



อิทธิพลของการอบบ่มต่อคุณภาพงาน Blanking ของอลูมิเนียม

6063

โดย
วิชัย พุ่มจันทร์

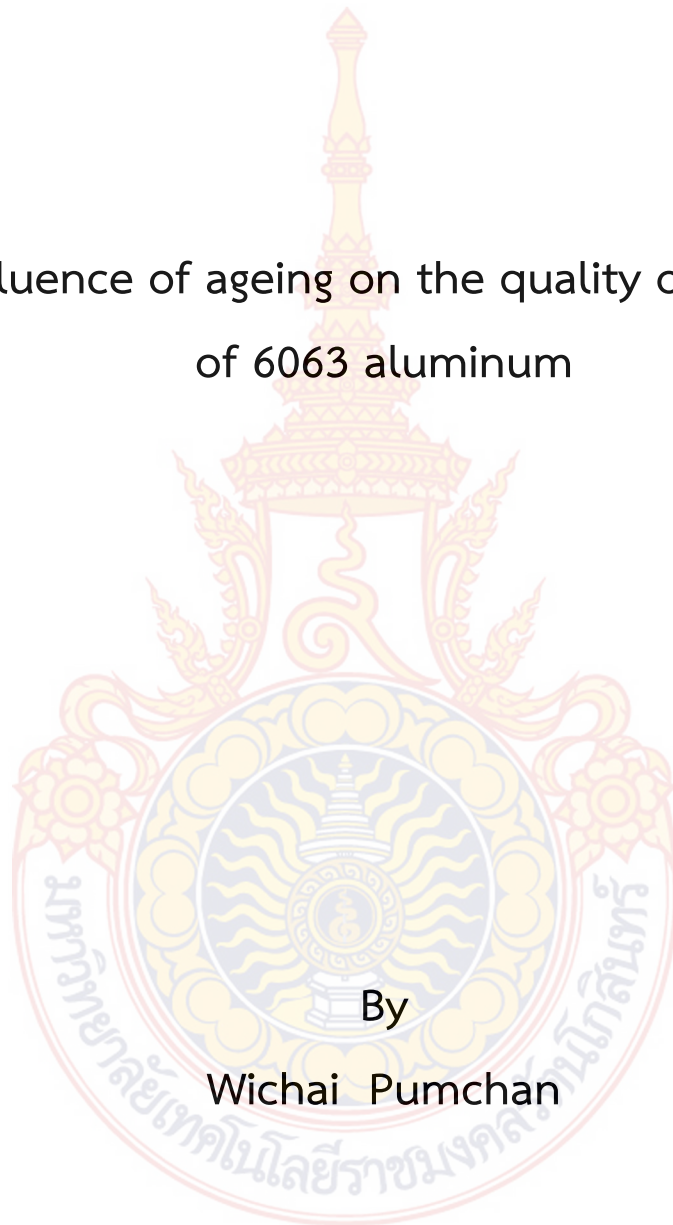
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

สนับสนุนงบประมาณโดย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ประจำปีงบประมาณ 2557

The influence of ageing on the quality of a Blanking
of 6063 aluminum



By

Wichai Pumchan

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2014

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้ ผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่สนับสนุนงบประมาณสำหรับงานวิจัย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่และอาจารย์ในสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ที่ให้การสนับสนุนทางด้านเทคนิคข้อมูลสนับสนุน อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต ที่ให้ความช่วยเหลือจนสำเร็จจุล่งไปได้ด้วยดี

วิชัย พุ่มจันทร์

กันยายน 2557

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : A45/2557

ชื่อโครงการ : อิทธิพลของการอบบ่มต่อคุณภาพงาน Blanking ของอลูมิเนียม 6063

ชื่อนักวิชาการ : นายวิชัย พุ่มจันทร์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของกรรมวิธีทางความร้อนที่มีผลต่อคุณภาพงาน Blanking ของอลูมิเนียม AA6063 โดยผู้วิจัยกำหนดตัวแปรกรรมวิธีทางความร้อนของอลูมิเนียมคือ T4, T5 และ T6 จากนั้นนำมาทำการ Blanking สำหรับการ Blanking นั้นผู้วิจัยกำหนดค่าเคลียร์แลนค์ ที่ 5% ,6% และ 7% ของความหนาขนาดชิ้นงานตามลำดับ จากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการ Blanking มาตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานที่ได้ มาเปรียบเทียบกับในแต่ละตัวแปร พบว่า ในกรรมวิธีทางความร้อน T5 จะให้คุณภาพชิ้นงานที่ดีที่สุด ที่ค่าเคลียร์แลนค์ 6% ของความหนาชิ้นงาน ซึ่งจะได้ส่วนเรียบตรงที่มาก สำหรับครีบและส่วนโค้งมนเกิดขึ้นน้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

คำสำคัญ : การอบบ่ม, อลูมิเนียม, แม่พิมพ์ตัด

E-mail Address: wichai.pum@rmutr.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: 1 ตุลาคม 2556- 30 กันยายน 2557

Abstract

Code of project : A45/2557

Project name : The influence of ageing on the quality of a Blanking of 6063 aluminum

Researcher name: Mr.Wichai Pumchan

This paper has proposed for study influence of heat treatment on the blanking quality of 6063 aluminum. For parameter of heat treatment is T4, T5 and T6 after that bring specimen to blanking process. Parameters of blanking process have 5%, 6% and 7% for clearance. Then specimen of blanking measured for quality. Result the heat treatment of T5 give the best quality, 6% clearance which it have a best shear band ,fracture and die roll it's less.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

Keywords : Ageing, Aluminum, Die blanking

Email Address : wichai.pum@rmutr.ac.th

Period of Project : October 1, 2013 - September 30, 2014

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่	
1 บทนำ	1
1.ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
2.วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
3.ขอบเขตของการวิจัย	2
4.นิยามศัพท์ที่ใช้ในงานวิจัย	2
5.ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1.ทฤษฎีการตัดโลหะแผ่น	3
2.อลูมิเนียม	18
3.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
3 วิธีการดำเนินการวิจัย	26
1.วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	26
2.รายละเอียดของแม่พิมพ์ตัด	26
3.อุปกรณ์และชิ้นส่วนมาตรฐาน	31
4.เตาอบชิ้นงาน	33
5.เครื่องปั๊มโลหะแบบเพลลาข้อเหวี่ยง	34
6.การคำนวณหาแรงตัดและแรงปลดชิ้นงาน	35
7.ขั้นตอนการทดลอง	37
8.ทดสอบความต้านทานแรงดึง	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
9.การบันทึกข้อมูล	41
10. การวิเคราะห์ข้อมูล	42
4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล	43
1.ผลการทดลองการอบบ่มช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5%	43
2.ผลการทดลองการอบบ่มช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6%	45
3. ผลการทดลองการอบบ่มช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7%	48
5 สรุปผลการวิจัย	52
1.สรุปผลการวิจัย	52
2.ข้อเสนอแนะ	52
บรรณานุกรม	54
ภาคผนวก ก	55
ภาคผนวก ข	57
ภาคผนวก ค	88
ประวัติผู้วิจัย	95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 เปอร์เซ็นต์ระยะกินลึกของวัสดุชนิดต่าง	12
2 เคลือบเรซินที่แนะนำให้ใช้ในการตัดสำหรับวัสดุชนิดต่างๆ	18
3 การจำแนกชนิดของอลูมิเนียมตามระบบตัวเลข	20



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1 ชิ้นงานจากการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์	3
2 การเกิดส่วนโค้งมน	4
3 ระยะกินลึก	5
4 การบรรจบกันของรอยแตก	6
5 การเกิดเบรคทูลูในระหว่างการตัดชิ้นงาน	7
6 ขอบชิ้นงานที่ได้จากการตัด	8
7 กลไกการเกิดส่วนโค้งมน	9
8 กลไกการเกิดครีบ	10
9 ค่าความสูงของครีบเมื่อปริมาณการตัด	10
10 ระยะกินลึก	11
11 ระยะเคลียแรนซ์ในงานตัด	13
12 การบรรจบกันของรอยแตกในชิ้นงาน	14
13 ขอบตัดชิ้นงานที่มีเคลียแรนซ์ที่เหมาะสม	14
14 ขอบตัดชิ้นงานที่มีระยะเคลียแรนซ์น้อยเกินไป	15
15 รอยแตกและขอบตัดที่ได้เมื่อใช้ระยะเคลียแรนซ์น้อยเกินไป	15
16 รอยตัดเหมือนที่สองในกรณีใช้ระยะเคลียแรนซ์น้อยเกินไป	15
17 การขยายตัวของรอยแตกและขอบตัดเมื่อใช้ระยะเคลียแรนซ์มากเกินไป	16
18 ขอบตัดที่ได้เมื่อใช้ระยะเคลียแรนซ์มากเกินไป	16
19 ขอบตัดของชิ้นงานที่ได้กรณีตำแหน่งของฟันซ์และตายเยื้องศูนย์กัน	17
20 แผ่นชิ้นงานอลูมิเนียม	26
21 ชุดแม่พิมพ์ในการทดลอง	27
22 แสดงชุดฟันซ์ที่มีช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5%	28
23 แสดงชุดฟันซ์ที่มีช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6%	29
24 แสดงชุดฟันซ์ที่มีช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7%	30
25 ดาย	30
26 แสดงลักษณะของชุดตายเซ็ต	31
27 แผ่นกดชิ้นงาน	31
28 แผ่นยึดฟันซ์	32

สารบัญรูป (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
29 แผ่นยึดตาย	32
30 สปริงที่ใช้ในการทดลอง	33
31 เตาอบชิ้นงาน	34
32 แสดงเครื่องปั๊มชิ้นงานแบบเพลลาข้อเหวี่ยง	35
33 ชิ้นงานทดสอบอลูมิเนียมที่ผ่านการอบ	38
34 ชุดแม่พิมพ์ตัดชิ้นรูปที่ใช้ในการทดลอง	38
35 ชิ้นงานที่ได้จากการปั๊ม	39
36 ชิ้นงานที่ผ่านการหล่อเรซิน	39
37 เครื่องขัดชิ้นงานแบบจานหมุน	40
38 กล้อง Optical Macro Scope	40
39 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์	41
40 แสดงค่าเฉลี่ยของตัดชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบบ่ม	44
41 แสดงภาพตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ Clearance 5%	45
42 แสดงค่าเฉลี่ยของตัดชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบบ่ม	47
43 แสดงภาพตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ Clearance 6%	48
44 แสดงค่าเฉลี่ยของตัดชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบบ่ม	50
45 แสดงภาพตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ Clearance 7%	51

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมมีความเจริญก้าวหน้าเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอุตสาหกรรมในการผลิตชิ้นส่วน ไม่ว่าจะเป็นชิ้นส่วนรถยนต์ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ งานแม่พิมพ์มีส่วนเกี่ยวข้องในการผลิตเป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นแม่พิมพ์โลหะหรือแม่พิมพ์พลาสติก ซึ่งกระทำเพื่อให้ได้ชิ้นงานออกจากกระบวนการในปริมาณมาก (Mass Product) เท่านั้นยังไม่พอยังคงต้องการชิ้นงานที่มีคุณภาพ และอายุของแม่พิมพ์ใช้ได้ยาวนานตลอดอายุความต้องการของผลิตภัณฑ์นั้น ผู้วิจัยจะขอกล่าวถึงงานแม่พิมพ์โลหะ ซึ่งจะมีหลายประเภท เช่น แม่พิมพ์ขึ้นรูปลึก แม่พิมพ์ตัด แม่พิมพ์ตัด ๆ แม่พิมพ์ blanking ก็เป็นประเภทหนึ่งของแม่พิมพ์โลหะ ซึ่งเป็นการทำให้ชิ้นงานได้ขนาดที่ต้องการก่อนจะทำกระบวนการต่อไป ก็ได้มีการศึกษาวิจัยมากมายเกี่ยวกับงานแม่พิมพ์ ในหลายหลายวัสดุ แต่ไม่ปรากฏว่าได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการอบบ่มอลูมิเนียมแล้วนำมาผ่านกระบวนการ Blanking

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาคุณภาพของที่ได้จากการ Blanking อลูมิเนียม ที่ผ่านการอบบ่ม ด้วยการกำหนดตัวแปรต่างๆ เพื่อให้ได้คุณภาพของชิ้นงาน Blanking

2. วัตถุประสงค์ของวิจัย

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของการ blanking อลูมิเนียม
2. เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับคุณภาพผิวงาน

3. ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาอิทธิพลที่เป็นตัวแปรการอบบ่มในแต่ละช่วงเวลา อลูมิเนียม 6063
2. อลูมิเนียมหนา 6 มม.
3. ชุดแม่พิมพ์พUNCHและตาย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม.
4. ค่าเคลียร์แลนด์ 5%, 6% และ 7% ของความหนาชิ้นงาน
5. ตรวจสอบขนาดของชิ้นงานที่ได้
6. ตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงาน เช่น ส่วนเรียบตรง ส่วนแตกหัก

4. นิยามศัพท์ที่ใช้ในงานวิจัย

Blanking หมายถึง การใช้ชิ้นงานที่เป็นทรงตันที่ผ่านกระบวนการของแม่พิมพ์ตัด

T4 หมายถึง การอบให้ได้สภาพเดียว และบ่มแข็งโดยธรรมชาติจนโครงสร้างคงตัว

T5 หมายถึง การบ่มแข็งเทียมเท่ากัน

T6 หมายถึง การอบให้ได้สภาพเดียวแล้วบ่มให้แข็งเทียมทันที

การบ่ม หมายถึงการ การอบใหม่ให้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องและไม่สูงเกินที่จะเกิด
แคปป่าสภาพเดียว

5.ประโยชน์ที่จะได้รับ

- 1.นำไปสู่การพัฒนาการใช้เทคโนโลยีงานแม่พิมพ์
2. ผลสำเร็จของงานวิจัยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพชิ้นงานที่ได้จากการ Blanking
3. งานวิจัยสามารถนำไปเสนอในเวทีวิชาการระดับชาติหรือนานาชาติ
- 4 .หน่วยงานที่จะนำมาผลการวิจัยมาใช้ประโยชน์

หน่วยงานที่จะนำไปใช้ประโยชน์คือโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับภาคการผลิตชิ้นส่วน
รวมถึงอุตสาหกรรม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

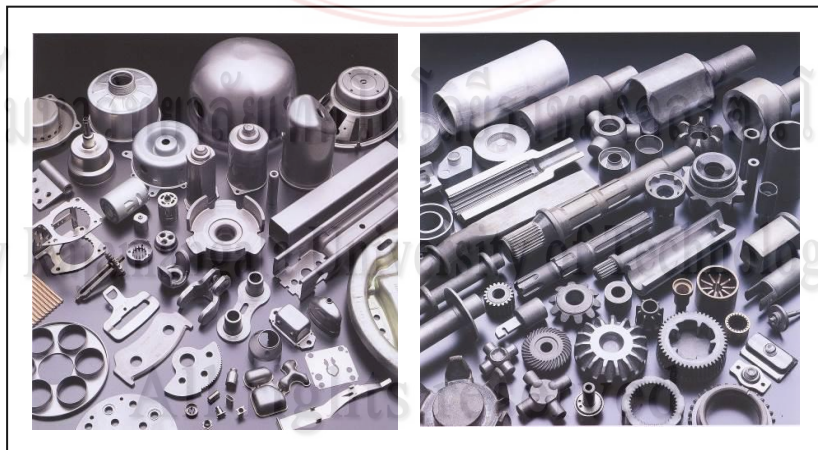
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎีการตัดโลหะแผ่น

อุตสาหกรรมการขึ้นรูปโลหะแผ่นมีอยู่ด้วยกันหลายกรรมวิธี เช่น การตัดโดยใช้ 펀ช์และดาย (Blanking) การเจาะรู (Piercing) การพับ (Bending) การลากขึ้นรูปลึก (Deep drawing) การทุบขึ้นรูป (Forging) งานรีดขึ้นรูป (Rolling) ในการขึ้นรูปโลหะโดยใช้เครื่องปั๊มโลหะมักถูกเรียกรวมว่า “การปั๊มโลหะ (Pressworking or stamping)” ซึ่งในงานขึ้นรูปโลหะนั้น กระบวนการตัดโลหะเป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นที่เป็นพื้นฐานที่สุด และยังมีความสำคัญเนื่องจากการเตรียมชิ้นงานที่จะนำไปสู่กรรมวิธีผลิตอื่นๆ อีกต่อไป

การเข้าใจถึงทฤษฎีหรือหลักการของงานตัดโลหะแผ่นนั้นจะสามารถทำให้เราคาดเดาคุณภาพของชิ้นงานหลังทำการตัดรวมทั้งสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในขณะทำงาน เนื่องจากพื้นฐานของกระบวนการตัดเป็นกระบวนการที่ใช้เครื่องมือตัดเฉือนวัสดุให้ขาดออกจากกัน ซึ่งการตัดขึ้นงาน ความหนาของแผ่นโลหะในแต่ละครั้งของการตัดอาจมีความหนาน้อยมาก (0.02 mm) จนกระทั่งโลหะแผ่นที่มีความหนาค่อนข้างมาก (8 mm) นอกจากนี้แม้ว่าการตัดวัสดุชิ้นงานจะแตกต่างกันก็ตาม เราก็ยังใช้หลักการแนวความคิด การคำนวณที่ยึดบนพื้นฐานเดียวกันทำให้ต้องมีการเรียนรู้ถึงกลไกการตัดและหลักการพื้นฐานเพื่อนำไปสู่การทำงานในกระบวนการหลากหลายในอนาคต



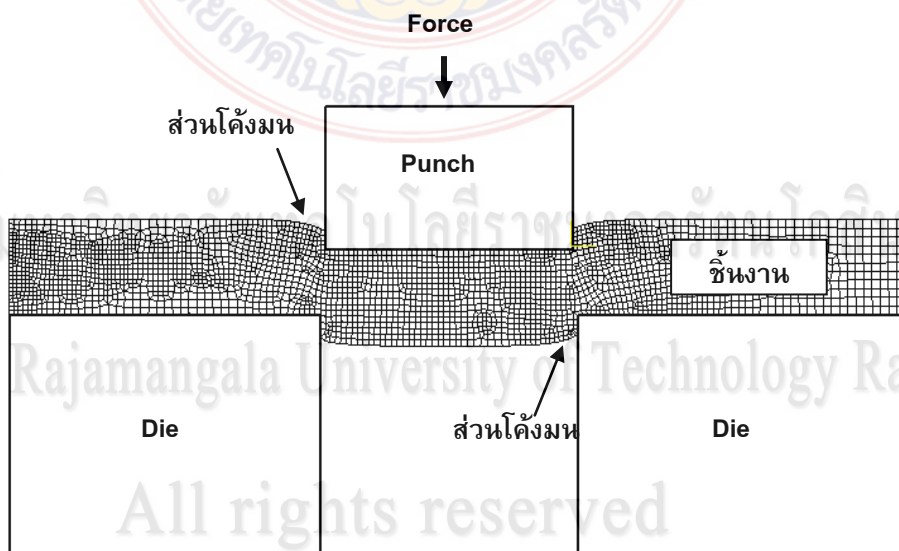
รูปที่ 1 ชิ้นงานจากการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์

1.1. หลักการตัดโลหะแผ่น (Principle of blanking)

ในขณะที่ตัดโลหะด้วยแม่พิมพ์ เครื่องปั๊มโลหะจะให้แรงส่งผ่านมายังพUNCH เพื่อที่กดชิ้นงานให้ทะลุลงไปในตัว ภายหลังจากการตัดวัสดุให้ขาดออกจากกันทำให้ได้ชิ้นงานที่มีรูปร่างเหมือนกับพUNCHหรือตาย ในขณะที่ตัดชิ้นงานนั้นเราสามารถแบ่งช่วงการเปลี่ยนรูปของชิ้นงานได้ 2 ขั้นตอน ซึ่งแต่ละขั้นตอนนี้มีความสำคัญมากเนื่องจากการเปลี่ยนรูปของชิ้นงานในแต่ละช่วงเพราะสิ่งเหล่านี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดและคุณภาพของชิ้นงานที่ได้ ทำให้ผู้ออกแบบแม่พิมพ์ต้องเข้าใจถึงกลไกการเปลี่ยนรูปของโลหะจึงจะสามารถออกแบบแม่พิมพ์ที่ตัดชิ้นงานได้คุณภาพ ประหยัด และทนทาน สูงสุด โดยขั้นตอนทั้งหมดมีดังต่อไปนี้

1.2. กลไกการเปลี่ยนรูปถาวรของโลหะ

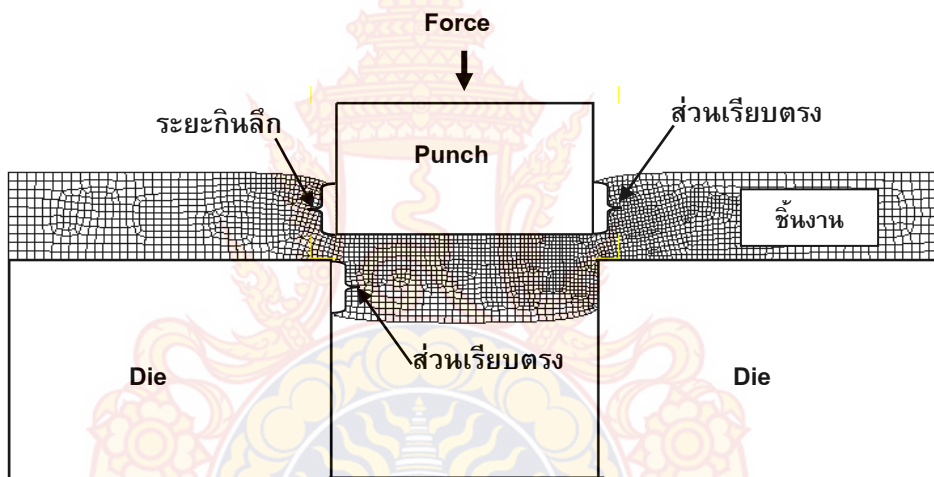
การเปลี่ยนรูปของชิ้นงานในบริเวณที่สัมผัสกับคมตัดของพUNCHและตาย เมื่อวัสดุวางอยู่บนตายจากนั้นเครื่องปั๊มโลหะส่งผ่านแรงมายังพUNCHให้เคลื่อนที่ลงกดบนชิ้นงาน จากนั้นการตัดจะเริ่มต้นจากการที่พUNCHเคลื่อนที่มาสัมผัสชิ้นงาน และก่อให้เกิดแรงดันบนแผ่นชิ้นงานจนกระทั่งเกินขีดจำกัดยืดหยุ่นของวัสดุ จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปถาวรขึ้นลักษณะขอบตัดในช่วงแรก(ด้านบน)จะมีลักษณะเป็นส่วนโค้งมนดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเกิดส่วนโค้งมน

3. ระยะกินลึก (Deep penetration)

เมื่อพันช์กดลงบนชิ้นงานอย่างต่อเนื่องทำให้แผ่นชิ้นงานถูกดันลงไปในช่วงของตาย (Die opening) อย่างต่อเนื่องดังรูปที่ 3 ขอบตัดของชิ้นงานที่ได้ในช่วงนี้จะมีผิวเรียบตรง

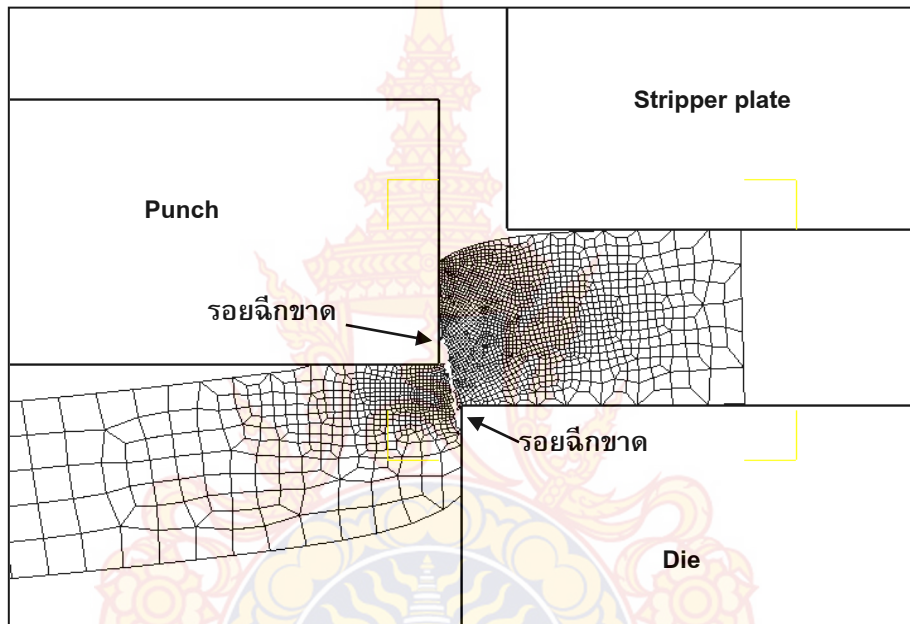


รูปที่ 3 รอยเรียบตรง

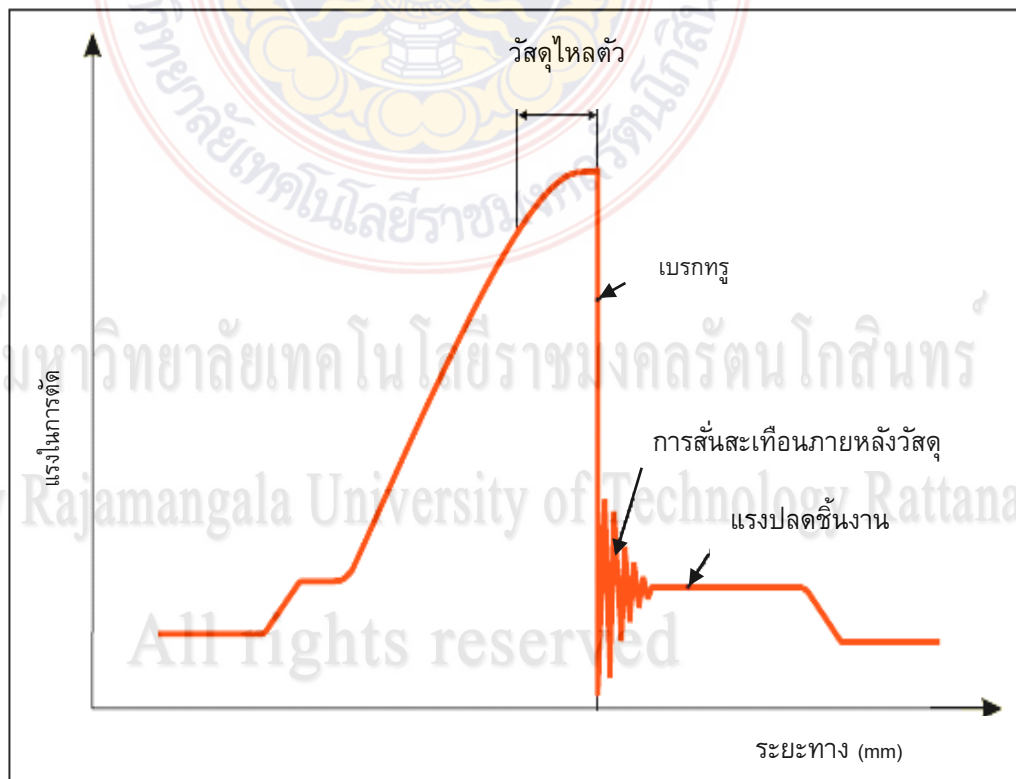
(Smooth sheared surface) มันและเงา เนื่องจากถูกคมตัดของพันช์ตัดเฉือน ส่วนที่เรียบตรงของชิ้นงานตัดมีความสำคัญมากเนื่องจากบริเวณส่วนนี้ของขอบตัดเท่านั้นที่ขนาดของชิ้นงานเป็นไปตามที่แบบกำหนดไว้

1.4. การฉีกขาดของเนื้อวัสดุ (Fracture surface)

ภายหลังจากชิ้นงานเกิดส่วนเรียบตรงแล้ว ในขณะเดียวกันชิ้นงานจะได้แรงกดจากพันช์อย่างต่อเนื่อง ทำให้ความเค้นดึงภายในเนื้อวัสดุจะมีค่าสูงขึ้นจนกระทั่งเกินขีดจำกัดความแข็งแรงดึง ส่งผลให้ชิ้นงานจึงเริ่มแยกตัวออกจากกัน โดยปกติการขาดของชิ้นงานจะเริ่มจากการเกิดรอยแตกเล็กๆ (Crack initiation) ขึ้นเหนือขอบคมตัดของพันช์และตายเล็กน้อย เนื่องจากบริเวณนี้จะเกิดความเค้นดึงที่มีค่าสูงกว่าบริเวณอื่น หลังจากนั้นรอยแตกจะขยายยาวออกไปจนมาบรรจบกันได้พอดี ดังรูปที่ 4 ทำให้ชิ้นงานหรือเศษโลหะแยกออกจากแผ่นวัสดุเริ่มต้น ซึ่งขณะที่วัสดุแยกออกจากกันแรงตัดจะลดลงอย่างรวดเร็ว และมีเสียงดังเกิดขึ้นซึ่งถูกเรียกว่า “เบรกทรู (Break through)” ดังภาพ 5 ในขณะที่เกิด เบรกทรู แม่พิมพ์และเครื่องปั๊มจะเกิดการสั่นสะเทือน ยิ่งวัสดุที่ตัดมีความหนาและความแข็งแรงมากเท่าไรการสั่นสะเทือนและเสียงที่เกิดขึ้นก็จะดังมากเช่นเดียวกัน หลังจากวัสดุแยกออกจากกันแล้วพันช์จะยังคงเคลื่อนที่ต่อ ทำให้สามารถดันแผ่นชิ้นงานหรือเศษโลหะให้หลุดออกจากขอบคมตัดของตายได้



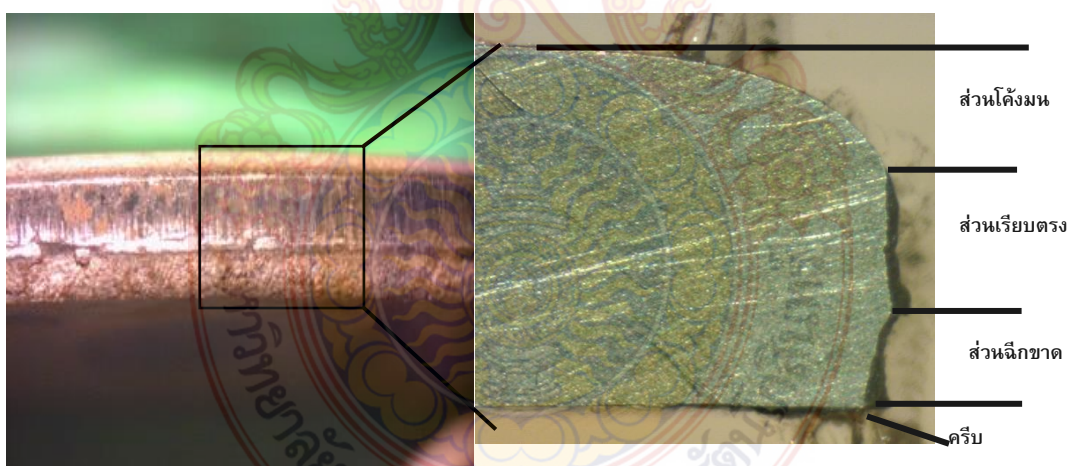
รูปที่ 4 การบรรจบกันของรอยแตก



รูปที่ 5 การเกิดเบรกทुरुในระหว่างการตัดชิ้นงาน

1.5. ขอบชิ้นงานที่ได้จากการตัด

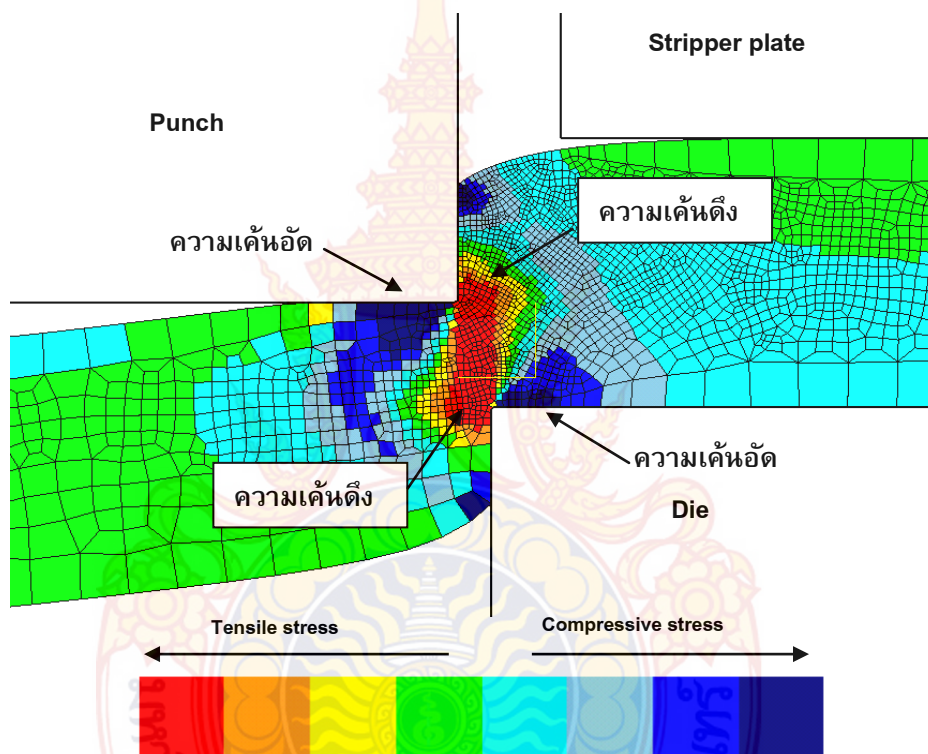
ในการกำหนดคุณภาพของชิ้นงานหลังจากทำการตัดสามารถกำหนดได้จากส่วนเรียบตรง ทำให้วิศวกรออกแบบแม่พิมพ์ต้องเข้าใจถึงกลไกการเกิดส่วนต่างๆ ของขอบตัด สามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้ส่วนโค้งมน (Die roll) ส่วนเรียบตรง (Shear surface) รอยฉีกขาด (Fracture surface) และครีบ (Burr) ดังแสดงในภาพตัดขวางที่ 6 และกลไกของการเกิดส่วนต่างๆ นั้นจะได้อธิบายในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 6 ขอบชิ้นงานที่ได้จากการตัด

1.6. กลไกการเกิดส่วนโค้งมน

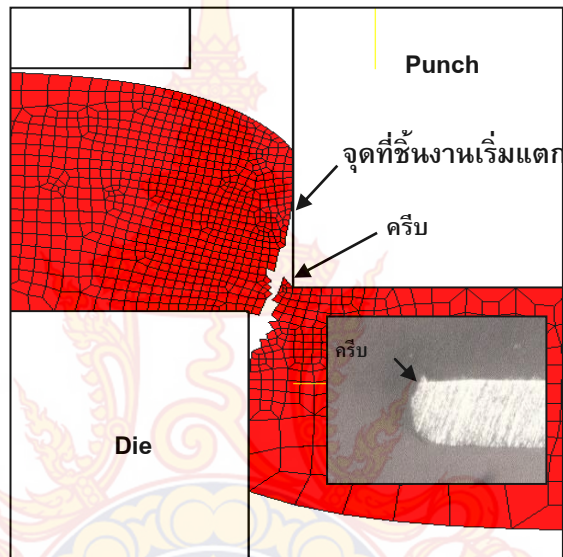
ส่วนโค้งมนที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานนั้นเป็นส่วนที่ต้องเกิดขึ้นตามปกติเมื่อทำการตัดชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ตัดเนื่องจากคุณสมบัติ ductile material ของวัสดุ แต่สามารถที่จะลดปริมาณของส่วนโค้งมนได้ด้วยเทคนิคการออกแบบแม่พิมพ์ ในเบื้องต้นนี้จึงต้องเข้าใจถึงกลไกการเกิดส่วนโค้งมนเสียก่อน จึงจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเกิดส่วนโค้งมนเริ่มจากเมื่อพันทันเริ่มตันกดชิ้นงานลงลึกไปในตาย เนื้อชิ้นงานบริเวณใต้พันทันและเหนือตายจะมีความเค้นอัดที่มีค่าสูงมาก ในขณะที่เนื้อชิ้นงานบริเวณด้านข้างของพันทันและตายจะมีความเค้นดัดดังรูปที่ 7 ทำให้เนื้อชิ้นงานตรงบริเวณนี้ถูกดึงให้ไหลตามการเคลื่อนที่ของพันทันและวัสดุชิ้นงานที่มีคุณสมบัติยืดตัวก่อให้เกิดส่วนโค้งมนขึ้น



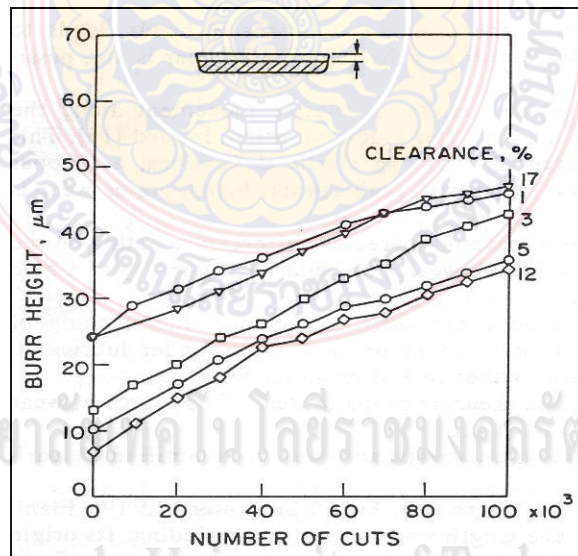
รูปที่ 7 กลไกการเกิดส่วนโค้งมน

1.7. กลไกการเกิดครีบ

ครีบโลหะที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานที่ถูกตัดด้วยแม่พิมพ์ตัดเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงได้ยาก และต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัด โดยปกติแล้วการเริ่มเกิดรอยแตกของชิ้นงานจะไม่ได้เกิดตรงคมตัดของพินซ์พอดี แต่จะเกิดขึ้นเหนือคมตัดพินซ์เล็กน้อยดังในรูปที่ 8 เนื่องจากความเค้นดึงจะมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นตรงบริเวณดังกล่าว เมื่อชิ้นงานเริ่มแตกออกจากกันรอยแตกในเนื้อวัสดุจากด้านพินซ์และตายมาบรรจบกันจะทำให้วัสดุแยกออกจากกัน แต่ส่วนเนื้อวัสดุบริเวณด้านข้างของคมตัดจะยังเหลืออยู่ที่ขอบตัดซึ่งส่วนนี้ก็คือครีบที่เกิดขึ้นนั่นเอง สำหรับค่าความสูงของครีบนั้นจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งในการตัดชิ้นงานดังรูปที่ 9 เมื่อเพิ่มจำนวนครั้งในการตัดชิ้นงานเพิ่มมากขึ้น พินซ์และตายจะเกิดการสึกหรอทำให้เคลือบแรนซ์ห่างกันมากขึ้น เมื่อตำแหน่งที่เริ่มเกิดรอยแตกห่างจากคมตัดมากขึ้น ทำให้เนื้อวัสดุที่เหลืออยู่บนขอบตัดหรือครีบบมีขนาดใหญ่มากขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 8 กลไกการเกิดครีบ

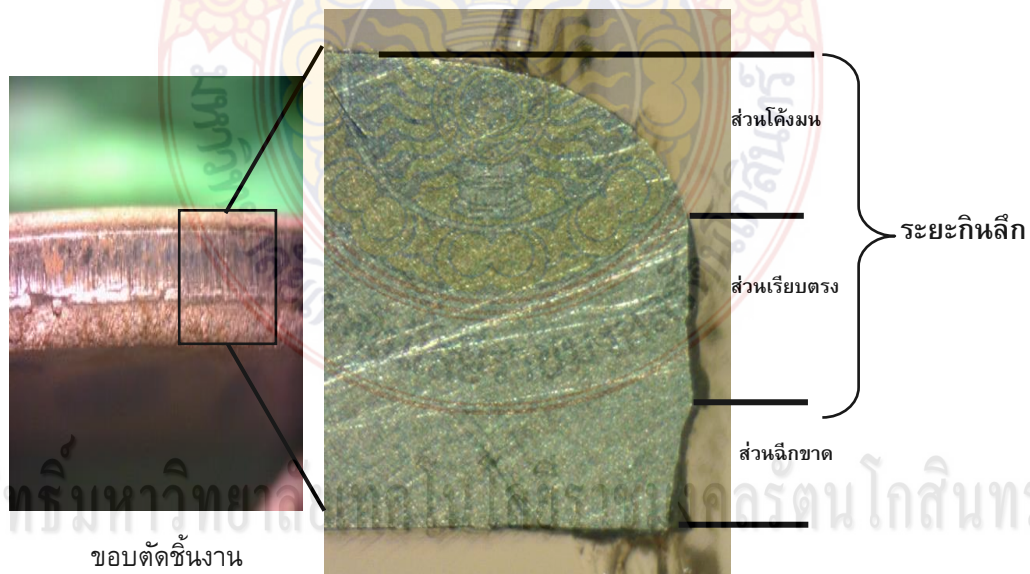


รูปที่ 9 ค่าความสูงของครีบเมื่อปริมาณการตัด

เมื่อต้องการนำชิ้นงานตัดไปใช้ในการผลิตหรือประกอบร่วมกับชิ้นส่วนอื่นๆ ครีบจะเป็นอุปสรรคที่ทำให้ชิ้นงานดังกล่าวไม่สามารถนำไปใช้ต่อได้ จำเป็นต้องกำจัดครีบออกเสียก่อน นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมครัวเรือนเช่น การผลิตช้อน แก้วน้ำ ครีบโลหะที่อยู่บนชิ้นงานส่งผลให้เกิดอันตรายในขณะใช้งานอีกด้วย ซึ่งการกำจัดครีบออกอาจต้องการกรรมวิธีเฉพาะที่มีหลายรูปแบบแต่อาจเรียกโดยรวมว่าดีเบอร์ริ่ง (Deburring) ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ดังนั้นขนาดของครีบที่ยอมรับได้จะเป็นเกณฑ์ที่สำคัญในการบ่งบอกอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ตัด

1.8. ระยะเวลาการกัดกร่อน (Penetration)

ระยะเวลาการกัดกร่อน คือผลรวมของระยะที่พื้นผิวเหล็กกลบขึ้นงาน ตั้งแต่พื้นผิวเริ่มสัมผัสขึ้นงาน จนกระทั่งถึงตำแหน่งที่วัสดุเริ่มฉีกขาด หมายถึง ระยะเวลาการกัดกร่อนจะมีค่าเท่ากับความสูงของส่วนโค้งมนบวกกับความสูงของส่วนเรียบตรง ดังรูปที่ 10 โดยปกติแล้วระยะเวลาการกัดกร่อนจะระบุเป็นเปอร์เซ็นต์ของความหนาของโลหะแผ่น และเรียกเป็นเปอร์เซ็นต์ระยะเวลาการกัดกร่อน (Percentage of penetration) วัสดุที่มีความสามารถในการยึดตัวหรือมีความเหนียวสูงจะมีระยะเวลาการกัดกร่อนสูง กลับกันวัสดุที่มีความแข็งมากหรือวัสดุเปราะจะมีระยะเวลาการกัดกร่อนน้อย ในบางกรณีอาจมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 10 ตัวอย่างของค่าระยะเวลาการกัดกร่อนของวัสดุบางชนิดแสดงในตารางที่ 1 การเข้าใจถึงระยะเวลาการกัดกร่อนของวัสดุจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการตั้งระยะการกัดกร่อนของพื้นผิวไม่ให้กัดกร่อนมากเกินไปเพื่อป้องกันการสัมผัสกันระหว่างพื้นผิวและตาย



Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

รูปที่ 10 ระยะเวลาการกัดกร่อน

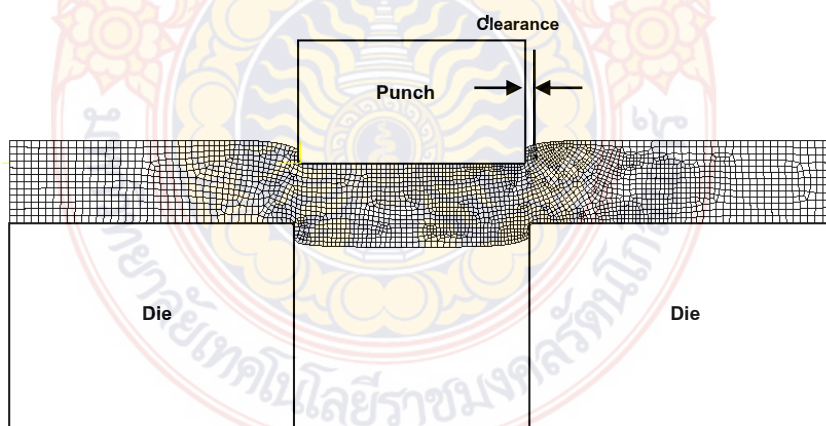
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 เปอร์เซ็นต์ระยะกินลึกของวัสดุชนิดต่างๆ (Percentage of penetration)

วัสดุ	ระยะกินลึก (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความหนา)
ตะกั่ว	50
ดีบุก	40
อะลูมิเนียม	60
สังกะสี	50
ทองแดง	55
ทองเหลือง	50
บรอนซ์	25
เหล็กกล้า (0.1%คาร์บอน)	50 (ผ่านการอบอ่อน)
เหล็กกล้า (0.1%คาร์บอน)	28 (รีดเย็น)
เหล็กกล้า (0.2%คาร์บอน)	40 (ผ่านการอบอ่อน)
เหล็กกล้า (0.2%คาร์บอน)	28 (รีดเย็น)
เหล็กกล้า (0.2%คาร์บอน)	22 (ผ่านการอบอ่อน)
เหล็กกล้า (0.2%คาร์บอน)	22 (รีดเย็น)
นิกเกิล	55

1.9. ขนาดช่องว่างแม่พิมพ์หรือระยะเคลียแรนซ์ (Effects of cutting clearance)

ช่องว่างระหว่างพินซ์กับตายหรือเคลียแรนซ์ (Die clearance) คือความแตกต่างของขนาดรูของตายกับขนาดของพินซ์โดยมักจะพิจารณาเพียงแค่มุมเดียวดังแสดงในรูปที่ 11 ซึ่งเป็นค่าเคลียแรนซ์ของชิ้นงานกลม แต่กรณีชิ้นงานที่มีรูปร่างเหลี่ยมหรือรูปร่างซับซ้อนระยะเคลียแรนซ์ก็สามารถคำนวณได้ในทำนองเดียวกันและใช้โปรแกรมเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยเช่น Auto CAD โดยปกติค่าของเคลียแรนซ์จะถูกแนะนำเป็นเปอร์เซ็นต์ของความหนาของวัสดุ การออกแบบแม่พิมพ์ตัดที่ดีจำเป็นต้องกำหนดค่าเคลียแรนซ์ที่เหมาะสม เพราะเคลียแรนซ์เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่ส่งผลต่อคุณภาพชิ้นงาน แรงที่ต้องใช้ในการตัด ความเที่ยงตรงของขนาดของชิ้นงานที่ได้ และยังมีผลต่ออัตราการสึกหรอของพินซ์และตายอีกด้วย เมื่อระยะเคลียแรนซ์เป็นตัวแปรที่สำคัญจึงต้องทราบถึงอิทธิพลของระยะดังกล่าวเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการออกแบบ

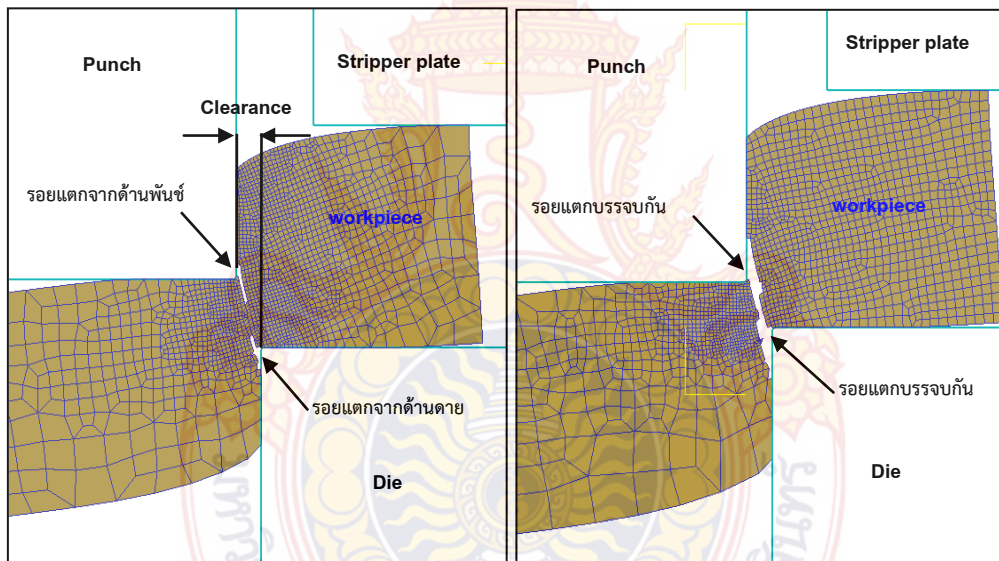


รูปที่ 11 ระยะเคลียแรนซ์ในงานตัด

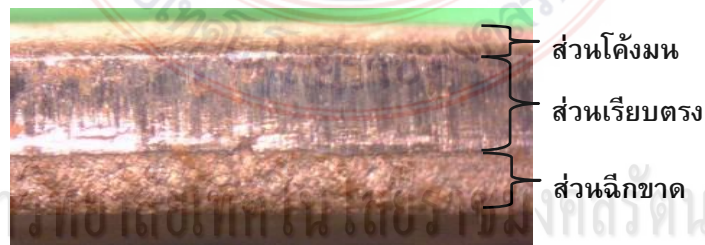
1.10. กรณีระยะเคลียแรนซ์เหมาะสม (Optimum cutting clearance)

การเลือกใช้ระยะเคลียแรนซ์ที่เหมาะสมจะทำให้รอยแตกของชิ้นงานทั้งด้านพินซ์และตายบรรจบตรงกลางชิ้นงานพอดีดังรูปที่ 12 ส่งผลให้ระยะเรียบตรงของชิ้นงานยาวสม่ำเสมอ ขอบตัดของชิ้นงานหรือเศษจึงจะถือว่ามีความสูงที่สุดดังรูปที่ 13 เมื่อพิจารณาขอบตัดที่ได้ ในขั้นตอนแรกของการตัดจะเกิดการเปลี่ยนรูปถาวรของวัสดุ ซึ่งมีลักษณะเป็นส่วนโค้งมน หลังจากนั้นเมื่อพินซ์ทำการกดอย่างต่อเนื่อง จะทำให้ได้ขอบตัดซึ่งเป็นแนวเรียบตรงสม่ำเสมอ มีลักษณะเป็นเงามัน ซึ่งเป็นสภาวะการตัดในขั้นตอนที่สอง ส่วนสุดท้ายของขอบตัดจะมีลักษณะเป็นรอยฉีกขาดหรือรอยแตก มีลักษณะขรุขระเนื่องจากชิ้นงานการฉีกขาด เนื่องจากความเค้นภายในเนื้อวัสดุมีค่าสูงเกินกว่าขีดจำกัดความแข็งแรงของวัสดุนั้นๆ เมื่อรวมความสูงของส่วนโค้งมน แนวเรียบตรงและรอยฉีกขาดเข้าด้วยกัน จะต้องได้เท่ากับความหนาของวัสดุชิ้นงาน โดยปกติได้ส่วนที่เป็นรอยฉีกขาดจะเกิดครึ่งชิ้นเสมอ

ถึงแม้จะกำหนดระยะเคลียแรนซ์ที่เหมาะสมแล้วก็ตาม ระยะเคลียแรนซ์ที่เหมาะสมจะถูกแนะนำจากความแข็งแรงของวัสดุแต่ละชนิดกันเนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดมีค่าความแข็งแรงและความสามารถในการยึดตัวแตกต่างกัน ทำให้ตำแหน่งที่เริ่มเกิดรอยแตก (หรือระยะกินลึกของวัสดุ) แตกต่างกันไป



รูปที่ 12 การบรจบกันของรอยแตกในชิ้นงาน



รูปที่ 13 ขอบตัดชิ้นงานที่มีระยะเคลียแรนซ์ที่เหมาะสม

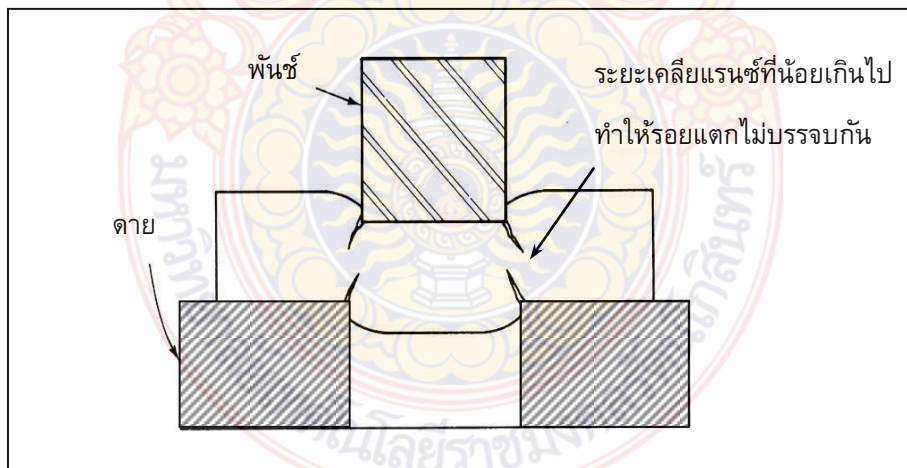
1.11. กรณีระยะเคลียแรนซ์น้อยเกินไป (Insufficient cutting clearance)

ในกรณีที่เลือกใช้ระยะเคลียแรนซ์ระหว่างพunchและตายน้อยเกินไปทำให้ส่วนโค้งมนน้อยลงระยะเรียบตรงยาวขึ้น และระยะฉีกขาดน้อยลงดังรูปที่14 เนื่องจากระยะเคลียแรนซ์แคบเนื้อวัสดุจะถูกบีบเพื่อให้ไหลลงไปในตายส่งผลให้การแตกของชิ้นงานจะเกิดขึ้นช้า นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดรอยตัดเฉือนที่สอง (Secondary shear) เนื่องจากเมื่อระยะเคลียแรนซ์แคบรอยแตกของชิ้นงานทางด้านพunchและตายจะไม่บรจบกันดังรูปที่ 15 ทำให้มีรอยตัดเฉือนที่สองเกิดขึ้นดังรูปที่ 16 ส่วนผลกระทบอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญคือแรงที่ใช้ในการตัดชิ้นงาน การเลือกใช้เคลียแรนซ์แคบแม้ว่าจะได้

ขอบตัดที่ดีมีระยะเรียบตรงมากแต่ส่งผลให้ใช้แรงในการตัดมากกว่าเนื่องจากชิ้นงานไหลลงไปในตาย
ได้ยากจึงต้องใช้แรงในการดันมากกว่าปกติ



รูปที่ 14 ขอบตัดชิ้นงานที่มีระยะเคลียแรนซ์ที่น้อยเกินไป



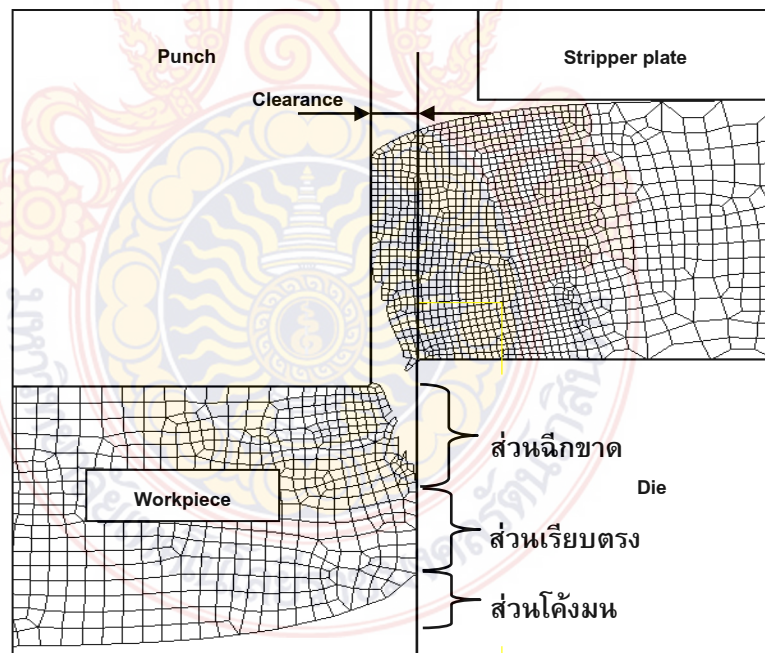
รูปที่ 15 รอยแตกและขอบตัดที่ได้เมื่อใช้ระยะเคลียแรนซ์น้อยเกินไป



รูปที่ 16 รอยตัดเดือนที่สองในกรณีใช้ระยะเคลียแรนซ์น้อยเกินไป

1.12. กรณีระยะเคลียแรนซ์มากเกินไป (Excessive cutting clearance)

เมื่อใช้ระยะเคลียแรนซ์ในการตัดระหว่างพUNCHกับดาบมากเกินไปดังรูปที่ 17 เมื่อระยะห่างมากส่วนโค้งมนจะมีขนาดใหญ่ ระยะเรียบตรงเกิดขึ้นน้อย และพบว่าการขาดออกจากกันของวัสดุจะมีลักษณะคล้ายกับการถูกตีให้ขาด (ผิวขรุขระไม่เรียบ) มากกว่าการถูกตัดซึ่งจะเห็นได้ว่าในกรณีนี้จะได้ส่วนเรียบตรงน้อยดังรูปที่ 18 ในขณะที่ส่วนโค้งมนและรอยฉีกขาดจะมีขนาดใหญ่ขึ้น และครีบบจะมีความสูงและมีความหนามากขึ้นทำให้กำจัดได้ยาก



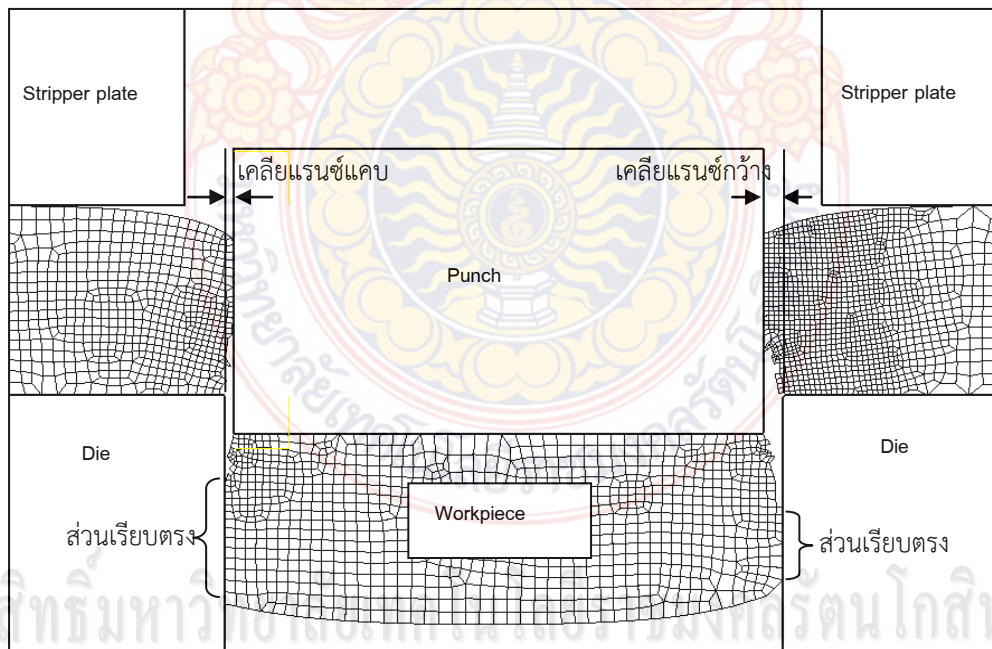
รูปที่ 17 การขยายตัวของรอยแตกและขอบตัดเมื่อใช้ระยะเคลียแรนซ์มากเกินไป



รูปที่ 18 ขอบตัดที่ได้เมื่อใช้ระยะเคลียแรนซ์มากเกินไป

1.13. กรณีที่ตำแหน่งของ 펀ช์และตายเอียงศูนย์กลางกัน (Misalignment)

ขอบตัดชิ้นงานที่เกิดจากการใช้แม่พิมพ์ที่มีระยะเคลียแรนซ์เอียงศูนย์กลางกัน จะมีระยะเรียบตรงไม่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 19 ส่วนสาเหตุที่ระยะเคลียแรนซ์เอียงศูนย์กลางอาจเกิดมาจากหลายสาเหตุ เช่น แม่พิมพ์สึกหรอ ไม่มีการใช้สลักยึดตำแหน่ง หรือเกิดการสึกหรอขึ้นในระหว่างการทำงาน และถ้ายังฝืนทำงานในสภาพที่มีการเอียงศูนย์กลาง จะทำให้อัตราการสึกหรอในแต่ละด้านของ 펀ช์และตายแตกต่างกัน ส่งผลให้แรงที่กระทำต่อ 펀ช์ในแต่ละด้านแตกต่างกัน ถ้าความแตกต่างดังกล่าวมากพอ อาจจะทำให้เกิดความเสียหายกับ 펀ช์ ตาย ส่วนประกอบอื่นของแม่พิมพ์ หรือแม้กระทั่งเครื่องปั๊มได้ ซึ่งระยะเคลียแรนซ์มีระยะที่แนะนำในการใช้งานตามชนิดของวัสดุดังตารางที่ 2.2



รูปที่ 19 ขอบตัดของชิ้นงานที่ได้กรณีตำแหน่งของ 펀ช์และตายเอียงศูนย์กลางกัน

ตารางที่ 2.2 เคลือบแรนซ์ที่แนะนำให้ใช้ในการตัดสำหรับวัสดุชนิดต่างๆ (ต่อข้าง)

วัสดุ	งานที่ต้องการความ เที่ยงตรง (วัสดุบาง)	งานตัดทั่วไป	งานตัดเจาะ (วัสดุหนา)
เหล็กกล้าคาร์บอนสูง	4 - 12	12 - 16	18 - 26
เหล็กเหนียว	2 - 6	6 - 14	12 - 21
เหล็กกล้าไร้สนิม	2 - 4	4 - 12	12 - 14
ทองแดง (อบอ่อน)	1 - 2	2 - 9	8 - 24
ทองแดง (แข็งปาน กลาง)	1 - 4	2 - 12	11 - 24
ทองเหลือง (อบอ่อน)	1 - 4	2 - 10	9 - 22
ฟอสฟอรัสบรอนซ์	2 - 5	4 - 11	7 - 22
อะลูมิเนียม (อบอ่อน)	1 - 2	2 - 9	8 - 21
อะลูมิเนียม (แข็ง)	1 - 12	6 - 18	14 - 24
ตะกั่ว	2 - 6	5 - 12	9 - 22

หน่วย : เปอร์เซ็นต์ความหนาของวัสดุ

2.อลูมิเนียม

อลูมิเนียม เป็นโลหะที่สำคัญ ได้รับการใช้งานมากที่สุดในกลุ่มโลหะที่มีน้ำหนักเบา (Light Metals) อลูมิเนียมมีคุณสมบัติ ต่างๆดังนี้

สมบัติทางไฟฟ้า

- การต้านทานไฟฟ้าที่ 20°C 2.6548 u Ω -cm
- การนำไฟฟ้า 94.94 %IACS

สมบัติทางฟิสิกส์

- หมายเลขอะตอม 13
- น้ำหนักอะตอม 26.97
- วาเลนซ์ 3
- โครงสร้างผลึก f.c.c
- มิตติของแลตทิส 4.049 °A
- ความหนาแน่นที่ 20°C 2.6989 g/mm³
- จุดหลอมเหลว 660.2 °C
- จุดเดือด 2450 °C
- การหดขณะแข็งตัว 6.6 %
- ความร้อนแฝงของการหลอมละลาย 94.5 cal/g
- ความร้อนแฝงของการเป็นไอ 2260 cal/g
- ความร้อนจำเพาะที่ 100°C 0.224 cal/g
- การนำความร้อนที่ 20°C 0.57 cal/g

- การสะท้อนแสง

แสงจากหลอดฟลูออโรสโคป 90 %

แสง 2000 - 2500 °A 86-87 %

แสง 10000 °A 96 %

- สี

ขาวเงิน

ลิขสิทธิ์ © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

อลูมิเนียมขึ้นรูปเย็นและอลูมิเนียมขึ้นรูปเย็นผสม (Wrought Aluminum and Wrought Aluminum Alloys) สามารถจำแนกออก โดยใช้ ระบบตัวเลข 4 หลัก ดังนี้

ตัวเลขหลักที่หนึ่ง เป็นสัญลักษณ์ที่สำคัญที่สุด ในการแสดงกลุ่มของอลูมิเนียมผสม ซึ่งมีอยู่ 8 กลุ่ม ดังตาราง เช่น 1XXX แทนโลหะที่มีอลูมิเนียมไม่น้อยกว่า 99% โดยน้ำหนัก เป็นต้น

ตารางที่ 2.3 การจำแนกชนิดของอลูมิเนียมตามระบบตัวเลข

สัญลักษณ์	ธาตุที่เป็นส่วนผสมหลักในอลูมิเนียม
<u>1XXX</u>	อลูมิเนียม ที่มีความบริสุทธิ์ ไม่น้อยกว่า 99.00%
<u>2XXX</u>	ทองแดง (Copper , Cu)
<u>3XXX</u>	แมงกานีส (Manganese , Mn)
<u>4XXX</u>	ซิลิกอน (Silicon , Si)
<u>5XXX</u>	แมกนีเซียม (Magnesium , Mg)
<u>6XXX</u>	แมกนีเซียมกับซิลิกอน (Magnesium , Mg and Silicon ,
<u>7XXX</u>	Si)
<u>8XXX</u>	สังกะสี (Zinc, ZN)
<u>9XXX</u>	ธาตุอื่นๆ (Other Element) ยังไม่มีใช้ (Unused Series)

ตัวเลขหลักที่สอง เป็นสัญลักษณ์ใช้สำหรับกำกับ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ส่วนผสมของโลหะ ให้แตกต่างไปจากโลหะผสมเดิม เช่น ตัวเลข 0 แสดงว่า เป็นโลหะผสมดั้งเดิม ส่วนตัวเลข 1-9 แสดงว่า เป็นโลหะที่ผสมเข้าไปเปลี่ยนแปลงจากเดิม ยกตัวอย่างเช่น หมายเลข 2024 ตัวเลขหลักที่สองคือ 0 (4.5%Cu , 1.5%Mg , 0.5%Si , 0.1%Cr) เมื่อเทียบกับหมายเลข 2218 ตัวเลขหลักที่สองคือ 2 (4.0%Cu , 2.0%Ni , 1.5%Mg , 0.2%Si) ซึ่งสังเกตได้ว่า หมายเลข 2218 มีนิกเกิล(Ni)ผสมเข้าไป

ตัวเลขหลักที่สาม และ สี่ เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้แสดงชนิดย่อยๆ ของโลหะที่ผสมในกลุ่มเดียวกัน ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้ มักจะเป็นส่วนผสมที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น หมายเลข 2014 ตัวเลขหลักที่สามและสี่คือ 14 (4.4%Cu , 0.8%Si , 0.8%Mn , 0.4%Mg) และ หมายเลข 2017 ตัวเลขหลักที่สามและสี่คือ 17 (4.0%Cu , 0.8%Si , 0.5%Mn , 0.5%Mg , 0.1%Cr)

เฉพาะอลูมิเนียมในกลุ่ม 1XXX ตัวเลขหลักที่สาม และ หลักที่สี่ จะแสดงปริมาณของอลูมิเนียมที่เป็น จุดทศนิยม 2 ตำแหน่ง ที่ปรากฏภายหลัง 99% เช่น หมายเลข 1060 และ หมายเลข 1080 หมายถึง อลูมิเนียมขั้นรูป ที่มีอลูมิเนียม 99.60% และ 99.80% ตามลำดับ

2.1. การอบบ่มอลูมิเนียม

อลูมิเนียมผสมที่สามารถชุบให้แข็งได้โดยวิธีบ่ม(Age hardening) ได้แก่อลูมิเนียม-ทองแดง อลูมิเนียม-แมกนีเซียมและอลูมิเนียม-สังกะสี เป็นต้นหลักการอบชุบอลูมิเนียมก็คือ การทำให้ได้สารละลายแข็งสภาพเดียว (Solution heat treatment)

ขอยกตัวอย่างอลูมิเนียมที่มีทองแดงผสม 4%วิธีทำก็คืออบอลูมิเนียมผสมให้ร้อน ประมาณ 530°C จะทำให้ได้สภาพแคปป่า (K) สภาพเดียวต้องทิ้งไว้ที่อุณหภูมินั้นสักระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นจึงชุบน้ำจะทำให้ได้โครงสร้างแคปป่า (K) สภาพเดียว ตอนนี้อลูมิเนียมผสมยังไม่แข็งจะมีคุณภาพอ่อนมากเพราะมีส่วนผสมของอลูมิเนียมมาก (Rich Al) และสภาพซีต้า ยังไม่เกิด

การทำให้แข็งโดยการบ่ม (Age hardening)

หลังจากชุบให้ได้แคปป่า (K) สภาพเดียวแล้วอลูมิเนียมจะอ่อนถ้าต้องการให้แข็งขึ้น จะต้องเอาไปอบใหม่ให้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องและสูงไม่เกินที่จะทำให้เกิดแคปป่าสภาพเดียว ตามตัวอย่างอุณหภูมิสูงไม่เกิน 490°C เมื่ออบบ่มโครงสร้างสภาพซีต้า จะแตกตัวออกมาสภาพซีต้ามีส่วนผสมของทองแดงมาก จะเพิ่มความแข็งเหนียว และแข็งแรงให้อลูมิเนียมผสมนี้มากขึ้น เราเรียกการทำให้แข็งแบบนี้ว่าการบ่มแข็ง (Age hardening) หรือ (Precipitation hardening)

2.2. มาตรฐาน ASM (American Society of Metals)

F สภาพเดิม ผ่านการ ขึ้นรูป ตามปกติ ชิ้นงานที่ไม่ผ่าน กรรมวิธีทาง ความร้อน ต่อเนื่อง หรือ ทางกล เช่น งานหล่อ หมายถึง สภาพที่ได้ จากการหล่อ

O สภาพการอบอ่อน สภาพการอบ ทำให้เกิดผลึกใหม่ (Annealed) เป็นการอบคลาย ทำให้อ่อนด้วย การอบอ่อน หรือการอบ ทำให้เกิดผลึกใหม่ ทำให้มีคุณสมบัติ ด้านความอ่อน และเหนียว มักจะใช้กับ งานขึ้นรูปเย็น

H ทำให้มี ความแข็ง ที่เกิดจาก การขึ้นรูปเย็น ใช้กับงานที่ต้องการ เพิ่มคุณสมบัติทางกล ให้สูงขึ้น โดยการแปรรูปเย็น อาจจะมี กรรมวิธีทางความร้อน ควบคุม และ H ต้องตามด้วยตัวเลข ตัวเดียว หรือหลายตัว ซึ่งตัวเลขแสดงถึง การกำหนด ในการผลิต

H1 ผ่านการ ทำให้แข็ง โดยการ ขึ้นรูปเย็น อย่างเดียว เป็นการผ่าน กระบวนการแปรรูปเย็น อย่างเดียว มีตัวเลขตัวที่สอง กำกับอยู่ด้วย จะแสดง ความรุนแรง ของการแปรรูป ความรุนแรง ของการแปรรูป วัดด้วยปริมาณของ การแปรรูป ในบางครั้ง อาจมีตัวเลข ตัวที่สามกำกับไว้ เพื่อบอกถึง การควบคุม การอบคลาย หรือระดับถึง คุณสมบัติทางกลพิเศษ

H2 ผ่านการ ทำให้แข็ง โดยการแปรรูปเย็น แล้วทำการอบคลาย ใช้กับงาน แปรรูปเย็น เพื่อต้องการเพิ่ม ความแข็งแรงของวัสดุ เกินกว่าระดับที่ต้องการเล็กน้อยต่อจากนั้นจึง นำไปอบคลาย

จะเห็นว่าความแข็งแรง จะถูกลดลงระดับหนึ่ง แต่ยังคงมีปริมาณ การแปรรูปเย็น ยังคงเหลืออยู่ การกำหนดตัวเลขจะกำหนดเช่นเดียวกับH1

H3 เพิ่มความแข็ง โดยการแปรรูปเย็น และ ทำให้เสถียรภาพ ใช้กับงานที่ ผ่านการแปรรูปเย็น เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ให้แก่วัสดุ จากนั้นนำไปทำ กรรมวิธีทางความร้อน เพื่อให้โลหะคงรูป ความร้อนที่ให้นี้ ยังไม่มากพอ ที่จะลดความเครียด ทำให้มี ความเค้นตกค้างในโลหะ ส่วนใหญ่ใช้กับโลหะผสมที่มี แมกนีเซียม อยู่ด้วย ความแข็งนี้ อาจบอกด้วย ตัวเลขตัวเดียว หรือหลายตัวก็ได้

W สภาพไม่คงรูป หลังทำการอบ ด้วยความร้อน ของสารละลายของแข็ง ใช้กับโลหะผสม ของอลูมิเนียม ที่สามารถแตกตัว ขึ้นได้เองเท่านั้น หมายถึง หลังจากทำการกรรมวิธี ให้ความร้อน เพื่อให้เกิด การละลายตัวของธาตุผสม ให้เป็นเนื้อเดียวกัน กับอลูมิเนียม จากนั้นทำให้เย็นตัว ลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากโลหะชนิดนี้ มีการเปลี่ยนแปลง (ทางโครงสร้าง) ตลอดเวลาที่ทิ้งไว้ในอากาศ ดังนั้น จึงต้องระบุนเวลาหลังกรรมวิธีการให้ความร้อนกำกับไว้ด้วย

T เป็นการ ปฏิบัติการ ทางความร้อน เพื่อให้โลหะ คงรูป เหนือจาก F , O หรือ H ใช้กับโลหะที่ ผ่านกรรมวิธีทาง ความร้อน ซึ่งอาจทำร่วมกับ กรรมวิธีทางกลด้วย หรือไม่ได้ ซึ่งทำให้ชิ้นงาน เสถียรภาพ การอบคลาย ใช้อักษรตัว T ตามด้วยเลข 2 ถึง 10 เป็นข้อกำหนด ของการทำงาน เพื่อเปลี่ยนสภาพ ของชิ้นงาน แตกต่างกันไป โดยการเติมตัวเลข ตัวเดียว หรือ หลายตัวก็ได้

T2 การอบอ่อน ใช้สำหรับงานหล่อเท่านั้นเป็นการอบอ่อน เพื่อให้โลหะเกิด การอ่อนตัว ทำให้เหนียวขึ้นใช้กับงานที่ได้จากการหล่อ

T3 การอบละลาย และ การแปรรูปเย็น เป็นภาวะโลหะ ภายหลังการ ทำอบละลาย ต่อจากการทำแปรรูปเย็นเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่วัสดุ

T4 การอบละลาย และ การเอจจึงตัวเอง จนอยู่ใน สภาพคงรูป (เอจจึงธรรมชาติ) ใช้กับโลหะที่ทำการอบละลายแล้วต่อจากนั้นทิ้งไว้จนเกิดการเอจจึงทำให้เกิดความแข็งและเกิดการคงรูป

T5 การเอจจึง โดยกรรมวิธีทางความร้อนใช้กับโลหะที่ผ่านการทำการกรรมวิธีทางความร้อน เพื่อให้เกิดการเอจจึงโดยไม่ต้องทำการอบละลายมาก่อน

T6การอบละลายแล้วอบแช่(เอจจึงเทียม)ใช้กับโลหะที่ผ่านการอบละลาย(T4)

ต่อจากนั้นใช้กรรมวิธีทางความร้อนเพื่อทำให้เกิดการเอจจึงเทียม

T7 การอบละลาย และ ให้มีเสถียรภาพ ใช้กับโลหะที่ผ่าน การอบละลาย โดยมีการควบคุม ทั้งอุณหภูมิ และ เวลา เพื่อควบคุม การโตของเกรน หรือ ช่วยควบคุม ความเค้นตกค้าง ในเกรนที่หลงเหลืออยู่ในโลหะหรือควบคุมทั้งสองอย่าง

T8 การอบละลาย แล้ว แปรรูปเย็น และ อบบ่มตัวแข็ง ใช้กับโลหะที่ผ่าน การอบละลาย เพื่อให้โลหะเหนียวขึ้นจากนั้นจึงทำการแปรรูปเย็นเพื่อเพิ่มความแข็งแรงวัสดุขึ้นอีกโดยการบ่มตัวแข็ง

T9 การอบละลาย แล้ว อบบ่มตัวแข็ง และ แปรรูปเย็น ใช้กับโลหะที่ผ่าน การอบละลาย แล้วทำการอบบ่มแข็งจากนั้นจึงทำการแปรรูปเย็นเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่วัสดุ

T10 การอบบ่มตัวแข็งแล้วทำการแปรรูปเย็นใช้กับโลหะที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน เพื่อให้เกิดการอบบ่มแข็งโดยไม่ผ่านการอบอ่อนมาก่อนต่อนั้นทำการแปรรูปเย็นอีกเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่วัสดุ

การทำการกรรมวิธีการให้ความร้อน (Heat Treatment) ในการทำให้เนื้ออลูมิเนียมเปลี่ยนแปลงไปในทางที่แข็งแรงขึ้น เพราะอลูมิเนียมกลุ่ม 2XXX , 5XXX บางตัว (ส่วนมากไม่นิยมทำ) , 6XXX และ 7XXX สามารถทำให้แข็งแรง โดยการให้ความร้อน ดังนั้นอลูมิเนียมกลุ่มนี้ มีชื่อเรียกอีกอย่างว่าเป็นพวกที่ทำการกรรมวิธีทางความร้อนได้(Heat Treatment Alloys)

3.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Zafer Tekiner, Muammer Nalbant, Hakan Gurun [1] ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของวัสดุ เคลือบแลนต์ เส้นผ่านศูนย์กลางและแรงกดในอลูมิเนียมแผ่นพบว่าเมื่อค่าเคลือบแลนต์ลดลงความเรียบตรงและแรงกดของพันธที่เพิ่มขึ้น ความหนาชิ้นงาน 1 และ 1.5 มม.ค่าเคลือบแลนต์ที่ 0.009 และ 0.064 มม. เกิดความเรียบตรงในทั้งสองความหนา เพื่อให้เคลือบแลนต์ที่ต่ำ ความขรุขระพื้นผิวที่มีคุณภาพมากขึ้น เมื่อเคลือบแลนต์เพิ่มขึ้น ส่วนโค้งมนจะเพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าความเรียบตรงลดลง ลดลง ครีบโลหะที่ก่อตัวขึ้นใน (ค่าเคลือบแลนต์ 0.009, 0.064, 0.12, 0.175, 0.231 และ 0.287 มม.) มีขนาดใกล้เคียงกันในทุกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพันธทั้งหมด

Klingenberg, W. and T. W. de Boer [2] การบำรุงรักษาตามสภาพ (CBM) ใน blanking จากโลหะแผ่น การวิจัยในหัวข้อนี้พบว่าอาจเนื่องจากลักษณะที่ซับซ้อนของกระบวนการ ก่อนหน้าสถิติวิธีปัญญาประดิษฐ์ (AI) และแบบที่ให้มีการวิเคราะห์ ความสนใจพิเศษที่ให้แก่สมมติฐานโดยธรรมชาติและแหล่งอื่น ๆ ของความไม่ถูกต้อง นอกจากนี้ยังมีการแสดงให้เห็นถึงวิธีการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับกาใส่เครื่องมือที่เพิ่มขึ้นในการกำหนดค่าปกติของเหล็กแผ่น blanking การวิเคราะห์ดังต่อไปนี้เป็นวิธีที่พฤติกรรมดังกล่าวสามารถนำมาใช้ใน CBM การปฏิบัติจริงของ CBM ใน blanking โลหะแผ่นมีการเสนอขึ้นอยู่กับวิธีการแก้ปัญหาไฮบริด

Gréban, F., G. Monteil, et al [3] ได้ทำการทดสอบ blanking โลหะผสมทองแดง เช่นเดียวกับโลหะผสมที่เดิมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของจุลภาคช่วยให้เราสามารถให้เห็นรายละเอียด blanking ได้รับอิทธิพลอย่างมากจากลักษณะทางกลและโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสม อย่างไรก็ตาม, ทำงานมากขึ้นแข็งเหล่านั้น (ขึ้นอยู่กับกระบวนการของแผ่น), พื้นที่การแตกหักมีขนาดใหญ่, เป็นของตัวเองนำไปสู่การปรับตัวลดลง ความเรียบตรง, เป็นลักษณะที่ไม่ดีของการ blanking ในส่วน

คุณภาพของชิ้นงาน ครีบลโหะที่เกิดจาก blanking การปรับปรุงโดยเฉพาะโครงสร้างจุลภาคและการตกตะกอนในเมทริกซ์ทองแดง การก่อตัวของมันจะไม่ได้รับอิทธิพลมาจากอัตราการแข็งตัว สำหรับส่วนมากกว่ามันขึ้นอยู่กับรูปทรงเรขาคณิต blanking และเคลือบแลนต์ของพันธ์และตาย

Breitling, J., B. Pfeiffer, et al [4] ผลการของการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเซ็นเซอร์ในแม่พิมพ์สำหรับการควบคุมกระบวนการบ่ม Piezo เป็นตัวเซ็นเซอร์ที่ทำงานได้ดีเช่นเดียวกับ strain gage เซ็นเซอร์ถูกติดตั้งอยู่ในสถานที่ที่แตกต่างกันภายใน progressive die นอกจากนี้สัญญาณเหล่านี้มาเปรียบเทียบกับเส้นโค้งของภาระการกดติดตั้งเซ็นเซอร์และการตรวจจับสัญญาณเสียง สัญญาณที่ได้มาจากที่แตกต่างกันเซ็นเซอร์ในตายในสถานที่ที่ติดตั้งแตกต่างกัน พบว่าส่วนต่างๆของกระบวนการ แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนตัวแปรกระบวนการเช่นเคลือบแลนต์ของพันธ์และตาย คุณสมบัติของวัสดุ อัตราจังหวะ ผลที่เกิดขึ้นทำให้เกิดความแม่นยำเพิ่มขึ้น

Lo, S.-P., D.-Y. Chang, et al [5] ได้ทำการทดลองตัดสำหรับ Progressive Die ของแผ่นทองแดงฟอสฟอรัส ได้ดำเนินการตรวจสอบวัสดุที่ตัดเจาะ เคลือบแลนต์ระหว่างพันธ์และตาย มุมเฉือนของพันธ์ และผลของจังหวะการตัด ส่งผลถึง ส่วนเรียบตรง ความกว้างของส่วนโค้งมน จากนั้นทำรูปแบบการทำนายที่มีความกว้างของครีบลโหะที่เกิดขึ้นโดยการกำหนดวิธีเป็นตารางการปรับให้เรียบและมาทำนาย ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ที่ดีที่สุดทำนายสามารถทำได้ตามรูปแบบไดนามิกของการทำนายและสามารถนำไปอ้างอิงถึงการตัดเฉือนผลิตภัณฑ์และการทำนายอายุการใช้งานได้

ศิริชัย ต่อสกุล [6] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของรูปร่างพันธ์ที่มีต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงานอลูมิเนียม Al1100 เปรียบเทียบในสภาวะตัดเดียวกันพบว่าชิ้นงานที่ผ่านการตัดเฉือนด้วยพันธ์คมตัดตรงได้คุณภาพที่ดีที่สุด ซึ่งให้ค่าส่วนเรียบตรงที่ 1.05 mm. และได้ค่าส่วนแตกหัก และส่วนครีบลโหะน้อยที่สุด ด้วยความเร็วในการตัดเฉือนที่ 190 ครั้งต่อนาที ความเรียบตรงที่ให้ค่าความเรียบผิวที่ดีที่สุดที่ 0.53 ไมโครเมตร ที่ความเร็วในการตัดเฉือน 120 ครั้งต่อนาที

กุลชาติ จุล และคณะ [7] ทำการทดลองตัดวัสดุเหล็กSPCC;JIS (AISI 1005) ที่มีความหนา 2 มม. ตัดชิ้นงานเป็นรูปวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. และเลือกใช้แรงปลดชิ้นงาน 4.1%ของแรงตัด จำนวนการตัด 8,000 ครั้ง จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้จากการตัดมาทำการวัดคุณภาพของขอบตัดชิ้นงาน ซึ่งประกอบด้วยกัน 4 ส่วนคือ ส่วนโค้งมน (Die roll), รอยตัดเฉือน (Shear surface), รอยฉีกขาด(Fracture surface) และส่วนครีบล (Burr) รวมถึงการวัดระยะการอ่อนตัวของชิ้นงานและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน จากผลการทดลองที่ได้พบว่าการสึกหรอจะเกิดบริเวณด้านหน้าและด้านข้างของคมตัดระยะการสึกหรอด้านข้างจะมากกว่าด้านหน้าคมตัด เมื่อพิจารณาคุณภาพชิ้นงานพบว่า การสึกหรอทำให้ระยะส่วนโค้งมน รอยฉีกขาดและครีบบนขอบตัดชิ้นงานสูงขึ้น ส่วนรอยตัดเฉือนมีค่าลดลง ผลการวัดการระยะการอ่อนตัวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานจะมีค่ามาก

ขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่าการสีกหรือทำให้ต้องใช้แรงตัดชิ้นงานเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการสีกหรือทำให้คุณภาพของขอบตัดชิ้นงานแย่ลง และใช้แรงในการตัดที่สูงขึ้นด้วย



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้วางแผนการดำเนินการเพื่อ ศึกษาอิทธิพลการอบบ่มและ การแปรสภาพจาก อลูมิเนียมแผ่นเรียบให้เป็นรูปร่างกลม โดยทำการตัดชิ้นงานวัสดุที่เป็นอลูมิเนียม เพื่อศึกษาขอบตัดของ ชิ้นงาน เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ และขอบเขตของงานวิจัยนี้จำเป็นต้องทำการศึกษา เพื่อเก็บ ข้อมูลในงานวิจัย และทำการทดลองเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาสรุปผลการงานวิจัย

1. วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

- 1.1. วัสดุอลูมิเนียมเกรด 6063 ขนาด 6.3 x 40x 150 มม. ดังรูปที่ 20



รูปที่ 20 แผ่นชิ้นงานอลูมิเนียม

2. รายละเอียดของแม่พิมพ์ตัด

2.1. แม่พิมพ์ตัด ในการออกแบบและจัดสร้างแม่พิมพ์ตัด เพื่อให้ได้ข้อมูลต่างๆที่ถูกต้องตาม จุดประสงค์ และขอบเขตของโครงการนี้จึงได้ออกแบบแม่พิมพ์ที่สามารถถอดเปลี่ยนชุด 펀ช์และตาย ได้สะดวก เพื่อให้สามารถนำไปตรวจวัดได้ง่ายซึ่งชุดแม่พิมพ์ที่ใช้ในการทดลองดังรูปที่ 21 ประกอบด้วยชุด 펀ช์ (Punch) และตาย (Die) มีจำนวน 3 ชุด ซึ่งแม่พิมพ์แต่ละชุดจะมีค่าช่องว่าง ระหว่างคมตัด (Clearance) ที่แตกต่างกันดังนี้



(a) แม่พิมพ์ชุดบน



(b) แม่พิมพ์ชุดล่าง

รูปที่ 21 ชุดแม่พิมพ์ในการทดลอง

2.2. ชุดพื้นที่มีช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5% ในการออกแบบชุดแม่พิมพ์ตัดในโครงการนี้ เป็นการออกแบบเพื่อการตัดแผ่นเปล่า (Blanking) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. จึงกำหนดรูของ ดาย (Die) ไว้คงที่ โดยจะลดขนาดความโตของพื้นที่ตามเปอร์เซ็นต์ความหนาของชิ้นงานที่กำหนด ในกรณีของการกำหนดค่าช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5% ของความหนาชิ้นงานสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดาย (Die)} &= \text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน} \\ \varnothing \text{ Die} &= \varnothing \text{ Workpiece} \\ &= 25 \text{ มม.} \end{aligned}$$

$$\text{ขนาดของพื้นที่} = \varnothing \text{ Workpiece} - 2\text{Clearance}$$

$$\text{เมื่อ Clearance} = 5\%$$

$$\text{Clearance} = 5 \text{ เปอร์เซ็นต์} \times t$$

$$= 0.05 \times 6.3 \text{ มม.}$$

$$\varnothing \text{ Punch} = 25 - (2 \times 0.05 \times 6.3)$$

$$= 24.37 \text{ มม.}$$

จากการคำนวณสามารถข้างต้น ทำให้ได้ขนาดของชุดพื้นที่มีช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5 % ดังรูปที่ 22



รูปที่ 22 แสดงชุดพื้นที่มีช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5%

2.3. ชุดพื้นที่มีช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6% ในกรณีของการกำหนดค่าช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6% ของความหนาชิ้นงานสามารถคำนวณได้ดังนี้

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตาย (Die) = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน

$$\begin{aligned}\varnothing \text{ Die} &= \varnothing \text{ Workpiece} \\ &= 25 \text{ มม.}\end{aligned}$$

$$\text{ขนาดของพื้นที่} = \varnothing \text{ Workpiece} - 2\text{Clearance}$$

$$\text{เมื่อ Clearance} = 6\%$$

$$\text{Clearance} = 6 \text{ เปอร์เซ็นต์} \times t$$

$$= 0.06 \times 6.3 \text{ มม.}$$

$$\varnothing \text{ Punch} = 25 - (2 \times 0.06 \times 6.3)$$

$$= 24.24 \text{ มม.}$$

จากการคำนวณสามารถข้างต้น ทำให้ได้ขนาดของชุดพื้นที่มีช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6 %
ดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 แสดงชุดพื้นที่มีช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6%

2.4.ชุดพื้นที่มีช่องว่างระหว่างคมตัด 7% ในกรณีของการกำหนดค่าช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7% ของความหนาชิ้นงานสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตาย (Die)} &= \text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน} \\ \varnothing \text{ Die} &= \varnothing \text{ Workpiece} \\ &= 25 \text{ มม.} \end{aligned}$$

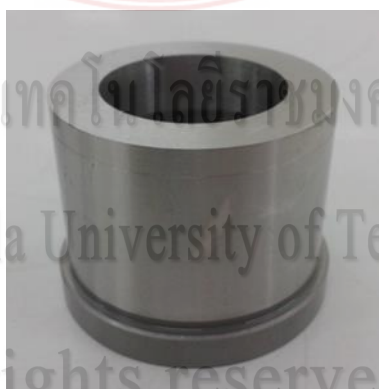
$$\begin{aligned} \text{ขนาดของพื้นที่} &= \varnothing \text{ Workpiece} - 2\text{Clearance} \\ \text{เมื่อ Clearance} &= 7\% \\ \text{Clearance} &= 7 \text{ เปอร์เซ็นต์} \times t \\ &= 0.07 \times 6.3 \text{ มม.} \\ \varnothing \text{ Punch} &= 25 - (2 \times 0.07 \times 6.3) \\ &= 24.12 \text{ มม.} \end{aligned}$$

จากการคำนวณสามารถข้างต้น ทำให้ได้ขนาดของชุดพื้นที่มีช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7% ดังรูปที่ 24



รูปที่ 24 แสดงชุดพื้นที่มีช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7%

2.5.ตาย (Die) ในการออกแบบตายจะใช้วิธีการนำตายใส่ลงในแผ่นยึดตาย (Die Block) ใช้วัสดุเกรด SKD11 ทำการกลึงตายให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 มม. ยาว 25 มม. และกลึงบ่าให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 41 มม. ยาว 5 มม. คว้านรูในให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. และคว้านช่องหลบรูในขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 26.50 มม. ลึก 22 มม. ดังรูปที่ 25



รูปที่ 25 ตาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

3. อุปกรณ์และชิ้นส่วนมาตรฐานในการออกแบบชุดแม่พิมพ์ตัด

3.1. ชุดตายเซต (Die set) ชุดยัดแม่พิมพ์ประกอบด้วย ส่วนยึดพันซ์ ส่วนยึดตาย หลักนำ และปอกหลักนำชุดยัดแม่พิมพ์ทำหน้าที่รักษาความเที่ยงตรงระหว่างพันซ์และตายที่ยัดแม่พิมพ์จะไม่ ต้องปรับช่องว่างระหว่างคมตัด(Clearance) ของแม่พิมพ์ เมื่อประกอบเข้ากับเครื่องอัดดังรูปที่ 3.7



(a) ชุดตายเซตแผ่นบน

(b) ชุดตายเซตแผ่นล่าง

รูปที่ 26 แสดงลักษณะของชุดตายเซต

3.2. แผ่นปลดชิ้นงาน (Stripper Plate) ในการออกแบบแผ่นกดชิ้นงาน ใช้วัสดุเกรด S50C ทำการกัดให้ได้ขนาด กว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 110 × 110 × 10 มม. เจาะรูเพื่อทำเกลียวในขนาด M6 × 1.25 จำนวน 4 รู จากนั้นทำการคว้านรูด้วยเครื่องกัด CNC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.50 มม. เพื่อให้พันซ์สามารถผ่านได้ดังรูปที่ 27



รูปที่ 27 แผ่นกดชิ้นงาน

3.3. แผ่นยึดพินซ์ (Punch Plate) ในการออกแบบแผ่นยึดพินซ์ จะใช้ยึดพินซ์ให้ติดกับชุดตายเซ็ตด้านบน (Upper Dieset) ใช้วัสดุเกรด S50C ทำการกัดให้ได้ขนาด กว้าง × ยาว × สูง เท่ากับ $110 \times 110 \times 30$ มม. เจาะรูเพื่อใส่สกรูหกเหลี่ยมหัวฝังขนาด M10 × 1.5 จำนวน 4 รู และเจาะรูผ่านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 27 มม. เพื่อร้อยน็อตสปริง จากนั้นทำการคว้านรู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. คว้านบ่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 28 มม. ลึก 5 มม. เพื่อใส่พินซ์ ดังรูปที่ 28



รูปที่ 28 แผ่นยึดพินซ์

3.4. แผ่นยึดตาย (Die Block) ในการออกแบบแผ่นยึดตายจะใช้ยึดตายให้ติดกับชุดตายเซ็ตด้านล่าง (Low Dieset) โดยใช้วัสดุเกรด S50C โดยทำการกัดให้ได้ขนาด กว้าง × ยาว × สูง เท่ากับ $110 \times 110 \times 30$ มม. เจาะรูเพื่อใส่สกรูหกเหลี่ยมหัวฝังขนาด M6 × 1.25 จำนวน 4 รู จากนั้นทำการคว้านรู ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 มม. คว้านบ่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 41 มม. ลึก 5 มม. เพื่อใส่ตาย ดังรูปที่ 29



รูปที่ 29 แผ่นยึดตาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

3.5. ชุดสปริงปลดชิ้นงาน (Spring) ในการออกแบบครั้งนี้เลือกใช้สปริงแม่พิมพ์แบบแรงกดธรรมดาโดยเลือกใช้สปริงสี่เหลี่ยม เบอร์ DF 20 × 40 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 25 มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใน 13.5 มม. ยาว 40 มม. ให้แรงกด 2.50 ก.ก./มม. ต่อ 1 ตัวระยะยุบ 20 มม. จำนวน 4 ตัว ดังรูปที่ 30



รูปที่ 30 สปริงที่ใช้ในการทดลอง

4.เตาอบชิ้นงาน (BOX TYPE HIGH TEMPERATURE FURNACE)

เครื่องอบชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองรุ่น LH-18 EF-V-P จะมีลักษณะดังรูปที่ 31

MAX TEMP CENTGRADE	1300 ° C
POWERV OF HEATER	18 kw
SUPPLY VOLTAGE	400 v
PHASE	3 p
HERTZ	50 Hz
TYPE OF WIRE	APM



รูปที่ 31 เตาอบชิ้นงาน

5. เครื่องปั๊มโลหะแบบเพลลาข้อเหวี่ยง

เครื่องปั๊มโลหะที่ใช้ในการทดลองแบบเพลลาข้อเหวี่ยงรุ่น OCP - 60 ดังรูปที่ 32	
MFG. NO.	A80897
MFG. DATE	2008 -10
CAPACITY	60 tons
RATING POINT (UP FROM BUTTOM OF STR)	4 mm.
STROKE NO.	35 -90 S.P.M
STROKE	120 mm.
SLIDE AREA (LRXFB)	500 x 380 mm.
BOLSTER AREA (LRXFB)	900 x 500 mm.
MAIN MOTOR	VS 5.5 KW 4 P
MACHINE WEIGHT	4.6 ton

All rights reserved



รูปที่ 32 แสดงเครื่องปั๊มขึ้นงานแบบเพลลาข้อเหวี่ยง

6.การคำนวณหาแรงตัดและแรงปลดขึ้นงาน

6.1. การคำนวณหาแรงตัดขึ้นงาน

สูตรในการคำนวณ

$$F_s = A_s \times K_s = l_s \times S \times K_s \quad (3.1)$$

เมื่อ A_s คือ พื้นที่ผิวตัดเฉือน (ตร.มม.)

K_s คือ ความต้านทานการเฉือน (นิวตัน/ตร.มม.)

l_s คือ ความยาวเส้นรอบวงการตัดเฉือน (มม.)

S คือ ความหนาขึ้นงาน (มม.)

แทนค่าในสมการที่ 3.1

$$F_s = A_s \times K_s = l_s \times S \times K_s$$

หา

$$A_s = d \times \pi \times s \quad (3.2)$$

$$= 25 \times \pi \times 6.3$$

$$A_s = 494.80 \quad \text{ตร.มม.}$$

เมื่อ

$$K_s = 7$$

นิวตัน/ ตร.มม.

$$F_s = A_s \times K_s$$

$$= 494.80 \times 79$$

$$= 3463.6 \quad \text{นิวตัน}$$

$$= 3.46 \quad \text{ตัน}$$

การคำนวณแรงตัดโดยใช้ค่าความต้านทานการเฉือนที่ 7 นิวตัน/ตร.มม สามารถตัดชิ้นงานให้ขาดได้ โดยเครื่องปั๊มโลหะแบบเพลลาข้อเหวี่ยงขนาด 60 ตัน

เมื่อ

$$K_s = 79$$

นิวตัน/ ตร.มม.

$$F_s = A_s \times K_s$$

$$= 494.80 \times 7$$

$$= 39089.2 \quad \text{นิวตัน}$$

$$= 39.08 \quad \text{ตัน}$$

การคำนวณแรงตัดโดยใช้ค่าความต้านทานการเฉือนที่ 79 นิวตัน/ตร.มม สามารถตัดชิ้นงานให้ขาดได้ โดยเครื่องปั๊มโลหะแบบเพลลาข้อเหวี่ยงขนาด 60 ตัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

เมื่อ

$$K_s = 117$$

นิวตัน/ ตร.มม.

$$F_s = A_s \times K_s$$

$$= 494.80 \times 117$$

$$= 57891.6 \quad \text{นิวตัน}$$

$$= 57.89 \quad \text{ตัน}$$

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

การคำนวณแรงตัดโดยใช้ค่าความต้านทานการเฉือนที่ 117 นิวตัน/ตร.มม สามารถตัดชิ้นงานให้ขาดได้ โดยเครื่องปั๊มโลหะแบบเพลลาข้อเหวี่ยงขนาด 60 ตัน

เมื่อ

$$K_s = 152$$

นิวตัน/ ตร.มม.

$$F_s = A_s \times K_s$$

$$\begin{aligned}
 &= 494.80 \times 152 \\
 &= 75209.6 && \text{นิวตัน} \\
 &= 75.2 && \text{ตัน}
 \end{aligned}$$

การคำนวณแรงตัดโดยใช้ค่าความต้านทานการเฉือนที่ 152 นิวตัน/ตร.มม ไม่สามารถตัดชิ้นงานให้ขาดได้โดยเครื่องปั๊มโลหะแบบเพลลาข้อเหวี่ยงขนาด 60 ตัน
ในการทดลองครั้งนี้เลือกใช้ค่าความต้านทานแรงเฉือนสูงสุดคือ 117 นิวตัน/ตร.มม. ซึ่งสามารถคำนวณแรงได้สูงสุดที่ 57.89 ตัน

6.2 การคำนวณหาแรงปลดชิ้นงาน

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

เมื่อ F_s คือ แรงปลดแผ่นชิ้นงาน (ตัน)

F คือ แรงที่ใช้ในการตัด (ตัน)

แทนค่า

$$\begin{aligned}
 F_s &= 12.5\% \times 57.89 \\
 &= 7.24 \quad \text{ก.ก}
 \end{aligned}$$

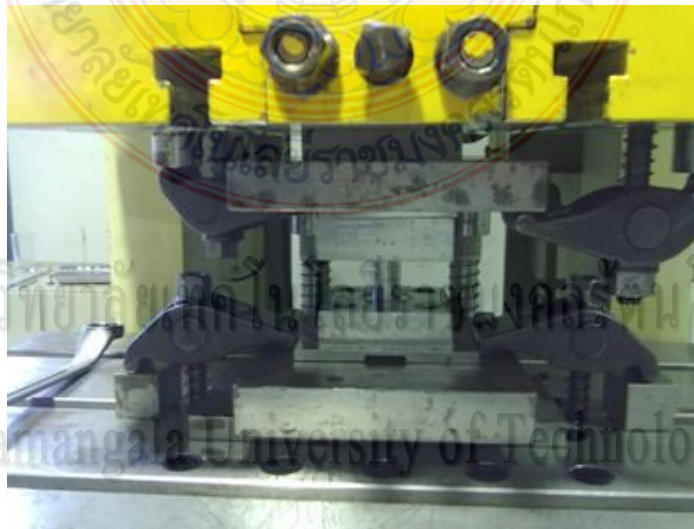
7.ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนที่ 1 ทำการอบปั๊มชิ้นงานทดสอบตามแบบ T1 T4 T5 และ T6 โดยการนำชิ้นงานใส่ในเตาอบ และเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิของเตาเท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการ ตามขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ดังรูปที่ 33



รูปที่ 33 ชิ้นงานทดสอบอลูมิเนียมที่ผ่านการอบ

ขั้นตอนที่ 2 ทำการติดตั้งแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องบีบ ซึ่งมีความจำเป็นมากที่จะต้องยึดให้แน่น เพราะในขณะทำการบีบหากแม่พิมพ์เกิดการขยับตัวจะทำให้แม่พิมพ์ชุดบนและชุดล่างเอียงศูนย์กัน และเมื่อแม่พิมพ์กระทบกันจะทำให้เกิดความเสียหายได้ดังรูปที่ 34



รูปที่ 34 ชุดแม่พิมพ์ตัดขึ้นรูปที่ใช้ในการทดลอง
ขั้นตอนที่ 3 นำชิ้นงานที่ผ่านการอบบ่ม มาทำการบีบ ดังรูปที่ 34



รูปที่ 35 ชิ้นงานที่ได้จากการปั๊ม

ขั้นตอนที่ 4 นำชิ้นงานที่ได้จากการปั๊มมาตัดครึ่งแล้วทำการหล่อเรซิน เมื่อหล่อเรซินแล้วนำไป
 ชัดด้วยเครื่องขัดแบบจานหมุนดังรูปที่ 36 และรูปที่ 37 แสดงเครื่องขัดชิ้นงานแบบจานหมุน



รูปที่ 36 ชิ้นงานที่ผ่านการหล่อเรซิน

All rights reserved



รูปที่ 37 เครื่องขัดชิ้นงานแบบจานหมุน

ขั้นตอนที่ 5 เมื่อขัดชิ้นงานที่ผ่านการหล่อเรซินแล้ว นำชิ้นงานที่ได้มาส่องด้วยกล้อง (Optical Macro Scope) ด้วยกำลังขยาย 0.65 เท่า แล้ววัดขนาดขอบตัดชิ้นงานซึ่งดูรายละเอียดเกี่ยวกับการเกิดครีบ รอยฉีกขาด รอยตัดเนียน และการเกิดขอบโค้งมน ดังรูปที่ 38



รูปที่ 38 กล้อง Optical Macro Scope

8.ทดสอบความต้านทานแรงดึง

ทำการอบบ่มชิ้นงานทดสอบตามแบบ T4 T5 และ T6 แล้วนำชิ้นงานมาทดสอบความต้านทานแรงดึง เพื่อหาค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานที่ผ่านการอบบ่ม ใช้ความเร็วในการทดสอบที่ 5 มม./นาทิต โดยใช้เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ยี่ห้อ Zwick รุ่น Z020 ดังรูปที่ 39



รูปที่ 39 เครื่องทดสอบเอนกประสงค์

9.การบันทึกข้อมูล

ทำการบันทึกข้อมูลต่างๆ ตั้งแต่เริ่มต้นของการดำเนินงานตามที่กำหนดไว้ ซึ่งจะได้ข้อมูลจากการบ่มชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้น ต่อจำนวนพื้นที่ 1 ตัว โดยจะกำหนดค่าช่องว่างระหว่างคมตัด คือ 5% 6% และ 7% ของความหนาชิ้นงาน โดยทำการบันทึกที่ระยะความสูงของครีบบ รอยฉีกขาด รอยตัดฉีก และขอบโค้งมน

All rights reserved

10.การวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากทำการทดลองตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสิ้นการทดลอง นำผลการทดลองมาหาค่าเฉลี่ยของขอบตัดชิ้นงาน ของพื้นที่ในแต่ละตัวและนำมาเปรียบเทียบถึงความแตกต่างของขอบชิ้นงาน ตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นและช่วงต่างๆ ตามที่กำหนดไว้

ค่า Clearance ที่เหมาะสมกับการตัดอลูมิเนียม 6063 ที่ผ่านการอบบ่ม

ระยะความสูงของครีป รอยฉีกขาด รอยตัดฉีก และ การเกิดขอบโค้งมน ของขอบตัดชิ้นงานดูได้จากกราฟของกล้อง

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบผล เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัยที่กำหนดไว้ อาจมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ข้อมูลสมบูรณ์ยิ่งขึ้นเพื่อความถูกต้องในการสรุปผลการวิจัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

บทที่ 4

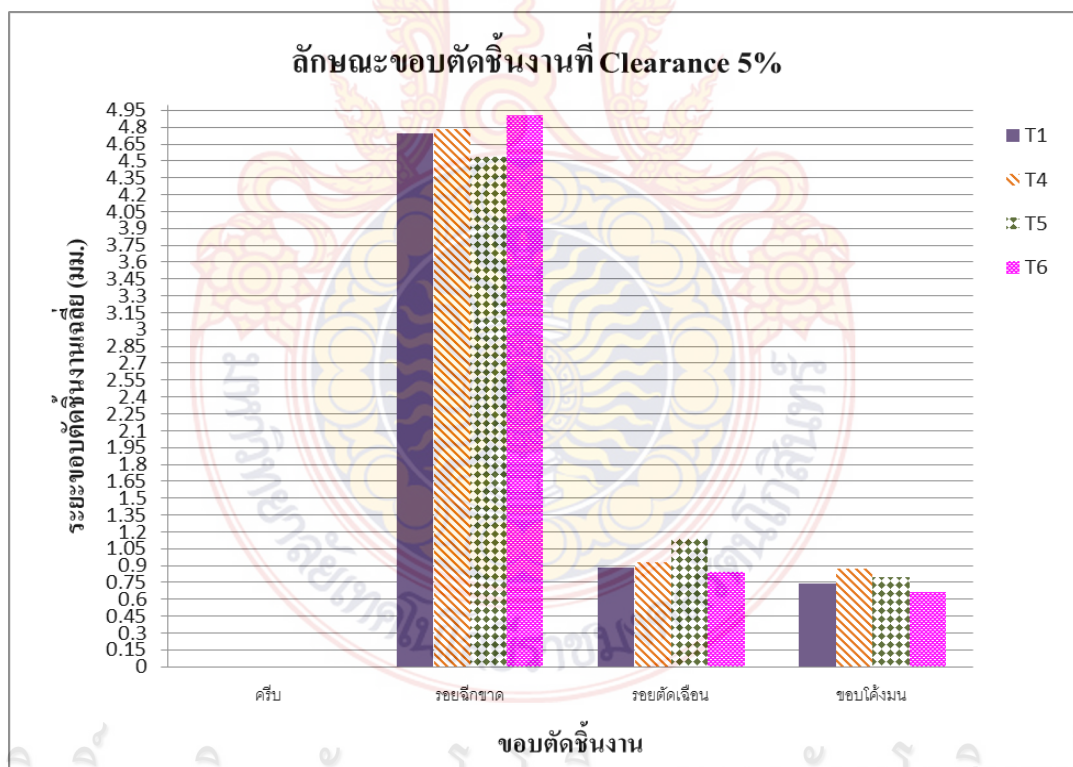
ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

ในกระบวนการทดลองของงานวิจัยฉบับนี้ ต้องการศึกษาอิทธิพลของขอบตัดชิ้นงานโดยใช้ค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบบ่ม และช่องว่างระหว่างคมตัด (Clearance) ที่ส่งผลต่อของชิ้นงานและคุณภาพชิ้นงาน ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือระยะช่องว่างระหว่างคมตัด 5% 6% และ 7% ของความหนาชิ้นงาน

1.ผลการทดลองการอบบ่มช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5%

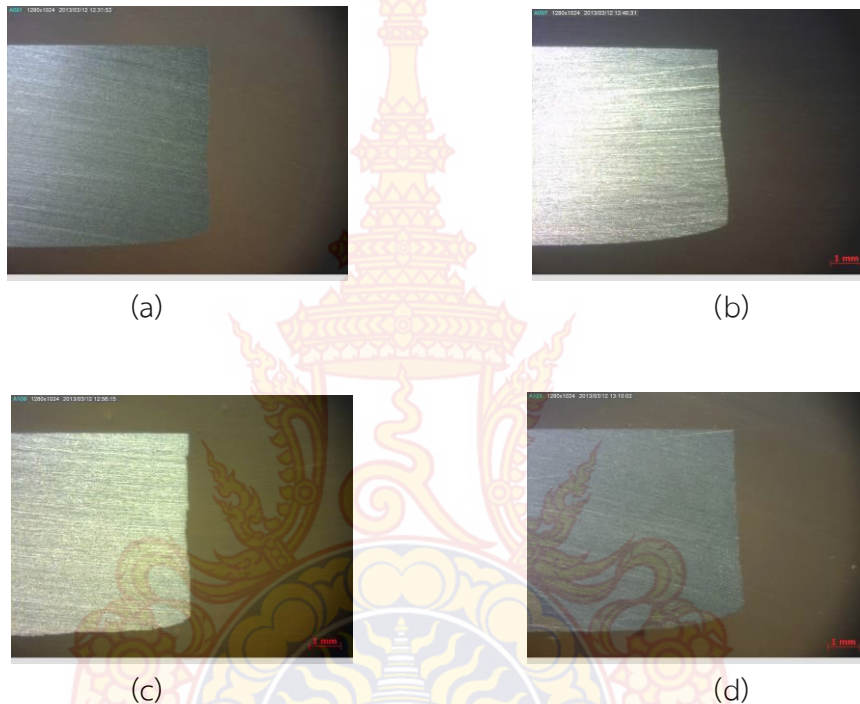
จากรูปที่ 40 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานที่ผ่านการอบบ่มทั้ง 4 แบบคือ ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 30 นาที ปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ (T1) ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอุณหภูมิ 520 °C เป็นเวลา 30 นาที ปล่อยให้เย็นตัวในห้อง (T4) ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอุณหภูมิ 350 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในห้อง อบให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 182 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (T5) ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในห้อง อบให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 182 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง (T6) พบว่า การเกิดครีบบนขอบตัดชิ้นงาน การอบบ่มทั้ง 4 แบบ มีค่าการเกิดครีบเป็นศูนย์ เนื่องจาก อิทธิพลของช่องว่างระหว่างคมตัดของฟันซ์และตายมีค่าน้อย จึงทำให้ชิ้นงานไม่มีโอกาสในการเกิดครีบ การเกิดรอยฉีกขาดบนขอบตัดชิ้นงานพบว่า การอบบ่มแบบ T6 พบรอยฉีกขาดมากที่สุด เนื่องจาก ชิ้นงานที่ผ่านการอบบ่มแบบ T6 มีความแข็งแรงสูงส่งผลให้ผลมีความเค้นดึงสูง (Tensile Strength) และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Elongation) ที่ต่ำ จึงทำให้เกิดการแตกชิ้น การแตกจะเกิดขึ้นในลักษณะถูกดึงขาดในการทดลองนี้ตรวจพบรอยฉีกขาดมีค่าเฉลี่ย 4.91 มม. และพบมากในการอบบ่มแบบ T4, T1 และ T5 ตามลำดับ การเกิดรอยตัดเฉือนบนขอบตัดชิ้นงานพบว่า การอบบ่มแบบ T5 พบรอยตัดเฉือนมากที่สุด เนื่องจาก ชิ้นงานที่ผ่านการอบบ่มแบบ T5 มีความแข็งแรงและแรงเฉือน (Shear Strength) อยู่ในระดับที่เหมาะสมส่งผลให้คุณภาพของชิ้นงานไม่แข็งแรงหรืออ่อนนุ่มเกินไป ทำให้ลักษณะขอบตัดที่ได้มีรอยเฉือนมากที่สุดในการทดลองนี้ตรวจพบรอยตัดเฉือนมีค่าเฉลี่ย 1.14 มม. และพบมากในการอบบ่มแบบ T4 T1 และ T6 ตามลำดับ การเกิดขอบโค้งมนบนขอบตัดชิ้นงาน

พบว่า ชิ้นงานที่ผ่านการอบแบบ T4 พบขอบโค้งมนมากที่สุดเพราะ ชิ้นงานที่ผ่านการอบบ่มแบบ T4 มีค่าความแข็งแรงน้อยที่สุด จึงทำให้ได้ชิ้นงานที่เกิดการอ่อนมากที่สุด เมื่อพันธเริ่มต้นกดชิ้นงานลงไป ในตาย เนื้อชิ้นงานบริเวณใต้พันธและเหนืตายจะมีความเค้นอัดที่มีค่าสูงมากกระทำในขณะที่เนื้อชิ้นงาน บริเวณด้านข้างของพันธและตายจะมีความเค้นดึงมากกระทำ ทำให้เนื้อชิ้นงานตรงบริเวณนี้ถูกดึงให้ ไหลตามการเคลื่อนที่ของพันธ ก่อให้เกิดส่วนโค้งมนขึ้น ในการทดลองนี้ตรวจพบขอบโค้งมนมีค่าเฉลี่ย 4.87 มม. และจะพบมากในการอบบ่มแบบ T5 T1 และ T6 ตามลำดับ



รูปที่ 40 แสดงค่าเฉลี่ยขอบตัดของชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบบ่ม

จากรูปที่ 41 แสดงภาพตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ (Clearance) 5% จะเห็นว่าชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบบ่มแบบ T1 (a) ชิ้นงานทดสอบมีรอยฉีกขาด 4.97 มม. มีรอยตัดเฉียง 0.80 มม. และมีขอบโค้งมน 0.53 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก ชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบบ่มแบบ T4 (b) ชิ้นงานทดสอบมีรอยฉีกขาด 4.43 มม. มีรอยตัดเฉียง 1.19 มม. มีขอบโค้งมน 0.68 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก ชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบบ่มแบบ T5 (c) ชิ้นงานทดสอบมีรอยฉีกขาด 4.36 มม. มีรอยตัดเฉียง 1.34 มม. มีขอบโค้งมน 0.60 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก ชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบบ่มแบบ T6 (d) ชิ้นงานทดสอบมีรอยฉีกขาด 4.94 มม. มีรอยตัดเฉียง 0.52 มม. มีขอบโค้งมน 0.84 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก



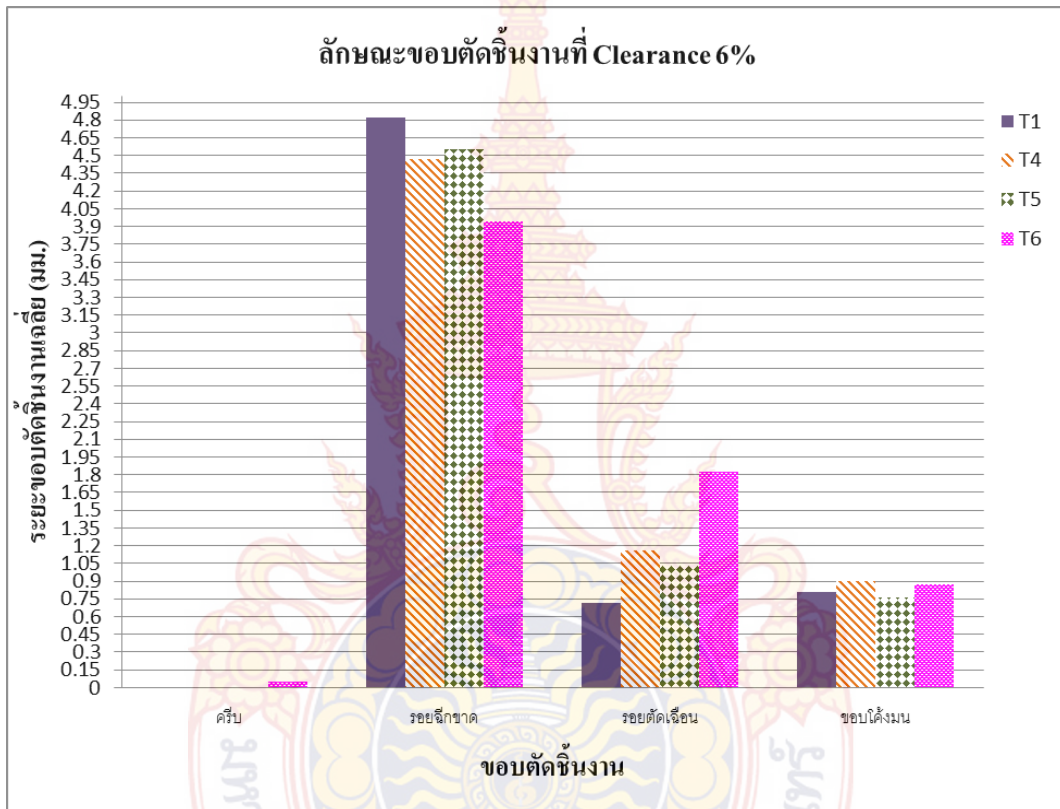
รูปที่ 41 แสดงภาพตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ Clearance 5%

- (a) การอบบ่มแบบ T1 ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 30 นาที ปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ
- (b) การอบบ่มแบบ T4 ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 520°C เป็นเวลา 30 นาที ปล่อยให้เย็นตัวในห้อง
- (c) การอบบ่มแบบ T5 ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 350°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในห้อง อบให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 182°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
- (d) การอบบ่มแบบ T6 ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในห้อง อบให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 182°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

2.ผลการทดลองการอบบ่มช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6%

จากรูปที่ 42 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานที่ผ่านการอบบ่มทั้ง 4 แบบคือ ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 30 นาที ปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ (T1) ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 520°C เป็นเวลา 30 นาที ปล่อยให้เย็นตัวในห้อง (T4) ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 350°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในห้อง อบให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 182°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (T5) ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในห้อง อบให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 182°C เป็นเวลา 5

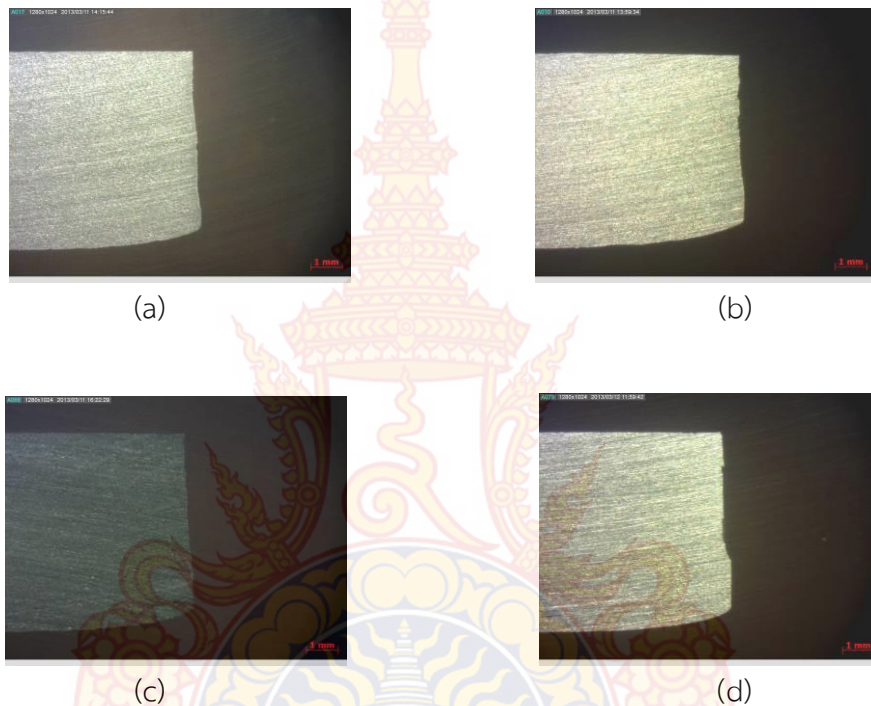
ชั่วโมง (T6) พบว่า การเกิดครีบบนขอบตัดชิ้นงาน พบมากในการอบบ่มแบบ T6 มากที่สุดเนื่องจาก ชิ้นงานที่ผ่านการอบบ่มแบบ T6 มีค่าความเค้นดึง (Tensile Strength) สูงที่สุด โดยการเกิดครีบจะ เกิดต่อจากรอยฉีกขาด ปกติการเริ่มเกิดรอยฉีกขาดในเนื้อวัสดุจะไม่ได้เกิดตรงคมตัดพอดี แต่จะ เกิดขึ้นเหนือคมตัดเล็กน้อย ความเค้นดึงจะมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นตรงจุดดังกล่าว หลังจากรอยฉีกขาดใน เนื้อวัสดุจากด้านพื้นซ์และตายมาบรรจบกันจะทำให้วัสดุแยกออกจากกันแต่ส่วนเนื้อวัสดุบริเวณ ด้านข้างของคมตัดจะยังเหลืออยู่ที่ขอบตัด ซึ่งส่วนนี้ก็คือครีบ ในการทดลองนี้ตรวจพบครีบบมีค่าเฉลี่ย 0.016 มม. และในการอบบ่มแบบ T1 T4 และT5 พบว่ามีค่าการเกิดครีบเป็นศูนย์ การเกิดรอยฉีก ขาดบนขอบตัดชิ้นงานพบว่า การอบบ่มแบบ T1 พบรอยฉีกขาดมากที่สุด เนื่องจาก ชิ้นงานที่ผ่าน การอบบ่มแบบ T1 มีค่าความแข็งแรงน้อย ส่งผลให้ผลมีความเค้นดึงต่ำ (Tensile Strength) จึงทำให้ เกิดการแตกชิ้น เพราะโลหะที่อ่อนจะมีมุมของฉีกขาดมาก โดยการแตกจะเกิดขึ้นในลักษณะถูกดึง ขาด ในการทดลองตรวจพบรอยฉีกขาดมีค่าเฉลี่ย 4.82 และจะพบมากใน การอบบ่มแบบ T5 T4 และT6 ตามลำดับ การเกิดรอยตัดเฉือนบนขอบตัดชิ้นงานพบว่า การอบบ่มแบบ T6 พบรอยตัดเฉือน มากที่สุด เนื่องจาก ชิ้นงานที่ผ่านการอบบ่มแบบ T6 ค่าความแข็งแรง และแรงเฉือน (Shear Strength)อยู่ในระดับที่เหมาะสม และช่องว่างระหว่างคมตัดที่เหมาะสม คือช่องว่างระหว่างคมตัดที่ เหมาะสมที่ 6% จึงทำให้ชิ้นงานเกิดการตัดเฉือนสูง ในการทดลองตรวจพบรอยตัดเฉือนมีค่าเฉลี่ย 1.83 มม. และพบมากในการอบบ่มแบบ T4 T5 และT1 ตามลำดับ การเกิดขอบโค้งมนบนขอบตัด ชิ้นงานพบว่า ชิ้นงานที่ผ่านการอบบ่มแบบ T4 พบขอบโค้งมนมากที่สุดเพราะ ชิ้นงานที่ผ่านการอบบ่ม แบบ T4 มีความแข็งแรง เกิดขึ้นน้อย จึงทำให้ได้ชิ้นงานที่อ่อน เมื่อพื้นซ์เริ่มต้นกดชิ้นงานลงไปตาย เนื้อชิ้นงานบริเวณใต้พื้นซ์และเหนือตายจะมีความเค้นอัดที่มีค่าสูงมากกระทำ ในขณะที่เนื้อชิ้นงาน บริเวณด้านข้างของพื้นซ์และตายจะมีความเค้นดึงมากกระทำ ทำให้เนื้อชิ้นงานตรงบริเวณนี้ถูกดึงให้ ไหลตามการเคลื่อนที่ของพื้นซ์ ก่อให้เกิดส่วนโค้งมนขึ้น ในการทดลองนี้ตรวจพบขอบโค้งมนมีค่าเฉลี่ย 0.90 มม. และพบมากในการอบบ่มแบบ T6 T1 และT5 ตามลำดับ



รูปที่ 42 แสดงค่าเฉลี่ยขอบตัดของชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบบ่ม

จากรูปที่ 43 แสดงภาพตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ (Clearance) 6% จะเห็นว่าชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบบ่มแบบ T1 (a) ชิ้นงานทดสอบมีรอยฉีกขาด 5.00 มม. มีรอยตัดเฉียง 0.56 มม. และมีขอบโค้งมน 0.74 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบริบ ชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบบ่มแบบ T4 (b) ชิ้นงานทดสอบมีรอยฉีกขาด 4.53 มม. มีรอยตัดเฉียง 0.90 มม. มีขอบโค้งมน 0.87 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบริบ ชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบบ่มแบบ T5 (c) ชิ้นงานทดสอบมีรอยฉีกขาด 4.25 มม. มีรอยตัดเฉียง 1.30 มม. มีขอบโค้งมน 0.75 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบริบ ชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบบ่มแบบ T6(d) ชิ้นงานทดสอบมีรอยฉีกขาด 4.04 มม. มีรอยตัดเฉียง 1.48 มม. มีขอบโค้งมน 0.78 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบริบ

All rights reserved



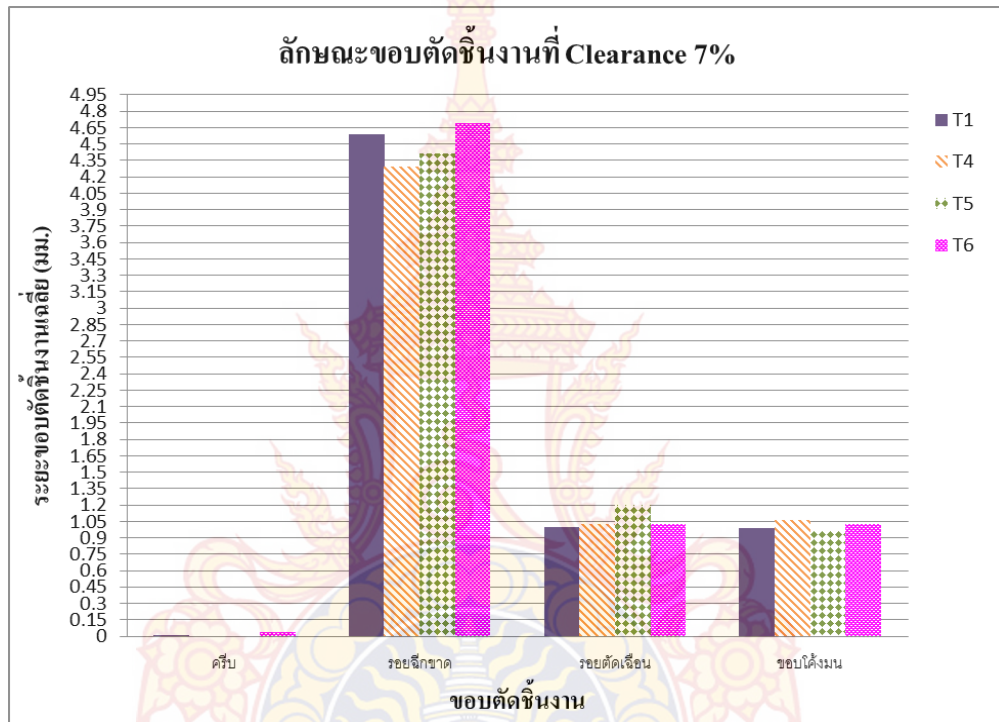
รูปที่ 43 แสดงภาพตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ Clearance 6%

- (a) การอบบ่มแบบ T1 ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 30 นาที ปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ
- (b) การอบบ่มแบบ T4 ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 520°C เป็นเวลา 30 นาที ปล่อยให้เย็นตัวในห้อง
- (c) การอบบ่มแบบ T5 ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 350°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในห้อง อบให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 182°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
- (d) การอบบ่มแบบ T6 ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในห้อง อบให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 182°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

3.ผลการทดลองการอบบ่มช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7%

จากรูปที่ 44 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานที่ผ่านการอบบ่มทั้ง 4 แบบคือ ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 30 นาที ปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ (T1) ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 520°C เป็นเวลา 30 นาที ปล่อยให้เย็นตัวในห้อง (T4) ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 350°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในห้อง อบให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 182°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (T5) ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในห้อง อบให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 182°C เป็นเวลา 5

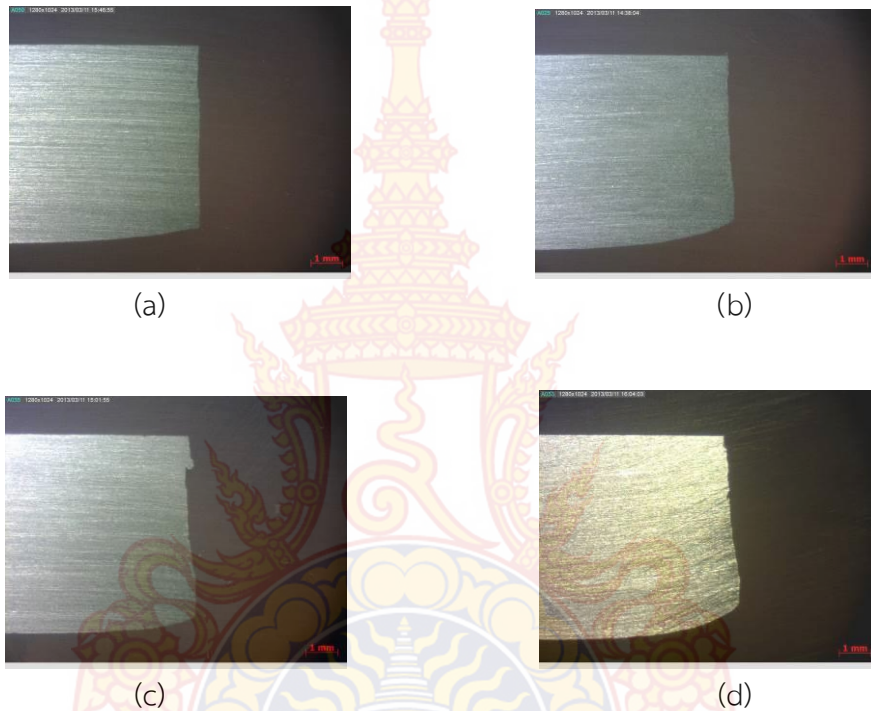
ชั่วโมง (T6) พบว่า การเกิดครีบบนขอบตัดชิ้นงาน พบมากในการอบบ่มแบบ T6 มากที่สุดเพราะ ชิ้นงานที่ผ่านการอบบ่มแบบ T5 มีค่าความเค้นดึงสูง (Tensile Strength) สูง โดยการเกิดครีบบจะเกิด ต่อจากรอยฉีกขาด ปกติการเริ่มเกิดรอยฉีกขาดในเนื้อวัสดุจะไม่ได้เกิดตรงคมตัดพอดี แต่จะเกิดขึ้น เหนือคมตัดเล็กน้อย เนื่องจากความเค้นดึงจะมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นตรงจุดดังกล่าว หลังจากรอยฉีกขาดใน เนื้อวัสดุจากด้านพื้นซ์และตายมาบรรจบกันจะทำให้วัสดุแยกออกจากกันแต่ส่วนเนื้อวัสดุบริเวณ ด้านข้างของคมตัดจะยังเหลืออยู่ที่ขอบตัด ซึ่งส่วนนี้ก็คือครีบ ในการทดลองนี้ตรวจพบครีบมีค่าเฉลี่ย 0.024 มม.และในการอบบ่มแบบ T6 T1 และT4 พบว่ามีค่าการเกิดครีบเป็นศูนย์ การเกิดรอยฉีกขาด บนขอบตัดชิ้นงานพบว่าการอบบ่มแบบ T6 พบรอยฉีกขาดมากที่สุดเนื่องจากชิ้นงานที่ผ่านการอบบ่ม แบบ T6 มีค่าความแข็งแรงสูง ส่งผลให้ผลมีความเค้นดึงสูง (Tensile Strength) และเปอร์เซ็นต์การยืด ตัว (Elongation) ที่ต่ำ จึงทำให้เกิดการแตกชิ้น โดยการแตกจะเกิดขึ้นในลักษณะถูกดึงขาด ในการ ทดลองนี้ตรวจพบรอยฉีกขาดมีค่าเฉลี่ย 4.69 มม.และพบมากใน การอบบ่มแบบ T1 T5 และT4 ตามลำดับ การเกิดรอยตัดเฉือนบนขอบตัดชิ้นงานพบว่าการอบบ่มแบบ T5 พบรอยตัดเฉือนมาก ที่สุด เนื่องจาก ชิ้นงานที่ผ่านการอบบ่มแบบ T5 มีความแข็งแรงและแรงเฉือน (Shear Strength) อยู่ ในระดับที่เหมาะสม ส่งผลให้คุณภาพของชิ้นงานไม่แข็งแรงหรืออ่อนนิ่มเกินไป ทำให้ลักษณะขอบตัด ที่ได้มีรอยเฉือนมากที่สุด ในการทดลองนี้ตรวจพบรอยตัดเฉือนมีค่าเฉลี่ย 1.20 มม.และพบมากใน การอบบ่มแบบ T6 T4 และT1 ตามลำดับ การเกิดขอบโค้งมนบนขอบตัดชิ้นงานพบว่าการอบบ่มแบบ T4 พบขอบโค้งมนมากที่สุดเนื่องจาก ชิ้นงานที่ผ่านการอบบ่มแบบ T4 มีค่าความแข็งแรง เกิดขึ้นน้อย จึงทำให้ได้ชิ้นงานที่อ่อน เมื่อพื้นซ์เริ่มต้นกดชิ้นงานลงไปตาย เนื้อชิ้นงานบริเวณ ใต้พื้นซ์และเหนือตายจะมีความเค้นอัดที่มีค่าสูงมากกระทำ ในขณะที่เนื้อชิ้นงานบริเวณด้านข้าง ของพื้นซ์และตายจะมีความเค้นดึงมากกระทำ ทำให้เนื้อชิ้นงานตรงบริเวณนี้ถูกดึงให้ไหลตามการ เคลื่อนที่ของพื้นซ์ ก่อให้เกิดส่วนโค้งมนขึ้น ในการทดลองนี้ตรวจพบขอบโค้งมนมีค่าเฉลี่ย 1.06 มม. และจะพบมากใน การอบบ่มแบบ T6 T1 และT5 ตามลำดับ



รูปที่ 44 แสดงค่าเฉลี่ยขอบตัดของชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบบ่ม

จากรูปที่ 45 แสดงภาพตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ (Clearance) 7% จะเห็นว่าชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบบ่มแบบ T1 (a) ชิ้นงานทดสอบมีรอยฉีกขาด 3.95 มม. มีรอยตัดเฉียง 1.82 มม. และมีขอบโค้งมน 0.53 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ ชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบบ่มแบบ T4 (b) ชิ้นงานทดสอบมีรอยฉีกขาด 4.41 มม. มีรอยตัดเฉียง 0.87 มม. มีขอบโค้งมน 1.02 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ ชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบบ่มแบบ T5 (c) ชิ้นงานทดสอบมีรอยฉีกขาด 4.44 มม. มีรอยตัดเฉียง 1.34 มม. มีขอบโค้งมน 0.52 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ ชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบบ่มแบบ T6 (d) ชิ้นงานทดสอบมีรอยฉีกขาด 4.36 มม. มีรอยตัดเฉียง 0.80 มม. มีขอบโค้งมน 1.14 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ

All rights reserved



รูปที่ 45 แสดงภาพตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ Clearance 7%

- (a) การอบบ่มแบบ T1 ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 30 นาที
ปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ
- (b) การอบบ่มแบบ T4 ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 520°C เป็นเวลา 30 นาที
ปล่อยให้เย็นตัวในห้อง
- (c) การอบบ่มแบบ T5 ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 350°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
ปล่อยให้เย็นตัวในห้อง อบให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 182°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
- (d) การอบบ่มแบบ T6 ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
ปล่อยให้เย็นตัวในห้อง อบให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 182°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาอิทธิพลของการอบบ่มต่อคุณภาพงาน Blanking ของอลูมิเนียม 6063 โดยศึกษาอุณหภูมิของการอบบ่มศึกษาช่องว่างระหว่างคมตัด(Clearance)ของฟันซ์กับตายที่ระดับต่างกันคือ 5% 6% และ 7% ของความหนาชิ้นงาน ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. ความหนา 6.3 มม.

1.สรุปผลการวิจัย

1.1.วัสดุอลูมิเนียม เกรด AA6063 ที่ผ่านวิธีการอบบ่มแบบ T1 T4 T5 และ T6 ทำให้อลูมิเนียมเกรด AA6063 มีคุณสมบัติทางกลที่แตกต่างกัน ส่งผลทำให้ขอบตัดของชิ้นงานมีคุณภาพไม่เท่ากัน จากผลการทดลองจึงสามารถสรุปได้ว่า ค่าความแข็งแรงของวัสดุชิ้นงานและเปอร์เซ็นต์การยึดตัว มีผลต่อขอบตัดของชิ้นงาน ซึ่งในงานวิจัยนี้วิธีการอบบ่มแบบ T1 T4 T5 และ T6 มีค่าเฉลี่ยของรอยฉีกขาด รอยตัดเฉือน และขอบโค้งมนที่ใกล้เคียงกัน วิธีการอบบ่มแบบ T6 จะมีค่าเฉลี่ยของรอยฉีกขาดมากที่สุด เพราะมีค่าความแข็งแรงสูงสุด และมีเปอร์เซ็นต์การยึดตัวต่ำ จึงทำให้มีรอยฉีกขาดมากที่สุด วิธีการอบบ่มแบบ T5 มีค่าเฉลี่ยของรอยตัดเฉือนมากที่สุด เพราะมีค่าความแข็งแรงอยู่ในระดับปานกลาง และวิธีการอบบ่มแบบ T4 มีค่าเฉลี่ยของส่วนโค้งมนมากที่สุด เพราะมีค่าความแข็งแรงน้อยกว่าวิธีการอบบ่ม แบบ T5 และ T6 แต่มีค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวมากกว่า จึงทำให้มีส่วนโค้งมนมาก

1.2.อิทธิพลช่องว่างระหว่างคมตัดของฟันซ์และตายที่ส่งผลต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน จาก การวัดส่วนต่างๆ ของขอบตัดชิ้นงาน ซึ่งประกอบไปด้วย ครีบ รอยฉีกขาด รอยตัดเฉือน และขอบโค้งมน ที่กำหนดค่าของช่องว่างระหว่างคมตัดของฟันซ์กับตายที่ 5% 6% และ 7% ของความหนาชิ้นงาน พบว่าค่าเฉลี่ยของครีบ รอยฉีกขาด รอยตัดเฉือน และขอบโค้งมน มีความแตกต่างกัน สามารถสรุปได้ว่า ค่าของช่องว่างระหว่างคมตัดของฟันซ์และตายที่ 6% มีคุณภาพของขอบตัดชิ้นงานที่ดีที่สุด คือ ขอบตัดของชิ้นงานมีรอยตัดเฉือนมาก และมีค่าความสูงของครีบน้อย ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการในงานอุตสาหกรรมมาก และเหมาะกับงานที่ต้องการคุณภาพของชิ้นงานสูง

2.ข้อเสนอแนะ

2.1.ในการวิจัยครั้งนี้ทำการตัดชิ้นงานโดยไม่ใช้สารหล่อลื่นประกอบในการตัด หากมีการทำการวิจัยครั้งต่อไป ควรมีการเลือกใช้สารหล่อลื่นในการตัด เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของขอบ

ตัดหรือคุณภาพชิ้นงานที่แตกต่างจากงานวิจัยในครั้งนี้ เพื่อจะได้เพิ่มพูนความรู้ในงาน
แม่พิมพ์ตัดมากยิ่งขึ้น

2.2.วัสดุที่นำมาทำการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้ใช้วัสดุอลูมิเนียมเกรด 6063 เกรดเดียว หาก
มีการวิจัยครั้งต่อไปควรมีการเลือกใช้เกรดของวัสดุเป็นสองเกรด เช่น อลูมิเนียมเกรด 7075 และ
อลูมิเนียมเกรด 5253 โดยทำการเปรียบเทียบผลของขอบตัดชิ้นงานที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้ความรู้ที่
แตกต่างออกไปจากการวิจัยในครั้งนี้



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

บรรณานุกรม

- [1] Tekiner, Z., M. Nalbant, et al. (2006). "An experimental study for the effect of different clearances on burr, smooth-sheared and blanking force on aluminium sheet metal." **Materials & Design** 27(10): 1134-1138
- [2] Klingenberg, W. and T. W. de Boer (2008). "Condition-based maintenance in punching/blanking of sheet metal." **International Journal of Machine Tools and Manufacture** 48(5): 589-598.
- [3] Gréban, F., G. Monteil, et al. (2007). "Influence of the structure of blanked Materials upon the blanking quality of copper alloys." **Journal of Materials Processing Technology** 186(1-3): 27-32
- [4] Breitling, J., B. Pfeiffer, et al. (1997). "Process control in blanking." **Journal of Materials Processing Technology** 71(1): 187-192
- [5] Lo, S.-P., D.-Y. Chang, et al. (2007). "Quality prediction model of the sheet blanking process for thin phosphorous bronze." **Journal of Materials Processing Technology** 194(1-3): 126-133
- [6] ศิริชัย ต่อสกุล (2551). "การศึกษาอิทธิพลของรูปทรงของฟันซ์ต่อคุณภาพขอบตัดเฉือนชิ้นงานอลูมิเนียม" **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ เล่มที่ 17**
- [7] กุลชาติ จุล และคณะ (2547). "อิทธิพลของการสึกหรอในงานแม่พิมพ์ตัดที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงาน" **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18 . 18-20 ตุลาคม 2547.**

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

ตารางที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ ก.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ระยะห่างระหว่างพื้นซ์และตายที่มีต่อวัสดุต่างๆ

Material group	Clearance per side
1100 and 5052 aluminum alloys (all temper)	4.5 %t
2024 and 6061 aluminum alloys (all temper) Cold rolled steel; soft Stainless steel; soft, Copper; soft	6%t
Cold rolled steel, half hard Copper hard	7.5%t
High carbon steel	12 - 16 %t
Stainless steel	4 - 13%t

ตารางที่ ก.2 แสดงแรงปลดที่จะหาได้จากเปอร์เซ็นต์ของการตัด

ความหนาชิ้นงาน	ค่าที่ใช้ในการปลด (เปอร์เซ็นต์)
น้อยกว่า 1 มม.	6 เปอร์เซนต์
1 – 1.6 มม.	8 เปอร์เซนต์
1.6 – 2.5 มม.	10 เปอร์เซนต์
2.5 – 4 มม.	12.5 เปอร์เซนต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

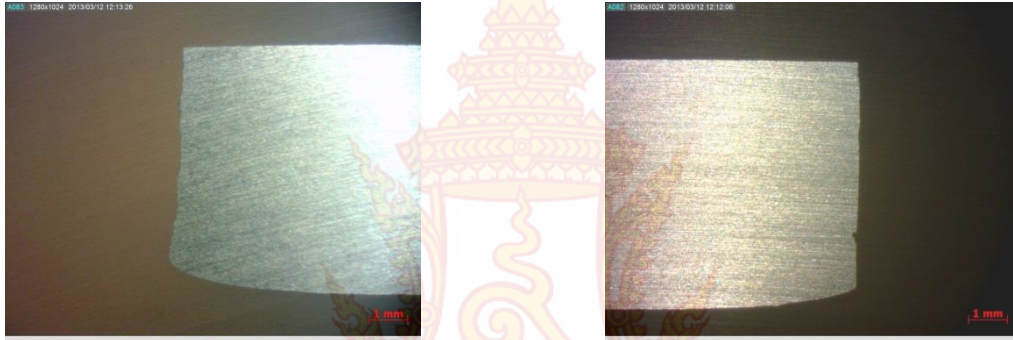


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

ชิ้นงานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 30 นาที ปล่อยให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง (T1)



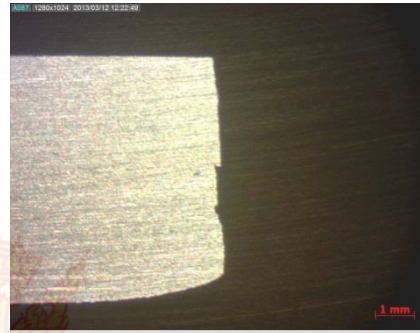
(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย (b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา
รูปที่ ข.1 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่หนึ่งโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5 %

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 5.08 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.64 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉือน 0.36 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉือน 1.13 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.86 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.53 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย (b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา
รูปที่ ข.2 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สองโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5 %

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.97 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.76 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉือน 0.73 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉือน 0.68 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.60 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.86 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.3 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สามโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5 %

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.67 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.80 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 1.18 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.74 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.45 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.76 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดมีครีบริบ



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.4 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สี่โดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5 %

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.30 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.29 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 1.34 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.01 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.66 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 1.00 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบริบ

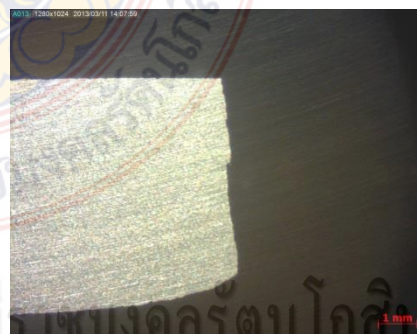
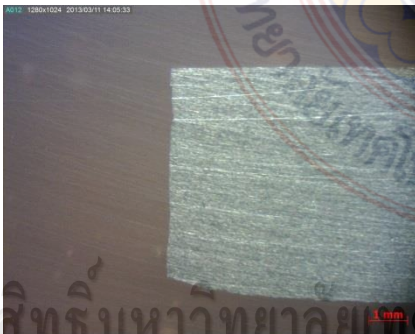


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.5 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบขึ้นที่ห้าโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5 %

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.66 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.97 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.78 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.80 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.86 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.53 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ

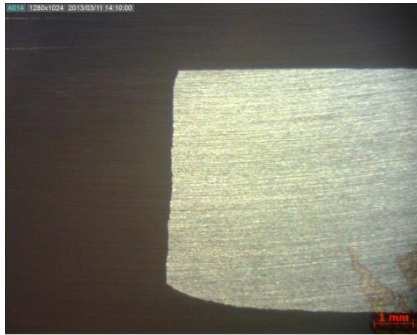


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.6 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบขึ้นที่หนึ่งโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6%

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.83 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.70 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.81 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.58 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.66 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 1.02 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.7 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สองโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6 %

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 5.04 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.94 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.51 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.49 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.75 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.87 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก

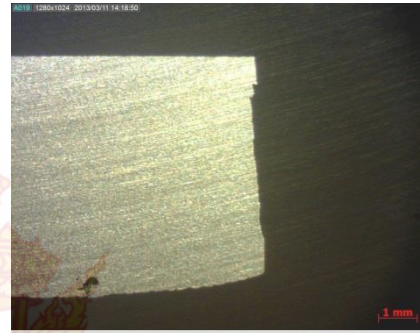
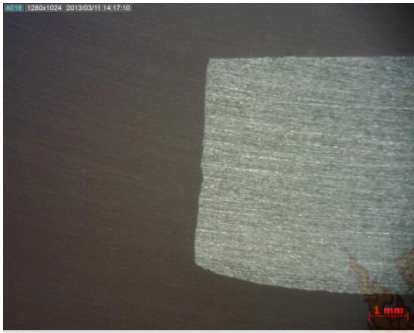


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.8 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สามโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6%

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 5.04 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 5.00 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.57 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.56 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.69 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.74 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.9 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สี่โดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6%

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.69 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.82 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.73 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.87 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.88 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.61 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ

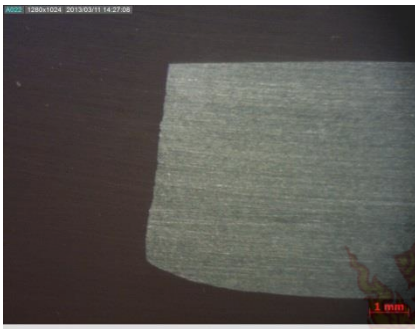


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.10 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ห้าโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6 %

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.24 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.63 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.98 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.03 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 1.08 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.64 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.11 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่หนึ่งโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7%

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.39 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.59 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.90 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.84 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 1.01 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.87 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก

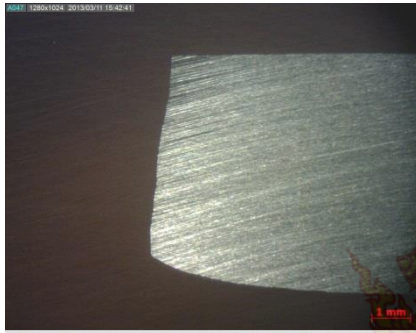


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.12 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สองโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7 %

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.99 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.46 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.64 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.66 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.67 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 1.18 มม. ด้านซ้ายมีครีบก 0.03 มม. ด้านขวามีครีบก 0.06 มม.

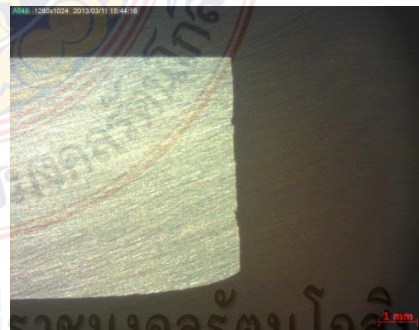


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.13 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบขึ้นที่สามโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7 %

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.56 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.68 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.71 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.83 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 1.03 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.79 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.14 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบขึ้นที่สี่โดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7 %

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.52 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.71 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.71 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.88 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 1.07 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.71 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.15 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ห้าโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7 %

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.47 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 3.95 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.68 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.82 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 1.15 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.53 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบริบ

ชิ้นงานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 520 ° C เป็นเวลา 30 นาที ปลดปล่อยเย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง (T4)

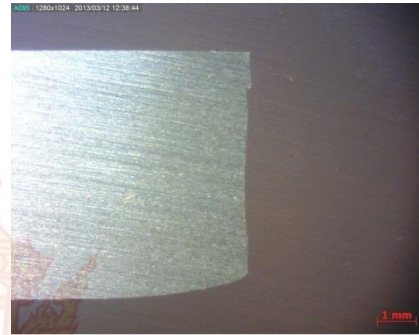
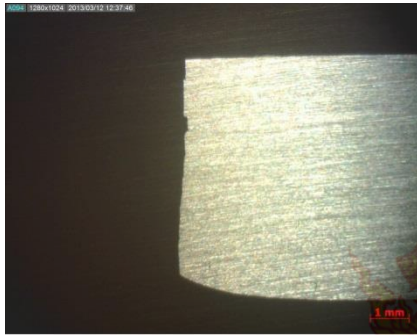


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.16 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่หนึ่งโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5 %

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.60 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.41 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 1.08 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.97 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.62 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.92 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบริบ



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.17 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สองโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5 %

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.80 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.72 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.82 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.87 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.68 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.71 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.18 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สามโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5%

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.53 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.43 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.99 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.19 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.78 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.68 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.19 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สี่โดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5 %

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 5.10 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.62 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉือน 0.72 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉือน 0.79 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.48 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.89 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ

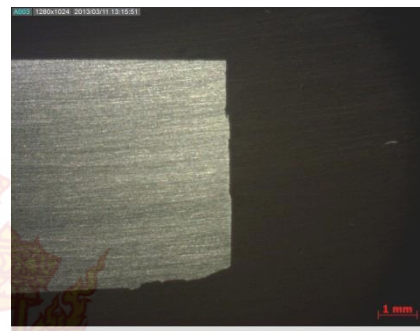
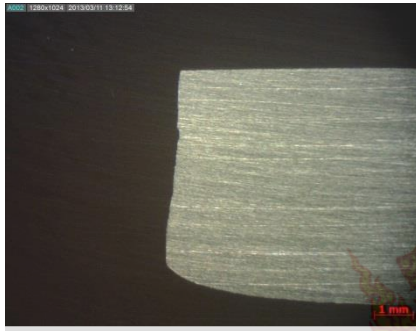


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.20 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ห้าโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5 %

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.85 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.32 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉือน 0.80 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉือน 0.84 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.65 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.14 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.21 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่หนึ่งโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6 %

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.28 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 3.85 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.98 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.72 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 1.04 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.73 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก

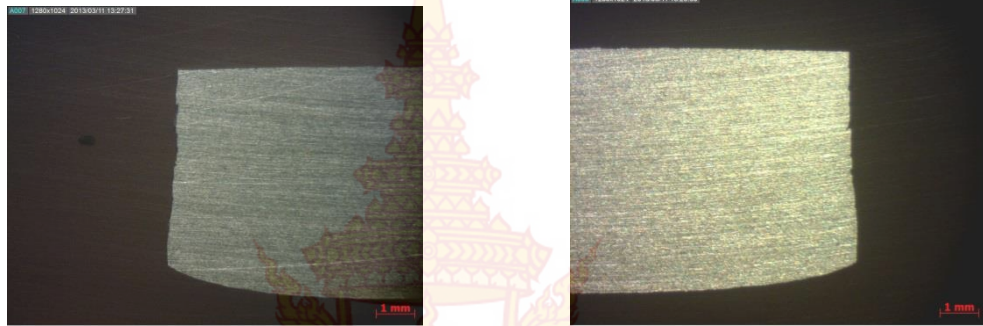


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.22 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สองโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6 %

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.55 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.34 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 1.05 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.94 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.70 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 1.02 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก

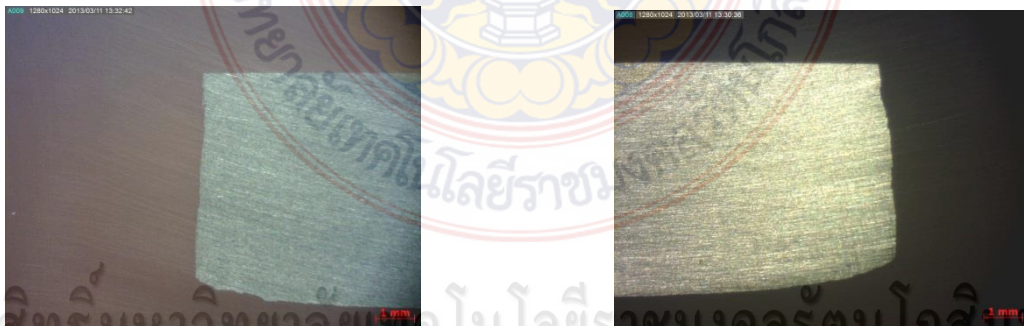


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.23 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สามโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6 %

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.83 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.46 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.60 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.02 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.87 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.82 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก

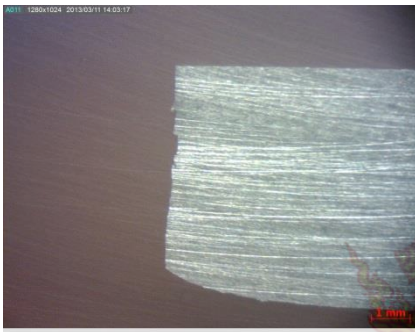


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.24 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สี่โดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6 %

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.44 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.08 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 1.05 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.20 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.81 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 1.02 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.25 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบขึ้นที่ห้าโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6 %

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.23 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.53 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.98 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.90 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 1.09 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.87 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีป

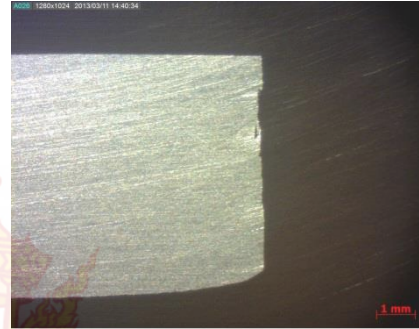


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.26 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบขึ้นที่หนึ่งโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7%

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.35 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.41 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.92 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.87 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 1.03 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 1.02 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีป

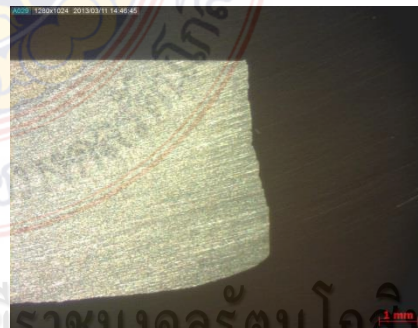


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.27 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สองโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7 %

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 3.79 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.24 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 1.18 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.29 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 1.33 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.77 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก

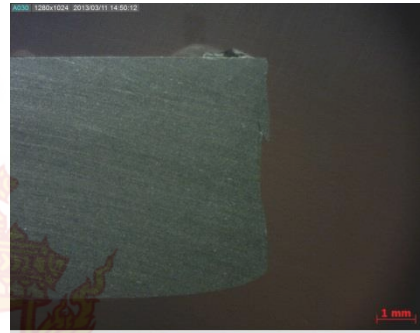
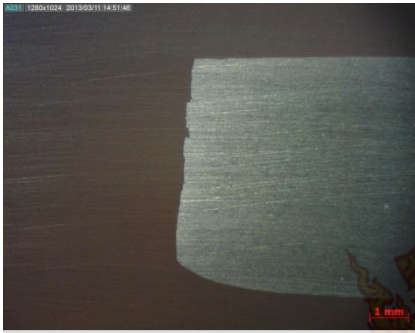


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.28 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สามโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7 %

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.35 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 3.81 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 1.03 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.20 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.92 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 1.29 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.29 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบขึ้นที่สี่โดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7%

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.55 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.55 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.75 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.98 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 1.00 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.77 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก



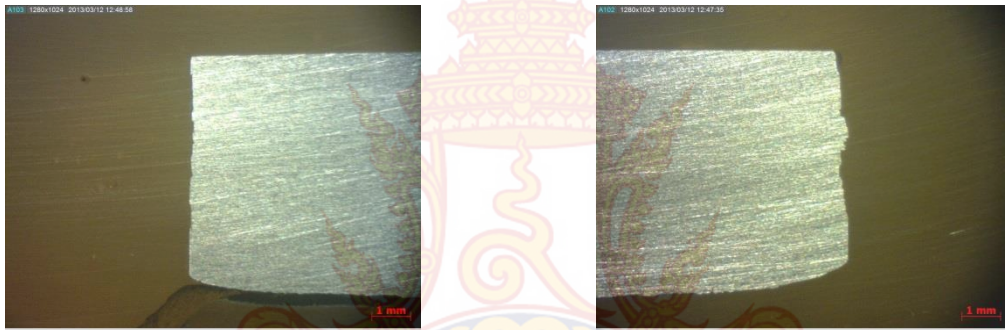
(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.30 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบขึ้นที่ห้าโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7%

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.41 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.01 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 1.12 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.82 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.77 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 1.47 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก

ชิ้นงานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 350 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง อบให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 182 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (T5)



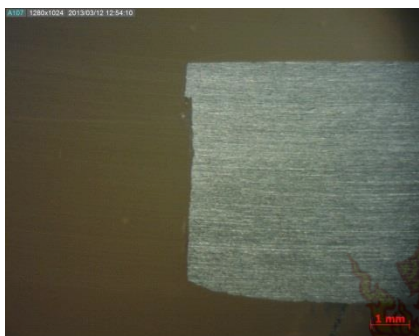
(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย (b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา
รูปที่ ข.31 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่หนึ่งโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5 %

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.48 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.18 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 1.24 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.15 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.58 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.97 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย (b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา
รูปที่ ข.32 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สองโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5 %

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.34 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.47 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.97 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.23 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.99 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.60 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.33 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สามโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5%

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.80 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.58 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.92 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.77 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.58 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.95 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.34 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สี่โดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5%

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.23 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.36 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 1.21 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.34 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.86 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.60 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.35 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ห้าโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5%

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.87 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.18 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.67 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.22 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.76 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.90 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

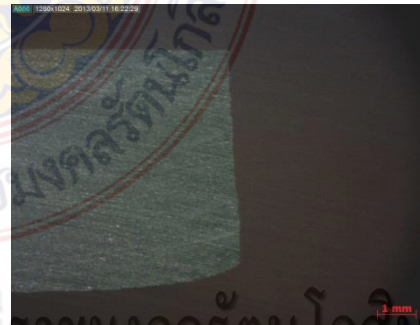
รูปที่ ข.36 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่หนึ่งโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6%

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.61 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.49 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.82 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.94 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.87 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.87 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก



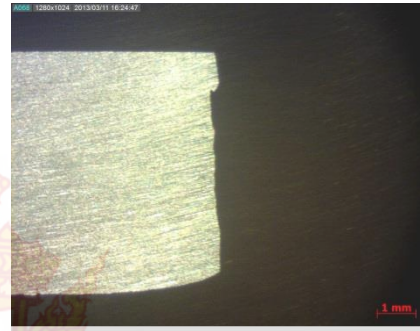
(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย (b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา
รูปที่ ข.37 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สองโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6%

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.67 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.60 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉือน 0.87 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉือน 0.84 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.76 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.86 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย (b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา
รูปที่ ข.38 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สามโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6%

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.23 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.25 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉือน 1.20 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉือน 1.30 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.87 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.75 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก

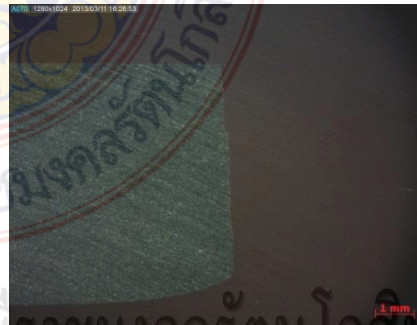


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.39 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบขึ้นที่สี่โดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6%

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.72 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.67 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.92 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.02 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.66 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.61 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ

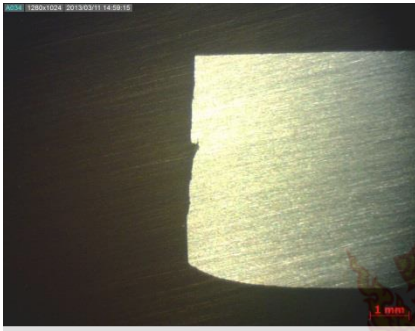


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

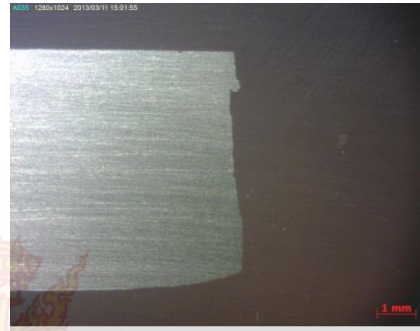
(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.40 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบขึ้นที่ห้าโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6%

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.56 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.43 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 1.19 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.11 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.55 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.76 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย



(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.41 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่หนึ่งโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7%

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.42 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.44 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 1.22 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.34 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.66 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.52 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก



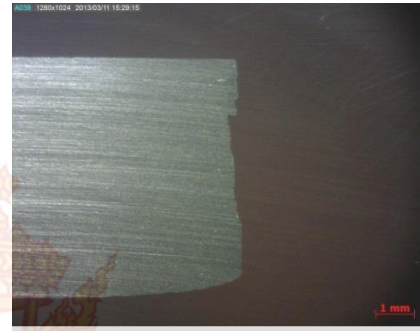
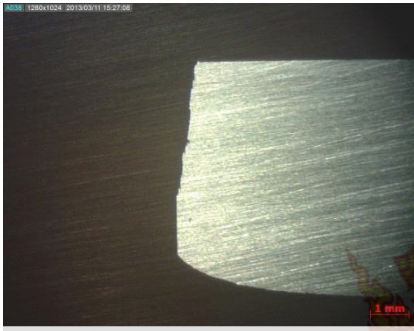
(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย



(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

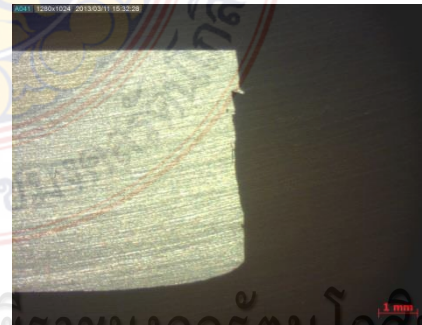
รูปที่ ข.42 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สองโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7%

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.52 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.67 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.85 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.76 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.93 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.87 มม. ด้านซ้ายไม่มีครีบกเกิดขึ้น ด้านขวาของชิ้นงานมีครีบกเกิดขึ้น 0.12 มม.



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย (b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา
รูปที่ ข.43 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สามโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7%

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 3.68 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.36 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 1.51 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.33 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 1.11 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.61 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย (b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.44 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สี่โดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7%

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.08 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.25 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 1.31 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.24 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.91 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.81 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.45 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ทำโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7%

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.03 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.35 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 1.03 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.34 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 1.24 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.61 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ

ชิ้นงานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง อบให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 182 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง (T6)

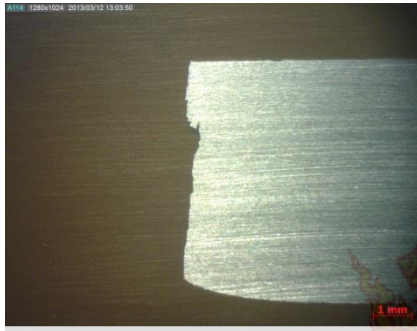


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.46 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่หนึ่งโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5%

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.88 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.75 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.72 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.86 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.70 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.69 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.47 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สองโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5%

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 5.06 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.79 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.61 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.84 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.63 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.67 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ

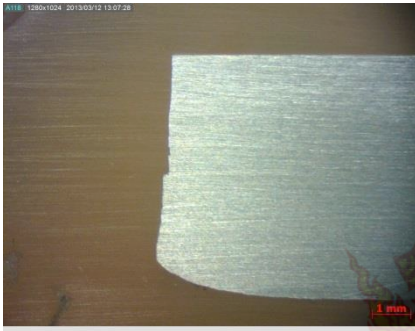


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.48 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สามโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5%

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.58 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.93 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 1.04 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.82 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.68 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.55 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ

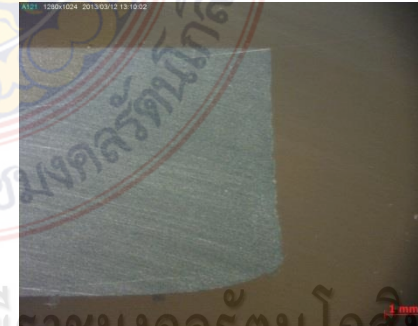


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.49 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบขึ้นที่สี่โดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5%

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.83 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.61 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.46 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.15 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 1.01 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.54 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ

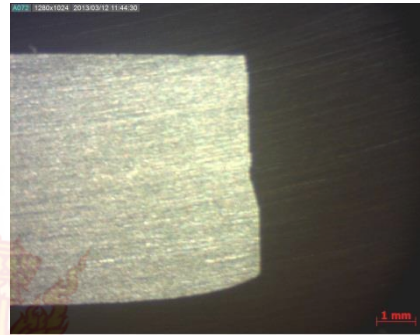
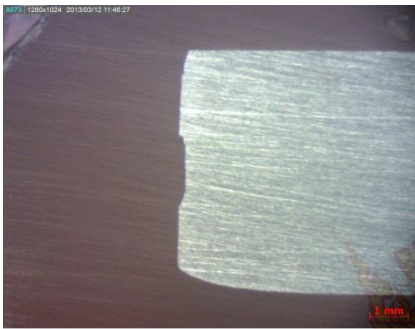


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.50 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบขึ้นที่ห้าโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5%

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 5.18 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.94 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.41 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.52 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.71 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.84 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ

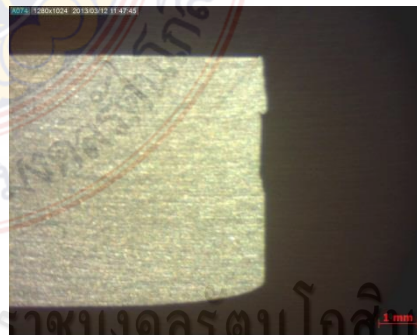


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.51 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่หนึ่งโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6%

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 3.96 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 3.82 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉือน 1.60 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉือน 1.68 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.74 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.80 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบริบ



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.52 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สองโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6%

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 3.62 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 3.47 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉือน 1.66 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉือน 2.18 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 1.02 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.65 มม. ด้านซ้ายมีครีบริบ 0.08 ด้านขวาชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบริบ



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย (b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา
รูปที่ ข.53 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สามโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6%

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 3.80 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 3.35 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 1.32 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 2.06 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 1.18 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.89 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีคريب



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย (b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา
รูปที่ ข.54 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สี่โดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6%

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.60 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.04 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.94 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.48 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.76 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.78 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีคريب

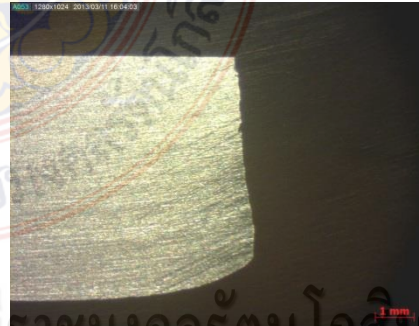


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.55 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ห้าโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6%

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 3.77 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 3.51 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 1.82 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.74 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.71 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 1.05 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก

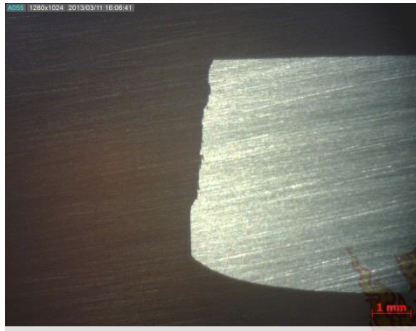


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.56 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่หนึ่งโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7%

จากรูปที่ a – b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.93 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.36 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.76 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.80 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.61 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 1.14 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก

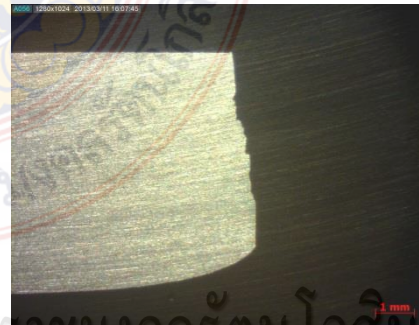


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.57 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สองโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7%

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.20 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.60 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 1.13 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 0.98 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.97 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.72 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก

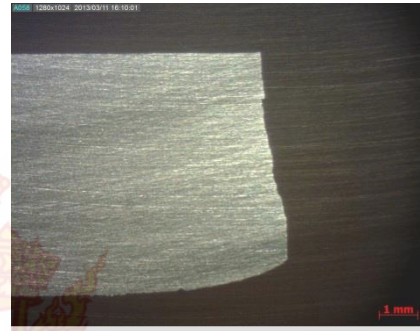


(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.58 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สามโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7%

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.81 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 3.90 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.94 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.15 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.55 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 1.25 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบก



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.59 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่สี่โดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7%

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 5.09 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.24 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 0.60 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.09 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.61 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 0.97 มม. ชิ้นงานทดสอบไม่เกิดการมีครีบ



(a) ชิ้นงานทดสอบทางด้านซ้าย

(b) ชิ้นงานทดสอบทางด้านขวา

รูปที่ ข.60 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ห้าโดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7%

จากรูปที่ a - b จะเห็นว่าชิ้นงานด้านซ้าย มีรอยฉีกขาด 4.42 มม. และชิ้นงานด้านขวา มีรอยฉีกขาด 4.10 มม. ด้านซ้ายมีรอยตัดเฉียง 1.17 มม. ด้านขวามีรอยตัดเฉียง 1.13 มม. และด้านซ้ายมีขอบโค้งมน 0.71 มม. ด้านขวามีขอบโค้งมน 1.07 มม. ด้านซ้ายมีครีบ 0.08 มม. ด้านขวามีครีบ 0.08 มม.



ภาคผนวก ค
ผลการวัดขอบตัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

ความสูงของขอบตัดชิ้นงาน

ตารางที่ ค.1 ระยะความสูงของขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการระยะช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5% แบบ

T1

ชิ้นงาน	ครีป		รอยฉีกขาด		รอยตัดเฉียง		ขอบโค้งมน		ความสูงรวม	
	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)
1	0	0	5.08	4.64	0.36	1.13	0.86	0.53	6.3	6.3
2	0	0	4.97	4.76	0.73	0.68	0.60	0.86	6.3	6.3
3	0	0	4.67	4.80	1.18	0.74	0.45	0.76	6.3	6.3
4	0	0	4.30	4.29	1.34	1.01	0.66	1.00	6.3	6.3
5	0	0	4.66	4.97	0.78	0.80	0.86	0.53	6.3	6.3
ค่าเฉลี่ย	0	0	4.74	4.69	0.88	0.87	0.69	0.74	6.3	6.3

ตารางที่ ค.2 ระยะความสูงของขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการระยะช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6% แบบ

T1

ชิ้นงาน	ครีป		รอยฉีกขาด		รอยตัดเฉียง		ขอบโค้งมน		ความสูงรวม	
	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)
1	0	0	4.83	4.70	0.81	0.58	0.66	1.02	6.3	6.3
2	0	0	5.04	4.94	0.51	0.49	0.75	0.87	6.3	6.3
3	0	0	5.04	5.00	0.57	0.56	0.69	0.74	6.3	6.3
4	0	0	4.69	4.82	0.73	0.87	0.88	0.61	6.3	6.3
5	0	0	4.24	4.63	0.98	1.03	1.08	0.64	6.3	6.3
ค่าเฉลี่ย	0	0	4.77	4.82	0.72	0.71	0.81	0.78	6.3	6.3

ตารางที่ ค.3 ระยะความสูงของขอบตัดขึ้นงานที่ได้จากการระยะช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7% แบบ

T1

ชิ้นงาน	ครีป		รอยฉีกขาด		รอยตัดเฉือน		ขอบโค้งมน		ความสูงรวม	
	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)
1	0	0	4.39	4.59	0.90	0.84	1.01	0.87	6.3	6.3
2	0.03	0.06	4.99	4.46	0.64	0.66	0.67	1.18	6.3	6.3
3	0	0	4.56	4.68	0.71	0.83	1.03	0.79	6.3	6.3
4	0	0	4.52	4.71	0.71	0.88	1.07	0.71	6.3	6.3
5	0	0	4.47	3.95	0.68	1.82	1.15	0.53	6.3	6.3
ค่าเฉลี่ย	0.006	0.012	4.59	4.48	0.73	1.00	0.99	0.82	6.3	6.3

ตารางที่ ค.4 ระยะความสูงของขอบตัดขึ้นงานที่ได้จากการระยะช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5% แบบ

T4

ชิ้นงาน	ครีป		รอยฉีกขาด		รอยตัดเฉือน		ขอบโค้งมน		ความสูงรวม	
	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)
1	0	0	4.60	4.41	1.08	0.97	0.62	0.92	6.3	6.3
2	0	0	4.80	4.72	0.82	0.87	0.68	0.71	6.3	6.3
3	0	0	4.53	4.43	0.99	1.19	0.78	0.68	6.3	6.3
4	0	0	5.10	4.62	0.72	0.79	0.48	0.89	6.3	6.3
5	0	0	4.85	4.32	0.80	0.84	0.65	1.14	6.3	6.3
ค่าเฉลี่ย	0	0	4.78	4.50	0.88	0.93	0.64	0.87	6.3	6.3

ตารางที่ ค.5 ระยะความสูงของขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการระยาะช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6% แบบ

T4

ชิ้นงาน	ครีป		รอยฉีกขาด		รอยตัดเฉือน		ขอบโค้งมน		ความสูงรวม	
	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)
1	0	0	4.28	3.85	0.98	1.72	1.04	0.73	6.3	6.3
2	0	0	4.55	4.34	1.05	0.94	0.70	1.02	6.3	6.3
3	0	0	4.83	4.46	0.60	1.02	0.87	0.82	6.3	6.3
4	0	0	4.44	4.08	1.05	1.20	0.81	1.02	6.3	6.3
5	0	0	4.23	4.53	0.98	0.90	1.09	0.87	6.3	6.3
ค่าเฉลี่ย	0	0	4.47	4.25	0.93	1.16	0.90	0.89	6.3	6.3

ตารางที่ ค.6 ระยะความสูงของขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการระยาะช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7% แบบ

T4

ชิ้นงาน	ครีป		รอยฉีกขาด		รอยตัดเฉือน		ขอบโค้งมน		ความสูงรวม	
	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)
1	0	0	4.35	4.41	0.92	0.87	1.03	1.02	6.3	6.3
2	0	0	3.79	4.24	1.18	1.29	1.33	0.77	6.3	6.3
3	0	0	4.35	3.81	1.03	1.20	0.92	1.29	6.3	6.3
4	0	0	4.55	4.55	0.75	0.98	1.00	0.77	6.3	6.3
5	0	0	4.41	4.01	1.12	0.82	0.77	1.47	6.3	6.3
ค่าเฉลี่ย	0	0	4.29	4.20	1.00	1.03	1.01	1.06	6.3	6.3

ตารางที่ ค.7 ระยะความสูงของขอบตัดขึ้นงานที่ได้จากการระยะช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5% แบบ

T5

ชิ้นงาน	ครีป		รอยฉีกขาด		รอยตัดเฉือน		ขอบโค้งมน		ความสูงรวม	
	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)
1	0	0	4.48	4.18	1.24	1.15	0.58	0.97	6.3	6.3
2	0	0	4.34	4.47	0.97	1.23	0.99	0.60	6.3	6.3
3	0	0	4.80	4.58	0.92	0.77	0.58	0.95	6.3	6.3
4	0	0	4.23	4.36	1.21	1.34	0.86	0.60	6.3	6.3
5	0	0	4.87	4.18	0.67	1.22	0.76	0.90	6.3	6.3
ค่าเฉลี่ย	0	0	4.54	4.35	1.00	1.14	0.75	0.80	6.3	6.3

ตารางที่ ค.8 ระยะความสูงของขอบตัดขึ้นงานที่ได้จากการระยะช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6% แบบ

T5

ชิ้นงาน	ครีป		รอยฉีกขาด		รอยตัดเฉือน		ขอบโค้งมน		ความสูงรวม	
	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)
1	0	0	4.61	4.49	0.82	0.94	0.87	0.87	6.3	6.3
2	0	0	4.67	4.60	0.87	0.84	0.76	0.86	6.3	6.3
3	0	0	4.23	4.25	1.20	1.30	0.87	0.75	6.3	6.3
4	0	0	4.72	4.67	0.92	1.02	0.66	0.61	6.3	6.3
5	0	0	4.56	4.43	1.19	1.11	0.55	0.76	6.3	6.3
ค่าเฉลี่ย	0	0	4.56	4.49	1.00	1.04	0.74	0.77	6.3	6.3

ตารางที่ ค.9 ระยะความสูงของขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการระยาะช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7% แบบ

T5

ชิ้นงาน	ครีป		รอยฉีกขาด		รอยตัดเฉือน		ขอบโค้งมน		ความสูงรวม	
	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)
1	0	0	4.42	4.44	1.22	1.34	0.66	0.52	6.3	6.3
2	0	0.12	4.52	4.67	0.85	0.76	0.93	0.87	6.3	6.3
3	0	0	3.68	4.36	1.51	1.33	1.11	0.61	6.3	6.3
4	0	0	4.08	4.25	1.31	1.24	0.91	0.81	6.3	6.3
5	0	0	4.03	4.35	1.03	1.34	1.24	0.61	6.3	6.3
ค่าเฉลี่ย	0	0.024	4.15	4.41	1.18	1.20	0.97	0.68	6.3	6.3

ตารางที่ ค.10 ระยะความสูงของขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการระยาะช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 5% แบบ

T6

ชิ้นงาน	ครีป		รอยฉีกขาด		รอยตัดเฉือน		ขอบโค้งมน		ความสูงรวม	
	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)
1	0	0	4.88	4.75	0.72	0.86	0.70	0.69	6.3	6.3
2	0	0	5.06	4.79	0.61	0.84	0.63	0.67	6.3	6.3
3	0	0	4.58	4.93	1.04	0.82	0.68	0.55	6.3	6.3
4	0	0	4.83	4.61	0.46	1.15	1.01	0.54	6.3	6.3
5	0	0	5.18	4.94	0.41	0.52	0.71	0.84	6.3	6.3
ค่าเฉลี่ย	0	0	4.91	4.80	0.65	0.84	0.75	0.66	6.3	6.3

ตารางที่ ค.11 ระยะความสูงของขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการระยะช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 6% แบบ

T6

ชิ้นงาน	ครีป		รอยฉีกขาด		รอยตัดเฉือน		ขอบโค้งมน		ความสูงรวม	
	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)
1	0	0	3.96	3.82	1.60	1.68	0.74	0.80	6.3	6.3
2	0	0.08	3.62	3.47	1.66	2.18	1.02	0.65	6.3	6.3
3	0	0	3.80	3.35	1.32	2.06	1.18	0.89	6.3	6.3
4	0	0	4.60	4.04	0.94	1.48	0.76	0.78	6.3	6.3
5	0	0	3.77	3.51	1.82	1.74	0.71	1.05	6.3	6.3
ค่าเฉลี่ย	0	0.01 6	3.95	3.64	1.47	1.83	0.88	0.83	6.3	6.3

ตารางที่ ค.12 ระยะความสูงของขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการระยะช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 7% แบบ

T6

ชิ้นงาน	ครีป		รอยฉีกขาด		รอยตัดเฉือน		ขอบโค้งมน		ความสูงรวม	
	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)	ซ้าย (มม.)	ขวา (มม.)
1	0	0	4.93	4.36	0.76	0.80	0.61	1.14	6.3	6.3
2	0	0	4.20	4.60	1.13	0.98	0.97	0.72	6.3	6.3
3	0	0	4.81	3.90	0.94	1.15	0.55	1.25	6.3	6.3
4	0	0	5.09	4.24	0.60	1.09	0.61	0.97	6.3	6.3
5	0.08	0.08	4.42	4.10	1.17	1.13	0.71	1.07	6.3	6.3
ค่าเฉลี่ย	0.01 6	0.01 6	4.69	4.24	0.92	1.03	0.69	1.03	6.3	6.3



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

ประวัติผู้วิจัย

1.ชื่อ-นามสกุล นายวิชัย พุ่มจันทร์

2.ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต

3.หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้

สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต

คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

ถ.เพชรเกษม ต.หนองแก

อ.หัวหิน

จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77110

โทร 032618500

อีเมล : wichai.pum@rmutr.ac.th , wicchaipumchan@hotmail.com

4.ประวัติการศึกษา

ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

พ.ศ.2553

ปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

พ.ศ.2540

5.สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

การเชื่อมเสียดทานแบบกวน

การเขียนแบบและออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์

คอมพิวเตอร์ช่วยในงานผลิต

เทคโนโลยีซีเอ็นซี

6.ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย