

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ ผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่สนับสนุนงบประมาณสำหรับงานวิจัย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่และอาจารย์ในสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรมและสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการออกแบบแม่พิมพ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ที่ให้การสนับสนุนทางด้านเทคนิคและข้อมูล จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ประสาน แสงเขียวและคณะ
กันยายน 2556

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

บทคัดย่อ

- รหัสโครงการ** : Inno 001/2556
- ชื่อโครงการ** : การศึกษาคุณภาพขอบตัดของชิ้นงานที่ผลิตจากเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว
- ชื่อนักวิจัย** : นายประสาน แสงเขียว, นายพงศกร หลีตระกูล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลัก ในการศึกษาคุณภาพของขอบตัดชิ้นงาน ที่ผลิตจากการตัดด้วยเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น เกรด JIS SKD 11 ที่ผ่านการใช้งานแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ โดยศึกษาภายหลังจากการนำเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนคือ การอบอ่อนและชุบแข็ง จะส่งผลอย่างไรต่อคุณภาพขอบตัดของชิ้นงาน ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือตัดที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนจำนวนสองครั้ง โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 20 มิลลิเมตร และกระบวนการทางความร้อนจำนวนสามครั้ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร ช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และตายเท่ากับ 5% ของความหนาชิ้นงาน ซึ่งเป็นการลดขนาดจากฟันซ์และตายที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนเพียงครั้งเดียวคือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ทำการตัดวัสดุที่ใช้ในการทดลองคือเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304 ขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร จากผลการทดลองพบว่า คุณภาพของขอบตัดของชิ้นงานที่ผลิตจากเครื่องมือตัดที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนมากกว่าหนึ่งครั้งมีแนวโน้มลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือตัดที่ผ่านกระบวนการทางเพียงครั้งเดียว

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

E-mail Address: Prasan.san@hotmail.com

ระยะเวลาโครงการ: 1 ตุลาคม 2555- 30 กันยายน 2556

Abstract

Project Title : Inno 001/2556

Project Credits : The study Quality cutting edge produced of tool steel of reuse

Prepared By : Mr. Prasan Sankhleo, Mr. pongsakorn Leetrakul

The main objective of this research is to study the quality of the cutting edge. Obtained by cutting with a JIS SKD 11 tool steel, through the use of recycled and reused. Study later reuse. After going through the process of heat treatment will affect the quality of the cutting edge of the work piece. In this research use punch diameter 20 mm and diameter 15 mm. Clearance between punch and die is 5%, which reduces the size of punch and die used size 25 mm cut materials were stainless steel grade 304, thickness of 2 mm . Experimental results showed that the quality of the cutting edge is likely to decline when compared to the Punch and die having never been used before.

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

E-mail Address: Prasan.san@hotmail.com

Period of Project: October 1,2555 – September 30,2556



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันประเทศไทยมีการลงทุนและมีฐานการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เพื่อจำหน่ายในประเทศและต่างประเทศ มีแนวโน้มการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องทำให้มีการผลิตแม่พิมพ์เป็นจำนวนมาก และเหล็กบางชนิดก็นำเข้าจากต่างประเทศ จึงทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ซึ่งเหล็กที่นำมาใช้ในการตัดนั้นมีคุณสมบัติทนต่อการสึกหรอและการเสียดสีที่ดีมากเมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าทั่วไป จึงทำให้โรงงานจำเป็นต้องลงทุนนำเขาจากต่างประเทศเพื่อยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ อย่างไรก็ตามเมื่อผลิตไประยะหนึ่งจะแม่พิมพ์มีการสึกหรอเกิดขึ้น ทำให้ขอบตัดของชิ้นงานไม่ได้คุณภาพ จึงต้องเปลี่ยนเหล็กกล้าแม่พิมพ์ใหม่ และทิ้งของที่สึกหรอขายรวมกับเหล็กกล้าทั่วไป จากการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุมาใช้ในการผลิตแม่พิมพ์ จำเป็นต้องปฏิบัติให้ถูกต้องเหมาะสมเพื่อยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์

ดังนั้นจึงทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะนำเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วกลับมาใช้ใหม่ เพื่อดูคุณภาพขอบตัดของชิ้นงาน ที่ผ่านการตัดด้วยเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นที่ใช้แล้ว สามารถนำกลับมาใช้งานได้มีประสิทธิภาพ ซึ่งงานวิจัยนี้มีโอกาสลดค่าใช้จ่ายในการนำเข้าเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นได้สูงและยังสร้างฐานข้อมูลในการวิจัยร่วมกับภาคอุตสาหกรรมเพื่อนำไปสู่การใช้งานแม่พิมพ์อย่างมีประสิทธิภาพสูง

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 2.1. ศึกษาความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น
- 2.2. ศึกษาประสิทธิภาพของขอบตัดชิ้นงาน

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 3.1. สร้างแม่พิมพ์ตัด 1 ชุด โดยมีพื้นที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 25 มม. ใช้วัสดุ

SKD11

- 3.2. ใช้ช่องว่างแม่พิมพ์คงที่ คือร้อยละ 5 ของความหนาชิ้นงาน
- 3.3. ทำการอบชุบพ่นซ์เพื่อให้มีความแข็งเท่ากันคือ 60 ± 1 HRC

3.4. ทำการทดสอบด้วยกรรมวิธีการตัด วัสดุที่ใช้ในการทดสอบเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม โดยตัวแปรอื่นๆ ให้คงที่ไว้ดังนี้

- ความหนาชิ้นงาน 2 มม.
- ขนาดความกว้างของแผ่นสรีป 40 มม.
- เครื่องเพรสแบบ *Eccentric press* ขนาด 60 ตัน
- ความเร็วตัดคงที่เท่ากับ 30 มม./วินาที
- ไม่ใช้สารหล่อลื่นในการทดลอง

3.5. ทำการตัดด้วยพันธที่ผ่านการใช้งานแล้ว ตรวจสอบและเก็บผล ครั้งที่ 1-100 ตรวจสอบและเก็บผลทุก 10 ครั้ง จากครั้งที่ 101-200 ตรวจสอบและเก็บผลทุก 20 ครั้ง จากครั้งที่ 201-400 ตรวจสอบและเก็บผลทุก 40 ครั้ง จากครั้งที่ 401-1,000 ตรวจสอบและเก็บผลทุก 100 ครั้ง ตรวจสอบวัดคุณภาพขอบตัดของชิ้นงาน

3.6. ภายหลังกการเก็บข้อมูลครั้งแรก ทำการอบคืนตัวเพื่อให้สามารถกลึงลดขนาดพันธลงมาให้ได้ 20 มม. ภายหลังจากลดขนาดสำเร็จทำการชุบแข็งอีกครั้ง

3.7. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 3.5

3.8. ทำซ้ำข้อ 3.6 โดยลดขนาดให้เหลือ 15 มม.

3.9. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 3.5

3.10. นำข้อมูลทั้งหมดมาประมวลและสรุปผล

4. ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

4.1. สามารถประเมินการนำเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้

4.2. สามารถประเมินประสิทธิภาพขอบตัดของชิ้นงาน

4.3. สามารถรู้หลักการที่ถูกต้องของเครื่องมือเครื่องจักร การออกแบบ และสร้างแม่พิมพ์ที่

ใช้ในการตัดโลหะเบื้องต้น

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์

2.2.1 การออกแบบแม่พิมพ์

ในกระบวนการผลิตใดๆ ก็ตามที่มีจำนวนมากจำเป็นต้องอาศัยแม่พิมพ์ที่สามารถครอบคลุมถึงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ให้ได้ทั้งรูปทรง ขนาด และน้ำหนัก ตามที่ผู้ออกแบบกำหนดไว้ ซึ่งลักษณะของกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันจะส่งผลโดยตรงมากจากแม่พิมพ์ที่นำมาใช้งาน ดังนั้น การออกแบบและการสร้างแม่พิมพ์จึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งต้องยึดหลักการที่ว่า

- แม่พิมพ์คุณภาพดี ผลผลิตที่ดีย่อมเกิดขึ้น
- แม่พิมพ์ผลิตขึ้นงานออกมาได้เร็วผลตอบแทนจากการลงทุนจะคืนกลับมาโดยเร็ว
- แม่พิมพ์มีราคาที่เหมาะสม ย่อมส่งผลให้ได้เปรียบทางธุรกิจ

ดังนั้น สรุปได้ว่าการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ต้องคำนึงถึง คุณภาพ การส่งมอบ และราคาที่เหมาะสมซึ่งเป็นปัจจัยหลักของอุตสาหกรรมนี้ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายทั้ง 3 ประการข้างต้นการออกแบบแม่พิมพ์ที่ดีจึงควรพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

2.2.1.1 มาตรฐานการออกแบบ ซึ่งในการออกแบบแต่ละครั้งจำเป็นต้องมีมาตรฐานที่ดี โดยการกำหนดกฎเกณฑ์ต่าง ๆ นั้นสามารถกระทำได้โดยผู้ผลิตแม่พิมพ์เอง หรือเป็นมาตรฐานที่ลูกค้ากำหนด

2.2.1.2 เลือกใช้ชิ้นส่วนมาตรฐานที่เหมาะสม เพื่อช่วยลดเวลาในการออกแบบ

2.2.1.3 สามารถนำแม่พิมพ์ไปใช้ในการผลิตได้โดย ไม่มีอุปสรรคใดๆ เกิดขึ้น

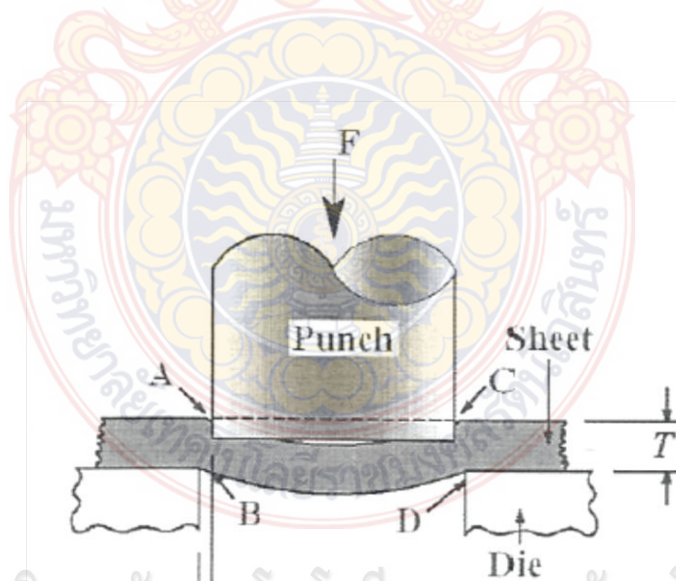
2.2.1.4 เลือกวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ได้อย่างเหมาะสมกับปริมาณการผลิต เพื่อลดต้นทุนในการทำแม่พิมพ์

2.2.1.5 ลดความซับซ้อน ในการทำงานของแม่พิมพ์ เพื่อให้เกิดความสะดวกและรวดเร็วในการซ่อมบำรุง เมื่อเกิดความเสียหายระหว่างกระบวนการผลิต ในปัจจุบันการออกแบบแม่พิมพ์ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยมีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยให้ การออกแบบมีความแม่นยำและถูกต้องมากยิ่งขึ้น เนื่องจากในหน่วยความจำของระบบคอมพิวเตอร์ ได้เก็บรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและการวิเคราะห์ความถูกต้อง

2.2.1.6 ขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์ เมื่อเราได้ศึกษาเกี่ยวกับส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์ เรียบร้อยแล้วต่อไปเราจะมาศึกษาถึงการออกแบบแม่พิมพ์ ซึ่งได้มีผู้พยายามรวบรวมวิธีการออกแบบแม่พิมพ์ที่มีส่วนประกอบ รูปร่างและขนาดต่างๆ ตามลำดับ

2.2 ความหมายและกลไกของการตัด

กระบวนการตัด คือ การตัดโลหะออกจากกันโดยให้คมตัดของพินช์และตายกดบนเนื้อโลหะจนความเค้นเกิดขึ้นในชิ้นงานมีค่าสูงกว่าความต้านทานของแรงดึงสูงสุดของวัสดุซึ่งทำให้โลหะฉีกขาดออกจากกัน โดยชุดแม่พิมพ์ตัดจะประกอบด้วยพินช์ (Punch) ตาย (Die) ชิ้นงาน และแผ่นปลดชิ้นงาน ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงกลไกการตัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

สำหรับขั้นตอนการตัดแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 2.2

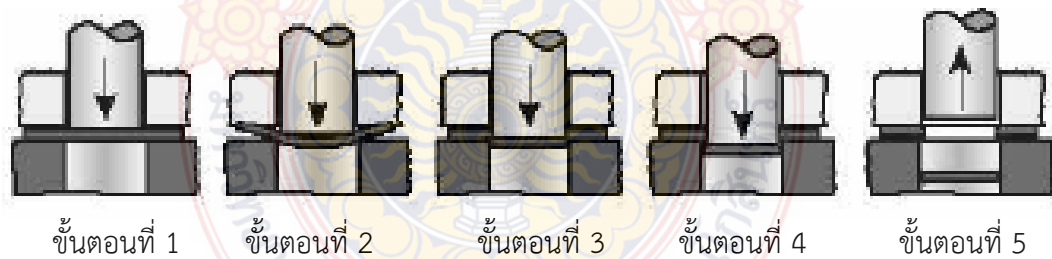
ขั้นตอนที่ 1 : พินช์เลื่อนลงมาสัมผัสกับเนื้อวัสดุชิ้นงานโดยจะมีแรงกดจากแผ่นปลดชิ้นงานกดแผ่นงานที่ระดับหนึ่ง

ขั้นตอนที่ 2 : วัสดุชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปในช่วงยืดหยุ่นการตัดตัว (Bending) และพาเนื้อโลหะเข้าไป ในช่องว่างตาย และเกิดการเปลี่ยนรูอย่างถาวร (Plastic Deformation)

ขั้นตอนที่ 3 : วัสดุชิ้นงานถูกตัดเฉือนและเกิดการแตกเมื่อสิ้นสุดขั้นตอนนี้ผิวหน้าของพันธกับตายจะอยู่ในระดับเดียวกัน

ขั้นตอนที่ 4 พันธจะดันให้ชิ้นงานทะลุลงไปในช่วงของตายหลังจากสิ้นสุดการตัดแล้ววัสดุบริเวณรูมีการตีตมมายังพันธเนื่องจากการตีตมตัวกลับ (Spring Back) ของวัสดุส่วนที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างในช่วงยืดหยุ่นหรืออาจเกิดจากในบางขณะจะมีการเชื่อมติดกัน (Cold welding) ระหว่างเนื้อวัสดุกับผิวพันธเช่นเดียวกับด้านนอกของแผ่นมีการตีตมตัวกลับมายังช่องบนตาย

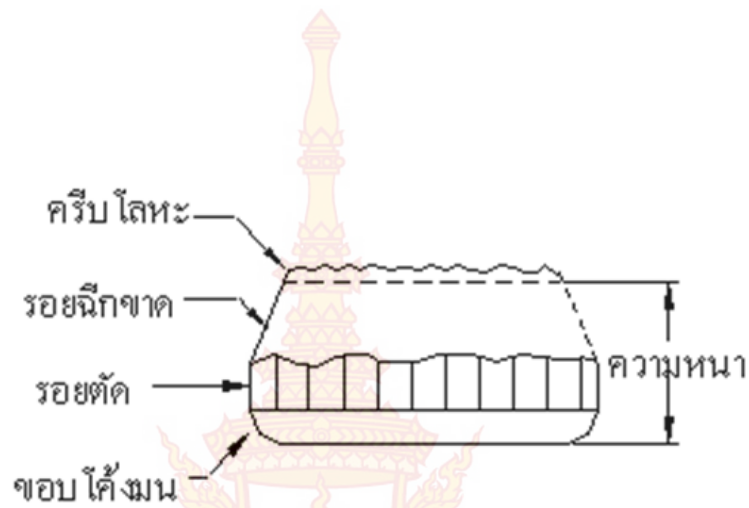
ขั้นตอนที่ 5 : การปลดชิ้นงานให้หลุดจากพันธความเค้นในแนวเส้นสัมผัสและแนวรัศมีที่เหลือข้างในเนื้อวัสดุทำให้เกิดความเสียหายระหว่างพันธกับผนังรูเจาะเพิ่มมากขึ้นในขณะที่พันธถอยกลับ



ภาพที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการตัด

2.3 ขอบชิ้นงานที่ได้จากการตัด (Cutting Edge)

โดยทั่วไปเมื่อเอาโลหะมาตัดด้วยพันธและตาย จะต้องกำหนดช่องว่างระหว่างพันธกับตายซึ่งปกติช่องว่างดังกล่าวจะมีค่าอยู่ระหว่าง 5 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ ของความหนาชิ้นงาน จะพบว่าขอบตัดที่ได้สามารถแบ่งเป็น 4 ส่วนดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการตัดโดยทั่วไป

2.3.1 ช่วงโค้งมน (Roll Over)

ในการออกแบบแม่พิมพ์โดยส่วนใหญ่มักจะเกิดส่วนโค้งมนของขอบตัดชิ้นงานส่วนที่เกิดขึ้นเมื่อพันธกตชิ้นงานให้ไหลตัวลงไปในช่วงระหว่างพันธกับตายทำให้มีรูปร่างคล้ายกับกันถ้วย ส่วนโค้งมนจะเกิดมากขึ้นถ้าโลหะนั้นเป็นโลหะอ่อนสาเหตุการเกิดส่วนโค้งมนเกิดจากพันธเมื่อเริ่มต้นกดชิ้นงานลงไปตายเนื้อชิ้นงานบริเวณใต้พันธและเหนือตายจะมีความเค้นอัดที่มีค่าสูงมากกระทำในขณะที่เนื้อชิ้นงานบริเวณด้านข้างของพันธและตายจะมีความเค้นดึงมากกระทำดังภาพที่ 2.4 ทำให้เนื้อชิ้นงานตรงบริเวณนี้ถูกดึงให้ไหลตามการเคลื่อนที่ของพันธก่อให้เกิดส่วนโค้งมนขึ้น



ภาพที่ 2.4 แสดงกลไกการเกิดส่วนโค้งมน

2.3.2 ช่วงการตัดเฉือน (Shear Zone)

เป็นส่วนที่เกิดขึ้นหลังจากพันธ์ ถูกกดลึกลงไปในเนื้อของโลหะระยะหนึ่งแล้วจะเกิดหน้าตัดเฉือนในแนวตั้ง ระหว่างขอบตัดของพันธ์และเนื้อของโลหะที่ถูกตัด ส่วนที่ถูกตัดตรงบริเวณพันธ์นี้จะมีลักษณะเป็นมันวาวและแนวที่ถูกตัดจะได้ฉากกับผิวหน้าของแผ่นชิ้นงาน หน้าตัดเฉือนเป็นส่วนที่สำคัญมากเพราะขนาดและความเที่ยงตรงของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกกำหนดไว้ที่ส่วนนี้

2.3.3 ช่วงการแตก (Fracture Zone)

เป็นส่วนที่เกิดหลังจากมีการตัดเฉือนของพันธ์บนแผ่นชิ้นงานแล้วแรงที่ใช้บนแทนพันธ์จะทำให้เกิดความเค้นดึงสูงกว่าความแข็งแรงสูงสุดของโลหะนั้นจึงทำให้เกิดการแตกขึ้นการแตกจะเกิดขึ้นในลักษณะถูกดึงขาดดั่งนั้นรูปร่างของรอยแตกจึงมีรูปร่างขรุขระไม่เป็นระเบียบความสัมพันธ์ของรอยแตกที่เกิดขึ้นและขนาดของช่องว่างระหว่างพันธ์และตายนั้นจะแตกต่างกันในความสัมพันธ์ในส่วนอื่น ๆ ในกรณีที่ใช้ขนาดของช่องว่างน้อยกว่า 10 ถึง 25 เพอร์เซ็นต์ เกือบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่รอยแตกแต่ถ้าขนาดของช่องว่างที่ใช้มากกว่า 25 เพอร์เซ็นต์ จะทำให้ความกว้างของรอยแตกเพิ่มขึ้นอีกและถ้าใช้ขนาดช่องว่างมาก ที่มีมรอยแตกกระทำกับพื้นผิวของแผ่นชิ้นงานก็จะยิ่งโตขึ้นดั่งนั้นจึงควรกำหนดขนาดของช่องว่างที่ใช้ให้เหมาะสมงานนั้น ๆ

2.3.4 ครีบ (Burr)

มีลักษณะบาง ๆ ไม่เรียบเกิดขึ้นที่ขอบล่างรอบ ๆ แนวตัด ส่วนนี้จะเกิดขอบคมตัดพันธ์และตายเกิดการสึกหรอ ถ้าขอบคมตัดสึกหรอมากก็จะเกิดครีบขึ้นมากสาเหตุการเกิดครีบตามที่อธิบายหลักการและขั้นตอนของการตัดไว้ข้างต้นโดยปกติการเริ่มเกิดรอยแตกในเนื้อวัสดุจะไม่ได้เกิดตรงคมตัดพอดีแต่จะเกิดขึ้นเหนือคมตัดเล็กน้อยดังในภาพที่ 2.5 เนื่องจากความเค้นดึงจะมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นตรงจุดดังกล่าวหลังจากรอยแตกในเนื้อวัสดุจากด้านพันธ์และตายบรรจบกันจะทำให้วัสดุแยกออกจากกันแต่ส่วนเนื้อวัสดุบริเวณด้านข้างของคมตัดจะยังเหลืออยู่ที่ขอบตัดซึ่งส่วนนี้ก็คือครีบที่เกิดขึ้นนั่นเอง

All rights reserved

สังกะสี - 0	50
ทองแดง	55
ทองเหลือง	50
บรอนซ์	25
เหล็กกล้า 0.10 C	50 อบคินตัว
	38 รีดเย็น
เหล็กกล้า 0.20 C	40 อบคินตัว
	28 รีดเย็น
เหล็กกล้า 0.30 C	33 อบคินตัว
	22 รีดเย็น
เหล็กกล้าซิลิกอน	30
นิกเกิล	55



ภาพที่ 2.6 แสดงระยะกั้นลึก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

2.5 การเลือกขนาดกำลังของเครื่องเพรส

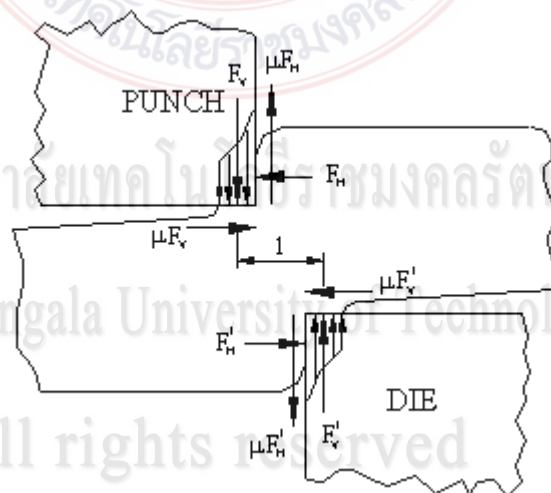
ในการเลือกขนาดของเครื่องเพรส จำเป็นต้องเลือกเครื่องเพรส ที่สามารถสร้างแรงอัดได้มากกว่าค่าแรงที่ต้องการใช้ในการตัดที่คำนวณได้ 30-50 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เพื่อช่วยให้สามารถตัดชิ้นงานได้ในกรณีที่วัสดุที่มีความหนาไม่สม่ำเสมอ วัสดุชิ้นงานเกิดการทำให้แข็งด้วยความเครียด (Strain Hardening) การเลือกใช้สารหล่อลื่นต่าง ชนิดขนาดช่องว่างคมตัดระหว่างพunchและดายที่เปลี่ยนแปลง และกรณีที่มีความคมตัดของดายที่ทื่อ เป็นต้น

2.6 แรงตัดเฉือน (Cutting Force)

คือ แรงที่ใช้ในการกดพunchให้ทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ ถ้าแม่พิมพ์ชุดหนึ่งใช้พunchและดายหลายตัวในเวลาเดียวกัน แรงตัดก็เพิ่มขึ้นโดยรวมจากจำนวนพunchแต่ละตัวที่ใช้ สำหรับงานแม่พิมพ์ตัดทั่วไปแรงตัดเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเลือกใช้ปั๊มโลหะ

2.7 การคำนวณแรงตัดเฉือน (Cutting Force Calculating)

แรงย่อยในการตัดเฉือน แรง F_v และ F_r กระทำห่างออกจากคมตัดเล็กน้อย ซึ่งเกิดจากการที่ความเค้นกดบริเวณใกล้คมตัดกระจายอย่างสม่ำเสมอ แรงที่กระทำห่างกันเป็นระยะ L ทำให้เกิดโมเมนต์ซึ่งพยายามดัดหรือเอียงชิ้นงาน ดังแสดงในภาพที่ 2.7 จึงเกิดโมเมนต์ปฏิกิริยาขึ้นในทิศทางกันข้ามซึ่งเป็นผลมาจากการตัดและความเค้นตึงฉากในแนวระดับชิ้นงานและแม่พิมพ์ตัดพunchและดาย



ภาพที่ 2.7 แสดงแรงในการตัดเฉือน

ความเค้นตึงฉากในแนวระดับสามารถแทนด้วยผลลัพธ์ F_H และ F_H นอกจากนั้นยังมีแรงในแนวระดับเกิดขึ้นเมื่อแม่พิมพ์ตัด (พันธ์และตาย) มีมุมที่ขอบไม่เท่ากับ 90 องศา หรือเมื่อผิวรอยตัดไม่ตั้งฉากกับระนาบของโลหะแผ่น นอกจากแรง F_V, F_V, F_H, F_H แล้วยังมีแรงเสียดทานกระทำพันธ์และตายอีกด้วย แรงในแนวระดับ F_H , และ F_H ทำให้เกิดแรงเสียดทานบนผิวด้านข้างของพันธ์และตายนั่น คือ μF_H และ μF_H สมการสำหรับคำนวณหาค่าแรง F_S ที่ต้องการใช้ในการตัดหรือเจาะวัสดุกำหนดโดยให้ผิวหน้าตัดพันธ์และตายมีลักษณะเรียบ นั่นคือ ไม่มีการเอียงของคมเฉือน ดังภาพที่ 2.8

แรงที่ใช้ในการตัดสามารถหาได้จากสมการ

$$F_B = \tau L t \quad (\text{นิวตัน}), \quad \text{สำหรับงานตัดรูปทรงใด ๆ} \quad (2.1)$$

$$F_P = \tau \pi d t \quad (\text{นิวตัน}), \quad \text{สำหรับงานตัดรูปกลม} \quad (2.2)$$

เมื่อ

$$F_B = \text{แรงที่ต้องการใช้ในการตัด (นิวตัน)}$$

$$\tau = \text{ความต้านทานเฉือนของวัสดุ (นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร)}$$

$$L = \text{ความยาวรอยตัด (นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร)}$$

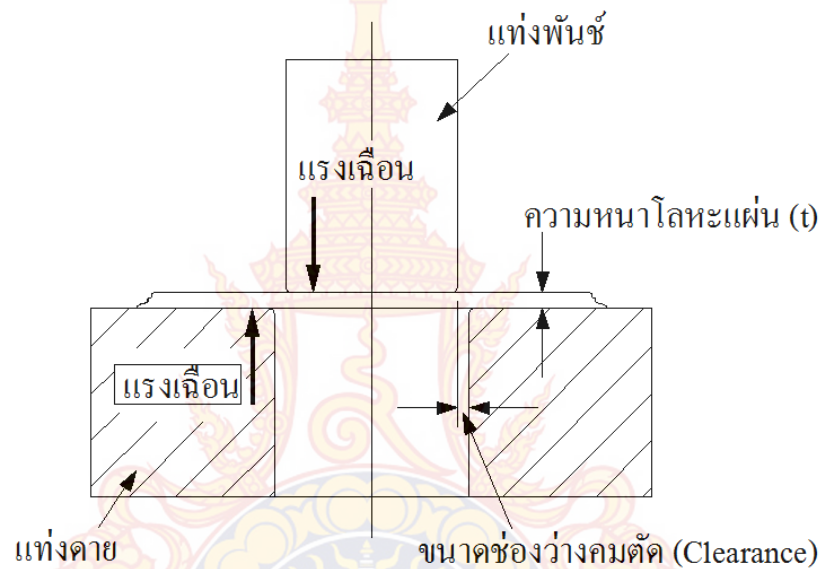
$$d = \text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพันธ์ (มิลลิเมตร)}$$

$$t = \text{ความหนาของวัสดุคืบ (มิลลิเมตร)}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved



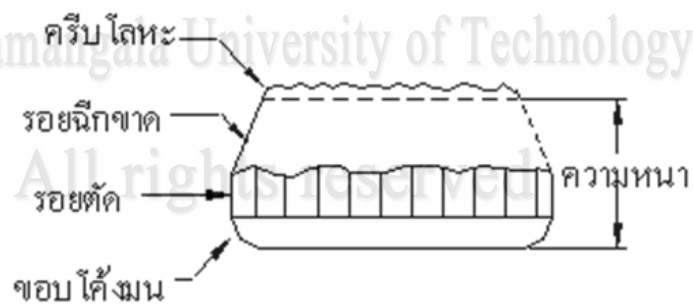
ภาพที่ 2.8 แสดงพันซ์และด้ายในงานแม่พิมพ์ตัด

2.8 อิทธิพลของช่องว่างคมตัดที่มีต่อชิ้นงาน

ผลที่เกิดจากการกำหนดช่องว่างระหว่างคมตัดในลักษณะต่าง ๆ (Effects of Cutting Clearance) ระยะช่องว่างระหว่างพันซ์และด้ายที่เหมาะสมสามารถดูจากสภาพรอยตัดของชิ้นงานได้ ดังนี้

2.8.1 กรณีที่ระยะช่องว่างคมตัดเหมาะสม (Optimum Cutting Clearance)

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

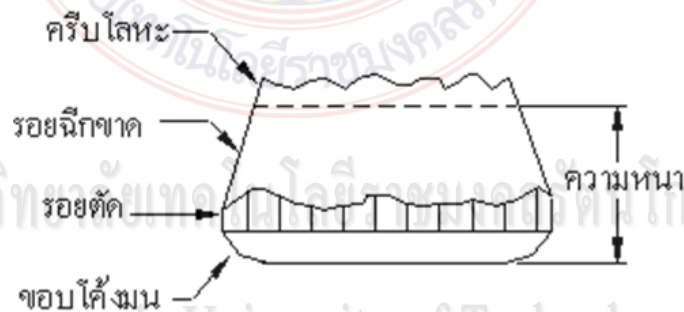


ภาพที่ 2.9 แสดงลักษณะชิ้นงานจากการใช้ระยะช่องว่างคมตัดที่เหมาะสม

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

2.8.2 กรณีของระยะช่องว่างคมตัดมากเกินไป (Excessive Cutting Clearance)

ผลที่เกิดจากการใช้ช่องว่างคมตัดระหว่างพื้นผิวและตายมากเกินไป จากการเปรียบเทียบจากการใช้ระยะช่องว่างคมตัดระหว่างพื้นผิวและตายให้มากที่สุดเท่าที่จะทำการตัดวัสดุได้นั้น ผลที่ได้จากปฏิกิริยาการตัดในครั้งแรกจะเหมือนการขึ้นรูปมากกว่าการตัด ขอบโค้งมนชิ้นงานจะใหญ่และรอยตัดจะแคบและไม่ราบเรียบสม่ำเสมอมีลักษณะเป็นรอยขรุขระดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 แสดงลักษณะชิ้นงานจากการใช้ช่องว่างคมตัดที่มากเกินไป

2.8.3 กรณีที่ระยะช่องว่างคมตัดน้อย (Insufficient Cutting Clearance)

ผลที่เกิดจากช่องว่างคมตัดระหว่างพื้นผิวและตายน้อยไป สภาพของรอยตัด จะมีรอยกว้างไม่สม่ำเสมอและอาจเกิดขึ้นมากกว่า 2 แห่ง ดังภาพที่ 2.11

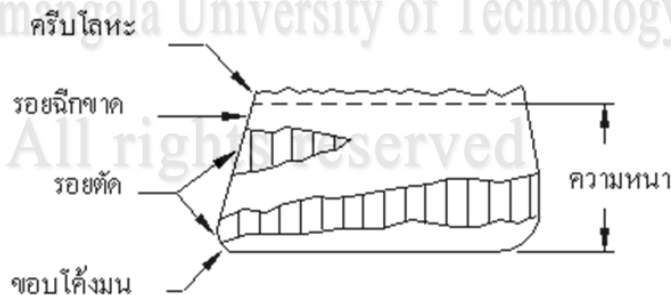


ภาพที่ 2.11 แสดงลักษณะชิ้นงานจากการใช้ระยะช่องว่างที่น้อยเกินไป

เนื่องจากมุมที่สูงชันมากเกินไประหว่างพันธและตาย เป็นอุปสรรคต่อการฉีกขาดของวัสดุเพิ่มมากขึ้นทำให้ต้องใช้แรงกดในการฉีกเนื้อวัสดุในครั้งแรกสูงกว่าปกติ ถ้ารอยแตกขาดยาวออกไปแต่ไม่บรรจบกันทำให้รอยฉีกของวัสดุไม่สมบูรณ์เกิดขึ้นเป็นบางส่วนเท่านั้น แรงกดที่ยังคงมีอยู่ที่พันธจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดรอยฉีกขาดครั้งที่สองขึ้นผลก็คือครั้งที่สองเกิดขึ้นที่รอยตัดชิ้นงาน

2.8.4 ตำแหน่งพันธและตายเยื้องศูนย์กลาง

จากตำแหน่งของพันธและตายเยื้องศูนย์กลางและกันจะทำให้พันธและตายจะได้รับแรงไม่เท่ากันทุกจุด ทำให้รอยตัดของชิ้นงานมีลักษณะไม่เหมือนกันทุกด้าน คือ ด้านหนึ่งอาจมีลักษณะแบบเดียวกับชิ้นงานที่ได้จากการกำหนดช่องว่างคมตัดน้อยเกินไป ส่วนอีกด้านหนึ่งจะเกิดในลักษณะการกำหนดระยะช่องว่างคมตัดมากเกินไป ซึ่งจะส่งผลทำให้อายุการใช้งานของพันธและตายสั้นลงและเป็นตัวบ่งถึงความสามารถของเครื่องจักรและผู้สร้างแม่พิมพ์ตัด ในการติดตั้งแม่พิมพ์ตัดซึ่งสามารถตรวจสอบพบและแก้ไขตำแหน่งการเยื้องศูนย์กลางได้ระหว่างการใช้งาน



ภาพที่ 2.12 แสดงลักษณะชิ้นงานที่เกิดจากตำแหน่งของพันธะและตายที่เยื้องศูนย์กลาง

2.9 กรรมวิธีทางความร้อน (Heat Treatments)

2.9.1 การชุบแข็ง (Hardening)

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

1. ปริมาณคาร์บอน
2. อุณหภูมิก่อนการชุบ
3. อัตราการเย็นตัว

โดยวิธีการชุบแข็งนั้น จะทำการให้ความร้อนกับเหล็กหรือชิ้นงาน จนกระทั่งมีอุณหภูมิประมาณ 800 – 900 องศาเซลเซียส ขึ้นกับชนิดของเหล็ก โดยปกติแล้วอุณหภูมิในการอบชุบจะสูงกว่าเส้น Ac3 ประมาณ 30 – 50 องศาเซลเซียส สำหรับเหล็ก Hypereutectoid Steel เมื่ออบเหล็กได้ อุณหภูมิที่ต้องการแล้ว จะปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิดังกล่าวตามความหนาของชิ้นงาน คือ ประมาณ 1 ชั่วโมง ต่อความหนา 1 นิ้ว เพื่อให้มั่นใจว่า ชิ้นงานมีอุณหภูมิเท่ากันทั่วทั้งชิ้นงาน จากนั้นนำไปจุ่มในตัวกลาง (Quenching Media) เช่น น้ำ น้ำมัน หรืออากาศ เพื่อให้ได้ความแข็งและโครงสร้างที่เราต้องการนำไปใช้งาน ในเหล็กเครื่องมือ บางชนิด ค่าความแข็งสูงสุดจะไม่ได้มาจากการอบชุบเพียงครั้งเดียวเนื่องจากมีโครงสร้างออสเทนไนท์เหลือค้าง (Retained Austenite) เหลืออยู่ในโครงสร้าง ซึ่งจะก่อให้เกิดความเครียดทางด้านความเหนียวจากกรรมวิธีการอบชุบที่กล่าวมา จะต้องนำมาทำการอบชุบอีกครั้ง หรือเรียกว่า การอบคืนตัว (Tempering) เพื่อให้ได้ค่าความแข็ง ความเหนียว และคุณสมบัติทางกลอื่น ๆ ที่เราต้องการ

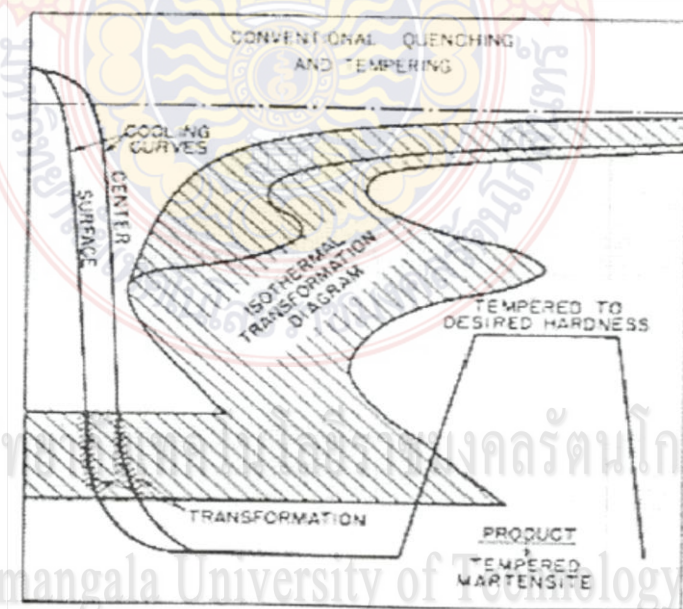
2.9.2 การชุบแข็งเหล็กกล้าแบ่งเป็น 2 วิธี

การชุบแข็งทั้งชิ้นงาน และการชุบผิวแข็ง การชุบแข็งทั้งชิ้นงาน สามารถทำได้โดยการชุบโดยตรงในสารชุบ ซึ่งได้แก่ น้ำ น้ำเกลือ น้ำมัน ก๊าซไนโตรเจน หรืออากาศ ขึ้นอยู่กับชนิดของเหล็กกล้า นั้น ๆ การเลือกสารชุบ พิจารณาจากความร้อนในการเย็นตัวของเหล็กกล้า ขณะชุบลงในสารชุบต้องสูงกว่าอัตราเย็นตัววิกฤตของเหล็กชนิดนั้น ๆ เพื่อให้ได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์นอกจากนั้นควรคำนึงถึงการเสียรูป การแตกร้าวซึ่งอาจเกิดขึ้นกับชิ้นงานในขณะชุบด้วย ปัจจัยดังกล่าวทำให้ได้ความลึกของผิวแข็ง สำหรับการชุบผิวแข็ง สำหรับการชุบผิวแข็งเป็นการชุบแข็งชิ้นงานเพื่อให้ชิ้นงานมีความแข็งเฉพาะผิว โดยบริเวณแกนกลาง ยังคงความเหนียวอยู่ ชิ้นงานที่ผ่านการชุบจะทนต่อการเสียดสีและสามารถรับแรงกดอัดที่ผิวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผิวที่ผ่านการชุบแข็งยังสามารถป้องกันการแตกร้าวจากความล้าได้ดี การชุบผิวแข็งแบบคาร์บูไรซิ่ง การชุบผิวแข็งแบบคาร์โบไนไตรด์ดิ่ง การชุบผิวแข็งแบบไนไตรดิ่ง ภายหลังชุบแข็ง ต้องทำการตรวจสอบคุณภาพ ชิ้นงานชุบแข็ง ได้แก่ การเกิดออกซิเดชันที่ผิว การเสียรูป การบิดตัว การขยายตัว การหดตัวของชิ้นงานชุบแข็ง ได้แก่ การเกิดออกซิเดชันที่ผิว การเสียรูปจุลภาค และวัดค่าความแข็งที่เกิดขึ้นด้วย

2.9.3 การอบชุบความร้อนเหล็กกล้าเครื่องมือ (Heat Treatments)

การอบชุบที่ถูกต้องตามหลักวิชาการเป็นแฟคเตอร์ที่มีความสำคัญมากต่ออายุการใช้งานของ ชิ้นส่วนเครื่องมือที่ทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือ พิจารณาทางด้านราคาค่าอบชุบแล้วจะมีราคาต่ำกว่าราคา เหล็กและการกลึงตัดและเจาะรวมกัน ภายหลังการอบชุบเกิดกรณีแตกร้าวก่อนการใช้งานหรือใช้งานได้ ในระยะเวลาสั้นเกินควรเป็นการสูญเสียที่มีผลต่อระบบการผลิตและรวมถึงการประหยัดใน ขบวนการผลิตเป็นอย่างมาก ยิ่งเป็นประเทศที่ไม่สามารถผลิตเหล็กกล้าเครื่องมือได้เองต้องสั่งจากทาง ประเทศ ราคาเหล็กกล้าจะสูงและอาจต้องเสียเวลาสั่งจากทางประเทศซื้อผลิตภัณฑ์มาจากการอบชุบจะ เกิดได้ทั้งในขณะทำการเผาเหล็กและขณะทำให้เหล็กเย็นตัว เหล็กกล้าเครื่องมือจะไม่ทำการเผาด้วย อัตราสูงเพื่อไม่ให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวภายในสูงเกินไป (Large Temperature Gradient) โดยวิธีการเผาเป็นขั้น ๆ (Pre-Heating) เพื่อเปิดโอกาสให้อุณหภูมิที่ผิวกับใจกลางปรับตัวให้ เข้าใกล้ที่สุดก่อนเพิ่มอุณหภูมิให้สูงจนถึงช่วงที่ต้องการ ต้องหลีกเลี่ยงไม่ให้อุณหภูมิที่สูงเกินควร (Over Heating) คือ ปัญหาการเกิดออกซิเดชันและสูญเสียคาร์บอนส่วนใหญ่เหล็กกล้าเครื่องมือจะทำการเผา ภายในเตาที่ควบคุมบรรยากาศ เพราะชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือส่วนใหญ่จะผ่านการกลึง การไส,การตัด

หรือเจาะจนได้ขนาดใกล้เคียงกับสภาพการใช้งานแล้ว การเกิดอ็อกซิเดชันจะทำให้ขนาดคลาดเคลื่อนได้ และสูญเสียปริมาณคาร์บอนที่ผิวเป็นปัญหาในด้านความแข็งหลังชุบแข็ง สำหรับการชุบ (Quenching Media) สามารถเลือกใช้ได้ตามลักษณะการเย็นตัวที่ต้องการของเหล็ก ซึ่งมีตั้งแต่ น้ำ น้ำเกลือ น้ำต่าง น้ำมัน อากาศนิ่ง และลมเป่า ภายหลังการชุบจะไม่ปล่อยให้เหล็กเย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้องจะต้องรับนำเหล็กเข้าเตาอบคืนตัวหรือคลายตัวทันที เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแตกร้าวอันเนื่องมาจากการเกิดความเครียดระหว่างการอบชุบ ยิ่งเป็นเหล็กกล้าผสมคาร์บอนสูงอัตราจากการแตกร้าวขณะทำการชุบ จะมีมาก การอบคลายตัวจะมีผลทำให้ความแข็งลดลงแต่ความเหนียวจะดีขึ้นในเหล็กกล้าเครื่องมือผสมสูงอาจต้องทำการอบคืนตัวหลายครั้ง ในช่วงที่เกิด Secondary Hardening และในบางกรณีจะต้องทำ Stabilisation หรือ Sub – Zero Treatment เพื่อกำจัดหรือลดปริมาณของออสเทนไนท์เหลือค้าง ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาด (Dimension Change) ภายหลังการชุบ ดังแสดงในภาพที่ 2.13

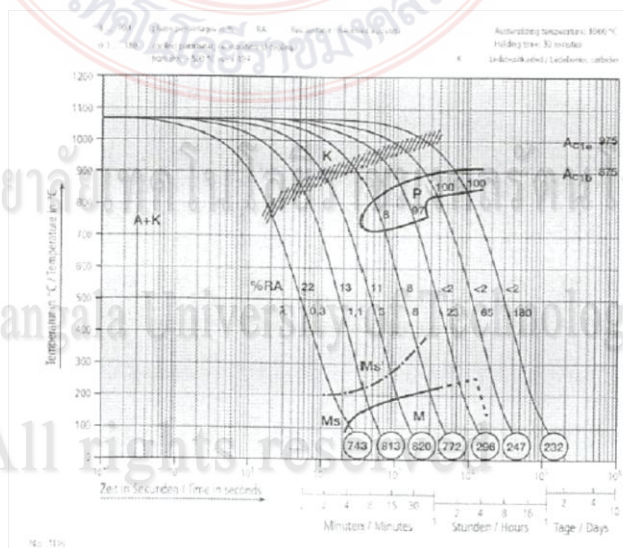


ภาพที่ 2.13 แสดงการอบชุบความร้อนเหล็กกล้าเครื่องมือ (Heat treatments)

2.9.4 การชุบแข็งเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น (Cold work tool steels)

เหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็นได้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มชุบแข็งด้วยน้ำมัน กลุ่มชุบแข็งด้วยอากาศ และกลุ่มที่ผสมโครเมียมสูง และคาร์บอนสูงขั้นตอนในการชุบแข็งเหล็กเครื่องมือ จะมี

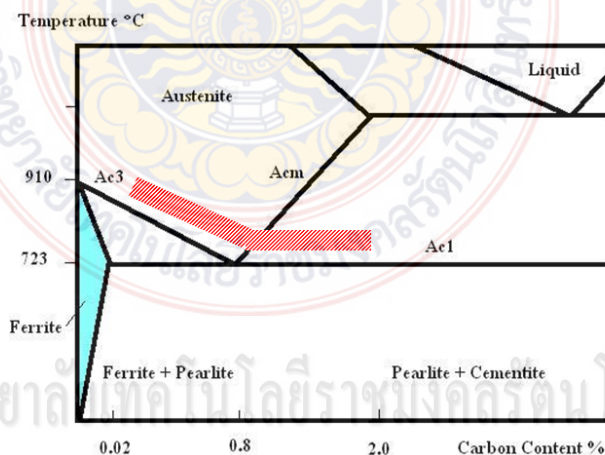
ลักษณะและขั้นตอนเหมือนกันจะมีที่แตกต่างกันบ้างเฉพาะอุณหภูมิ Austenitizing ซึ่งจะสูงเฉพาะในกรณีที่มีธาตุผสมสูงกว่าชั้นคุณภาพอื่น และการชุบอาจจะทำโดยการชุบน้ำ เมื่อชิ้นงานมีความหนาหรือขนาดโต ชั้นแรกจะต้องทำการอบคลายตัว (Stress-relief Annealing) ภายหลังจากการกัดแม่พิมพ์ก่อนที่จะทำการอบชุบแข็ง ต่อมาจะเป็นการทำ Austenitizing ซึ่งจะเริ่มเป็นขั้น ๆ เช่นเดียวกัน เริ่มตั้งแต่การเผาอุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ในกรณีที่งานชุบแข็งมีความซับซ้อนหรือหนามาก ต่างกันมาก ชั้นที่สอง คือ การเผาเตรียมตัวครั้งที่หนึ่ง ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส และเตรียมตัว ครั้งที่ 2 ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส สำหรับเหล็กที่มีส่วนผสมสูงถ้าเหล็กมีธาตุผสมปานกลางการเผาเตรียมตัวครั้งที่ 2 ไม่จำเป็น สามารถเพิ่มอุณหภูมิได้จนถึงอุณหภูมิชุบแข็ง หลังจากปล่อยให้อุณหภูมิเสมอกันทั้งนอกและใจกลางแท่นชิ้นงาน แล้วจึงนำออกทำการชุบในน้ำมันหรือเป่าด้วยอากาศ ถ้าเป็นกรณีทำ Martempering หรือ Austempering จะชุบลงในอ่างเกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 500-550 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ในเวลาที่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างสิ้นสุดตามความต้องการ ชั้นนี้จะต้องอาศัยแผนภูมิ T.T.T ของเหล็ก เพื่อกำหนด ระยะเวลาและอุณหภูมิให้ถูกต้อง หลังที่ปล่อยให้เหล็กเย็นตัวลงจนถึงอุณหภูมิประมาณ 150 – 180 องศาเซลเซียสทุก ๆ กรณีของการชุบ เหล็กจะถูกนำไปอบคืนตัวที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส (1 ชั่วโมงต่อความหนา 20 มิลลิเมตร) ตามความแข็งสุดท้ายที่ต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 แสดงการชุบแข็งเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น (Cold work tool steels)

2.9.5 กรรมวิธีการทำ Hardening

1. เเผาเหล็กให้ร้อนถึงอุณหภูมิประมาณ 800 – 900 องศาเซลเซียส (ขึ้นกับชนิดของเหล็ก)
 2. ถ้า $C > 0.8$ เปอร์เซนต์ ให้ใช้อุณหภูมิเลยเส้น A3 ประมาณ 50 – 75 องศาเซลเซียส
 3. ถ้า $C < 0.8$ เปอร์เซนต์ ให้ใช้อุณหภูมิเลยเส้น A1 ประมาณ 50 – 75 องศาเซลเซียส
- เท่านั้นเมื่อเหล็กกลายเป็น ออสเทนไนท์ แช่อุณหภูมิไว้ประมาณ 1 เซนติเมตร ความหนา 25 มิลลิเมตร เอาออกจากเตาทำให้เย็นโดยเร็ว ด้วยการจุ่มในน้ำ (Water Quench) หรือในน้ำมัน (Oil Quench) สิ่งที่เกิดขึ้น ออสเทนไนท์เปลี่ยนกลับเป็นเฟอร์ไรท์และเพิร์ไลท์ไม่ทัน แต่ให้โครงสร้างที่มีความแข็งสูง เรียกว่า มาร์เทนไซต์ ดังแสดงในภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 กราฟแสดงกรรมวิธีการทำการชุบแข็ง (Hardening)

2.9.6 อัตราการเผาและช่วงเวลาที่เหมาะสม

2.9.6.1 อัตราการเผาช้า เเผาเหล็กให้ร้อนไปพร้อม ๆ กับเตา อุณหภูมิของเหล็กจะต่ำกว่าเตาเพียงเล็กน้อย (ดูภาพ) เหมาะกับชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนและมีส่วนหนาบางต่างกัน

2.9.6.2 อัตราการเผาสูงบรรจุเหล็กเข้าเตาที่มีอุณหภูมิที่ต้องการ โดยพบว่าเหล็กจะมีอุณหภูมิที่ต่างกันมากตอนเริ่มต้นจากนั้นจะเท่ากัน โดยใช้เวลาน้อยกว่าอัตราการเผาช้า เหมาะกับชิ้นงาน

ที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อน และมีปริมาณคาร์บอนปานกลางสามารถลดความต่างของอุณหภูมิโดยบรรจุเหล็กไว้ในหีบปิดคลุมมิตชิดก่อนบรรจุเข้าเตา

2.9.6.3 อัตราการเผาที่สูงมาก ไม่ค่อยนิยม เพราะอุณหภูมิระหว่างผิวกับใจกลางต่างกันมาก ซึ่งอาจทำให้เหล็กบิดเบี้ยวหรือแตกร้าวได้ ซึ่งสามารถลดความต่างของอุณหภูมิโดยบรรจุเหล็กไว้ในหีบปิดคลุมมิตชิดก่อนบรรจุเข้าเตาเช่นกัน

2.9.6.4 ต้องมีอัตราการเย็นตัวที่สูงกว่าอัตราการเย็นตัววิกฤต

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

2.9.6.6 ของเหลวสำหรับการชุบแข็งที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ น้ำ , น้ำเกลือ, น้ำด่าง, เกลือละลาย และอากาศ

2.9.6.7 การถ่ายเทความร้อนที่ของเหลวเป็นไอเมื่อสัมผัสกับแท่งเหล็กร้อน แบ่งเป็น 3 ลักษณะของเหลวที่สัมผัสกับแท่งเหล็กร้อนจะกลายเป็นไอหุ้มเหล็กไว้ในลักษณะฟิล์มบาง ๆ การถ่ายเทความร้อนช่วงนี้จะช้า แต่จะอยู่ในระยะสั้น ๆ

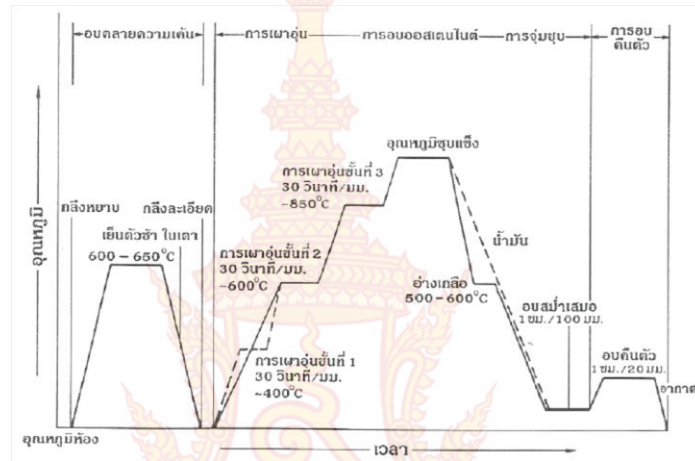
2.9.6.8 ฟิล์มบาง ๆ ที่หุ้มอยู่แตกออก ของเหลวสัมผัสกับแท่งเหล็ก จะเดือดและกลายเป็นไอ มีลักษณะเหมือนการกวน ชั้นนี้อัตราการเย็นจะสูงมาก

2.9.6.9 อัตราการเย็นตัวช้าลง เพราะแท่งเหล็กเย็นน้อยลง ของเหลวมีอุณหภูมิลดลงต่ำกว่าจุดเดือดความร้อน จึงถ่ายเทออกไปโดยการพาด้วยของเพียงอย่างเดียวอัตราการเย็นตัวจะลดลงจนถึงจุดที่ของเหลวกับแท่งเหล็กมีอุณหภูมิเท่ากับ ดังแสดงในภาพที่ 2.16

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved



ภาพที่ 2.16 แสดงอัตราการเผาและช่วงเวลาที่เหมาะสม

2.9.7 Tempering (การอบคืนตัว)

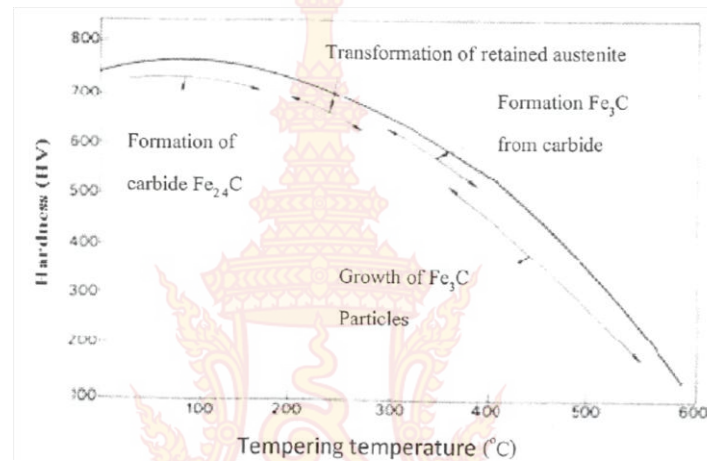
การอบเพื่อให้เหล็กมีคุณสมบัติเหมาะสมในการใช้งาน ลดความเครียด เพิ่มความเหนียวลดความเปราะลง วัตถุประสงค์ของการอบเพื่อให้คืนตัวเนื่องจากเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งเกิดความเครียดขึ้นภายในถึงความแข็งเพิ่มขึ้นแต่ขาดความเหนียว (Ductility) ทำให้เปราะหลังจากชุบแข็งแล้วจึงต้องนำมาอบ Tempering ก่อนนำไปใช้งานจริง

2.9.8 กรรมวิธีการทำ tempering มีดังต่อไปนี้

2.9.8.1 นำเหล็กที่ผ่านการชุบแล้วเผาในเตา อุณหภูมิประมาณ 200 – 400 องศาเซลเซียส

2.9.8.2 แช่เหล็กทิ้งไว้ในเตา 1-3 ชั่วโมง

2.9.8.3 เอาออกจากเตา ปล่อยให้เย็นในอากาศธรรมดา ดังแสดงในภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.17 แสดงค่าความแข็งที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบคืนตัว

2.9.9 การเปราะเนื่องจากการอบคืนตัว (Tempered Brittleness)

- 2.9.9.1 การอบคืนตัวจะทำให้สมบัติด้านความเหนียวดีขึ้น แต่ช่วงอุณหภูมิ 300-500 องศาเซลเซียส จะได้ทำให้คุณสมบัติ ทนแรงกระแทก (Impact Strength) ลดลง
- 2.9.9.2 เหล็กกล้าคาร์บอนจะเกิดการเปราะเล็กน้อย
- 2.9.9.3 เหล็กกล้าผสม (โดยเฉพาะ Mn} Cr และ Mo) จะปรากฏชัดเจน
- 2.9.9.4 สาเหตุจาก เกิดการตกผลึกของคาร์บอนรีไซด์ที่มาจาก Martensite หรือ จากการที่ Martensite แตกตัวควรหลีกเลี่ยง อุณหภูมิดังกล่าว หรือใช้เวลาน้อยที่สุดในช่วงนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

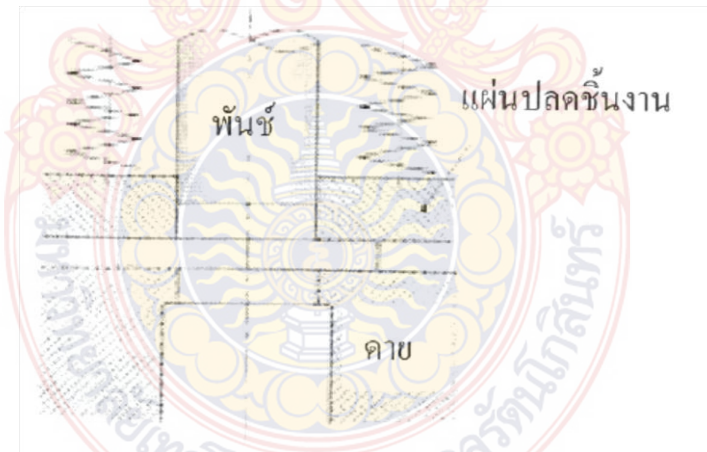
Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

2.10 กรรมวิธีการตัดเฉือน (Conventional Blanking Process)

2.10.1 หลักการของงานตัด (Blanking Mechanism)

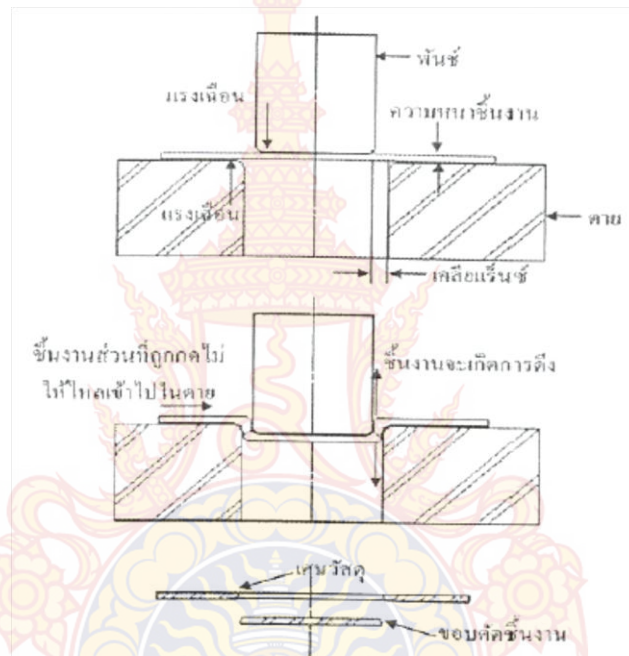
การตัดโลหะโดยใช้ 펀ช์ (Punch) และ ดาย (Die) นั้น แผ่นชิ้นงานจะถูกตัดด้วยคมตัดสองส่วนคือ คมตัดของ 펀ช์ซึ่งเป็นคมตัดด้านใน (Inner Cutting Edge) และคมตัดของ ดายซึ่งเป็นคมตัดด้านนอก (Outer Cutter Edge) ซึ่งจะทำให้การกดโลหะจนมีค่าความเค้นดึงสูงกว่าความแข็งแรงสูงสุดของชิ้นงาน (Ultimate Strength) ทำให้ได้รูปร่างของชิ้นงานเป็นไปตามขนาดรูปร่างของ ดาย โดยปกติระหว่างขอบคมตัดด้านในและขอบคมตัดด้านนอกจะมีช่องว่างเล็ก ๆ เรียกว่า เคลียแรนซ์ (Clearance) ซึ่งจะทำให้โลหะขาดออกจากกัน ดังภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 แสดงแผ่นปลดชิ้นงาน (Stripping Plate)

2.11 การวิเคราะห์การตัด

ในการตัดโลหะแผ่น แรงที่ให้แก่พินช์และดายเพื่อใช้ในการตัดโลหะเรียกว่า แรงเฉือน (Shear Force) แรงนี้จะมีขนาดเท่ากันและอยู่ตรงข้ามกันโดยมีช่องว่างอยู่ชั้นกลางระหว่างแรงทั้งสอง ดังแสดงในภาพที่ 2.19 เมื่อมีแรงมากระทำต่อโลหะจะทำให้เกิดความเค้นเฉือน (Shear Stresses) ถ้าให้แรงกดตัดมีขนาดมากพอจะทำให้เกิดความเค้นเฉือนมากกว่าความแข็งแรงเฉือนของโลหะ โลหะก็จะขาดออกจากกัน



ภาพที่ 2.19 แสดงรูปแบบของการตัดโลหะของฟันช้และดาย

2.12 การคำนวณแรงที่ใช้โลหะแผ่น

ในการตัดโลหะแผ่นโดยใช้ฟันช้และดาย มักจะใช้ปลายคมตัดแบบราบ คือผิวหน้าคมตัดทำมุม 90 องศา กับเส้นผ่านศูนย์กลางของดายขณะที่ดายเริ่มต้นทำงาน การตัดจะเริ่มตันขึ้นที่เส้นรอบรูปของฟันช้อย่างต่อเนื่อง และหลักการเช่นเดียวกันนี้ก็จะเกิดที่ดายเหมือนกันบางโอกาสเมื่อต้องการตัดโลหะแผ่นที่หนามากขึ้น เพื่อลดแรงในการตัดจำเป็นต้องลับคมตัด ของฟันช้หรือดายให้เอียงเป็นมุมจะทำให้คมตัดของฟันช้หรือดายค่อยๆ จมลึกลงไปเนื้อโลหะแผ่น ที่ละน้อย ซึ่งเรียกรากตัดนั้นว่า การตัดเฉือน การตัดโลหะแผ่นโดยใช้แม่พิมพ์ตัดทุกกระบวนการจะมีการยึดติดระหว่างชิ้นงานส่วนที่รู้กับด้านข้างของฟันช้ ดังนั้นจึงต้องมีการนำเอาโลหะแผ่นออกจากฟันช้ในบพนี้ จะกล่าวถึงวิธีการคำนวณหาแรงและพลังงานที่ใช้ในการตัดซึ่งมีดังต่อไปนี้

- แรงที่ใช้ในการตัดโดยใช้ผิวคมตัดแบนราบ
- แรงที่ใช้ตัดโดยผิวหน้าคมตัดถูกตัดเฉือน
- แรงปลดแผ่นชิ้นงานให้หลุดออก (Stripping Force)
- งานหรือพลังงานที่ใช้

สูตรต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณในบทนี้ สามารถที่จะนำไปตัดแปลง ใช้ได้กับกระบวนการตัดอื่น ๆ ทุกกระบวนการ การคำนวณหาแรง ก็เพื่อนำไปใช้เลือกขนาดจำนวนตันที่เหมาะสมของเครื่องปั๊มโลหะ และนำไปคำนวณหาขนาดของชิ้นส่วนที่จะใช้ทำแม่พิมพ์ งานหรือพลังงานที่ใช้จะถูกนำไปคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ของปั๊มโลหะ ขณะที่แรงดันแผ่นชิ้นงานให้หลุดออกได้ถูกใช้หาขนาดและการอัดตัวของสปริง หรือขนาดของยางยูรีเทน หรือขนาดของท่อลม ซึ่งสิ่งต่างๆ เหล่านี้จะเป็นตัวบังคับให้แผ่นปลดชิ้นงานทำงาน บางครั้งเพื่อลดแรงในการตัดก็ต้องคำนวณหาระยะคมตัดเดือนด้วย

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

หรือ

$$F = \text{ความแข็งแรงเดือน} \times \text{เส้นรอบรูปของการตัด} \times \text{ความหนาของโลหะ} \quad (2.1)$$

ในที่นี้

$$F = \text{แรงที่ใช้ตัด (ตัน)}$$

$$L = \text{ความยาวเส้นรอบรูปการตัด (มิลลิเมตร)}$$

$$t = \text{ความหนาของโลหะแผ่น (มิลลิเมตร)}$$

$$S_s = \text{ความแข็งแรงเดือน (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)}$$

ความแข็งแรงเดือนของโลหะใด คือ ความต้านทานการตัดโลหะนั้นในแม่พิมพ์จะมีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ความแข็งแรงเดือนจะเป็นสิ่งชี้ให้เห็นถึงว่า ความเค้นที่ถูกกระทำขึ้นมาบนโลหะนั้นเกิดการเดือนขาดได้

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

2.13 แรงปลดแผ่นชิ้นงาน (Stripping Force)

โลหะแผ่นเมื่อตัดรูปออกไปแล้ว รูจะติดพันขึ้นขึ้นไปทั้งนี้เนื่องจากการกระเด็นตัวกลับของเนื้อโลหะบางส่วนที่อยู่รอบๆ รูที่ตัดยังอยู่ในภาวะยึดหยุ่นตัว โลหะแผ่นที่มีความแข็งแรงกว่าและบางกว่าต้องการใช้แรงปลดแผ่นชิ้นงานให้หลุดออกน้อยมาก โลหะที่ผ่านการอบคืนตัวและโลหะที่อ่อนมีแนวโน้มที่จะเกิดการเชื่อมแบบเย็นตัวได้ง่ายต้องใช้แรงปลดแผ่นชิ้นงานออกมากกว่า กฎในการออกแบบแม่พิมพ์ตัด คือ

จะกำหนดให้แรงปลดแผ่นชิ้นงานให้หลุดออกมามีค่าเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ ของแรงที่ใช้ในการตัด แต่ถ้าขนาดช่องว่างระหว่างพันธึ่มากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ แรงปลดแผ่นชิ้นงานให้หลุดออกจะลดลง 5 เปอร์เซ็นต์ ของแรงที่ใช้ตัด

ข้อควรพิจารณาเกี่ยวกับแรงปลดแผ่นชิ้นงานให้หลุดออกจากพันธึ่มีดังนี้

1. โลหะที่อ่อนต้องใช้แรงปลดแผ่นชิ้นงานมากกว่า
2. การใช้ขนาดช่องว่างแม่พิมพ์น้อยต้องใช้แรงปลดแผ่นชิ้นงานมากกว่า
3. การตัดที่เกิดขึ้นใกล้ ๆ ขอบของโลหะแผ่น ต้องการใช้แรงปลดแผ่นชิ้นงานน้อย เพราะโลหะแผ่นสามารถดีดตัวออกจากพันธึ่ได้ง่าย
4. การตัดที่มีความเร็วสูงกว่าจะเป็นตัวทำให้พันธึ่ร้อนได้ง่าย จะเกิดการเชื่อมแบบเย็นตัวมากขึ้น ต้องใช้แรงปลดแผ่นชิ้นงานมาก
5. สารหล่อลื่นช่วยปลดแผ่นชิ้นงานได้
6. การเจียรนัยพันธึ่และตายในแนวตั้ง จะมีผลทำให้ใช้แรงปลดแผ่นชิ้นงานน้อยลดแรงปลดแผ่นชิ้นงานสามารถคำนวณได้จากสูตร

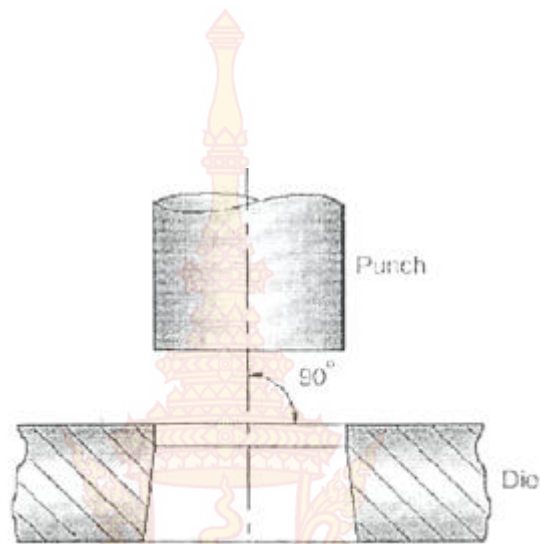
2.14 การคำนวณแรงในการตัดโลหะ

ในกระบวนการตัดชิ้นงาน (Blanking) พันธึ่และตายที่ใช้ส่วนใหญ่่มักมีลักษณะปลายคมตัดแบนราบ ดังภาพที่ 2.20 เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปเจียรระโนคมตัด ในการคำนวณหาแรงในการตัดสามารถคำนวณได้จากตัวแปรดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved



ภาพที่ 2.20 แสดงลักษณะของ 펀ช์

สูตรในการคำนวณ

$$F = S.R.t \quad (2.2)$$

เมื่อ

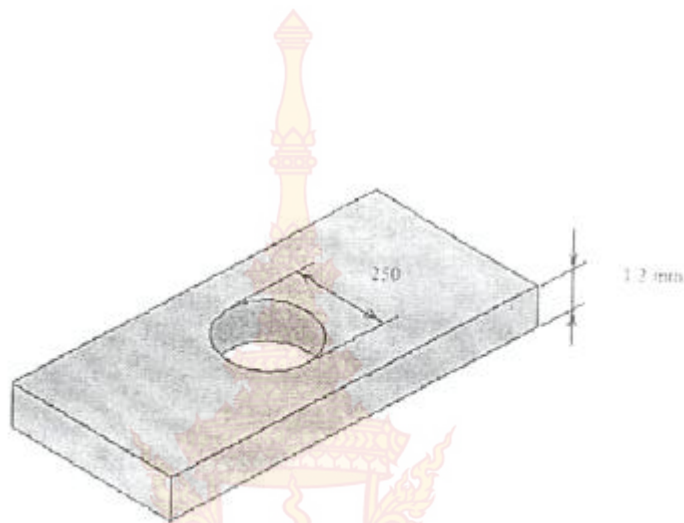
S = ความเค้นเฉือน (กิโลกรัมฟุตต่อตารางมิลลิเมตร)

R = เส้นรอบรูปของการตัด (มิลลิเมตร)

T = ความหนาของโลหะแผ่น (มิลลิเมตร)

โดยค่าแข็งแรงเฉือนสามารถดูได้จากตารางโลหะ ปกติความต้านแรงเฉือน (Shear Strength) จะมีค่า 50-70 เปอร์เซ็นต์ ของความแข็งแรงทางดึงของวัสดุ (Ultimate Strength) อลูมิเนียมผสมระหว่าง 50 -70 เปอร์เซ็นต์ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำอยู่ระหว่าง 70-80 เปอร์เซ็นต์ เพื่อความถูกต้องในกระบวนการตัดควรใช้ค่าความแข็งแรง สูงสุดมาคำนวณ

ตัวอย่างที่ 1.1 ในการคำนวณการหาแรงในการตัดเจาะรูกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 250 มิลลิเมตรขึ้นงานเป็นอลูมิเนียมอ่อน (ความต้านแรงเฉือน 11 กิโลกรัมฟุตต่อตารางมิลลิเมตร) ความหนาแผ่นขึ้นงาน 1.2 มิลลิเมตร



ภาพที่ 2.21 การตัดชิ้นงานกลม

สมการสำหรับบรูตตัดกลม

$$F = k_s \times (\pi \times D) \times t \quad (2.3)$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} F &= 11 \text{ กิโลกรัมฟุตต่อตารางมิลลิเมตร} \times 3.14 \times 250 \text{ มิลลิเมตร} \times 1.2 \text{ มิลลิเมตร} \\ &= 10362 \end{aligned}$$

แต่ว่าเครื่องตัดโลหะโดยทั่ว ๆ ไปมีหน่วยคือ ตัน ดังนั้นแปลงได้

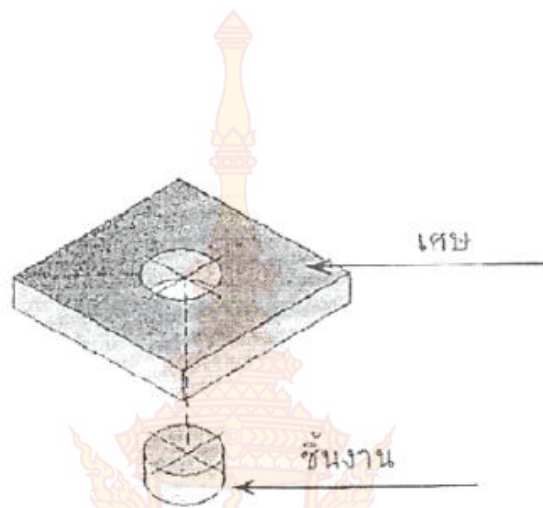
$$\begin{aligned} &= 10360 \div 1000 \\ &= 10.362 \text{ ตัน} \end{aligned}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

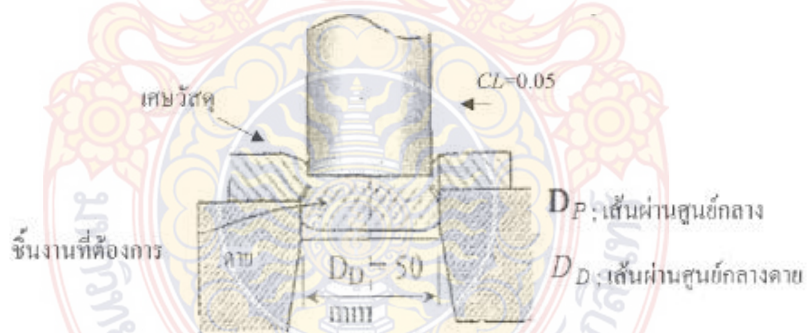
Copyright © by Rajabhat Rattanakosin University of Technology Rattanakosin

2.15.1 การคำนวณค่าช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์สำหรับงานตัด (Blanking)

ในกระบวนการตัดแผ่นเปล่าในกระบวนการ Blanking นั้นเป็นกระบวนการตัดที่นำเศษที่หลุดออกมานำไปใช้ งานจึงต้องกำหนดให้ขนาดของรู Die เท่ากับขนาดของงานและลดขนาดของ Punch ลงตามช่องว่างระหว่าง Punch และ Die ตามที่กำหนดดังภาพที่ 2.22



ภาพที่ 2.22 การตัดชิ้นงานในกระบวนการ Blanking



ภาพที่ 2.23 การคำนวณช่องว่างของแม่พิมพ์ในงาน

สมการ

$$D_p = D_d - 2CL \quad (2.4)$$

กำหนดให้

$$D_d = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางตาย}$$

$$D_p = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางพUNCH}$$

$$CL = \text{ช่องระหว่าง Punch และ Die (เปิดจากตารางที่ 2.2)}$$

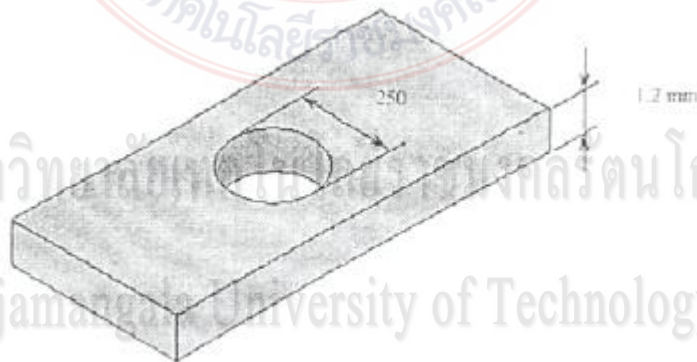
All rights reserved

ตารางที่ 2.2 การเลือกใช้ค่า Clearance (เปอร์เซ็นต์ ความหนา)

วัสดุ	ช่องระหว่าง Punch และ Die (%)	วัสดุ	ช่องระหว่าง Punch และ Die
-------	-------------------------------	-------	---------------------------

			(%)
เหล็กบริสุทธิ์	6-9	เหล็กกล้าละมุน	6-9
เหล็กกล้าซิลิกอน	7-11	เหล็กกล้าความต้านแรงสูง	8-12
เหล็กกล้าไร้สนิม	7-11		
ทองแดง (แข็ง)	6-10	ทองแดง (อ่อน)	6-10
ทองเหลือง (แข็ง)	6-10	ทองเหลือง(อ่อน)	6-10
พอสฟอรัสบรอนซ์	6-10	อลูมิเนียม (อ่อน)	5-8
อลูมิเนียม (แข็ง)	6-10	อลูมิเนียมเจือ(อ่อน)	5-8
อลูมิเนียมเจือ (แข็ง)	6-10		
	6-9		

ตัวอย่างที่ 1.2 ในการคำนวณการหาขนาดของ Clearance ในการตัดเจาะรูกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 250 มิลลิเมตร ชิ้นงานเป็นอลูมิเนียมอ่อน (ความต้านแรงเฉือน 11 กิโลกรัมฟุตต่อตารางมิลลิเมตร) ความหนาแผ่นชิ้นงาน 1.2 มิลลิเมตร



ภาพที่ 2.24 การตัดเจาะชิ้นงานกลม

สามารถหาขนาดของ Clearance ได้ดังนี้

จากสมการ

เมื่อ

$$D_D = D_p + 2CL$$

$$D_p = 250 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$CL = \text{ช่องว่างระหว่างพินซ์และตาย กรณีเลือกใช้ค้ำแนะนำที่ 6 เพอร์เซ็นต์}$$

$$= 6 \div 100 \times t$$

$$= 6 \div 100 \times 1.2 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$CL = 0.72 \text{ มิลลิเมตร}$$

จากสมการ

ดังนั้น

$$D_D = D_p + 2CL$$

$$= 250 + (2 \times 0.72)$$

$$= 250.144 \text{ มิลลิเมตร}$$

ขนาดของ Punch = 250 มิลลิเมตร

ขนาดของ Die = 250.144 มิลลิเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาคุณภาพขอบตัดของชิ้นงาน ทำการตัดด้วยเหล็กเครื่องมือในงานแม่พิมพ์ ที่ผ่านการใช้งานแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบคุณภาพขอบตัดชิ้นงานตัดด้วยเหล็กเครื่องมือในงานแม่พิมพ์ที่ผ่านการใช้งานแล้วและยังไม่ผ่านการใช้งาน โดยการวัดส่วนต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับขอบตัดชิ้นงาน คือ ส่วนเรียบตรง ร่องฉีกขาด ส่วนโค้งมน ครีบ ที่เกิดขึ้นกับขอบตัด

1 วิธีการดำเนินการวิจัย

- 1.1. สร้างแม่พิมพ์ตัด 1 ชุด โดยมีพื้นที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 25 มม. ใช้วัสดุเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นเกรด SKD11
- 1.2. ใช้ช่องว่างแม่พิมพ์คงที่ คือร้อยละ 5 ของความหนาชิ้นงาน
- 1.3. ทำการอบชุบพ่นซ์เพื่อให้มีความแข็งเท่ากันคือ 60 ± 1 HRC
- 1.4. ทำการทดสอบด้วยกรรมวิธีการตัด วัสดุที่ใช้ในการทดสอบเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม โดยตัวแปรอื่นๆ ให้คงที่ไว้ดังนี้
 - ความหนาชิ้นงาน 2 มม.
 - ขนาดความกว้างของแผ่นสรีป 40 มม.
 - เครื่องเพรสแบบ Eccentric press ขนาด 60 ตัน
 - ความเร็วตัดคงที่เท่ากับ 30 มม./วินาที
 - ไม่ใช่สารหล่อลื่นในการทดลอง
- 1.5. ทำการตัดด้วยพ่นซ์ที่ผ่านการใช้งานแล้ว ตรวจสอบและเก็บผล ครั้งที่ 1-100 ตรวจสอบและเก็บผลทุก 10 ครั้ง จากครั้งที่ 101-200 ตรวจสอบและเก็บผลทุก 20 ครั้ง จากครั้งที่ 201-400 ตรวจสอบและเก็บผลทุก 40 ครั้ง จากครั้งที่ 401-1,000 ตรวจสอบและเก็บผลทุก 100 ครั้ง
 - ตรวจวัดคุณภาพขอบตัดของชิ้นงาน
- 1.6. ภายหลังจากเก็บข้อมูลครั้งแรก ทำการอบคืนตัวเพื่อให้สามารถกลึงลดขนาดพ่นซ์ลงมาให้ได้ 20 มม. ภายหลังจากลดขนาดสำเร็จทำการชุบแข็งอีกครั้ง
- 1.7. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 1.5
- 1.8. ทำซ้ำข้อ 3.6 โดยลดขนาดให้เหลือ 15 มม.

1.9 ทำการทดลองซ้ำในข้อ 3.5

1.10 นำข้อมูลทั้งหมดมาประมวลและสรุปผล

2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

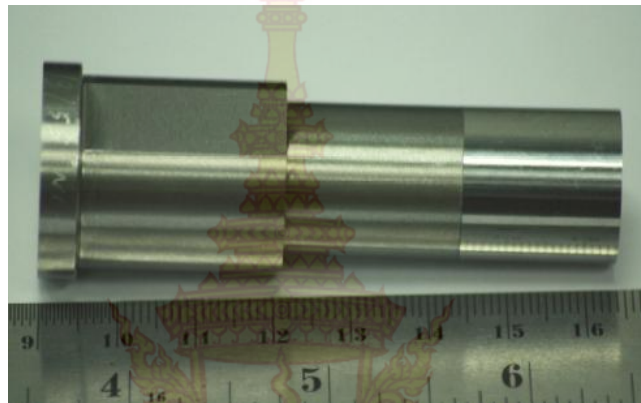
2.1. แม่พิมพ์ตัด

ในงานวิจัยนี้ทำการสร้างแม่พิมพ์ตัด 1 ชุด แสดงดังรูปภาพที่ 3.1 เป็นแม่พิมพ์ตัดแบบสี่เสานิยมใช้กับงานที่ต้องการความเที่ยงตรงและใช้ความเร็วในการตัดค่อนข้างสูง และชุดพ่นซ์ตายผลิตจากวัสดุเหล็กแม่พิมพ์ เกรด JIS SKD11



ภาพที่ 3.1 แสดงชุดแม่พิมพ์ตัด

ชุดแม่พิมพ์ทุกชุดถูกขัดเงาให้มีความเรียบผิวเดียวกัน คือ 0.007 ไมโครเมตร และเพื่อความสะดวกในการปรับเปลี่ยนขนาดของพ่นซ์จึงออกแบบให้เป็น Insert แสดงดังรูปภาพที่ 3.2 และให้สามารถถอดเปลี่ยนขนาดของตายได้อย่างคล่องตัว แสดงดังรูปภาพที่ 3.3

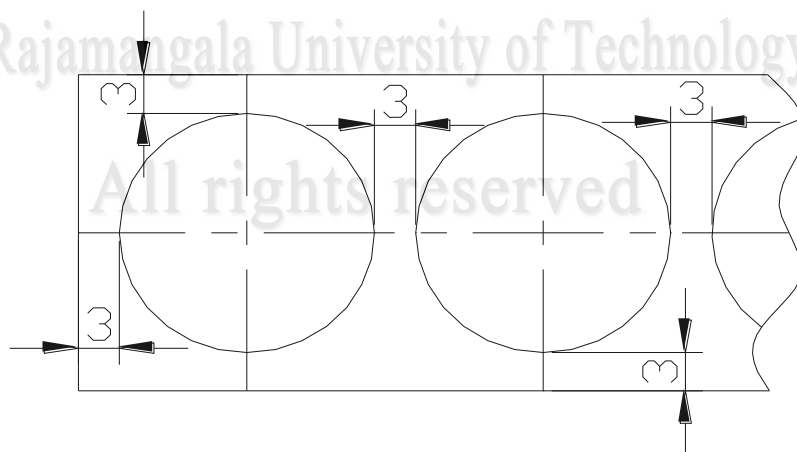


ภาพที่ 3.2 แสดงชุดพินซ์



ภาพที่ 3.3 แสดงชุดพินซ์และตาย

ในการทดลองใช้สแตนเลสเกรด 304 หนา 2 มิลลิเมตร ขนาด 4X8 ฟุต หลังจากนั้นได้ทำการตัดชิ้นงานให้เป็นแนวยาว แสดงดังภาพจำลองที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 Lay out ในการทดสอบ

2.2. เครื่องปั๊มชิ้นงานแบบเพลลาข้อเหวี่ยง

ในการทดลองใช้เครื่องปั๊มแบบเพลลาข้อเหวี่ยง ขนาด 60 ตัน เป็นเครื่องปั๊มแบบ C-Frame open back มีช่องคายเศษทางด้านหลัง แสดงดังรูปที่ 3.5

- MFG. NO.	A80897	
- MFG. DATE	2008-10	
- CAPACITY	60	ตัน
- RATING POINT	4	มิลลิเมตร
- STROKE NO	35-90	มิลลิเมตร
- STROKE	120	มิลลิเมตร
- DIE HEIGNT	300	มิลลิเมตร
- SLIDE ADJUSTMENT	75	มิลลิเมตร
- SLID AREA (LRXFB)	500 X 380	มิลลิเมตร
- BOLSTER AREA (LRXFB)	900 X 500	มิลลิเมตร
- MAIN MOTOR	VS 5.5	KW 4 P.
- MACHIING WEINGHT	4.6	ตัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved



ภาพที่ 3.5 เครื่องปั๊มชิ้นงานแบบเพลลาข้อเหวี่ยง

2.3. กล้องจุลทรรศน์ Optical Microscopes

ในการวัดส่วนที่เกิดขึ้นของขอบชิ้นงานในกระบวนการตัดและเพื่อความแม่นยำสามารถบอกถึงลักษณะของขอบตัด คือ ส่วนโค้งมน ส่วนเรียบตรง รอยฉีกขาด ครีบ ได้อย่างชัดเจน แสดงดังรูปที่

3.6

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved



ภาพที่ 3.6 กล้องจุลทรรศน์ Optical Microscopes

2.3. ชิ้นงานหล่อเรซินและการขัด

นำชิ้นงานที่ได้จากการบ่มตัดทำการตัดผ้าครึ่ง และทำการหล่อด้วยเรซิน จากนั้นทำการขัดผิวชิ้นงาน แสดงดังรูป 3.7 เพื่อตรวจสอบส่วนต่างๆที่เกิดขึ้นกับขอบตัดชิ้นงาน



ภาพที่ 3.7 ชิ้นงานหล่อเรซินและการขัด

2.4. เครื่องขัดชิ้นงานแบบจานหมุน

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการขัดผิวชิ้นงานให้มีความเรียบผิวที่ละเอียด เพราะเครื่องขัดชิ้นงานแบบจานหมุนสามารถเปลี่ยนแผ่นขัดได้ ตั้งแต่แผ่นขัดแบบความหยาบไปจนถึงแผ่นขัดแบบละเอียดที่สุด แสดงดังรูป 3.8 จนสามารถนำชิ้นงานไปทำการส่องกล้องจุลทรรศน์ Optical Microscopes



ภาพที่ 3.8 เครื่องขัดชิ้นงานแบบจานหมุน

2.4. เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบ

เป็นเครื่องสำหรับตัดชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบซึ่งมีความละเอียด ในการตัดก่อนที่จะนำชิ้นงานหล่อเรซินและทำการขัดด้วยเครื่องขัด แสดงดังรูป 3.9



ภาพที่ 3.9 เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบ



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

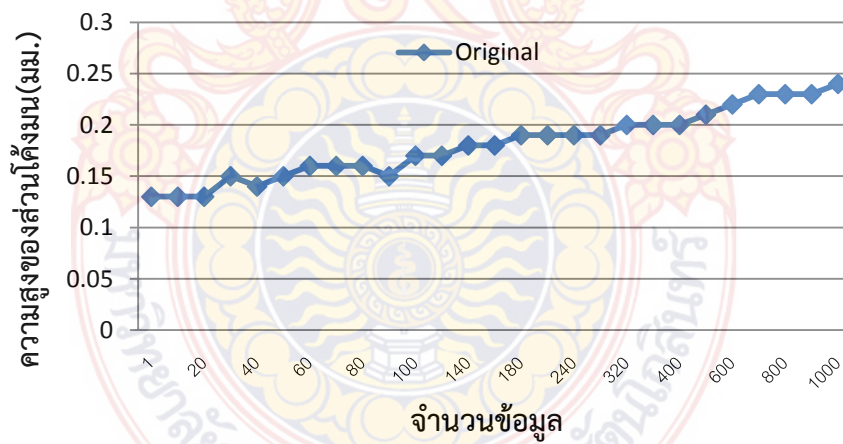
Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

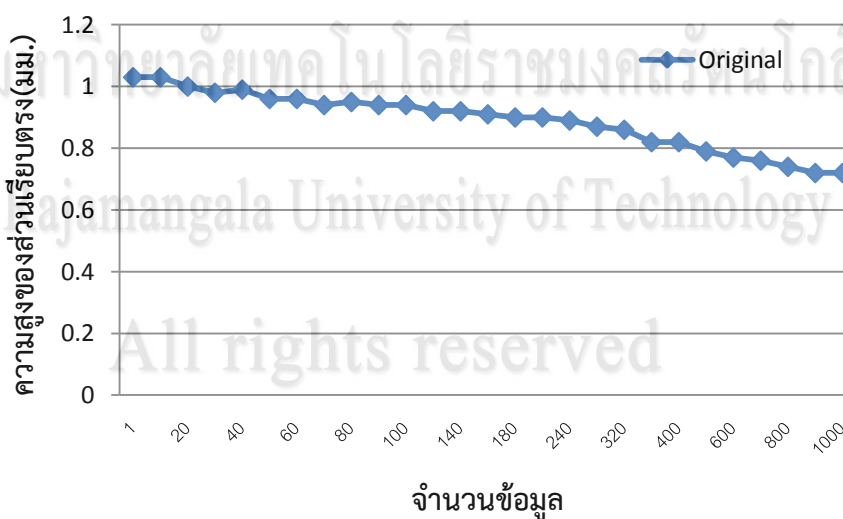
บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1. ผลการตัดด้วยพันธขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร

จากการตัดชิ้นงานด้วยพันธที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนและชุบแข็งเพียงครั้งเดียวโดยการเก็บข้อมูล ตรวจสอบและเก็บผล ครั้งที่ 1-100 ตรวจสอบและเก็บผลทุก 10 ครั้ง จากครั้งที่ 101-200 ตรวจสอบและเก็บผลทุก 20 ครั้ง จากครั้งที่ 201-400 ตรวจสอบและเก็บผลทุก 40 ครั้ง จากครั้งที่ 401-1,000 ตรวจสอบและเก็บผลทุก 100 ครั้ง ภาพที่ 4.1 และ 4.2



ภาพที่ 4.1 แสดงความสูงของส่วนโค้งมน

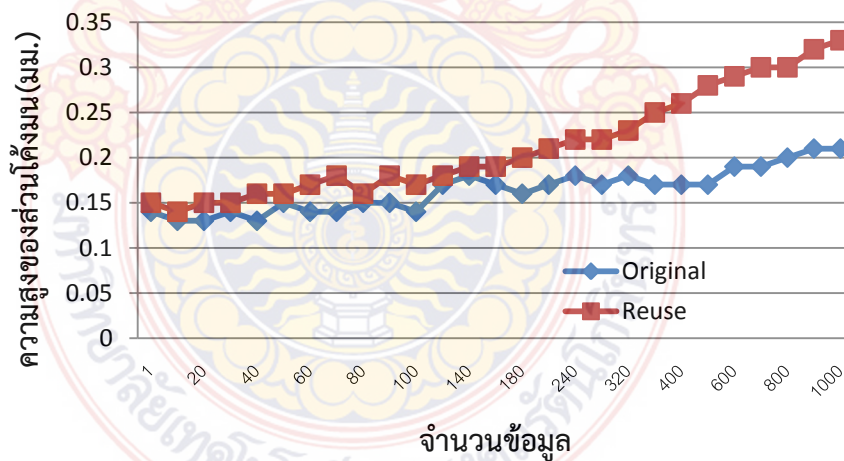


ภาพที่ 4.2 แสดงความสูงของส่วนเรียบตรง

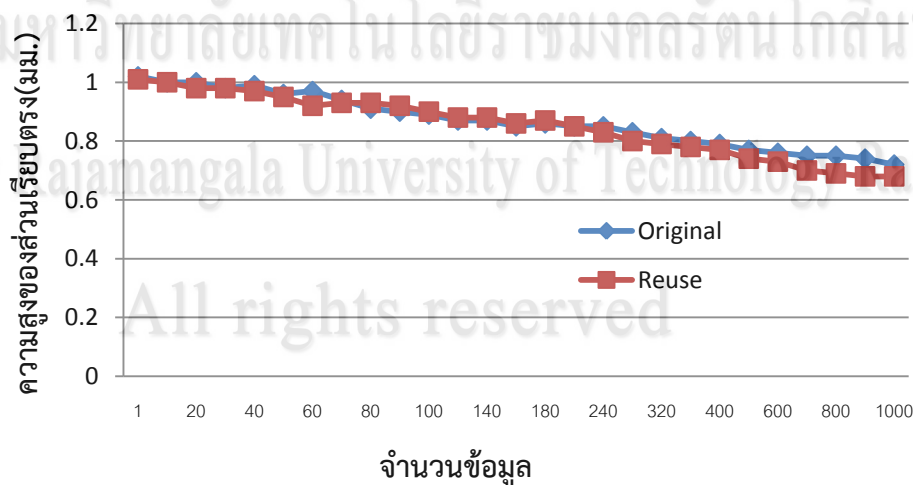
จากข้อมูลของขอบตัดชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอบอ่อนและชุบแข็งเพียงครั้งเดียว ความสูงของส่วนโค้งมน จะมีขนาด 0.24 มิลลิเมตร และความสูงของส่วนเรียบตรงมีขนาด 0.75 มิลลิเมตร ในการตัดชิ้นงานชิ้นงานครั้งที่ 1,000

4.2. ผลการตัดด้วยพันธขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร

จากการตัดชิ้นงานด้วยพันธที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนและชุบแข็งมาแล้ว 2 ครั้ง โดยการเก็บข้อมูล ตรวจสอบและเก็บผล ครั้งที่ 1-100 ตรวจสอบและเก็บผลทุก 10 ครั้ง จากครั้งที่ 101-200 ตรวจสอบและเก็บผลทุก 20 ครั้ง จากครั้งที่ 201-400 ตรวจสอบและเก็บผลทุก 40 ครั้ง จากครั้งที่ 401-1,000 ตรวจสอบและเก็บผลทุก 100 ครั้ง ทำการเปรียบเทียบกับพันธที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพียงครั้งเดียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร เช่นกัน ดังภาพที่ 4.3 และ 4.4



ภาพที่ 4.3 แสดงความสูงของส่วนโค้งมน

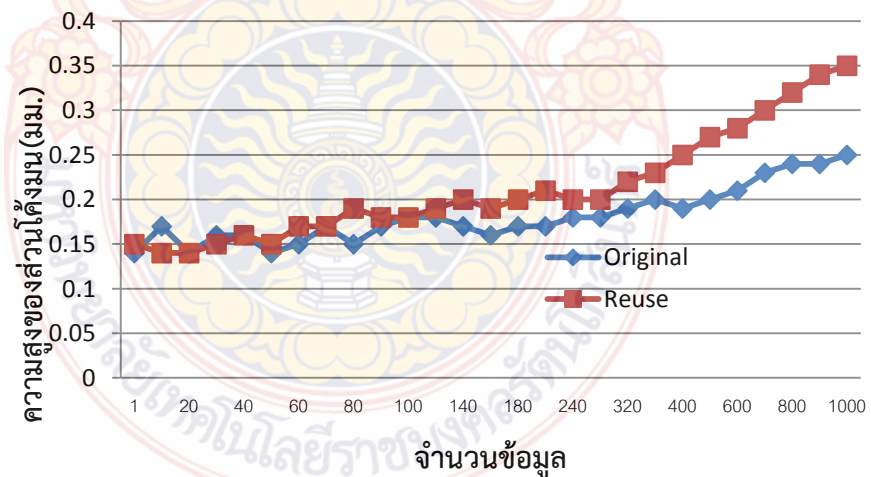


ภาพที่ 4.4 แสดงความสูงของส่วนเรียบตรง

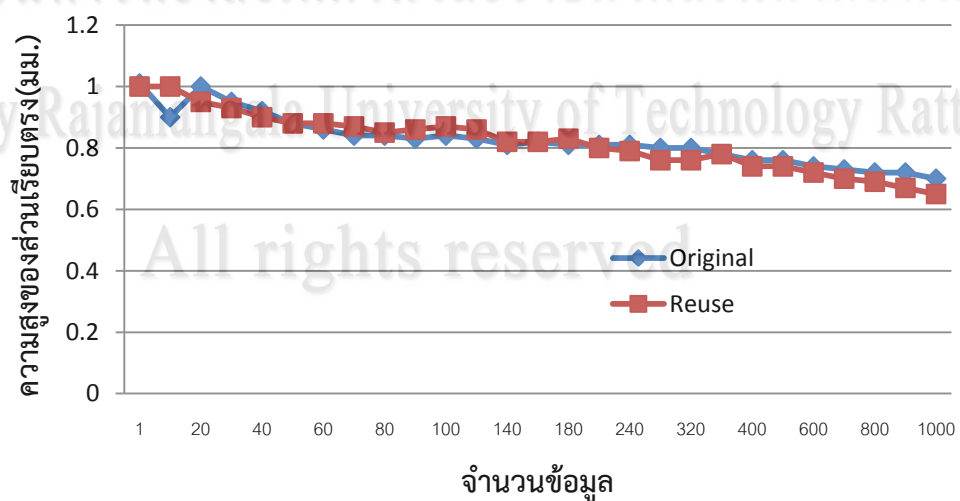
จากข้อมูลของขอบตัดชิ้นงานผลิตจากเครื่องมือตัดที่ผ่านกระบวนการอบอ่อนและชุบแข็งครั้งที่สอง ความสูงของส่วนโค้งมน จะเกิดขึ้นเร็วกว่าเครื่องมือตัดที่ผ่านกระบวนการอบอ่อนและชุบแข็งเพียงครั้งเดียว

4.3. ผลการตัดด้วยพันธ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร

จากการตัดชิ้นงานด้วยพันธ์ที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนและชุบแข็งมาแล้ว 3 ครั้ง โดยการเก็บข้อมูล ตรวจสอบและเก็บผล ครั้งที่ 1-100 ตรวจสอบและเก็บผลทุก 10 ครั้ง จากครั้งที่ 101-200 ตรวจสอบและเก็บผลทุก 20 ครั้ง จากครั้งที่ 201-400 ตรวจสอบและเก็บผลทุก 40 ครั้ง จากครั้งที่ 401-1,000 ตรวจสอบและเก็บผลทุก 100 ครั้ง ทำการเปรียบเทียบกับพันธ์ที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพียงครั้งเดียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร เช่นกัน ดังภาพที่ 4.5 และ 4.6



ภาพที่ 4.5 แสดงความสูงของส่วนโค้งมน



ภาพที่ 4.6 แสดงความสูงของส่วนเรียบตรง

จากข้อมูลของขอบตัดชิ้นงานผลิตจากเครื่องมือตัดที่ผ่านกระบวนการอบอ่อนและชุบแข็งครั้งที่สาม ความสูงของส่วนโค้งมน จะเกิดขึ้นเร็วกว่าเครื่องมือตัดที่ผ่านกระบวนการอบอ่อนและชุบแข็งเพียงครั้งเดียว และกระบวนการอบอ่อนและชุบแข็งมาแล้วสองครั้ง



ภาพที่ 4.7 แสดงขอบตัดจากพันธที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพียงครั้งเดียว ขนาด 15 มิลลิเมตร



ภาพที่ 4.8 แสดงขอบตัดจากพันธที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 3 ครั้ง ขนาด 15 มิลลิเมตร

จากการสังเกต ลักษณะขอบตัด ดังรูปที่ 14 และ 15 พบว่ารอยตัด คือส่วนเรียบตรงที่เกิดขึ้นจากการตัดด้วยพันธที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพียงครั้งเดียว และพันธที่ผ่านกรรมวิธีทาง

ความร้อนมาแล้ว 3 ครั้งเปรียบเทียบกับขนาด 15 มิลลิเมตร ทำการตัดในปริมาณที่เท่ากันพบว่า พันธ์ที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว 3 ครั้ง มีส่วนเรียบตรงน้อยกว่าชิ้นงานที่ตัดด้วยพันธ์ ที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพียงครั้งเดียว



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการนำพังก์ซ์ที่ผลิตจากเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น เกรด SKD11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ทำการตัดชิ้นงาน จำนวน 1,000 ชิ้น จากนั้นนำพังก์ซ์ทำกรอบอ่อนเพื่อทำการลดขนาดให้เหลือ 20 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปทำการชุบแข็งตามขั้นตอนการอบชุบพังก์ซ์ขนาด 25 มิลลิเมตร อีกครั้งหนึ่ง และทำการตัดชิ้นงาน ให้ครบ จำนวน 1,000 ชิ้น แล้วจึงนำพังก์ซ์ขนาด 20 มิลลิเมตรมาทำการอบอ่อน เพื่อนำไปลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางให้ได้เท่ากับ 15 มิลลิเมตร หลังจากนั้นก็นำชิ้นงานไปทำการอบชุบแข็งตามขั้นตอนการอบชุบพังก์ซ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรอีกครั้ง แล้วจึงนำพังก์ซ์ที่ผ่านการอบชุบแล้วไปตัดชิ้นงานให้ครบ จำนวน 1,000 บาท แล้วนำชิ้นงานที่ได้จากการตัดของพังก์ซ์แต่ละขนาดมาตรวจสอบส่วนที่เกิดขึ้นกับขอบตัด สามารถสรุปได้ ดังนี้

1. เครื่องมือตัดจากเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นเกรด SKD11 ได้ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมากกว่า 1 ครั้ง การตัดชิ้นงานในระยะแรกจะสามารถตัดชิ้นงานได้ผลใกล้เคียงกับเครื่องตัดที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพียง 1 ครั้ง แต่ในขณะที่ตัดชิ้นงานไปในระยะหนึ่ง แนวโน้มของขอบตัดที่ผลิตจากเครื่องมือตัดที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมากกว่า 1 ครั้ง จะมีส่วนโค้งมนเพิ่มขึ้นและส่วนเรียบตรงลดลงเร็วกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือตัดที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพียงครั้งเดียว

2. เครื่องมือตัดที่ผลิตจากเหล็กกล้าเครื่องมือเย็น SKD11 โดยผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพียง 1 ครั้งจะมีประสิทธิภาพในการตัดสูงกว่าพังก์ซ์ที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนและชุบแข็งหลายครั้ง

3. ข้อเสนอแนะและแนวทางการปรับปรุงการนำกลับมาใช้ใหม่

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการนำกลับมาใช้ใหม่ของเหล็กกล้าเครื่องมือเย็น ในการตัดชิ้นงานโดยสามารถนำมาทำการตัดได้อย่างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นในระยะเริ่มต้น

บรรณานุกรม

โกสითธี มงคลภิญโญกุล, 2544, การศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของเหล็ก JIS S45C, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 27-40.

ชาญชัย ทรัพย์ากร และคณะ, 2534, การออกแบบแม่พิมพ์, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), กรุงเทพมหานคร, หน้า 9-16.

ธเนศ เมฆฉาย และคณะ, 2536, พื้นฐานการออกแบบแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปโลหะ, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพมหานคร, หน้า (3-1) – (3-54).

ชาญ ถนัดงาน, 2536, เอกสารประกอบการเรียนแม่พิมพ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, หน้า 1-20.

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

ปนัดดา นิรนาทล้ำพงศ์ และคณะ, 2545, การสึกหรอ, สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, หน้า 9-36, 122-.

ศิวะ พงศ์พิพัฒน์, 2537, การวิเคราะห์ความเสียหายในงานโลหะ, พิมพ์ครั้งที่ 1, โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร, หน้า 137-142.

มนัส สติรจินดา, 2537, เหล็กกล้า, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 11-12, 45-50.

ณัฐศักดิ์ พรพุดศิริ, วารุณี เปรมานนท์ และพงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2545, “การศึกษาอิทธิพลของช่องว่างแม่พิมพ์ที่มีผลพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด”, การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16, หน้า 437-441.

Lange, K., 1985, “Blanking and Piercing and Piercing Process”, Handbook of Metal Forming, New York, Mc Graw-Hill, pp. (24.8)-(24.13)

Koji, K. and Koshi, K., 1999, "Wear Mechanisms" , In **Modern Tribology Handbook**, McGraw-Hill , New York, pp. 273-299

Schey, J.A, 1984, **Tribology in Metalworking**, The American Society for Metals, U.S.A., pp. 1-5.

Nilsson, B., 1984, "Punching in Stainless Steel Plate", **Uddeholm Tooling AB, Research and Development**, Sweden, pp. 1-9.

Fang, N., et al., 2002, "Finite Element Simulation of the Effect of Clearance on The Forming Quality in the Blanking Process", **Journal of Material Processing Technology**, February 2002, Vol. 122, pp. 249-254.

Mati, S.K. et al, 2000, "Assessment of Influence of Some Process Parameter on Sheet Metal Blanking", **Journal of Material Processing Technology**, December 2002, Vol. 102, pp. 249-256.

Schey, J.A., 1980, "Material Aspects of Friction and Wear in Manufacturing Processes," **Journal of Metals**, pp. 81-90.

Luo, S.Y., 1997, "Studies on The Wear Conditions and The Sheared Edges in Punching," **Journal of Wear**, Vol. 28, pp. 81-90.

Verein, D.E.S., 1993, "Wear Resistance Steel", In **Tool Steel**, Springer – Verlay Berlin and Verlog, pp. 368-381.

Komgrit L, Kaewtatip P, Premanond V, Kusol P.2004, "**Study on Wear of Blanking Tool with Various Corner Radii**" Industrial Engineering Network 13th , 20-22 October, Changmai, PP.59

Livatyalı, H, Altan, T, Wu.,H.c. .2001. Prediction and elimination of springback in straight flanging using computer aided design methods Part 2 FEM predictions and tool design. **J.Mater. Process. Technol.** Vol.120, pp.348 – 354.

Moon, Y.H. , Kang, s.s. , Cho , J.R. , Kim , T.G. 2003. Effect of tool temperature on the reduction of the springback of aluminum sheets. **J. Mater. Process. Technol.** Vol.132, pp. 365-368.

Sung Ho Chang , Jang Mo Shin , Young Moo Heo , Gyo Seo. 2002. Springback characteristics of the tailor – welded strips in U-Bending. **J,Mater. Process. Technol.** Vol. 130-131, pp. 14-19.



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายประสาน แสงเขียว
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Prasan Sankhleo
2. เลขหมายบัตรประชาชน 3930100724449
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม
4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ถนนเพชรเกษม ตำบล
หนองแก อำเภอบางขัน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110 โทรศัพท์ 032-618500 ต่อ 4047
โทรศัพท์มือถือ 086-7018721 โทรสาร 032-618570 และEmail:Prasan.san@hotmail.com
5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	สาขาวิชา	สถาบันการศึกษา	ประเทศ
2548	ป.ตรี	เทคโนโลยีอุตสาหกรรม	มทร.รัตนโกสินทร์	ไทย
2553	ป.โท	วิศวกรรมอุตสาหกรรม	มทร.ธัญบุรี	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

- Manufacturing
- CAD/CAM
- CNC

7. ประสบการณ์งานวิจัยที่ทำเสร็จ

ประสาน แสงเขียว, ศิริชัย ต่อสกุล, ศิวกร อ่างทอง, 2553, "ศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตชิ้นส่วนในการตัดเฉือนเหล็กกล้า AISI 304", การประชุมวิชาการ มอบ.วิจัย ครั้งที่4, 9-10 สิงหาคม 2553, โรงแรมลายทอง, อุบลราชธานี

1. ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) นายพงศกร หลีตระกูล
(ภาษาอังกฤษ) Mr.Pongsakorn Leetarkul
2. หมายเลขบัตรประชาชน 1959900115473
3. ตำแหน่งปัจจุบัน เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ
8. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ถนนเพชรเกษม ตำบล
หนองแก อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110 โทรศัพท์ 032-618500 ต่อ 4046
โทรสาร 032-618570 และEmail:pongsakorn__23@hotmail.com
5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	สาขาวิชา	สถาบันการศึกษา	ประเทศ
2552	ป.ตรี	เทคโนโลยีอุตสาหกรรม	มทร.รัตนโกสินทร์	ไทย

6. สาขาชำนาญการพิเศษ

CAD/CAM, CNC,

All rights reserved



ภาคผนวก ก

การคำนวณแรงตัดเฉือนและแรงปดชิ้นงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

ก.1 การคำนวณแรงในการตัดเฉือน

การวิเคราะห์แรงตัดโลหะแผ่นทางทฤษฎีกับแรงตัดโลหะแผ่นจากผลการทดลองแรงตัดโลหะแผ่นทางทฤษฎี

$$F_s = A_s k_s$$

$$A_s = \pi dt$$

$$K_s = 0.8R_m$$

เมื่อ

$$F_s = \text{Blanking force [N]}$$

$$A_s = \text{Sheared surface [mm}^2\text{]}$$

$$K_s = \text{Shearing strength [N/mm}^2\text{]}$$

$$R_m = \text{Tensile strength [N/mm}^2\text{]}$$

Material : AISI 304

$$R_m = 542 \text{ MPa}$$

$$k_s = 0.8 \times 542$$

$$= 433.6 \text{ MPa}$$

$$A_s = \pi \times 25 \times 2$$

$$= 157 \text{ mm}^2$$

$$\therefore F_s = 433.6 \times 157$$

$$= 67.981 \text{ kN.}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

สำหรับพื้นที่ ขนาด 20 มม.

Material : AISI 304

$$\begin{aligned}
 R_m &= 542 \text{ MPa} \\
 k_s &= 0.8 \times 542 \\
 &= 433.6 \text{ MPa} \\
 A_s &= \pi \times 20 \times 2 \\
 &= 125.6 \text{ mm}^2 \\
 \therefore F_s &= 433.6 \times 157 \\
 &= 54.46 \text{ kN.}
 \end{aligned}$$

สำหรับพื้นที่ ขนาด 15 มม.

Material : AISI 304

$$\begin{aligned}
 R_m &= 542 \text{ MPa} \\
 k_s &= 0.8 \times 542 \\
 &= 433.6 \text{ MPa} \\
 A_s &= \pi \times 15 \times 2 \\
 &= 94.2 \text{ mm}^2 \\
 \therefore F_s &= 433.6 \times 157 \\
 &= 40.84 \text{ kN.}
 \end{aligned}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ก.2 การคำนวณแรงในการปลดชิ้นงาน

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

$$\begin{aligned}
 F_{sp} &= 15\% \text{ ของแรงตัดเฉือน} \\
 &= 15\% \times 15.58 \\
 &= 10.197 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

สามารถใช้สปริงของชุดพื้นที่ขนาด 25 ได้ทันทีเนื่องจากแรงปลดเพียงพอ

All rights reserved



ภาคผนวก ข

คุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกลของวัสดุ AISI 304

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

ตารางที่ ข.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304

ธาตุผสม	อัตราส่วนผสม (%)
คาร์บอน (C)	0.05
ซิลิกอน (Si)	0.230
แมงกานีส (Mn)	0.310
นิกเกิล (Ni)	16.080
โครเมียม (Cr)	0.028
โมลิบดีนัม (Mo)	0.210
วานาเดียม (V)	0.0001

ตารางที่ ข.2 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304

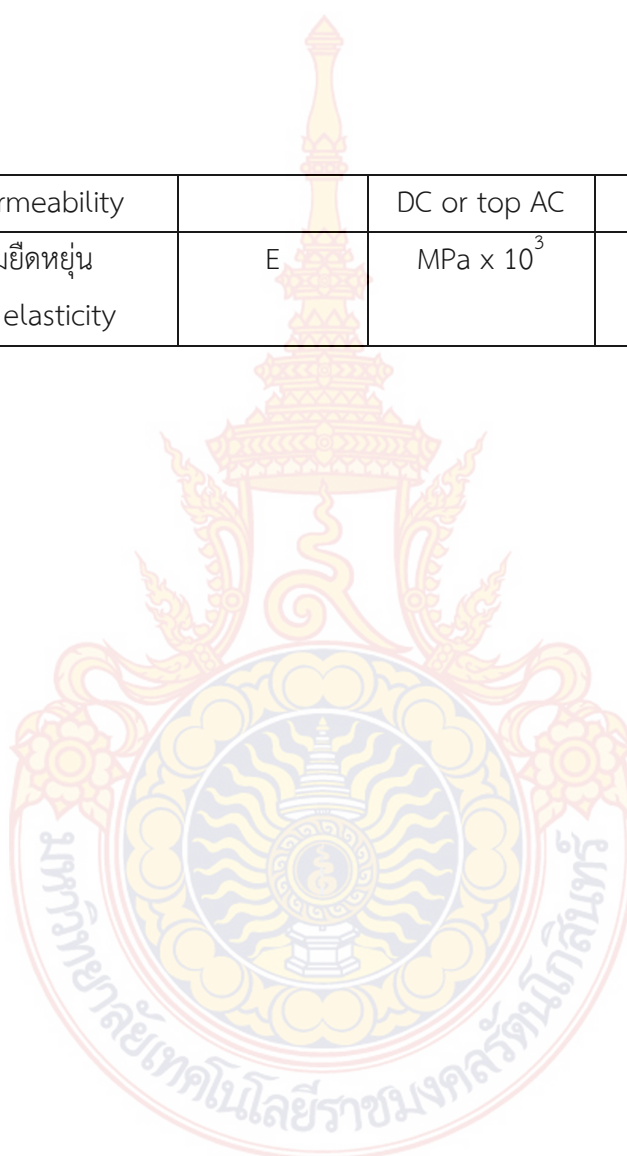
คุณสมบัติทางกล	ค่าที่ได้
Tensile Strength	542 MPa
Yield Strength	298 MPa
Elongation	27 %
Hardness	148 HV

All rights reserved

ตารางที่ ข.3 ค่าคุณสมบัติทางกายภาพของเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304
อ้างอิงจากแหล่งผู้ผลิต บริษัทไทยน็อกซ์สตีล จำกัด

คุณสมบัติ	สัญลักษณ์	หน่วย	ที่ °C	ค่า
ความหนาแน่น Density	d	-	4 °C	7.93
จุดหลอมเหลว Melting point		°C		1450
ความร้อนจำเพาะ Specific heat capacity	C	J/Kg. °C	20 °C	500
ค่าการนำความร้อน Thermal conductivity	K	W/m °C	20 °C	15
ส.ป.ส.การขยายตัว Coefficient of expansion	α	10^6 m/m °C.	20 °C -100 °C 20 °C -200 °C 20 °C -400 °C	16 16.5 17.5
ค่าความต้านทานไฟฟ้า Electrical resistivity	ρ	$\mu\Omega$.cm	20 °C	80
ความซึมซาบแม่เหล็ก	μ	At 0.8 KA/m		1.02

Magnetic permeability		DC or top AC		
โมดูลัสความยืดหยุ่น Modulus of elasticity	E	MPa x 10 ³	20 °c	193



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved



ภาคผนวก ค

รายละเอียดของวัสดุทำพิมพ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

ค.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กที่นำมาทำฟันซ์ (จากบริษัท อินเตอร์ทูล จำกัด)

ตารางที่ ค.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็ก X155CrVMo12-1

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (%)
คาร์บอน (C)	1.40 – 41.60
ซิลิกอน (Si)	0.40
แมงกานีส (Mn)	0.60
นิกเกิล (Ni)	0.50
โครเมียม (Cr)	11.00 – 13.00
โมลิบดีนัม (Mo)	0.80 – 1.20
วานเดียม (V)	0.20 – 0.50

คุณสมบัติ

- เป็นเหล็กชุบลงน้ำมันที่มีธาตุคาร์บอน (C) และธาตุโครเมียม (Cr) ผสมในอัตราสูง
- ทำให้มีความแข็งและทนการเสียดสีดีมาก เหมาะสำหรับทำแม่พิมพ์ที่มีรูปร่างซับซ้อนและต้องการความแม่นยำ เนื่องจากสามารถรักษาขนาดและรูปร่างได้ดีขณะเผาชุบแข็ง

ตารางที่ ค.2 เปรียบเทียบกรรมวิธีทางความร้อนของฟันซ์แต่ละชนิด

ชนิดวัสดุ	กรรมวิธีการชุบ
X155CrVMo12-1	Hardening (Air Cooling) และ Tempering (Air Cooling)
X100CrMoV8-1-1	Hardening (Oil/Salt Cooling) และ Tempering (Air Cooling)
HS 6-5-2	Hardening (Oil Cooling) และ Tempering (Air Cooling)

เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็บเกรด JIS SKD 11

สำหรับงานแม่พิมพ์เหล็กกล้าเกรด JIS SKD 11 เป็นเหล็กที่นิยมมากในการใช้ผลิตแม่พิมพ์ในบพนี้จึงได้ทำการเรียบเรียงรายละเอียด คุณสมบัติและการนำไปใช้งาน ซึ่งเหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่มงานเย็นนี้มีส่วนผสมของคาร์บอนและโครเมียมในปริมาณสูง จัดเป็นเหล็กกล้าในกลุ่ม 12 % เลเดอไรต์โครเมียมสตัส ซึ่งมีความต้านทานต่อการเสียดสีดีมากนอกจากนี้ยังมีการผสมธาตุโมลิบดีนัมเพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการชุบแข็ง ให้ความเหนียวแกร่งดี และยังมี การผสมธาตุวาเนเดียมให้สูงถึง 1% เพื่อช่วยรักษาคมตัดให้มีคมและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ช่วยให้ทนต่อการเสียดสีและต้านทานต่อการสึกหรอได้สูงมากขึ้น ยังมีคุณสมบัติเด่นทางด้าน การต้านทานการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูง นิยมใช้ทำแม่พิมพ์สำหรับงานตัด งาน پرس งานอัดขึ้นรูปเย็น ลูกรีด ไบมีดตัดโลหะ และงานที่ต้องทนต่อการเสียดสีสูงๆ และแม่พิมพ์พลาสติกที่ต้องการความต้านทานต่อการสึกหรอมาก

ตารางที่ ค.3 คุณสมบัติทั่วไปเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นเกรด JIS SKD 11

ส่วนผสมทางเคมี (%wt)	C	Cr	Mo	V
	1.55	12.0	0.7	1.0
AISI	D2			
JIS	SKD 11			
DIN	1.2379/x155 Cr V Mo12-1			
Hardness	อบอ่อน ความแข็งสูงสุด 250 HB			
Hardness	ชุบแข็งและอบคืนตัว 58 – 62 HRC			

คุณลักษณะเด่น (Significant Characteristics)

- มีความต้านทานต่อการสึกหรอสูง
- ชุบแข็งได้ลึกมาก
- มีความสามารถในการชุบแข็งสูงมาก
- สามารถชุบแข็งในเตาสัญญากาศได้
- รักษาคมตัดให้มีอายุการใช้งานยาวนาน
- ต้านทานการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูงได้
- เกิดการบิดงอเล็กน้อยมากหลังการชุบแข็ง

- สามารถทำไนไตรดิงหลังการชุบแข็งได้
- สามารถเคลือบผิวด้วยเทคนิคพีวีดีได้

ตารางที่ ค.4 คุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติ	อุณหภูมิทดสอบ		
	การนำความร้อน	20°C	350°C
	16.7	20.5	24.2
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน	100°C		200°C
	10.5		11.5
	300°C		400°C
	11.9		12.2
โมดูลัสการยืดหยุ่น	20 GPA		
ความจุความร้อนจำเพาะ 20 °C	0.46 GPA		
ความหนาแน่น	7.85		
สภาพทางแม่เหล็ก	ซีมซับ		

การใช้งาน (Applications)

นิยมใช้ทำแม่พิมพ์สำหรับงานเย็นอย่างกว้างขวาง ทั้งแม่พิมพ์แบลิ่งกิ้ง (Blaning) แม่พิมพ์ปั๊ม (Pressing) แม่พิมพ์ดัด (Bending) แม่พิมพ์ดึงขึ้นรูป (Drawing) แม่พิมพ์สำหรับงานอัดขึ้นรูปเย็น สามารถใช้ทำลูกรีดและแม่พิมพ์สำหรับงานรีดเกลี้ยง ใบมีดตัดเฉือนโลหะและพลาสติก และแม่พิมพ์พลาสติกที่ต้องการความต้านทานต่อการสึกหรอสูง

กระบวนการอบชุบความร้อน (Heat Treatments)

ตารางที่ ค.5 การอบชุบ

การอบอ่อน	อุณหภูมิ°C	การเย็นตัว	ความแข็ง
การอบคลายความเค้น	830 - 860	ในเตา	≤ 250 HB
	อุณหภูมิ°C		การเย็นตัว
	675-705		ในอากาศ

การเผาอ่อนชิ้นงาน	ชั้นที่	อุณหภูมิ°C	เวลา/ความหนา
	1	400	30 วินาที/มม.
	2	650	30 วินาที/มม.
	3	850	1 ที/มม.
	1000-1050	น้ำมัน,อากาศ/อ่างเกลือ ที่ 500-550 °C	63 HRC

กระบวนการอบคืนตัว (Temper)

ตารางที่ ค.6 การอบคืนตัว

Temp°C	100	200	300	400
HRC	63	61	58	58
Temp°C	500	525	550	600
HRC	58	60	56	50

ขั้นตอนการชุบแข็ง (Hardening Processes)

การอบคลายความเค้น (Stress-Relief Annealing) การเสีรูปร่างของชิ้นงานภายหลังการชุบแข็ง อาจมีสาเหตุมาจากการมีความเค้นตกค้าง ที่เกิดขึ้นจากการตัดกลึงแปรรูปซึ่งความเค้นนี้สามารถกำจัดให้ลดลงหรือหมดไปได้ โดยการอบคลายความเค้นที่อุณหภูมิ 600 – 650 °C ภายหลังจากการกลึงหยาบโดยใช้เวลาคงไว้อย่างน้อย 2 ชม. และเพิ่มขึ้นอีก 1 ชม. ต่อความหนาชิ้นงาน 50 มม. จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวลงภายในเตา แล้วจึงนำไปตกแต่งขั้นสุดท้าย

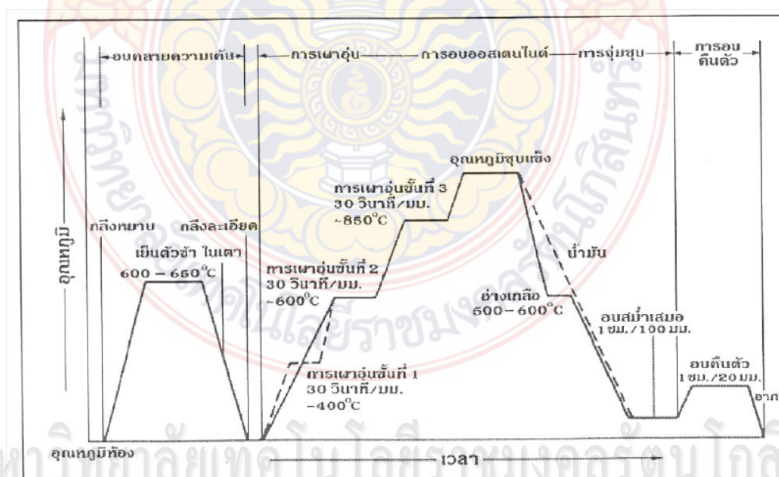
การป้องกันผิวสูญเสียคาร์บอน (Protection Against Decarburization)

การชุบแข็งเหล็กกล้าเครื่องมือ นั้น จำเป็นต้องป้องกันการสูญเสียปริมาณคาร์บอนที่ผิวในระหว่างการชุบแข็ง ซึ่งมักเป็นผลให้ความแข็งที่ผิวหน้าของชิ้นงานลดต่ำกว่าปกติที่ควรจะได้รับ ดังนั้นวิธีการป้องกันการผิวสูญเสียคาร์บอนจะสามารถเลือกใช้วิธีการชุบแข็งได้ดังนี้

- ชุบแข็งในเตาสู่ญากาศ
- ชุบแข็งในอ่างเกลือ
- ชุบแข็งในเตาควบคุมบรรยากาศ
- ห่อหุ้มเหล็กกล้าเครื่องมือด้วย เศษเหล็กหล่อ ผงถ่านโค้ก หรือผงถ่านไม้

การเผาอุ่นชิ้นงาน (Preheating)

รอยแตกร้าวและการบิดงอของเหล็กกล้าเครื่องมือที่เกิดขึ้นในขณะทำการชุบความร้อนมีสาเหตุมาจากในระหว่างที่ทำการเพิ่มอุณหภูมิให้กับชิ้นงานจะเกิดความแตกต่างทางด้านอุณหภูมิระหว่างผิวหน้ากับภายในของชิ้นงานจึงเป็นสาเหตุให้เกิดความเค้นดึงขึ้นที่ผิวหน้าและนำไปสู่การแตกร้าวหรือบิดงอทั้งนี้ มีสาเหตุมาจากค่าการนำความร้อนของเหล็กกล้าเครื่องมือโดยทั่วไปมักมีค่าต่ำและเียบางกรณีพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานมีขนาดแตกต่างกันมาก เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านี้ จึงควรเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ชิ้นงานอย่างช้าๆ หรือเป็นขั้น ๆ โดยในแต่ละขั้นควรเผาแช่ไว้เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 30 วินาที ต่อความหนา 1 มม. เพื่อให้อุณหภูมิของชิ้นงานเท่ากันตลอดทั้งพื้นที่หน้าตัดแล้วจึงเพิ่มอุณหภูมิทำงานในขั้นต่อไปจนเข้าสู่อุณหภูมิชุบแข็ง



ภาพที่ ค.1 แผนภาพการชุบแข็งเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นเกรด JIS SKD 11

การขึ้นรูปและการแปรรูป (Processing)

การออกแบบมีความสำคัญมากต่ออายุการใช้งานของเหล็กเครื่องมือ ชิ้นงานส่วนใหญ่มักเกิดความเสียหายได้ภายในระยะเวลาอันสั้นถ้ามีการออกแบบผิดพลาด โดยทั่วไปมีปัจจัยบางประการที่มีส่วนสนับสนุนให้เกิดรอยแตกร้าวหรือความเสียหายแก่ชิ้นงาน ได้แก่

- การออกแบบที่มีผนังบางมากเกินไป

- การมีรอยบากที่มีมุมแหลมคม รวมทั้งการมีริ้วรอยที่เกิดจากการขัด การกลึง และตอกรหัสรวมทั้งหมายเลขต่างๆ บนผิวชิ้นงานในการออกแบบ ควรทำให้ชิ้นงานมีรูปร่างที่สมมาตรที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้การทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงสูงมีผิวที่แข็งสะอาดเรียบและมันเงา ปราศจากรอยขีดข่วน ทั้งการกำหนดค่ามุมรัศมีในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดให้มากที่สุด จะมีส่วนช่วยให้ชิ้นงานมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้นนอกจากนี้ในการออกแบบแม่พิมพ์ยังต้องคำนึงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการอบชุบทางความร้อนอีกด้วยซึ่งถ้าหากไม่สามารถหลีกเลี่ยงการเกิดความแตกต่างทางอุณหภูมิที่เกิดขึ้นเป็นปริมาณมากได้ในบริเวณที่มีพื้นที่หน้าตัดแตกต่างกันควรพิจารณาถึงความเป็นไปได้ที่จะทำการแบ่งแม่พิมพ์ออกเป็นส่วนย่อยหลาย ๆ ส่วน

การกลึงแปรรูป (Machining)

ภายหลังการกลึงหยาบชิ้นงาน ควรทำการอบคลายความเค้นอุณหภูมิ 600 – 650°C และทำการชุบแข็งและอบคืนตัวก่อนทำการกลึงละเอียด (finish machining)

ตารางที่ ค.7 การตั้งค่าการกลึง

Machining	HSS tools		Carbide tools	
	Cutting m/min	Feed Mm/rev	Cutting m/min	Feed Mm/rev
Rough – mach	10-20	0.2-0.4	115-175	0.4-1.0
Finish – mach	20-30	0.1-0.2	235-350	0.1-0.4
Drilling	Cutting m/min	Feed Mm/rev	Drill diameter (mm)	
			SKH55, SKH51	6-10
SKH51	15-20	0.12-0.20	8-16	

All rights reserved

การกัดสปาร์ค (Electrical Discharge Machining)

หลังจากการทำ EDM ควรทำอบคลายความเค้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการอบคืนตัวครั้งสุดท้าย 30 °C เพื่อลดปัญหาที่อาจเกิดจากผิวที่ได้จากการทำ EDM

การเคลือบผิวแข็งโครเมียม (Hard Chromium Plating)

2379 ที่เคลือบผิวแข็งโครเมียมควรอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 180-260 °C ระยะเวลา 4 ชม. หรือมากกว่านี้ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการเปาะเนื่องจากไฮโดเจน

การเจียรระไน (Grinding)

การเจียรระไนผิวชิ้นงาน ควรปฏิบัติตามคำแนะนำดังนี้

- ใช้ล้อขัดให้ถูกต้อง ทั้งชนิด ขนาดและพันธะของเม็ดขัดผิวชิ้นงานที่แข็งกว่าควรใช้ล้อขัดที่มีความอ่อนนุ่มกว่า
- ใช้แรงกดให้เหมาะสม ผิวที่แข็งควรใช้แรงกดน้อยลง
- ใช้สารหล่อเย็นช่วยระบายความร้อนให้มากเพียงพอและควบคุมทิศทางการไหลให้ถูกต้อง

การเชื่อม (Welding)

เหล็กเครื่องมือชนิดอื่นมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดแตกร้าวได้อย่างมาก ดังนั้นควรทำการเชื่อมจะใช้ในกรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้เท่านั้น การเชื่อม แนะนำให้ใช้ลวดเชื่อมที่หุ้มฟลักซ์เบสิกและใช้ลวดเชื่อมที่มีส่วนผสมของโครเมียม และนิกเกิลเป็นปริมาณสูงเช่น AWS : E 312-16 เป็นต้นและควรปฏิบัติตาม คำแนะนำดังนี้สำหรับชิ้นงานได้ผ่านกระบวนการอบอ่อน : ทำการเผาอุ่นชิ้นงานที่อุณหภูมิ 350-500 °C ทำการเชื่อมที่อุณหภูมินี้อบคลายความเครียดทันทีหลังจากการเชื่อม เสร็จจึงลึกลงที่อุณหภูมิ 650-750 °C คงไว้เป็นเวลา 2 ชม. สำหรับชิ้นงานได้ผ่านกระบวนการชุบแข็ง แล้วทำการเผาอุ่นชิ้นงานที่อุณหภูมิต่ำแต่ต้องไม่ต่ำกว่า 250°C ทำการเชื่อมที่อุณหภูมินี้ จากนั้นให้ความร้อนซ้ำอีกครั้งที่อุณหภูมิ 300 °C คงไว้เป็นเวลา 2-3 ชม. ปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ จนถึงอุณหภูมิ 80-100 °C ทำการอบคืนตัวครั้งที่ 2 ที่ 300 ปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ

การทำไนไตรดิง (Nitriding)

การทำไนไตรดิงสามารถทำได้ทั้งวิธีไนไตรดิงในอ่างเกลือ (ทัฟฟ์ไนไตรดิง หรือ เทนนิเฟอร์)

ไนไตรดิงด้วยก๊าซ ไนไตรดิงโดยผงและพลาสมาไนไตรดิง ดังนี้

- ไนไตรดิงในอ่างเกลือ อุณหภูมิ 520 – 570 °C เวลา 2 ชม.
- แก๊สไนไตรดิงอุณหภูมิ 450-180 °C เวลา 15-30 ชม.
- ผงโลหะไนไตรดิง อุณหภูมิ 500-570 °C เวลา 3-5 ชม.
- พลาสมาไนไตรดิง อุณหภูมิ 400°C ถึง 600°C

เมื่อผ่านการทำไนไตรดิงผิวเหล็กจะมีความแข็งประมาณ 1100 HV (70 HRC) และมี ความลึกผิวแข็ง ประมาณ 0.5 มม. แต่อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับส่วนผสมทางเคมีในเหล็ก และสภาวะการทำไนไตรดิง

การปรับปรุงคุณภาพผิว (Surface Treatments)

ตารางที่ ค.8 การปรับปรุงคุณภาพผิว

กระบวนการ	อุณหภูมิ °C	คุณสมบัติที่ต้องการ	ความหนาของชั้นผิว	ความแข็ง (HV)
คาร์บูไรซิงค์	860-900	ปริมาณ C ต่ำ ไม่ไวต่อความร้อนที่สูงเกินพิกัด	2 mm max	900 max
ไนไตรดิง	470-570	สามารถต้านทานต่อการอ่อนตัวเมื่อทำการอบคืนตัวและชุบแข็ง	0.5 mm max	1100 max
โบโรไดซิง	800-1050	ไม่ควรมี Si ผสม	0.4 mm max	2000 max

ตารางที่ ค.8 (ต่อ) การปรับปรุงคุณภาพผิว

ออกซิไดซิง	300-550	สามารถต้านทานต่อการอ่อนตัวเมื่อทำการอบคืนตัว	0.01 mm max	ไม่มีผลต่อความแข็งแรง
สปาร์คดีโพซิซิง	≥1000	-	0.1 mm max	950 max
TiC – CVD	≥900	ทนต่อความร้อนที่สูง	6-9 micron	4800 max

Coating		เกินพิกัด	max	
TiC – CVD Coating	500	ไม่ไวต่อความร้อนที่สูง เกินพิกัด	2-5 micron max	2500 max
Hard chrome	50-70	ปริมาณคาร์บอนต่ำทน ต่อการอบชุบ	1 mm max	1200 max



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved