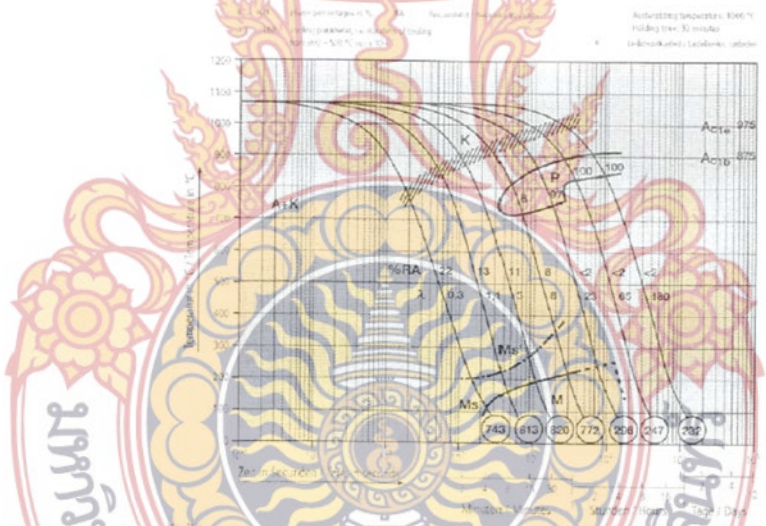


ภาพที่ 2.13 แสดงการอบชุบความร้อนเหล็กกล้าเครื่องมือ (Heat treatments) [5]

2.9.4 การชุบแข็งเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น (Cold work tool steels)

เหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็นได้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มชุบแข็งด้วยน้ำมัน กลุ่มชุบแข็งด้วยอากาศ และกลุ่มที่ผสมโครเมียมสูง และคาร์บอนสูงขั้นตอนในการชุบแข็งเหล็กเครื่องมือ จะมีลักษณะและขั้นตอนเหมือนกันจะมีที่แตกต่างกันบ้างเฉพาะอุณหภูมิ Austenitizing ซึ่งจะสูงเฉพาะในกรณีที่มีธาตุผสมสูงกว่าขั้นคุณภาพอื่น และการชุบอาจจะกระทำโดยการชุบน้ำ เมื่อชิ้นงานมีความหนาหรือขนาดโต ขั้นแรกจะต้องทำการอบคลายตัว (Stress-relief Annealing) ภายหลังการกัดแม่พิมพ์

ก่อนที่จะทำการอบชุบแข็ง ต่อมาจะเป็นการทำ Austenitizing ซึ่งจะเริ่มเป็นขั้น ๆ เช่นเดียวกัน เริ่มตั้งแต่การเผาอุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ในกรณีที่งานชุบแข็งมีความซับซ้อนหรือหนาบางต่างกันมาก ขั้นที่สอง คือ การเผาเตรียมตัวครั้งที่หนึ่ง ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส และเตรียมตัว ครั้งที่ 2 ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส สำหรับเหล็กที่มีส่วนผสมสูงถ้าเหล็กมีธาตุผสมปานกลางการเผาเตรียมตัวครั้งที่ 2 ไม่จำเป็น สามารถเพิ่มอุณหภูมิได้จนถึงอุณหภูมิชุบแข็ง หลังจากปล่อยให้อุณหภูมิเสมอกันทั้งนอกและใจกลางแท่นชิ้นงาน แล้วจึงนำออกทำการชุบในน้ำมันหรือเป่าด้วยอากาศ ถ้าเป็นกรณีทำ Martempering หรือ Austempering จะชุบลงในอ่านเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 500-550 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ในเวลาที่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างสิ้นสุดตามความต้องการ ขั้นนี้จะต้องอาศัยแผนภูมิ T.T.T ของเหล็ก เพื่อกำหนด ระยะเวลาและอุณหภูมิให้ถูกต้อง หลังที่ปล่อยให้เหล็กเย็นตัวลงจนถึงอุณหภูมิประมาณ 150 – 180 องศาเซลเซียสทุก ๆ กรณีของการชุบ เหล็กจะถูกนำไปอบคืนตัวที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส (1 ชั่วโมงต่อความหนา 20 มิลลิเมตร) ตามความแข็งสุดท้ายที่ต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 2.14



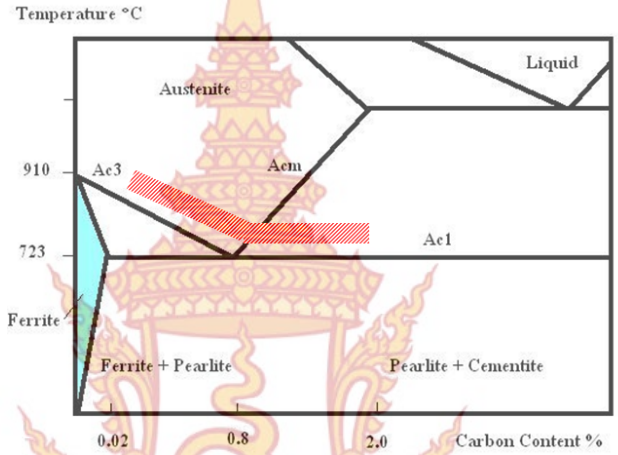
ภาพที่ 2.14 แสดงการชุบแข็งเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น (Cold work tool steels) [5]

2.9.5 กรรมวิธีการทำ Hardening

1. เผาเหล็กให้ร้อนถึงอุณหภูมิประมาณ 800 – 900 องศาเซลเซียส (ขึ้นกับชนิดของเหล็ก)

2. ถ้า C>0.8 เปอร์เซ็นต์ ให้ใช้อุณหภูมิเลยเส้น A3 ประมาณ 50 – 75 องศาเซลเซียส

3. ถ้า C<0.8 เปอร์เซ็นต์ ให้ใช้อุณหภูมิเลยเส้น A1 ประมาณ 50 – 75 องศาเซลเซียส เท่านั้นเมื่อเหล็กกลายเป็น ออสเทนไนท์ แช่อุณหภูมิไว้ประมาณ 1 เซนติเมตร ความหนา 25 มิลลิเมตร เอาออกจากเตาทำให้เย็นโดยเร็ว ด้วยการจุ่มในน้ำ (Water Quench) หรือในน้ำมัน (Oil Quench)สิ่งที่เกิดขึ้น ออสเทนไนท์เปลี่ยนกลับเป็นเฟอร์ไรท์และเพิรไลท์ไม่ทัน แต่ให้โครงสร้างที่มีความแข็งสูง เรียก มาร์เทนไซต์ ดังแสดงในภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 กราฟแสดงกรรมวิธีการทำการชุบแข็ง (Hardening) [5]

2.9.6 อัตราการเผาและช่วงเวลาที่เหมาะสม

2.9.6.1 อัตราการเผาช้า เผาเหล็กให้ร้อนไปพร้อม ๆ กับเตา อุณหภูมิของเหล็กจะต่ำกว่าเตาเพียงเล็กน้อย (ดูภาพ) เหมาะกับชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนและมีส่วนหนาบางต่างกัน

2.9.6.2 อัตราการเผาสูงบรรจุเหล็กเข้าเตาที่มีอุณหภูมิที่ต้องการ โดยพบว่าเหล็กจะมีอุณหภูมิที่ต่างกันมากตอนเริ่มต้นจากนั้นจะเท่ากัน โดยใช้เวลาน้อยกว่าอัตราการเผาช้า เหมาะกับชิ้นงานที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อน และมีปริมาณคาร์บอนปานกลางสามารถลดความต่างของอุณหภูมิโดยบรรจุเหล็กไว้ในหีบปิดคลุมมิดชิดก่อนบรรจุเข้าเตา

2.9.6.3 อัตราการเผาที่สูงมาก ไม่ค่อยนิยม เพราะอุณหภูมิระหว่างผิวกับใจกลางต่างกันมาก ซึ่งอาจทำให้เหล็กบิดเบี้ยวหรือแตกร้าวได้ ซึ่งสามารถลดความต่างของอุณหภูมิโดยบรรจุเหล็กไว้ในหีบปิดคลุมมิดชิดก่อนบรรจุเข้าเตาเช่นกัน

2.9.6.4 ต้องมีอัตราการเย็นตัวที่สูงกว่าอัตราการเย็นตัววิกฤต

2.9.6.5 มีอัตราการเย็นตัวที่ช้าลงในช่องอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงจาก Austenite ไปเป็น Martensite (ประมาณ 200 – 400 องศาเซลเซียส) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเครียดภายในจนเกิดการบิดงอ หรือแตกร้าว เสียหายได้

2.9.6.6 ของเหลวสำหรับการชุบแข็งที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ น้ำ , น้ำเกลือ, น้ำด่าง, เกลือละลาย และอากาศ

2.9.6.7 การถ่ายเทความร้อนที่ของเหลวเป็นไอเมื่อสัมผัสแท่งเหล็กร้อน แบ่งเป็น 3 ลักษณะของเหลวที่สัมผัสกับแท่งเหล็กร้อนจะกลายเป็นไอหุ้มเหล็กไว้ในลักษณะฟิล์มบาง ๆ การถ่ายเทความร้อนช่วงนี้จะช้า แต่จะอยู่ในระยะสั้น ๆ

2.9.6.8 ฟิล์มบาง ๆ ที่หุ้มอยู่แตกออก ของเหลวสัมผัสกับแท่งเหล็ก จะเดือดและกลายเป็นไอ มีลักษณะเหมือนการกวน ขั้นนี้อัตราการเย็นจะสูงมาก

2.9.6.9 อัตราการเย็นตัวช้าลง เพราะแท่งเหล็กเย็นน้อยลง ของเหลวมีอุณหภูมิลดลงต่ำกว่าจุดเดือดความร้อน จึงถ่ายเทออกไปโดยการพาด้วยของเพียงอย่างเดียวอัตราการเย็นตัวจะลดลงจนถึงจุดที่ของเหลวกับแท่งเหล็กมีอุณหภูมิเท่ากับ ดังแสดงในภาพที่ 2.16

ภาพที่ 2.16 แสดงอัตราการเผาและช่วงเวลาที่เหมาะสม[6]

2.9.7 Tempering (การอบคืนตัว)

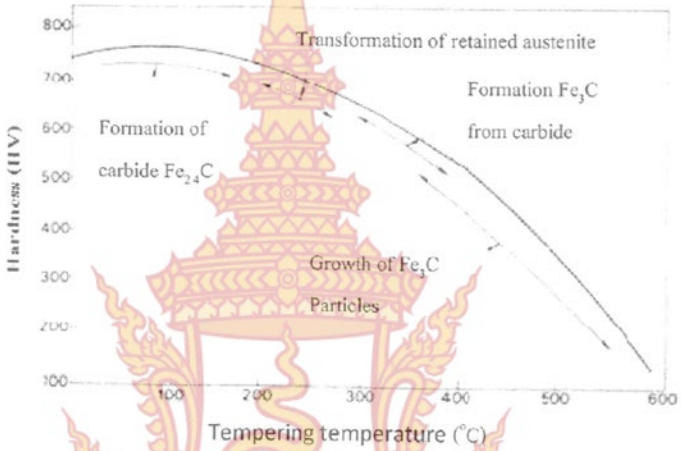
การอบเพื่อให้เหล็กมีคุณสมบัติเหมาะในการใช้งาน ลดความเครียด เพิ่มความเหนียวลดความเปราะลง วัตถุประสงค์ของการอบเพื่อให้คืนตัวเนื่องจากเหล็กที่ผ่านการชุบย่อมเกิดความเครียดขึ้นภายในถึงความแข็งเพิ่มขึ้นแต่ขาดความเหนียว (Ductility) ทำให้เปราะหลังจากชุบแข็งแล้วจึงต้องนำมาอบ Tempering ก่อนนำไปใช้งานจริง

2.9.8 กรรมวิธีการทำ tempering มีดังต่อไปนี้

2.9.8.1 นำเหล็กที่ผ่านการชุบแล้วเผาในเตา อุณหภูมิประมาณ 200 – 400 องศาเซลเซียส

2.9.8.2 แช่เหล็กทิ้งไว้ในเตา 1-3 ชั่วโมง

2.9.8.3 เอาออกจากเตา ปล่อยให้เย็นในอากาศธรรมดา ดังแสดงในภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.17 แสดงค่าความแข็งที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบคืนตัว[6]

2.9.9 การเปราะเนื่องจากการอบคืนตัว (Tempered Brittleness)

2.9.9.1 การอบคืนตัวจะทำให้สมบัติด้านความเหนียวดีขึ้น แต่ช่วงอุณหภูมิ 300-500 องศาเซลเซียส จะได้ทำให้คุณสมบัติ ทนแรงกระแทก (Impact Strength) ลดลง

2.9.9.2 เหล็กกล้าคาร์บอนจะเกิดการเปราะเล็กน้อย

2.9.9.3 เหล็กกล้าผสม (โดยเฉพาะ Mn} Cr และ Mo) จะปรากฏชัดเจน

2.9.9.4 สาเหตุจาก เกิดการตกผลึกของคาร์บอนร์ไบด์ที่มาจาก Martensite หรือ จากการที่ Martensite แตกตัวควรหลีกเลี่ยง อุณหภูมิดังกล่าว หรือใช้เวลาน้อยที่สุดในช่วงนี้

2.10 กรรมวิธีการตัดเฉือน (Conventional Blanking Process)

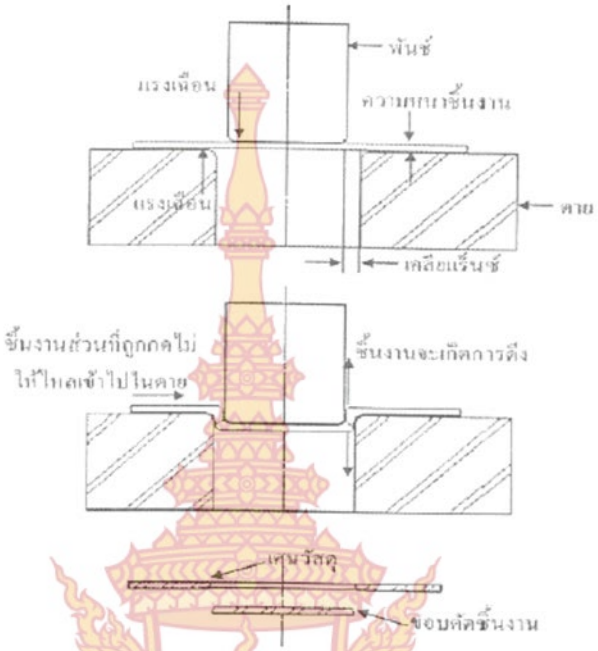
2.10.1 หลักการของงานตัด (Blanking Mechanism)

การตัดโลหะโดยการใช้พันช์ (Punch) และดาย (Die) นั้น แผ่นชิ้นงานจะถูกตัดด้วยคมตัดสองส่วนคือ คมตัดของพันช์ซึ่งเป็นคมตัดด้านใน (Inner Cutting Edge) และคมตัดของดายซึ่งเป็นคมตัดด้านนอก (Outer Cutter Edge) ซึ่งจะทำการกดโลหะจนมีค่าความเค้นดึงสูงกว่าความแข็งแรงสูงสุดของชิ้นงาน (Ultimate Strength) ทำให้ได้รูปร่างของชิ้นงานเป็นไปตามขนาดรูปร่างของดาย โดยปกติระหว่างขอบคมตัดด้านในและขอบคมตัดด้านนอกจะมีช่องว่างเล็ก ๆ เรียกว่า เคลียแร็นซ์ (Clearance) ซึ่งจะทำให้โลหะขาดออกจากกัน ดังภาพที่ 2.18

ภาพที่ 2.18 แสดงแผ่นปลดชิ้นงาน (Stripping Plate) [7]

2.11 การวิเคราะห์การตัด

ในการตัดโลหะแผ่น แรงที่ให้แก่พันช์และดายเพื่อใช้ในการตัดโลหะเรียกว่า แรงเฉือน (Shear Force) แรงนี้จะมีขนาดเท่ากันและอยู่ตรงข้ามกันโดยมีช่องว่างอยู่ขั้นกลางระหว่างแรงทั้งสอง ดังแสดงในภาพที่ 2.19 เมื่อมีแรงมากระทำต่อโลหะจะทำให้เกิดความเค้นเฉือน (Shear Streess) ถ้าให้แรงกดตัดมีขนาดมากพอจะ ทำให้เกิดความเค้นเฉือนมากกว่าความแข็งแรงเฉือนของโลหะ โลหะก็จะขาดออกจากกัน



ภาพที่ 2.19 แสดงรูปแบบของการตัดโลหะของพันช์และดาย[7]

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแม่พิมพ์ตัด

K. Mori, Y. Abe, Y. Kidoma, P. Kadarno [8] ได้ศึกษาช่องว่างคมตัดระหว่างพันช์และดายในกระบวนการตัดเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เพื่อพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพของชิ้นงาน โดยกำหนดให้ค่ารัศมีของขอบตัดแตกต่างกันคือ ค่า R=0 mm, R=0.13 mm และ R=0.33 mm วัสดุที่ทดลองตัดคือเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด JSC780Y, JSC980Y และ JSC1180Y วัสดุทำดายคือเหล็กกล้า SKD11 วัสดุทำพันช์คือเหล็กกล้า SKH51 มีขนาด ∅ 10 mm ผ่านการเคลือบผิวด้วย TiAlN ช่องว่างคมตัดมีค่า 0.8%t และความเร็วในการปั๊มตัด 0.03 mm/s ซึ่งผลการทดลองพบว่ารัศมีขอบตัด R=0.13 mm มีประสิทธิภาพในการตัดดีที่สุด

Rajiv Shivpuri, Siddarth Singh, Kuldeep Agarwal, Chun Liu [9] ได้ศึกษาการสึกหรอของพันช์ในการตัดชิ้นงานที่ต้องการความเที่ยงตรงมากๆ วัสดุที่ใช้ทดลองเป็นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงแตกต่างกัน 4 เกรด คือ HSLA350, DP600, Dp780 และ TRIP780 ซึ่งการสึกหรอของแม่พิมพ์เป็นปัญหาสำคัญในกระบวนการตัดเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการทดสอบและเปรียบเทียบผลกับแบบจำลองเชิงตัวเลข โดยตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองตัดเช่น ช่องว่างคมตัดระหว่างพันช์และดายมีค่า 0.005 mm, ∅ ของพันช์ 3.175 mm, วัสดุที่ใช้ทำพันช์คือ M2 มีค่าความ

แข็ง 62 HRCความหนาของชิ้นงาน 1 mm ผลจากการทดลองพบว่าการสึกหรอของพันช์และกลไกการแตกจากการตัดเฉือนมีความสัมพันธ์อย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงตัดและพลังงาน และมุมของพันช์ที่สึกหรอมากขึ้นมีผลให้ความสูงของครีบเพิ่มขึ้น

Hyunwoo So, Dennis Famann, Hartmut Hoffmanna, Roland Golle, Mirko Schaper [10] ได้ศึกษากระบวนการปั๊มตัดเหล็กกล้าโบรอนผสม 22MnB5 จากกระบวนการปั๊มขึ้นรูปร้อน ที่นิยมผลิตในอุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งในการขึ้นรูปวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงจะทำให้แม่พิมพ์ตัดและเจาะรูมีการสึกหรออย่างรวดเร็วและค่าใช้จ่ายในการซ่อมแม่พิมพ์มีราคาสูง จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้คือการพัฒนากระบวนการตัดเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงที่ประหยัดและช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือ ด้วยการตัดเหล็กกล้าโบรอนผสม 22MnB5 ความหนา 1.7 mm. ทำการศึกษาคุณภาพขอบตัดชิ้นงานและการสึกหรอของแม่พิมพ์ โดยการทดลองปั๊มตัดชิ้นงานแบบร้อนช่วงอุณหภูมิ 400-700 $^{\circ}$C กำหนดให้ช่องว่างคมตัดมีค่า 5%t, 10%t, 15%t, 20%t และ 25%t ความเร็วในการตัด 60 mm/s ซึ่งผลจากการทดลองสามารถยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ และลดแรงในการตัดลงได้

Soumya Subramonian, Taylan Altan, Bogdan Ciocirlan, Craig Campbell [11] ช่องว่างคมตัดระหว่างพันช์และดายเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่ออายุของแม่พิมพ์และคุณภาพของชิ้นงานในการตัดโลหะแผ่น การเลือกค่าช่องว่างคมตัดที่เหมาะสมสามารถลดการสึกหรอของแม่พิมพ์ลงได้ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงวัสดุและความหนาของโลหะแผ่นที่เป็นชิ้นงานมีรูปร่างทรงกลม และไม่เป็นทรงกลมจะพบทั่วไปในงานอุตสาหกรรม งานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาผลกระทบของแม่พิมพ์ในการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรูปร่างแตกต่างกัน โดยการวิเคราะห์ด้วยระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ DEFORM 2D/3D วัสดุทดลองคือเหล็กกล้า AISI1010, SS301 และ C5110 วัสดุในการทำพันช์และดายคือเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI D2 กำหนดให้ช่องว่างคมตัดแตกต่างกันคือ 5% ถึง 20%

O¨mer Necati Cora, Muammer Koc [12] ได้ศึกษาลักษณะของการสึกหรอจากการเลือกใช้วัสดุทำแม่พิมพ์ที่แตกต่างกัน สำหรับการปั๊มขึ้นรูปเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เกรด DP600 ที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งชิ้นส่วนและโครงสร้างต้องมีน้ำหนักเบา อย่างไรก็ตามก็มีข้อจำกัดในการขึ้นรูปและเกิด Spring Back ได้สูง เนื่องจากที่ผิวเกิดความแข็ง และเกิด Work hardening มากขึ้น ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุทำแม่พิมพ์ที่ดีขึ้น การเคลือบผิว การใช้สารหล่อลื่น เพื่อลดการสึกหรอสำหรับการปั๊มขึ้นรูปเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลการสึกหรอจากวัสดุทำแม่พิมพ์ 7 ชนิดคือ (AISID2, Vanadis4, Vancron40, K340ISODUR, Caldie, Carmo, 0050A) ทำ

การทดสอบการสึกหรอกับวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ผลการทดลองสรุปได้ว่าวัสดุทำแม่พิมพ์แต่ละชนิดมีความสามารถในการต้านทานการสึกหรอแตกต่างกัน และมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าเครื่องมือธรรมดา

Gang Fang, Pan Zeng, Lulian Lou [13] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลช่องว่างคมตัดระหว่างพันช์และดายที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของแม่พิมพ์ตัด ซึ่งจะทำการเก็บผลการทดลองในรูปของแรงตัด ความเที่ยงตรงและคุณภาพของรอยตัดชิ้นงาน โดยใช้โปรแกรมทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์จำลองการทำงาน ในการทดลองกำหนดชนิดวัสดุชิ้นงานเป็น Aluminum Alloy 2040 ความหนา 1 มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดาย 20 mm. และกำหนดขนาดของพันช์ เพื่อให้ได้ค่าระยะห่างระหว่างคมตัด 0, 0.05, 0.1, 0.15 และ 0.2 mm. หรือ 0%, 5%, 10%, 15% และ 20% ตามลำดับ ผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบแรงตัดที่ระยะห่างคมตัดมากจะให้ค่าแรงตัดต่ำที่สุด และที่ระยะห่างคมตัดน้อยจะให้ค่าแรงตัดสูงที่สุด ค่าของแรงตัดจะเริ่มคงที่เมื่อค่าช่องว่างคมตัดถึงที่ 20% ของความหนาชิ้นงาน ในส่วนของชิ้นงานลักษณะของรอยตัดเฉือนที่ชิ้นงานจะเกิดเป็น 4 ลักษณะ คือส่วนโค้งมน (Die Roll) ส่วนการตัดเฉือน (Shear Zone) ส่วนการแตก (Fracture) และส่วนของการเกิดครีบ (Burr High) จากการทดลองที่ระดับของช่องว่างคมตัดทั้ง 5 ระดับ สรุปได้ว่าระยะห่างคมตัดมีผลต่อลักษณะของรอยตัดเฉือนชิ้นงาน คือ กรณีที่ระยะช่องว่างคมตัดมากชิ้นงานจะเกิด ส่วนโค้งมน ส่วนการแตก และเกิดครีบสูง แต่จะเกิดส่วนการตัดเฉือนน้อย

S.K.Maiti และคณะ [14] ทำการศึกษาพฤติกรรมการตัดชิ้นงานที่มีความหนาน้อยๆ (0.1-1.0 มม.) โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ จำลองการทำงานและเก็บผลการทดลอง ในการทดลองนี้จะทำการศึกษาอิทธิพลของช่องว่างคมตัดระหว่างพันช์และดาย แรงเสียดทาน ความหนาชิ้นงาน ขนาดชิ้นงาน และลักษณะรูปร่างของชิ้นงาน เพื่อจะศึกษาผลของลักษณะของรอยตัดชิ้นงาน และแรงตัด โดยกำหนดปัจจัยการทดลองดังนี้ ให้ความหนาชิ้นงาน 1 mm. ระยะห่างคมตัด 0, 10 และ 20% ของความหนาชิ้นงาน ค่าสัมประสิทธ์ความเสียดทาน 0.15 ชิ้นงานเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ จากผลการทดลองสรุปได้ว่าระยะห่างของคมตัดมีผลต่อแรงตัดของชิ้นงาน คือที่ระยะช่องว่างของคมตัดน้อยจะใช้แรงตัดชิ้นงานสูง และที่ระยะช่องว่างของคมตัดมากจะใช้แรงตัดชิ้นงานต่ำกว่า และแรงตัดจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระยะการกดลึกมากขึ้น จากผลการทดลองนี้ผู้วิจัยสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้ คือ ค่าของแรงตัดจะมีค่าสูงที่ระยะช่องว่างคมตัดน้อย และค่าระยะช่องว่างคมตัดในช่วง 0-20% ของความหนาชิ้นงานจะไม่มีผลต่อขนาดของชิ้นงานที่ได้ และแรงตัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าสัมประสิทธ์ความเสียดทานเพิ่มขึ้นเนื่องการ

เสียดสีที่เกิดขึ้นสูง ระหว่างพันช์ ดาย และชิ้นงาน ที่อัตราส่วนขนาดความโตต่อความหนาของชิ้นงานจะสามารถลดแรงตัดได้ และที่ระยะห่างคมตัดประมาณ 10 % ของความหนาชิ้นงานจะเหมาะสมที่สุด เนื่องจากคุณภาพของชิ้นงานที่ได้มีคุณภาพดีที่สุด

X.Z. Wang และ S.H Masood [15] ได้ศึกษารัศมีโค้งของแม่พิมพ์ที่มีผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอของกระบวนการขึ้นรูปเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ซึ่งเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงได้ถูกนำมาใช้มากขึ้นในการปั๊มตัดรูปโลหะแผ่น นั้นคืออุตสาหกรรมรถยนต์ เมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าทั่วไปในการปั๊มขึ้นรูปเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงจะทำให้เกิดความเค้นที่สูงระหว่างแม่พิมพ์กับโลหะแผ่น ส่งผลต่อการสึกหรอที่รุนแรงโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่รัศมีของแม่พิมพ์ (Die) การพัฒนาความสามารถในการทำนายผลได้อย่างถูกต้องจะช่วยลดการสึกหรอของแม่พิมพ์ได้อย่างมีศักยภาพ ในระหว่างขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์มีความสำคัญมากเพราะจะช่วยลดเวลาและลดต้นทุนในการผลิตลง ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงผลกระทบรูปทรงทางเรขาคณิตของแม่พิมพ์ เมื่อทำการขึ้นรูปโลหะแผ่นที่มีผลต่อการสึกหรอ มากกว่าการใช้วิธีเชิงตัวเลขและการทดลอง โดยแบบจำลองการสึกหรอของแม่พิมพ์ ได้ศึกษาถึงรูปทรงทางเรขาคณิตแบบต่างๆ ของแม่พิมพ์ที่เป็นทรงมาตรฐานมีทั้งทรงกลม วงรี การศึกษาเชิงตัวเลขและปริมาณการสึกหรอ การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นที่สัมผัสกับรัศมีแม่พิมพ์ ผลจากการทดลองพบว่าอิทธิพลรัศมีของแม่พิมพ์แบบต่างๆ มีผลต่อการสึกหรอของชิ้นส่วนรถยนต์สมัยใหม่ โดยการใช้รูปทรงทางเรขาคณิตของแม่พิมพ์ที่ผสมกันคือทรงกลมและวงรี

Zafer Tekiner, Muammer Nalbant, Hakan Gurun [16] ได้ศึกษาผลกระทบของช่องว่างคมตัดที่แตกต่างกัน 6 ระดับคือ 0.009 mm, 0.064 mm, 0.12 mm, 0.175 mm, 0.231 mm และ 0.285 mm. ในกระบวนการตัดอลูมิเนียมแผ่นซึ้งมีความหนา 0.8 mm, 1 mm และ 1.5 mm. โดยในการทดลองตัดใช้ดายรูปทรงกลมขนาด ∅ 6 mm, 8 mm, 10 mm และ 12 mm. ผลจากการทดลองพบว่าการเกิดครีบ ความเรียบของชิ้นงาน และแรงที่ใช้ในการตัด มีผลมาจากค่าช่องว่างคมตัดที่แตกต่างกัน

J.J. Hern´andez, P. Franco, M. Estrems, F. Faura [17] ได้ทดลองถึงผลกะทบของการสึกหรอของแม่พิมพ์จากกระบวนการปั๊มตัดเหล็กกล้าสเตนเลส AISI304 ความหนา 1 mm. โดยปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อลักษณะคุณภาพและความเที่ยงตรงของชิ้นงาน ซึ่งสามารถพบได้ที่ผิวของขอบตัดจะมีความสัมพันธ์กับการสึกหรอของแม่พิมพ์และตัวแปรของกระบวนตัด งานวิจัยนี้ได้นำเสนอผลกระทบของ

การสึกหรอของแม่พิมพ์จากกลไกการตัดเฉือน ตัวแปรคือช่องว่างคมตัดระหว่างพันช์และดายที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 5%, 8%, 11% และ 14% พันช์ทำจากเหล็กกล้า AISI A2 ขนาด ∅ 6 mm และ 8 mm. โดยในการทดลองได้วัดคุณภาพของชิ้นงานคือส่วนโค้งมน ความลึกของรอยแตก และความสูงของครีบ ด้วยกล้อง SEM.

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาคุณภาพขอบตัดของวัสดุที่มีความแข็งสูง High Tensile steel ของกระบวนการตัดขอบ (Trimming) เพื่อวัดส่วนต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับขอบตัดของชิ้นงาน คือ ส่วนของการเกิดโค้งมน (Edge Radius) ส่วนเรียบตรง (Shear Surface) รอยฉีกขาด (Fracture Surface) และครีบ (Burr) ที่ได้จากการทดลอง ทำการวิเคราะห์ผลเพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ดีและเหมาะสมกับกระบวนการตัดขอบ ซึ่งมีขั้นตอนการวิจัยดังนี้

1. เครื่องและอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินการวิจัย
2. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย
3. การเก็บผลและเปรียบเทียบผลการทดลอง

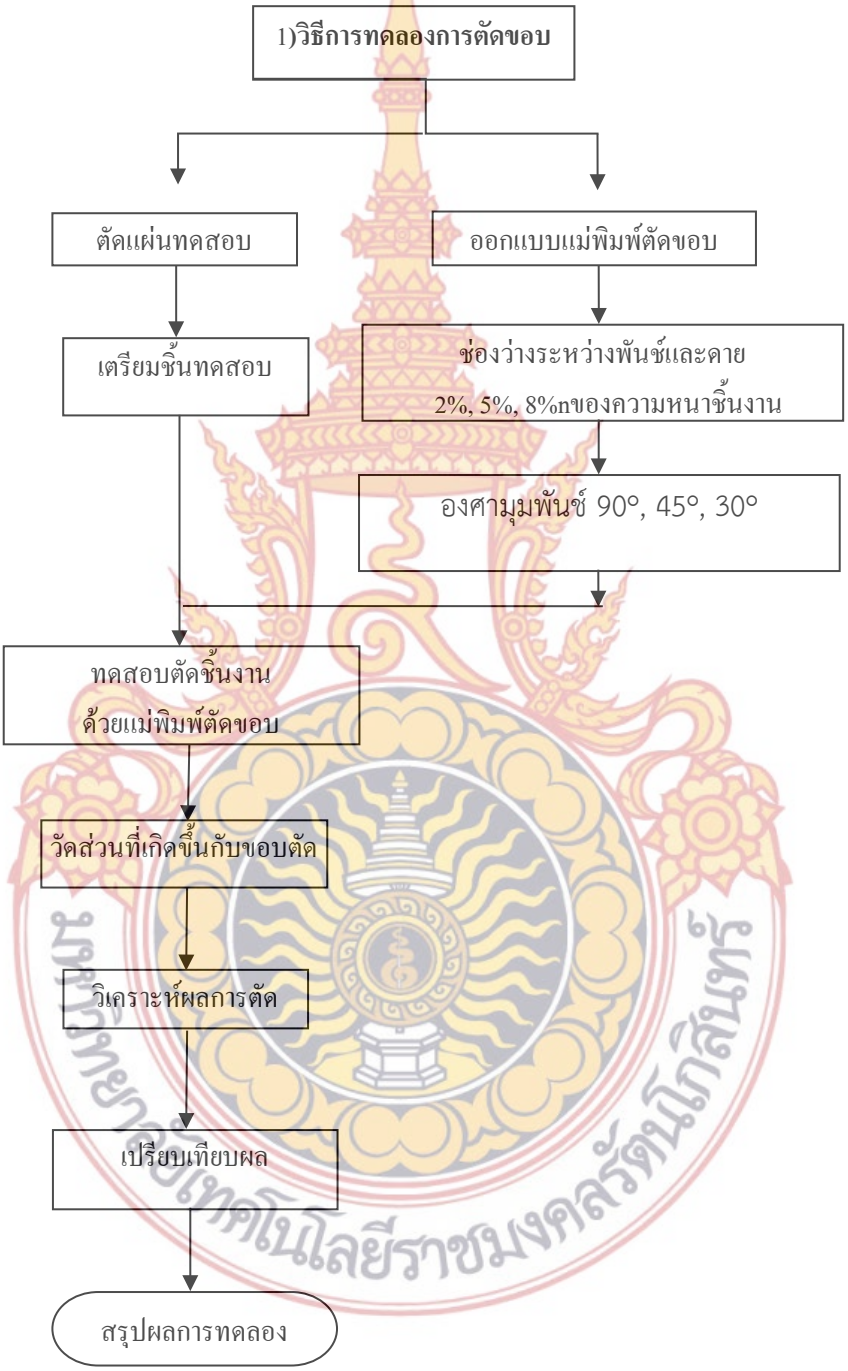
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินการวิจัย

1. เครื่องเพรสแบบ Eccentric press ขนาด 60 ตัน	1	เครื่อง
2. แม่พิมพ์ในกระบวนการตัดขอบ	1	ชุด
3. กล้องจุลทรรศน์ Optical Microscopes	1	ชุด
4. เครื่องขัดชิ้นงานแบบจานหมุน	1	ชุด
5. เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบ	1	ชุด
6. คอมพิวเตอร์และปริ้นเตอร์	1	ชุด
7. โปรแกรมช่วยในการออกแบบ	1	โปรแกรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

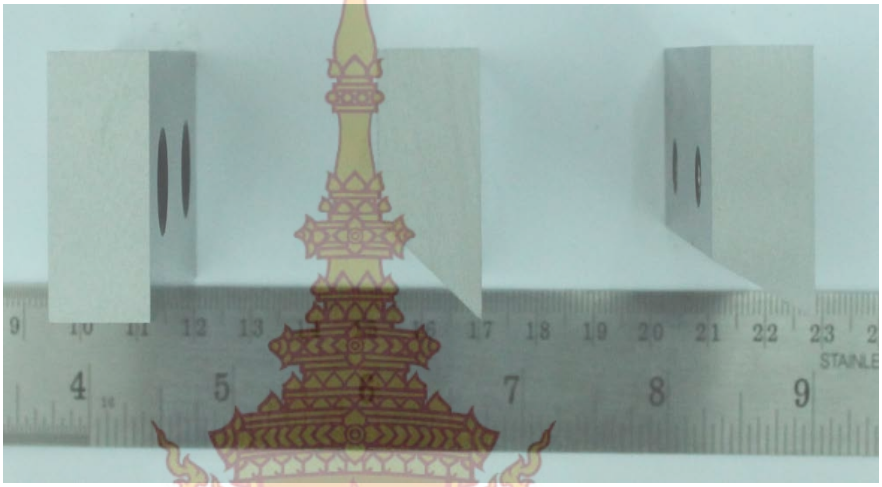
การดำเนินการวิจัยเป็นการจำลองการตัดขอบด้วยแม่พิมพ์โดยจัดลำดับขั้นตอนการทำงาน ดังแผนภาพที่ 3.1 นี้

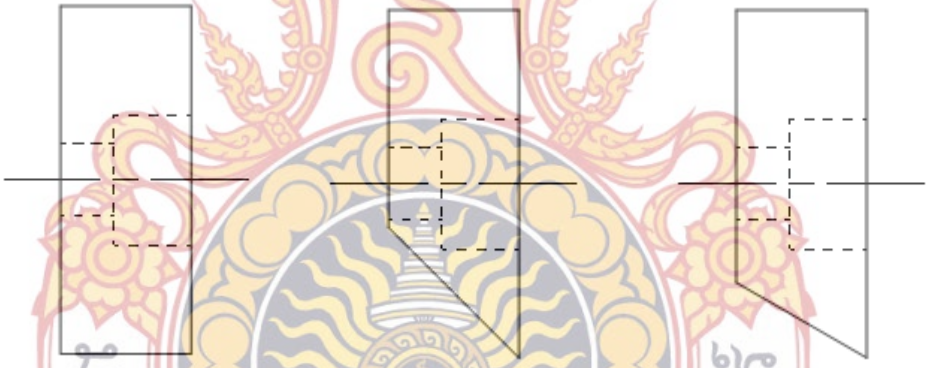


ภาพที่ 3.1 แผนภาพการดำเนินการวิจัยการศึกษากระบวนการตัดขอบเหล็กกล้าความแข็งสูง SPFC440

จากแผนภาพการดำเนินการวิจัยทั้งสองส่วนสามารถแสดงรายละเอียดมีขั้นตอนดังนี้

1. ออกแบบให้สามารถถอดเปลี่ยนชุดพันช์(Punch) และดาย(Die) ได้เพื่อสะดวกต่อการปรับเปลี่ยนขนาดของพันช์ ดังภาพที่ 3.2 ซึ่งพันช์และดายผ่านกระบวนการชุบแข็งโดยมีความแข็งเท่ากับ 60±1HRC

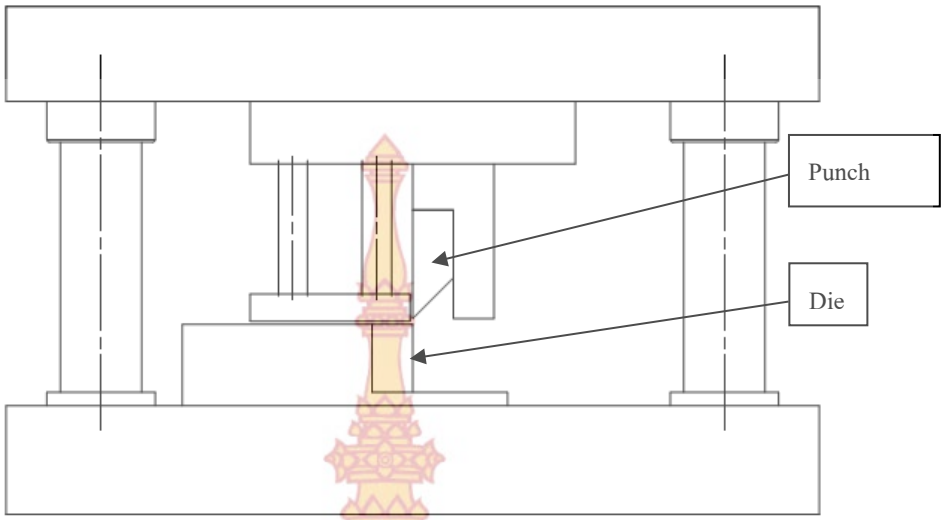




ก. องศามุมพันช์ 90° ข. องศามุมพันช์ 30° ค.องศามุมพันช์ 45°

ภาพที่ 3.2 ลักษณะพันช์ในการทดลอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์



ภาพที่ 3.3 ชุดแม่พิมพ์ตัดที่ใช้ในการทดลอง

2. ในการออกแบบแม่พิมพ์ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ขนาดช่องว่างระหว่างพันช์และดาย 2%, 5%, และ8% ของความหน้าชิ้นงาน 1 มิลลิเมตรโดยที่คำนวณได้จากสมการ

$$cl = \%cl \times t \qquad (3.1)$$

เมื่อ

%cl = เส้นผ่านศูนย์กลางของพันช์ (Punch)

t = ความหนาของชิ้นงาน

cl = ช่องว่างระหว่างพันช์และดาย

ตารางที่ 3.1 ขนาดของพันช์ที่ใช้ในการทดลอง

ระยะช่องว่างระหว่างพันช์และดาย (%)	ขนาดของช่องว่างสำหรับตัดชิ้นงาน 1 มม. (มม.)
2	0.02
5	0.05
8	0.08

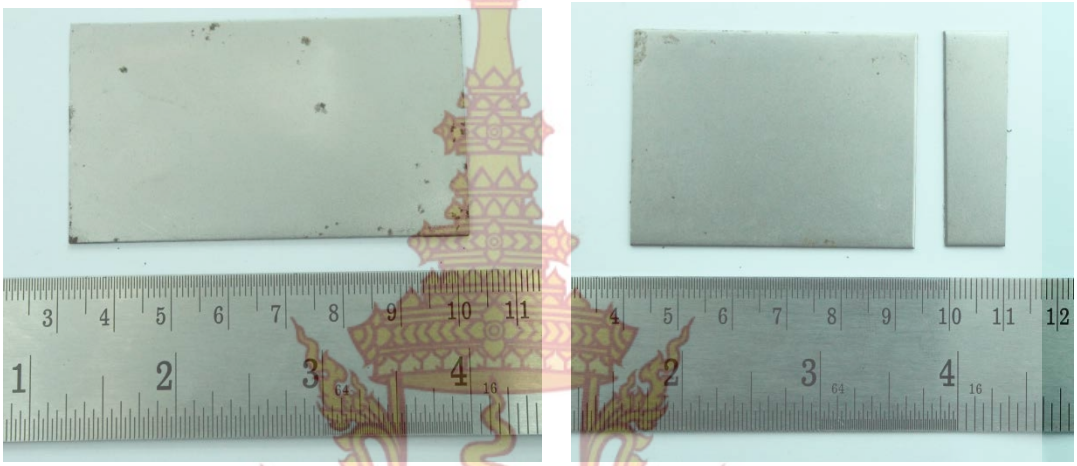
3. การคำนวณหาแรงตัดเพื่อเลือกใช้เครื่องในการตัดชิ้นงาน สามารถคำนวณจากสมการ สมการ ซึ่งจะใช้เครื่องเพรสแบบ Eccentric press ขนาด 60 ตัน

$$F_s = k_S.\pi.d.t \ [N] \quad (3.2)$$

การคำนวณหาแรงปลดชิ้นงานสามารถคำนวณจากสมการ

$$F_s = \text{เปอร์เซ็นต์แรงที่ใช้ปลดชิ้นงาน} \times F \quad (3.3)$$

4. วัสดุที่ใช้ในการทดลองเป็นวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง SPFC 440 ขนาดความหนา 1 มิลลิเมตร



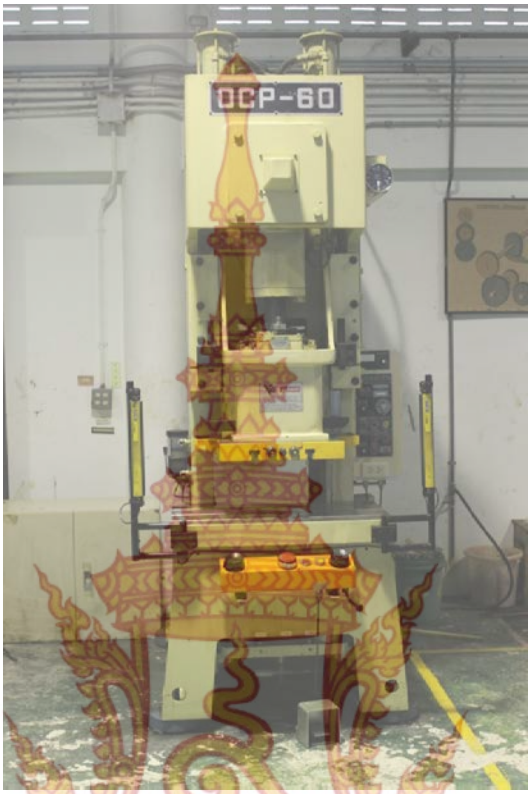
ก. ชิ้นงานก่อนทำการทดลองตัด ค.ชิ้นงานหลังทำการทดลองตัด

ภาพที่ 3.5 ลักษณะการเตรียมชิ้นงาน

5. เครื่องปั้มชิ้นงานแบบเพลาข้อเหวี่ยง ในการทดลองใช้เครื่องปั้มแบบเพลาข้อเหวี่ยง ขนาด 60 ตัน เป็นเครื่องปั้มแบบ C-Frame open back มีช่องคายเศษทางด้านหลัง แสดงดังภาพที่ 3.6

- MFG. NO.	A80897	
- MFG. DATE	2008-10	
- CAPACITY	60	ตัน
- RATING POINT	4	มิลลิเมตร
- STROKE NO	35-90	มิลลิเมตร
- STROKE	120	มิลลิเมตร
- DIE HEIGNT	300	มิลลิเมตร
- SLIDE ADJUSTMENT	75	มิลลิเมตร
- SLIDE AREA (LRXFB)	500 X 380	มิลลิเมตร
- BOLSTER AREA (LRXFB)	900 X 500	มิลลิเมตร
- MAIN MOTOR	VS 5.5	KW 4 P.

- MACHIINE WEIGHT 4.6 ตัน



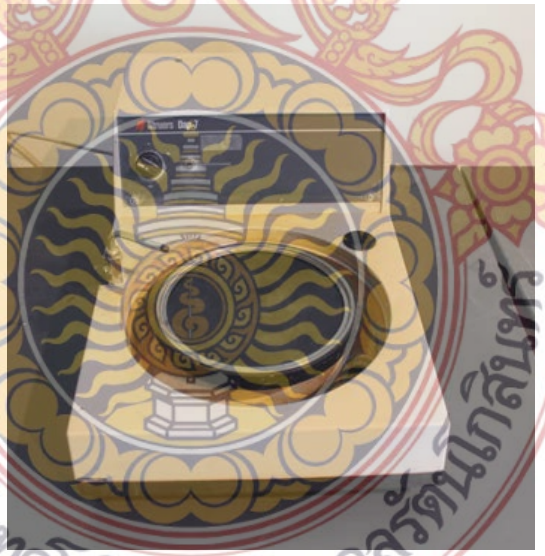
ภาพที่ 3.6 เครื่องปั๊มชิ้นงานแบบเพลาข้อเหวี่ยง

6. เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบเป็นเครื่องสำหรับตัดชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบซึ่งมีความละเอียดในการตัดและทำการขัดด้วยเครื่องขัด แสดงภาพที่ 3.7

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ภาพที่ 3.7 เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบ

7. เครื่องขัดชิ้นงานแบบจานหมุน เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการขัดผิวชิ้นงานให้มีความเรียบผิวที่ละเอียด เพราะเครื่องขัดชิ้นงานแบบจานหมุนสามารถเปลี่ยนแผ่นขัดได้ ตั้งแต่แผ่นขัดแบบหยาบไปจนถึงแผ่นขัดแบบละเอียดที่สุด แสดงดังภาพที่ 3.8 จนสามารถนำชิ้นงานไปทำการส่องกล้องจุลทรรศน์ Optical Microscopes



ภาพที่ 3.8 เครื่องขัดชิ้นงานแบบจานหมุน

8. กล่องจุลทรรศน์ Optical Microscopes ในการวัดส่วนที่เกิดขึ้นของขอบชิ้นงานในกระบวนการตัดและเพื่อความแม่นยำสามาถบอกถึงลักษณะของขอบตัด คือ ส่วนโค้งมน ส่วนเรียบตรง รอยฉีกขาด และครีบ ได้อย่างชัดเจน แสดงดังภาพที่ 3.9

ภาพที่ 3.9 กล้องจุลทรรศน์ Optical Microscopes

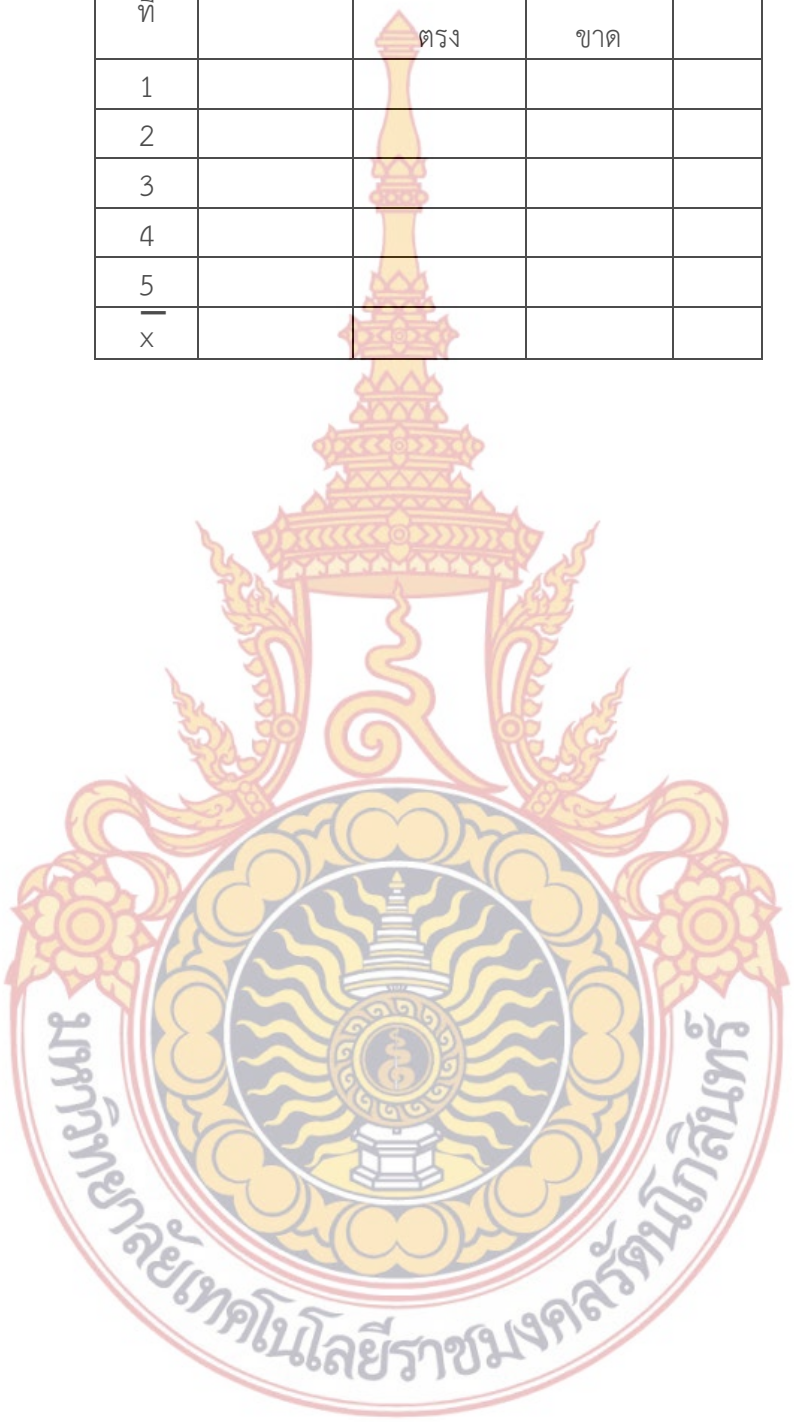
3.3 การเก็บผลและเปรียบเทียบผลการทดลอง

บันทึกค่าขอบตัดของชิ้นงานที่ได้จากการทดลองโดยใช้เครื่อง Optical Microscopes โดยนำเอาชิ้นงานที่ได้ในแต่ละชิ้นมาทำการเตรียมชิ้นงานเพื่อตรวจสอบแล้วนำไปวัดค่าส่วนต่างๆที่เกิดขึ้นกับขอบชิ้นงานทำการเปรียบเทียบ บันทึกลงในตารางบันทึกผลการทดลอง เพื่อนำไปวิเคราะห์ และสรุปผลการทดลองต่อไป

ภาพที่ 3.11 ลักษณะความสูงของครีบที่เกิดบนชิ้นงาน

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างใบบันทึกผลการทดลองกระบวนการตัดขอบ

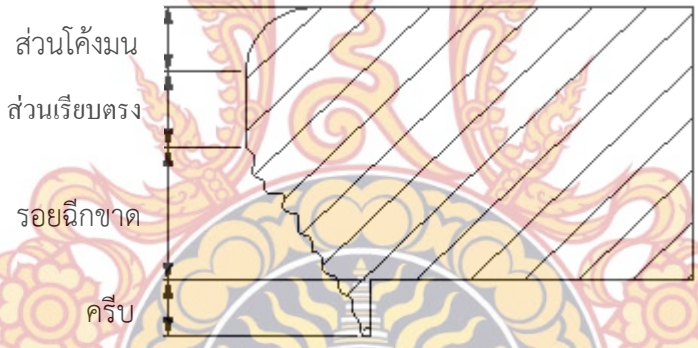
ลำดับที่	กระบวนการตัดขอบ			
	ส่วนโค้งมน	ส่วนเรียบตรง	รอยฉีกขาด	ครีบ
1				
2				
3				
4				
5				
$\bar{x}$				



บทที่ 4
ผลการวิจัย

ในกระบวนการทดลองของงานวิจัยฉบับนี้ ต้องการศึกษากระบวนการตัดขอบโลหะแผ่น กำหนดให้วัสดุที่ใช้ในการศึกษา คือ เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เกรด SPFC440 ขนาดความหนา 1 มิลลิเมตรโดยกำหนดช่องว่างระหว่างคมตัด บวนการตัดขอบ (Trimming) เท่ากับ 2%, 5%, และ8% ของความหนาชิ้นงาน ชุดเครื่องมือตัดพันช์และดายผลิตจากเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นเกรด SKD11 โดยรูปร่างของพันช์ทำมุมต่างกัน 3 ลักษณะคือ 0°, 30°, 45° ผู้วิจัยได้ทำการทดลองและเก็บผลการทดลอง โดยการกำหนดการเก็บข้อมูลการทดลองจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องสำหรับการวิเคราะห์ผลการวิจัย ซึ่งสามารถแยกผลการทดลองเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

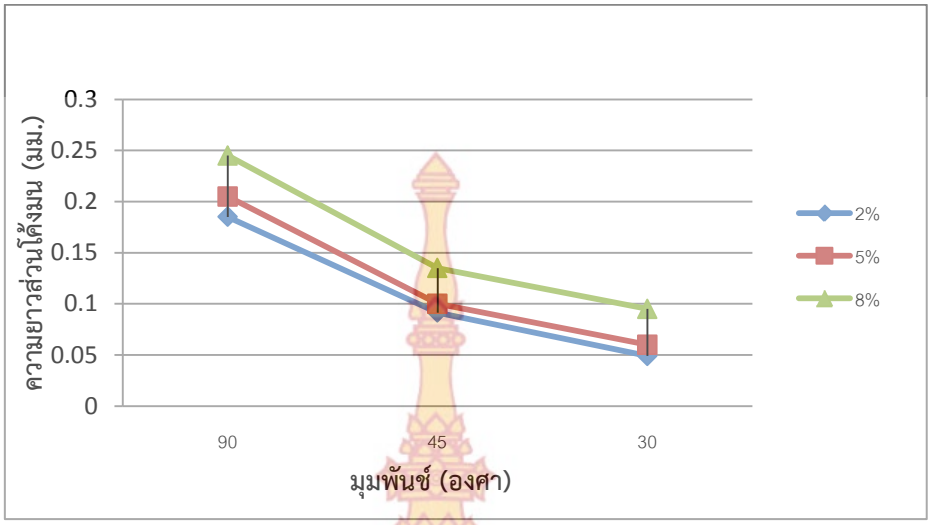
จากการทดลอง ในกระบวนการตัดขอบ Trimming เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เกรด SPFC440 โดยนำชิ้นงานที่ได้จากการทดลองทำการส่องกล้องจุลทรรศน์ เพื่อตรวจสอบลักษณะขอบตัดของชิ้นงานและเก็บผลจะเห็นได้ว่าขอบตัดของชิ้นงานประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนของการเกิดโค้งมน (Edge Radius) ส่วนเรียบตรง (Shear Surface) รอยฉีกขาด (Fracture Surface) และครีบ (Burr)



ภาพที่ 4.1 แสดงตำแหน่งการวัดส่วนต่างๆที่เกิดขึ้นกับขอบตัด

4.1 ผลการตัดขอบที่ทำให้เกิดส่วนโค้งมน (Edge Radius)

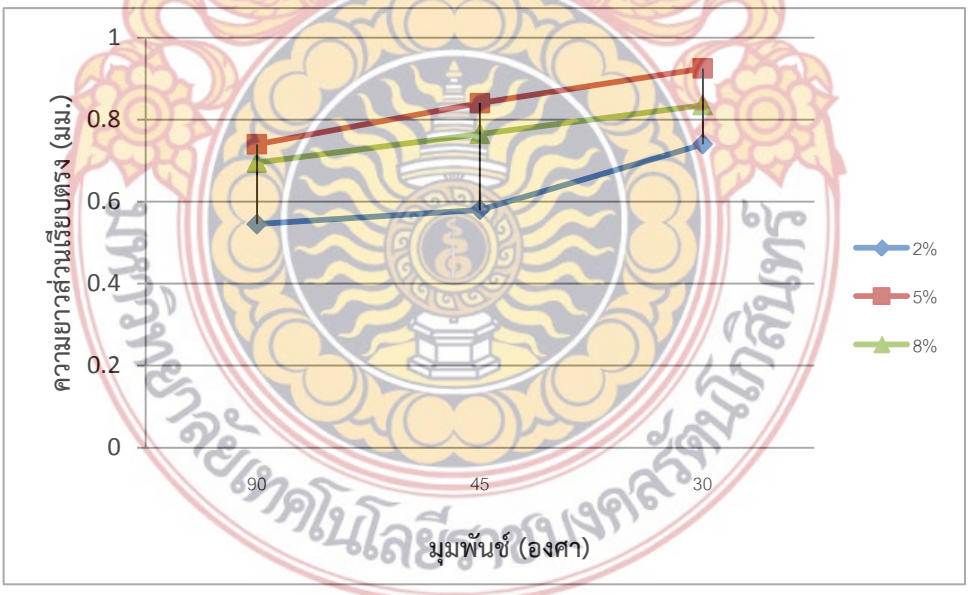
จากการตัดด้วยองศามุมพันช์ที่ 90 องศา ช่องว่างระหว่างคมตัด ที่ 2%,5% และ 8% ของความหนาชิ้นงานจะมีส่วนโค้งมนสูงสุด ในกรณีที่ตัดขอบด้วยช่องว่างระหว่างคมตัด ที่ 8% ของความหนาชิ้นงาน ในขณะเดียวกันช่องว่างระหว่างคมตัดลดลงส่วนโค้งมนก็จะลดลงตามลำดับ ตามภาพที่ 4.1 เมื่อทำการตัดด้วยองศามุมพันช์เป็นมุมแหลมขึ้น ทำให้ส่วนโค้งมนลดลง การทดลองในครั้งนี้องศามุมพันช์ที่ 30 องศา ที่ช่องว่าง 2% ของความหนาชิ้นงาน สามารถทำให้ส่วนโค้งมนมีความสูงน้อยที่สุด



ภาพที่ 4.2 แสดงความสูงของส่วนโค้งมน

4.2 ผลการตัดขอบที่ทำให้เกิดส่วนเรียบตรง (Shear Surface)

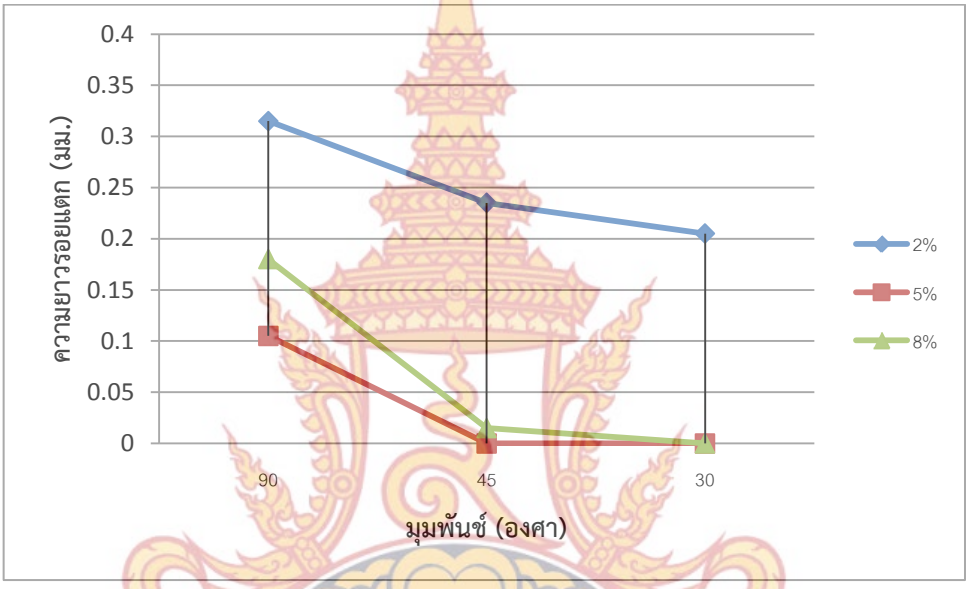
จากการตัดด้วยองศามุมพันช์ที่ 90 องศา ช่องว่างระหว่างคมตัด ที่ 2%,ของความหนาชิ้นงานจะมีส่วนเรียบตรงน้อย ในขณะเดียวกันช่องว่างระหว่างคมตัดเพิ่มขึ้น ส่วนเรียบตรงจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ ตามภาพที่ 4.2 เมื่อทำการตัดด้วยองศามุมพันช์เป็นมุมแหลมขึ้น ทำให้ส่วนเรียบตรงมากที่สุด การทดลองในครั้งนี้องศามุมพันช์ที่ 30 องศา ที่ช่องว่าง 5% ของความหนาชิ้นงาน สามารถทำให้ส่วนเรียบตรงสูงที่สุด



ภาพที่ 4.3 แสดงความสูงของส่วนเรียบตรง

4.3 ผลการตัดขอบที่ทำให้เกิดรอยฉีกขาด (Fracture Surface)

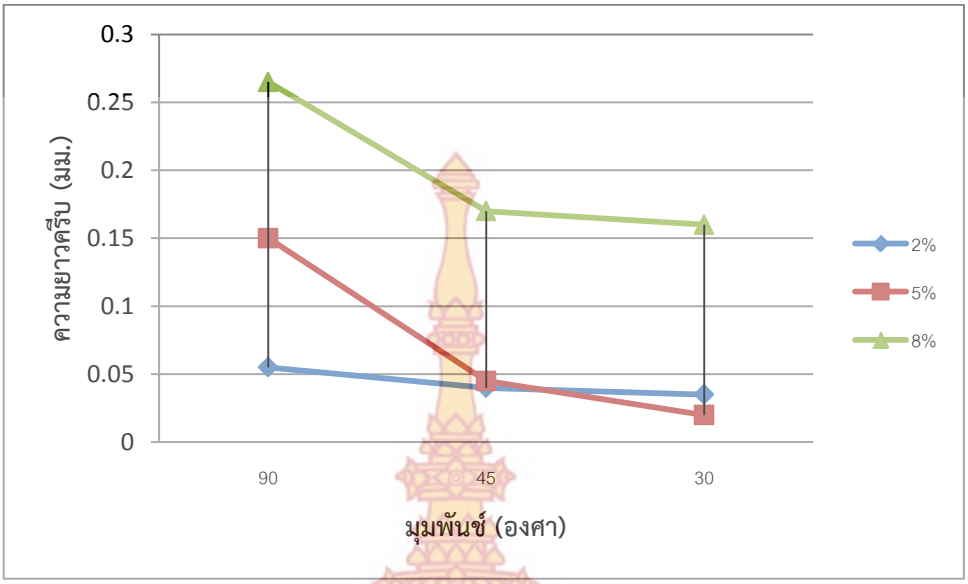
จากการตัดด้วยองศามุมพันช์ที่ 90 องศา ช่องว่างระหว่างคมตัด ที่ 2%,ของความหนาชิ้นงานจะมีรอยฉีกขาดสูง ในขณะเดียวกันช่องว่างระหว่างคมตัดเพิ่มขึ้นรอยฉีกขาดจะลดลงตามลำดับ ตามภาพที่ 4.3 เมื่อทำการตัดด้วยองศามุมพันช์เป็นมุมแหลมขึ้น ทำให้ส่วนรอยฉีกขาดลดลง การทดลองในครั้งนี้องศามุมพันช์ที่ 30 องศา ที่ช่องว่าง 5% ของความหนาชิ้นงาน สามารถกำจัดรอยฉีกขาดได้ดีที่สุด



ภาพที่ 4.4 แสดงความสูงของรอยฉีกขาด

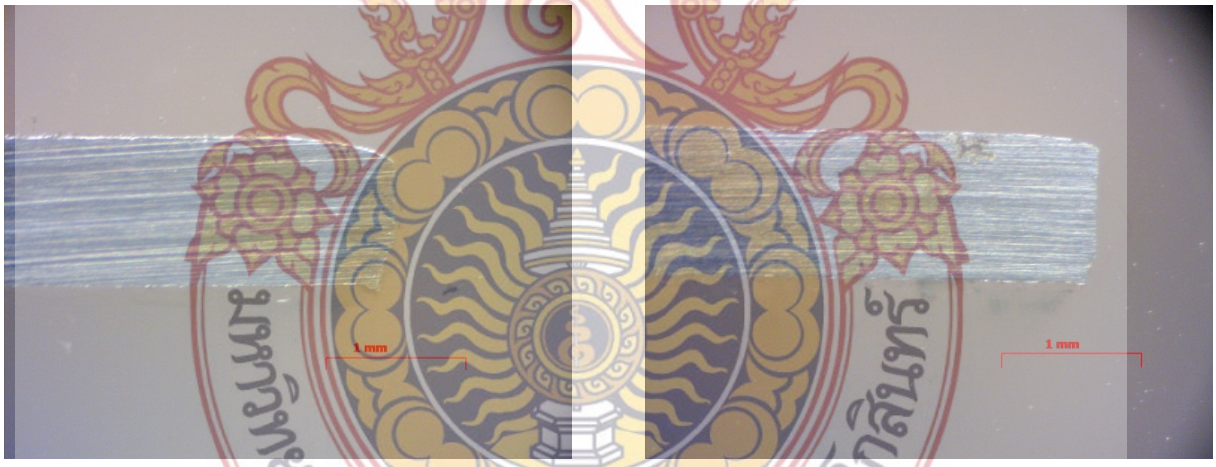
4.4 ผลการตัดขอบที่ทำให้เกิดครีบ (Burr)

จากการตัดด้วยองศามุมพันช์ที่ 90 องศา ช่องว่างระหว่างคมตัด ที่ 5% และ 8% ของความหนาชิ้นงานจะมีส่วนโค้งมนสูง โดยที่ทำการตัดขอบด้วยช่องว่างระหว่างคมตัด ที่ 8% ของความหนาชิ้นงานทำให้เกิดครีบมากที่สุด ในขณะเดียวกันช่องว่างระหว่างคมตัดลดลงรอยฉีกขาดก็จะลดลงตามลำดับ ตามภาพที่ 4.4 เมื่อทำการตัดด้วยองศามุมพันช์เป็นมุมแหลมขึ้น ทำให้รอยฉีกขาดลดลง การทดลองในครั้งนี้องศามุมพันช์ที่ 30 องศา ที่ช่องว่าง 2% ของความหนาชิ้นงาน สามารถทำให้รอยฉีกขาดน้อยที่สุด



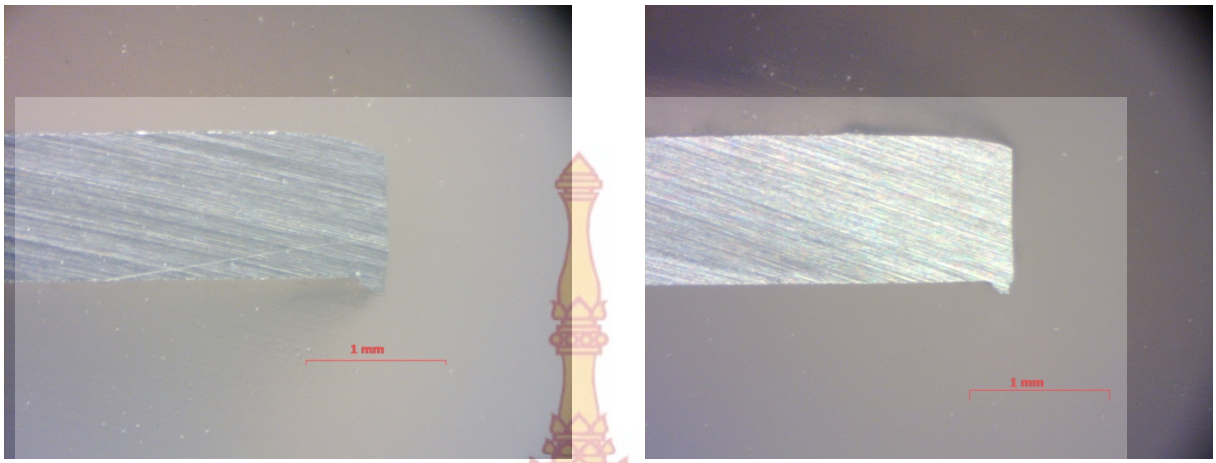
ภาพที่ 4.5 แสดงความสูงของครีบ

4.4 ลักษณะขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการตัดขอบ (Trimming)



ก.พันช์ทำมุม 90 องศา ข.พันช์ทำมุม 30 องศา

ภาพที่ 4.6 แสดงขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการตัดที่ช่องว่างระว่างคมตัด 2% ของความหนาชิ้นงาน



ก.พันช์ทำมุม 90 องศา ข.พันช์ทำมุม 30 องศา

ภาพที่ 4.7 แสดงขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการตัดที่ช่องว่างระว่างคมตัด 5% ของความหนาชิ้นงาน

ก.พันช์ทำมุม 90 องศา ข.พันช์ทำมุม 30 องศา

ภาพที่ 4.8 แสดงขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการตัดที่ช่องว่างระว่างคมตัด 8% ของความหนาชิ้นงาน

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผล และ ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการตัดขอบ (Trimming) เหล็กกล้าความแข็งแรงสูงโดยจะศึกษาช่องว่างระหว่างพันช์และดาย ที่ระดับต่างกันคือ 0%, 2%, 5%, 10% และ 15% ของความหนาชิ้นงาน และออกแบบองศามุมพันช์ 3 รูปแบบคือ 90°, 45° และ30° สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลงานวิจัย

5.1.1 ผลของการตัดขอบวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด SPFC440 โดยการตัดด้วยองศามุมพันช์ที่มีมุมแหลมเพิ่มมากขึ้น สามารถทำให้ขอบตัดมีคุณภาพดีขึ้น คือสามารถลดส่วนโค้งมน เพิ่มส่วนเรียบตรง ลดรอยแตกและครีบได้ โดยการตัดที่องศามุมพันช์ที่ 30° ช่องว่างระหว่างคมตัดที่เหมาะสมคือ 5% ของความหนาชิ้นงานสามารถทำให้ขอบตัดมีคุณภาพดีที่สุด

5.1.2 ผลการตัดด้วยกระบวนการตัดขอบ ช่องว่างระหว่างคมตัดมีส่วนสำคัญที่ช่วยให้ขอบตัดของชิ้นงานมีคุณภาพดีขึ้น โดยที่กรณีที่ช่องว่างระหว่างคมตัดแคบหรือน้อยเกินไปขอบตัดชิ้นงานจะรอยฉีกขาดมาก ในขณะเดียวกันเมื่อช่องว่างของคมตัดเพิ่มขึ้นหรือมากเกินไปจะทำให้ขอบตัดชิ้นงานมีส่วนโค้งมนมาก ส่วนเรียบตรงน้อย รอยฉีกขาดและครีบเพิ่งสูงขึ้น ซึ่งช่องว่างระหว่างคมตัดที่เหมาะสมในกระบวนการตัดขอบเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง SPFC440 คือ 5% ของความหนาชิ้นงาน สามารถทำให้ขอบตัดของชิ้นงานมีส่วนเรียบตรงมากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เครื่องมือในการทำการทดลองนั้นเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมาก เพราะจะส่งผลต่อความถูกต้อง ชัดเจนของข้อมูลผลการทดลอง ดังนั้นเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองควรมีสภาพที่สามารถใช้งานได้ดี มีความทันสมัย และมีความพร้อม

5.2.2 ในการออกแบบแม่พิมพ์นั้นควรคำนึงถึงความเหมาะสมของขนาดแม่พิมพ์และขนาดชิ้นงาน ด้วยหากแม่พิมพ์มีขนาดที่ใหญ่เกินความจำเป็นจะเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการจัดทำ ยากต่อการเคลื่อนย้าย และการบำรุงรักษา

บรรณานุกรม

[1] ชาญชัย ทรัพยากร และคณะ, 2534, **การออกแบบแม่พิมพ์,** สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น),กรุงเทพมหานคร, หน้า 9-16.

[2] ธเนศ เมฆลาย และคณะ, 2536, **พื้นฐานการออกแบบแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปโลหะ**, บริษัท ซีเอ็ด ยูเคชั่น จำกัด,กรุงเทพมหานคร, หน้า (3-1) – (3-54).

[3] ชาญ ถนัดงาน, 2536, **เอกสารประกอบการเรียนแม่พิมพ์**, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,หน้า 1-20.

[4] จุลศิริ ศรีงามผ่อง, 2541, “ทฤษฎีการตัดโลหะแผ่น”, ใน **วิศวกรรมงานแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะแผ่นเบื้องต้น**,โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต, กรุงเทพมหานคร, หน้า (1-1) – (1-20).

[5] ปนัดดา นิรนาทล้ำพงศ์ และคณะ, 2545, **การสึกหรอ**, สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, หน้า 9-36, 122-.

[6] ศิวะ พงศ์พิพัฒน์, 2537, **การวิเคราะห์ความเสียหายในงานโลหะ**, พิมพ์ครั้งที่ 1, โรงพิมพสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร, หน้า 137-142.

[7] มนัส สถิรจินดา, 2537, **เหล็กกล้า**, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 11-12, 45-50.

[8] K. Mori, Y. Abe, Y. Kidoma, P. Kadarno. Slight clearance punching of ultra-high strength steel sheets using punch having small round edge. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2013; 65: 41-46

[9] Rajiv Shivpuri, Siddarth Singh, Kuldeep Agarwal, Chun Liu. Energy release rate based approach for the wear of punches in precision blanking of high strength steel. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 2011; 60: 307-310.

[10] Hyunwoo So, Dennis Famann, Hartmut Hoffmanna, Roland Golle, Mirko Schaper. An investigation of the blanking process of the quenchable boron alloyed steel 22MnB5 before and after hot stamping process. Journal of Materials Processing Technology. 2012; 212: 437-449

[11] Soumya Subramonian, Taylan Altan, Bogdan Ciocirlan, Craig Campbell. Optimum selection of variable punch-die clearance to improve tool life in blanking non-symmetric shapes. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2013; 75: 63-71.

[12] O¨mer Necati Cora, Muammer Koc. Experimental investigations on wear resistance characteristics of alternative die materials for stamping of advanced high-strength steels (AHSS). International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2009; 49: 897-905.

[13] Gang Fang, Pan Zeng, Lulian Lou. Finite element simulation of the effect of clearance on the forming quality in the blanking process . Journal of Materials Processing Technology, 2002; 122: 249-254.

[14] S.K. Maiti et al, (2000). Assessment of Influence of Some Process Parameter on Sheet Metal Blanking. Journal of Material Processing Technology, 2000; 102: 249-256.

[15] X.Z. Wang, S.H Masood. Investigation of die radius arc profile on wear behavior in sheet metal processing of advanced high strength steels. Journal of Materials and Design, 2010; 32: 1118–1128.

[16] Zafer Tekiner, Muammer Nalbant, Hakan Gurun. An experimental study for the effect of different clearances on burr smooth-sheared and blanking force on aluminium sheet metal. Materials and Design 2006; 27: 1134-1138.

[17] J.J. Hern´andez, P. Franco, M. Estrems, F. Faura. Modelling and experimental analysis of the effects of tool wear on form errors in stainless steel blanking. Journal of Materials Processing Technology, 2006; 180: 143-150.

ภาคผนวก ก

มาตรฐานและการคำนวณที่เกี่ยวข้อง

ก.1 มาตรฐานช่องว่างคมตัด

ตารางที่ ก.1 มาตรฐานเปอร์เซ็นต์ช่องว่างคมตัดของวัสดุต่างๆ

วัสดุ	ระยะเคลียแรนซ์ (%)	ความต้านทานแรงเฉือน (kgf/mm^2)
เหล็ก (Iron)	6-9	25-32
เหล็กกล้าละมุน (Mild Steel)	6-9	32-40
เหล็กกล้าแข็ง (Hard Steel)	8-12	55-90
เหล็กกล้าผสมซิลิคอน(Silicon Steel)	7-11	45-56
เหล็กกล้าไร้สนิม(Stainless Steel)	7-11	52-56
ทองแดง (แข็ง)	6-10	25-30
ทองแดง (อ่อน)	6-10	18-22
ทองเหลือง (แข็ง)	6-10	35-40
ทองเหลือง (อ่อน)	6-10	22-30
บรอนซ์ (Phosphor Bronze)	6-10	50
โลหะผสมเงิน-นิกเกิล (Albata)	6-10	44
อลูมิเนียม (แข็ง)	6-10	13-18
อลูมิเนียม (อ่อน)	5-8	7-11
อลูมิเนียมผสม (แข็ง)	6-10	38
อลูมิเนียมผสม (อ่อน)	6-10	22
ตะกั่ว (Lead)	6-9	2-3
เหล็กกล้าผสมนิกเกิล (Permalloy)	5-8	52

ก.2 มาตรฐานแรงกดแผ่นชิ้นงาน

ตารางที่ ข.2 ตารางแสดงแรงกดแผ่นชิ้นงาน (Stripping Pressure)

ความหนาชิ้นงาน	ค่าที่ใช้ในการปลด (%)
น้อยกว่า 1 มม.	6
1-1.6 มม.	8
1.6-2.5 มม.	10
2.5-4 มม.	12.5

ก. 3 การคำนวณที่เกี่ยวข้อง

ก. 3.1 การคำนวณหาแรงในการตัด(Cutting Force)

สูตร

$F_S = k_S.l.t$

เมื่อ

k_S = ความต้านทานแรงเฉือนของวัสดุ

l = ความยาวแนวตัด

t = ความหนาของวัสดุ

กำหนดการคำนวณวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง SPFC440

คำนวณแรงตัด

l = 30 มิลลิเมตร

t = 1 มิลลิเมตร

k_S = 90 Kg/mm^2

แทนค่าสูตร

F_S = 30 x 1 x 15.5

= 2,700 Kg.

≈ 2.7 Ton

แรงกดแผ่นชิ้นงาน (Stripping pressure)

ที่ ความหนาชิ้นงาน 2.5 – 4 มม. ใช้ Stripping pressure ที่ 12.5 เปอร์เซ็นต์ของ cutting pressure

สูตร

P_S = 2,922 x 0.125

= 337.5 kg.

ภาคผนวก ข

ส่วนผสมทางเคมีแม่พิมพ์และวัสดุชิ้นงาน

ข.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กที่นำมาทำพันช์

ตารางที่ ข. 1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (%) ต่อ น้ำหนัก
คาร์บอน (C)	1.45-1.70
ซิลิกอน (Si)	≤ 0.40
แมงกานีส (Mn)	≤ 0.40
โครเมียม (Cr)	11.00 - 12.50
โมลิบดินัม (Mo)	0.40 - 0.60
วาเนเดียม (V)	0.15 - 0.30
ฟอสฟอรัส (P)	≤ 0.03
ซัลเฟอร์ (S)	≤ 0.03

คุณสมบัติ

เป็นเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นที่มีส่วนผสมของคาร์บอนและโครเมียมในปริมาณสูง จัดเป็นเหล็กกล้าในกลุ่ม 12%เลเดบูไรติกโครเมียมสตีล ซึ่งมีตวามต้านทานต่อการเสียดสีดีมากนอกจากนี้ยังมีการผสมธาตุโมลิบดินัมเพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการชุบแข็ง ให้ความเหนียวแกร่งดี และยังมีการผสมธาตุวาเนเดียมให้สูงถึง 1% เพื่อช่วยรักษาคมตัดให้มีความแข็งคมและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ช่วยให้ทนต่อการเสียดสีและต้านทานต่อการสึกหรอได้สูงมากขึ้น ยังมีคุณสมบัติเด่นทางด้านการต้านทานต่อการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูงมีความต้านทานต่อการสึกหรอสูงมาก มีความเหนียวแกร่งพอใช้ชุบแข็งได้ลึกมาก มีความสามารถในการชุบแข็งสูงมากสามารถชุบแข็งในเตาสูญญากาศได้ รักษาคมตัดให้มีอายุการใช้งานยาวนานต้านทานการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูงได้ดี เกิดการบิดงอน้อยมากหลังการชุบแข็ง ต้านทานการสูญเสียคาร์บอนที่ผิวได้ต่ำ สามารถทำไนไตรดิ้งหลังการชุบแข็งได้ สามารถเคลือบผิวด้วยเทคนิคพีวีดีได้ นิยมใช้ทำแม่พิมพ์สำหรับงานเย็นอย่างกว้างขวาง ทั้งแม่พิมพ์แบลังกิ้ง (Blanking) แม่พิมพ์ปั๊ม (Pressing) แม่พิมพ์ดัด (Bending) แม่พิมพ์ดึงขึ้นรูป (Drawing) แม่พิมพ์สำหรับงานอัดขึ้นรูปเย็น (Cold Extrusion) แม่พิมพ์สำหรับงานทริมมิ่ง (Trimming) งานปั๊มเหรียญ (Coining) เป็นต้น และยังสามารถใช้ทำลูกรีด และแม่พิมพ์สำหรับงานรีดเกลียว ใบมีดตัดเฉือนโลหะและพลาสติก และแม่พิมพ์พลาสติกที่ต้องการความต้านทานต่อการสึกหรอสูง

ตารางที่ ข.2 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้า S50C

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (%) ต่อ น้ำหนัก
คาร์บอน (C)	0.47 - 0.55
ซิลิกอน (Si)	0.17 - 0.35
แมงกานีส (Mn)	0.50 - 0.80
ฟอสฟอรัส (P)	≤ 0.035
ซัลเฟอร์ (S)	≤ 0.0355

คุณสมบัติ

จัดเป็นกลุ่มเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางที่นิยมใช้ในงานพื้นฐาน ทั้งงานโครงสร้าง งานอุปกรณ์การเกษตร งานเครื่องจักรกล งานแม่พิมพ์และส่วนประกอบแม่พิมพ์ รวมทั้งชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ เป็นต้น เนื่องจากเป็นเหล็กที่มีคุณสมบัติที่ดีในหลายด้าน ทั้งด้านความแข็งแรง ความเหนียวแกร่ง และมีราคาถูก นอกจากนี้ยังสามารถทำการอบชุบเพื่อเพิ่มความแข็งและความแข็งแรงได้ S50C จะมีลักษณะการใช้งานส่วนใหญ่จะใกล้เคียงกับเกรด Ck45 เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกลใกล้เคียงกันมาก แต่จะมีความแข็ง และความแข็งแรงสูงกว่าเล็กน้อย S50C สามารถนำไปใช้งานได้หลายชนิดทั้งงานแม่พิมพ์พลาสติก ยาง และชิ้นส่วนประกอบของแม่พิมพ์ เช่น ทำกรอบแม่พิมพ์ ชิ้นส่วนอุปกรณ์การเกษตรเกือบทุกชนิด เช่น จอบ เสียมคราด ชิ้นส่วนอะไหล่เครื่องจักรกล และส่วนประกอบในเครื่องยนต์และในรถยนต์ เป็นต้น

ตารางที่ ข.3 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง JIS G 3135 SPFC 440

ธาตุ	ส่วนผสมทางเคมี (%)
คาร์บอน (C)	0.18
แมงกานีส (Mn)	1.5
ฟอสฟอรัส (P)	0.08
ซัลเฟอร์ (S)	0.03
ซิลิกอน (Si)	0.3
อลูมิเนียม (Al)	0.02

ตารางที่ ข.10 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง JIS G 3135 SPFC 440

รายละเอียด	คุณสมบัติทางกล
Yield Strength	265
Ultimate Strength	440
Elongation	27

ประวัติคณะผู้วิจัย

1. ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) นายพงศกร หลีตระกูล
   (ภาษาอังกฤษ) Mr.Pongsakorn Leetarkul
2. หมายเลขบัตรประชาชน 1959900115473
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
2. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ถนนเพชรเกษม ตำบลหนองแก อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110 โทรศัพท์ 032-618500 ต่อ 4046 โทรสาร 032-618570 และEmail:pongsakorn.lee@rmutr.ac.th
5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	สาขาวิชา	สถาบันการศึกษา	ประเทศ
2553	ป.โท	วิศวกรรมการผลิต	มทร.ธัญบุรี	ไทย
2552	ป.ตรี	เทคโนโลยีอุตสาหการ	มทร.รัตนโกสินทร์	ไทย

6. สาขาชำนาญการพิเศษ
   - Manufacturing
   - CAD/CAM
   - CNC

1. ชื่อ – นามสกุล (ภาษาไทย) นายวิชัย พุ่มจันทร์
   (ภาษาอังกฤษ) Mr. Wichai Pumchan
3. เลขหมายบัตรประชาชน 1959947392925
4. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต
5. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ถนนเพชรเกษม ตำบลหนองแก อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110 โทรศัพท์ 032-618500 ต่อ 4046 โทรสาร 032-618570 และ E- mail : wichaipumchan@hotmail.com

6. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	สาขาวิชา	สถาบันการศึกษา	ประเทศ
2553	ป.โท	วิศวกรรมการผลิต	มทร.ธัญบุรี	ไทย
2539	ป.ตรี	วิศวกรรมอุตสาหการ	มทร.ธัญบุรี	ไทย

7. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
   - Manufacturing
   - CAD/CAM
   - CNC