



รายงานวิจัย

เรื่อง

การศึกษาช่วงตัวแปรที่เหมาะสมในการชูบแข็งและบำบัดเย็นเหล็กกล้าพีเอ็มเกรดเพื่อ
พัฒนาประสิทธิภาพแม่พิมพ์ตัดสำหรับการผลิตชิ้นส่วนในอุตสาหกรรม



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ

ศูนย์เทคโนโลยีเครื่องจักรกลอัตโนมัติ วิทยาเขตพระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

งานห้องสมุดกลางเขต
สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
วันที่..... - 5 ส.ค. 2552
เลขทะเบียน..... 000126

พ.ศ. 2549



รายงานวิจัย

เรื่อง

การศึกษาช่วงตัวแปรที่เหมาะสมในการชุปแข็งและบำบัดเย็นเหล็กกล้าพีเอ็มเกรดเพื่อ
พัฒนาประสิทธิภาพแม่พิมพ์สำหรับการผลิตชิ้นส่วนในอุตสาหกรรม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ

ศูนย์เทคโนโลยีเครื่องจักรกลอัตโนมัติ วิทยาเขตพระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ประจำปีการศึกษา 2549

การศึกษาช่วงตัวแปรที่เหมาะสมในการชุปแข็งและบำบัดเย็นเหล็กกล้าพีเอ็มเกรดเพื่อ
พัฒนาประสิทธิภาพแม่พิมพ์ตัดสำหรับการผลิตชิ้นส่วนในอุตสาหกรรม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ



ศูนย์เทคโนโลยีเครื่องจักรกลอัตโนมัติ วิทยาเขตพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

- ชื่อ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์สทรรัตน์ วงษ์ศรีษะ
 เรื่อง : การศึกษาช่วงตัวแปรที่เหมาะสมในการชุบแข็งและบำบัดเย็นเหล็กกล้าพีเอ็มเกรด เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพแม่พิมพ์ตัดสำหรับการผลิตชิ้นส่วนในอุตสาหกรรม
 สาขาวิชา : ศูนย์เทคโนโลยีเครื่องจักรกลอัตโนมัติ

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการชุบแข็งเหล็กกล้าผงอัดรีด ส่วนผสม 1.50%C , 1.00%Si , 8.00%Cr , 1.50%Mo , 0.40%Mn , 4.0%V ภายใต้กระบวนการทางความร้อนและบำบัดเย็นต่างกัน 3 ตัวแปร เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการต้านทานการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด โดยอบเหล็กกล้าให้ร้อนถึงอุณหภูมิออสเทนไนท์ที่อุณหภูมิ 1030°C คงอุณหภูมิ 30 นาที จากนั้นชุบแข็งด้วยแก๊สไนโตรเจนความดัน 3 บาร์ เช่นตัวลงถึงอุณหภูมิต่างกัน ประกอบด้วย ที่อุณหภูมิ 35 °C (ห้อง) ที่อุณหภูมิ -147°C และ -192°C โดยคงอุณหภูมิไว้ 4.0 ชั่วโมง จากนั้นอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 525°C จำนวน 2 ครั้ง เจียรไนขึ้นรูปเป็นชิ้นส่วนแม่พิมพ์ตัด (Blanking Die) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่ 10 มม. สำหรับตัดเหล็กแผ่น SUS 304 ความหนา 1.13 มม. จำนวน 20,000 ครั้ง ผลการวิจัยปรากฏว่า มีความแข็ง 61.0 HRC, 61.0 HRC. และ 60.2 HRC. ตามลำดับ ไม่ต่างกันมากนัก ส่วนคายเป็น 59.9HRC, 60.6 HRC. และ 60.4 HRC. ตามลำดับ สำหรับแม่พิมพ์ที่ใช้ตัวแปรการเย็นตัวหลังชุบแข็งถึงอุณหภูมิห้องพื้นที่หน้าตัดลดลง 0.0179 กรัม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลดลงเป็น 9.835 มม. ชิ้นงาน(Blank) มีขนาดของ Cut Band ช่วงเริ่มตัด 0.460 มม. เมื่อตัดถึง 20,000 ครั้ง มีค่าเป็น 0.646 มม. สำหรับแม่พิมพ์ที่เย็นตัวหลังชุบแข็งถึงอุณหภูมิ -147°C ผลการตัดปรากฏว่าพื้นที่หน้าตัดลดลง 0.0079 กรัม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลดลงเป็น 9.907 มม. ขนาด Cut Band ช่วงเริ่มตัด มีค่า 0.659 มม. และช่วงการตัดที่ 20,000 ครั้ง มีค่าเป็น 0.448 มม. ส่วนแม่พิมพ์ที่เย็นตัวหลังชุบแข็งถึงอุณหภูมิ -192°C ผลการตัดปรากฏว่าพื้นที่หน้าตัดลดลง 0.0173 กรัม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลดลง เป็น 9.886 มม. ขนาด Cut Band ช่วงเริ่มตัด มีค่า 0.633 มม. และช่วงการตัดที่ 20,000 ครั้ง มีค่าเป็น 0.530 มม. ผลการวิจัยสรุปได้ว่าชิ้นงานที่ผ่านการชุบเย็นเมื่อเริ่มตัดจะมีการสึกหรอมากกว่า หลังจากจำนวนครั้งในการตัดเพิ่มขึ้นอัตราการสึกหรอจะช้าลง และพฤติกรรมการสึกหรอของคมตัดจากลักษณะการกระแทกของพื้นที่และคายเป็นต้นสำหรับตัดชิ้นงานพบว่าเป็นการสึกหรอแบบ Abrasive wear การบำบัดเย็นแต่เพียงครั้งเดียวหลังจากการเย็นตัวจากอุณหภูมิออสเทนไนท์ยังไม่สามารถลดยุทเทิลไนท์ค้ำได้ทั้งหมด ควรบำบัดเย็นระหว่างการอบคืนตัวแต่ละครั้งและเวลานานขึ้นกว่า 20 ชั่วโมง และหลังจากการเจียรไนขั้นสุดท้าย(Finish to size) แล้วควรลดความเค้นอีกครั้ง จะสามารถคงสภาพคมตัดได้นานกว่า

คำสำคัญ : เหล็กกล้าผงอัดรีด แม่พิมพ์ตัด การชุบแข็ง การชุบเย็น การสึกหรอของแม่พิมพ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สทรรัตน์ วงษ์ศรีษะ

กิตติกรรมประกาศ

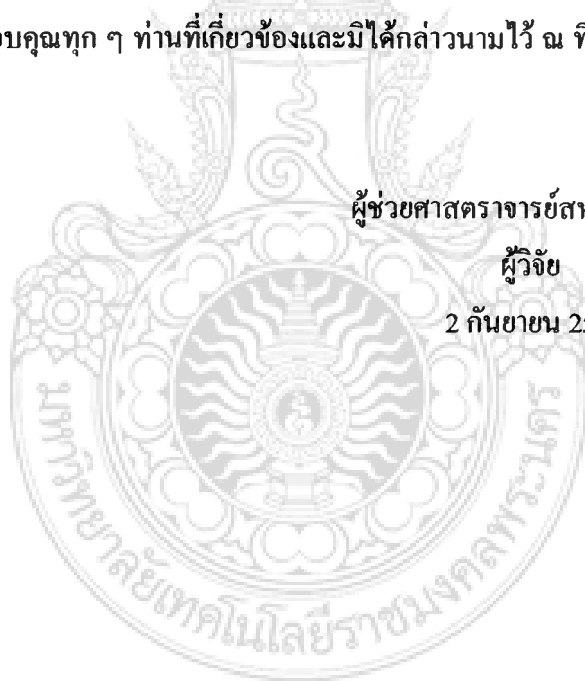
ผลงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี โดยได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณผลประโยชน์ประจำปี 2548 ของวิทยาเขตพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร การให้ความร่วมมือและการให้ความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย โดยผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้บริหารวิทยาเขตพระนครเหนือทุกท่านที่ให้การสนับสนุน ขอบคุณผู้ช่วยผู้อำนวยการฝ่ายวิจัย แผนกวิจัยที่อำนวยความสะดวกในการทำงาน ขอบคุณหัวหน้าศูนย์เทคโนโลยีเครื่องจักรกลอัตโนมัติและอาจารย์ประจำแผนกเครื่องจักรกลอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตพระนครเหนือ ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อตรวจสอบชิ้นงานทดลอง ขอบคุณบริษัท แอสเสป สตีล (ประเทศไทย) จำกัด ขอขอบคุณ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการผลิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมพระนครเหนือ

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณทุก ๆ ท่านที่เกี่ยวข้องและมีได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ

ผู้วิจัย

2 กันยายน 2549



สารบัญ

เนื้อเรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	
สารบัญรูป	
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ระเบียบวิธีการดำเนินโครงการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย	
2.1 กระบวนการตัดเฉือน (Shearing Process)	3
2.2 ช่องว่าง (Clearance)	4
2.3 สภาพของช่องว่าง	6
2.4 กำหนดความหนาของฟันซ์และคาย	7
2.5 การคำนวณหาแรงตัด	8
2.6 เพนตรชัน (Penetration)	9
2.7 การลดแรงในการตัด (Reduction of Shearing Force)	9
2.8 การออกแบบคมตัดของฟันซ์และคาย	11
2.9 แรงคั้นชิ้นงาน (Striping Force)	12
2.10 กลไกและอนุภาคการสึกหรอ (Mechanisms and Particles of Wear)	13
2.11 กลไกการสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive wear Mechanism)	13
2.12 กลไกการสึกหรอแบบขัดสี (Abrasive wear Mechanism)	14
2.13 การสึกหรอเนื่องจากการล้า (Fatigue wear Mechanism)	14

สารบัญ (ต่อ)

เนื้อเรื่อง	หน้า
2.14 การสึกหรอแบบไทรโบ-เคมีคอล (Tribе chemical wear Mechanism)	15
2.15 ชนิดของการสึกหรอของพื้นซ์และคาย	15
2.16 ขนาดของการสึกหรอ	18
2.17 การออกแบบแม่พิมพ์ตัด	18
2.17.1 ประเภทต่าง ๆ ของงานตัดโดยใช้แม่พิมพ์	18
2.17.2 แม่พิมพ์แบล็งก์กึ่ง/เพียสซิ่ง (Blanking or Piecing Die)	20
2.17.3 กลไกการตัดโลหะโดยใช้พื้นซ์และคาย	22
2.17.4 การพิจารณาเคลียแรนซ์ ในการตัดที่เหมาะสม	24
2.17.5 อิทธิพลของขนาดเคลียแรนซ์ที่มีต่อคุณภาพขอบตัดที่ได้	28
2.17.6 เสี้ยนหรือครีบโลหะ(Burr)	32
2.17.7 มุมหลบที่ช่องคาย (Angular Clearance or Relief angel)	32
2.18 เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น ASSAB VANADIS 4	
2.18.1 คุณสมบัติทั่วไป (General)	33
2.18.2 การใช้งาน (Application) Vandadis 4	34
2.18.3 คุณสมบัติ Properties	35
2.18.4 ความแข็งแรงต่อแรงกระแทก (Impact)	35
2.18.6 การชุบแข็ง (Hardening)	37
2.18.7 ตัวกลางที่ใช้ทำให้เหล็กเย็นตัว	37
2.18.8 การอบคืนตัว (Tempering)	38
บทที่ 3 การดำเนินโครงการวิจัย	
3.1 สมบัติของเหล็กกล้าและการชุบแข็ง	41
3.1.1 ศึกษาตัวแปรในการชุบและบำบัดเย็น	43
3.1.2 การอบชุบและทำการบำบัดเย็น	49
3.2 การออกแบบและผลิตแม่พิมพ์ตัด (Blanking Die)	50
3.2.1 ศึกษาเรื่องของแม่พิมพ์ตัด (Blanking Die)	50
3.2.2 ผลิตชิ้นส่วนมาตรฐานของแม่พิมพ์ตัด (Blanking Die)	55
3.2.3 ประกอบแม่พิมพ์ตัด (Blanking Die)	56

สารบัญ (ต่อ)

เนื้อเรื่อง	หน้า
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	58
3.3.1 ทำการชุบแข็ง Punch และ Die	58
3.3.2 ทดสอบความแข็งหลังการอบชุบ	62
3.4 การทดลองและรวบรวมผล	63
3.4.1 เงื่อนไขการทดสอบ	63
3.4.2 วันที่รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล	63
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 ผลการทดลองแม่พิมพ์ที่ผ่านการขึ้นตัวที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	67
4.1.1 ผลการทดสอบการชั่งน้ำหนักของ Punch และ Die	67
4.1.2 การวัดการสึกหรอของ Punch	70
4.1.3 การชั่งน้ำหนักของชิ้นงาน	71
4.1.4 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die ก่อนการใช้งานที่มุม 0 องศา	73
4.1.5 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการป้อนตัดที่ 5,000 ครั้ง ที่มุม 0 องศา	74
4.1.6 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการป้อนตัดที่ 7,500 ครั้ง ที่มุม 0 องศา	75
4.1.7 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการป้อนตัดที่ 10,000 ครั้งที่มุม 0 องศา	76
4.1.8 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการป้อนตัดที่ 12,500 ครั้งที่มุม 0 องศา	77
4.1.9 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการป้อนตัดที่ 15,000 ครั้งที่มุม 0 องศา	78
4.1.10 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการป้อนตัดที่ 17,500 ครั้งที่มุม 0 องศา	79
4.1.11 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการป้อนตัดที่ 20,000 ครั้งที่มุม 0 องศา	80

สารบัญ (ต่อ)

เนื้อเรื่อง	หน้า
4.1.12 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 10,000 โดยใช้ เครื่อง SEM ที่มุม 0 องศา	81
4.1.13 สภาพพื้นผิวของ Punch ที่ผ่านการปั๊มตัดที่ 20,000 โดยใช้ เครื่อง SEM ที่มุม 0 องศา	81
4.1.14 สภาพพื้นผิวของเศษชิ้นงาน	82
4.2 ผลการทดลองแม่พิมพ์ที่ผ่านการเ็นตัวที่อุณหภูมิ - 147 องศาเซลเซียส	84
4.2.1 ผลการทดสอบการซังน้ำหนักของ Punch และ Die	84
4.2.2 การวัดการสึกหรอของ Punch	87
4.2.3 การซังน้ำหนักของชิ้นงาน	88
4.2.4 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die ก่อนการใช้งานที่มุม 0 องศา	90
4.2.5 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 5,000 ครั้ง ที่มุม 0 องศา	91
4.2.6 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 7,500 ครั้ง ที่มุม 0 องศา	92
4.2.7 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 10,000 ครั้ง ที่มุม 0 องศา	93
4.2.8 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 12,500 ครั้ง ที่มุม 0 องศา	94
4.2.9 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 15,000 ครั้ง ที่มุม 0 องศา	95
4.2.10 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 17,500 ครั้ง ที่มุม 0 องศา	96
4.2.11 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 20,000 ครั้ง ที่มุม 0 องศา	97
4.2.12 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 10,000 โดยใช้ เครื่อง SEM ที่มุม 0 องศา	98

สารบัญ (ต่อ)

เนื้อเรื่อง	หน้า
4.2.13 สภาพพื้นผิวของ Punch ที่ผ่านการปั๊มตัดที่ 20,000 โดยใช้ เครื่อง SEM ที่มุม 0 องศา	98
4.2.14 สภาพพื้นผิวของเศษชิ้นงาน	99
4.3 ผลการทดลองแม่พิมพ์ที่ผ่านการเ็นตัวที่อุณหภูมิ - 192 องศาเซลเซียส	101
4.3.1 ผลการทดสอบการซังน้ำหนัก Punch และ Die	101
4.3.2 การวัดการสึกหรอของ Punch	104
4.3.3 การซังน้ำหนัของชิ้นงาน	105
4.3.4 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die ก่อนการใช้งานที่มุม 180 องศา	107
4.3.5 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 5,000 ครั้ง มุม 180 องศา	108
4.3.6 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 7,500 ครั้ง มุม 180 องศา	109
4.3.7 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 10,000 ครั้ง มุม 180 องศา	110
4.3.8 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 12,500 ครั้ง มุม 180 องศา	111
4.3.9 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 15,000 ครั้ง มุม 180 องศา	112
4.3.10 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 17,500 ครั้ง มุม 180 องศา	113
4.3.11 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 20,000 ครั้ง มุม 180 องศา	114
4.3.12 สภาพพื้นผิว Punch ที่ผ่านการปั๊มตัดที่ 10,000 โดยใช้เครื่อง SEM ที่ มุม 180 องศา	115
4.3.13 สภาพพื้นผิว Punch ที่ผ่านการปั๊มตัดที่ 20,000 โดยใช้เครื่อง SEM ที่ มุม 180 องศา	115
4.3.14 สภาพพื้นผิวของเศษชิ้นงาน	116

สารบัญ (ต่อ)

เนื้อเรื่อง	หน้า
4.4 ผลการทดลองแม่พิมพ์ที่ผ่านการเข็นตัว 3 อุณหภูมิ	118
บทที่ 5 สรูปผลการวิจัย	119
5.1 สรูปผลการวิจัย	119
5.1.1 ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ผ่านการชุบแข็ง โดยไม่บำบัดเย็น	119
5.1.2 ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ผ่านการชุบแข็งและบำบัดเย็นที่ -147 องศาเซลเซียส	119
5.1.3 ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ผ่านการชุบแข็งและบำบัดเย็นที่ -192 องศาเซลเซียส	120
5.2 ข้อเสนอแนะ	121
รายการอ้างอิง	123



สารบัญ (ต่อ)

เนื้อเรื่อง

ภาคผนวก

- ภาคผนวก ก. ผลการทดสอบน้ำหนักของ Punch และ Die โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก OHAUS Analytical Plus Electronic Balance มีความละเอียด 0.0001 g.
- ภาคผนวก ข. การวัดการสึกหรอของ Punch โดยใช้เครื่อง Measuring Micro scope
- ภาคผนวก ค. น้ำหนักชิ้นงาน โดยใช้เครื่อง OHAUS Analytical Plus Electronic Balance มีความละเอียด 0.001 g.
- ภาคผนวก ง. การวัดค่าความสูงของ Cut Band ด้วยเครื่อง Measuring Micro scope
- ภาคผนวก จ. ภาพแสดงสภาพพื้นผิวของ Punch และ Die ด้วยกล้อง Reflected Light Microscope Axiotech กำลังขยาย 90 เท่า
- ภาคผนวก ฉ. ภาพแสดงสภาพพื้นผิวของ Punch ด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) กำลังขยาย 200, 250, 1500 เท่า
- ภาคผนวก ช. กราฟการอบชุบเหล็ก Vanadis 4
- ภาคผนวก ซ. แบบแม่พิมพ์
- ภาคผนวก ฅ. ภาพแสดงการดำเนินโครงการวิจัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	ขนาดของช่องว่างของโลหะชนิดต่าง ๆ	5
2.2	คุณสมบัติทางกลของโลหะชนิดต่าง ๆ	8
2.3	เปอร์เซ็นต์เพนเตรชันของเหล็ก	10
2.4	เปอร์เซ็นต์เพนเตรชัน ของวัสดุแบ่งตามค่าของความเค้นเฉือน	10
2.5	ข้อมูลทางกายภาพ	20
2.6	ระยะช่องว่างระหว่างพื้นซ์และคายสำหรับการตัดเฉือนผิวหน้าชิ้นงานทั้ง 5 ชนิด	25
2.7	เปอร์เซ็นต์ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ และคุณสมบัติของผิวหน้าชิ้นงานตัด (ปริมาณ ความแข็งมากกว่า 0.75%)	26
2.8	มิติกาวัดความลึกหรือ	33
3.1	คุณสมบัติทั่วไปของเหล็ก Vanadis 4	38
3.2	ข้อมูลทางกายภาพ (Physical Data) ของเหล็ก Vanadis 4	38
3.3	คุณสมบัติทั่วไปของ Stainless (S304)	39
3.4	ข้อมูลทางกายภาพ (Physical Date) ของ Stainless (S 304)	39
3.5	แสดงข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิในการอบชุบ	39
3.6	แสดงเวลาในการคงอุณหภูมิในการชุบไนโตรเจนและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำ Cryogenic	40
3.7	สรุปข้อมูลจากตารางการอบชุบ (Heat Treatment)	41
3.8	สรุปข้อมูลจากตารางการทำ Cryogenics Temperature	41
3.9	ข้อมูลการอบชุบของเหล็กเครื่องมืองานเย็น Vanadis 4	43

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1	แสดงรูปการตัด	3
2.2	ลำดับขั้นของการตัดโลหะ	4
2.3	ช่องว่างระหว่างพินซ์และคาย	4
2.4	สภาพของรอยตัดจากการตัดด้วยช่องว่างต่างกัน	6
2.5	สภาพของแท่งโลหะที่ไม่ได้จากการเจาะของพินซ์และคายที่เอียงศูนย์	6
2.6	การกำหนดขนาดของพินซ์และคายตามประเภทของการใช้	7
2.7	แรงตัด	7
2.8	การลดแรงตัด	11
2.9	การแต่งคมตัดของพินซ์	12
2.10	การแต่งคมตัดของพินซ์	12
2.11	แรงคั้นชิ้นงาน	13
2.12	ตัวอย่างการสึกหรอที่พินซ์	17
2.13	ความสัมพันธ์ระหว่างการสึกหรอที่ปลายพินซ์และคายพร้อมทั้งความสูงรอย เสี้ยนที่ขึ้นงานกับจำนวนการตัด	18
2.14	กราฟการอบคืนตัว	21
2.15	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอสเตนไนท์ที่อุณหภูมิคงที่	22
2.16	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอสเตนไนท์ในลักษณะต่อเนื่อง	22
2.17	อธิบายผิวชิ้นงานทั้ง 5 ชนิดที่เกิดจากการตัดเฉือนของเคล็ยเร็นซ์	25
2.18	ลักษณะของรอยตัดเฉือนแบบต่าง ๆ ตามขนาดระยะช่องว่างที่ใช้	27
2.19	การสึกหรอบนพินซ์	28
2.20	รูปร่างของคมตัดเฉือน	30
2.21	ตำแหน่งที่เกิดการสึกหรอของพินซ์และคาย	32
2.22	ประเภทต่าง ๆ ของงานตัดโดยใช้แม่พิมพ์	34
2.23	โครงสร้างแม่พิมพ์แบล็กกิ้ง / เพียสซิ่ง	35
2.24	ความสัมพันธ์ของชิ้นงานและแผ่นวัตถุคิปสำหรับแบล็กกิ้ง	36
2.25	ความสัมพันธ์ของชิ้นงานและเศษโลหะสำหรับเพียสซิ่ง	36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
3.1	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	37
3.2	กราฟแสดงอุณหภูมิชุบแข็ง 1030°C Tempering (525°C)	42
3.3	ขั้นตอนการชุบแข็งและบำบัดเย็น	44
3.4	การออกแบบ Punch และ Die	45
3.5	แบบมาตรฐานของ Punch	46
3.6	แบบมาตรฐานของ Die	47
3.7	ไกด์โพสท์แบบลูกปืน	48
3.8	แบบมาตรฐาน ไคเซท	49
3.9	ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ตัด	50
3.10	แม่พิมพ์ตัด (Blanking Die)	51
3.11	เครื่อง Press ขนาด 25 ตัน	52
3.12	การติดตั้งแม่พิมพ์กับเครื่อง Press	52
3.13	แสดงภาพของเตาอบชุบ Vacuum	53
3.14	แสดงภาพชิ้นงานในเตาอบชุบ	54
3.15	เครื่อง Control เตาอบชุบ	54
3.16	Liquid nitrogen	55
3.17	แสดงการต่อสาย Thermocouple	55
3.18	การทำ Sub-Zero	56
3.19	ภายในเตา Tempering	56
3.20	การวัดค่าความแข็ง	57
3.21	เครื่องชั่งน้ำหนัก OHAUS Analytical Plus Electronic Balance ความละเอียด 0.001 g.	59
3.22	กล้อง Reflected Light Microscope Axiotech กำลังขยาย 90 เท่า	59
3.23	เครื่อง Measuring Micro Scope	60
3.24	เครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope)	60
4.1	กราฟแสดงผลชั่งน้ำหนักของ Punch	61
4.2	กราฟการสึกหรอของ Punch โดยการชั่งน้ำหนัก	62
4.3	กราฟแสดงผลชั่งน้ำหนักของ Die	62

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

ปัจจุบันกระบวนการผลิตเครื่องมือพื้นฐานในอุตสาหกรรมด้วยเหล็กกล้าผง อัดรีดประสิทธิภาพสูง (High performance powder metal-based steel) เป็นวัสดุที่มีพัฒนาการทางเทคโนโลยี เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเหล็กกล้าไปอีกขั้นหนึ่ง ทั้งในด้านความแข็งแรง ความสามารถในการใช้งานสูงขึ้นจากเหล็กกล้าเครื่องมือและเหล็กหล่อสูงทั่วไปกว่า 25 % เช่น การผลิตที่ความเร็วตัดสูง การต้านทานต่อการสึกหรอของเครื่องมือตัดสูงขึ้นจากเครื่องมือที่ผลิตจากเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นหลายเท่า เช่น มีดกัด และแม่พิมพ์ตัด เป็นต้น ทั้งนี้เมื่อพิจารณาด้านประสิทธิภาพและความคุ้มค่าด้านการลงทุนแล้วปรากฏว่ากลุ่มอุตสาหกรรมต่างกัน (Segment industry) กับเทคโนโลยีการเคลือบผิวแข็ง (Coating) ทำให้ผู้ผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์ภายในประเทศให้ความสนใจและนิยมนำมาผลิตเป็นเครื่องมือต่าง ๆ มากขึ้น แม่พิมพ์ตัดและเครื่องมือตัดที่ผลิตจากเหล็กกล้าผงอัดรีดประสิทธิภาพสูง (High performance powder metal-based steel) ได้นำเข้ามาใช้ภายในประเทศมากขึ้นเป็นลำดับตลอดระยะเวลาเกือบ 10 ปี แต่ในสภาพปัญหาปัจจุบันคุณภาพของชิ้นงานที่ผลิตมีคุณภาพต่ำกว่าต่างประเทศมาก ทั้งในด้านการใช้งานและการผลิตทำให้ต้นทุนของผู้ใช้เครื่องมือเหล่านี้ยังสูงเกินจำเป็น ทั้งนี้สาเหตุมาจากการบวมการชุบแข็ง การอบคืนตัวและการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการชุบเย็น (Cryogenics) ทำให้ชิ้นงานมีออสเทนไนต์ตกค้าง (Retained Austenite) และคาร์ไบด์ไม่เสถียร (Unstable) กระบวนการชุบเย็นในปัจจุบันสามารถช่วยลดปัญหาได้ระดับหนึ่งแต่ไม่มีการศึกษาและการวิจัยอย่างจริงจังในด้านการลดออสเทนไนต์ตกค้างและการทำให้คาร์ไบด์เสถียรมากขึ้น คุณภาพของเครื่องมือจึงต่ำกว่าเครื่องมือที่ผลิตจากต่างประเทศและอุตสาหกรรมในประเทศยังไม่นิยมนำมาใช้มากนัก ทำให้มีการนำเข้าเป็นจำนวนมาก งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษากระบวนการชุบแข็ง การอบคืนตัว การชุบเย็น (Sub-zero treatment) และศึกษากระบวนการยิ่งกว่าการชุบด้วยกระบวนการ Sub-zero treatment หรือที่เรียกว่ากระบวนการ Ultra Sub-zero treatment ซึ่งถ้างานวิจัยนี้สำเร็จแล้ว จะสามารถเพิ่มปริมาณมาร์เทนไซต์ได้ไม่ต่ำกว่า 10 %

จากงานวิจัยของ Pete Paulin เรื่อง Cryogenic Treatment will Reduce your Tooling cost วารสาร

Gear Technology "The Journal of Gear Manufacturing" ประจำเดือน พฤษภาคม - เมษายน 1993

ผลงานวิจัยหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยการพัฒนาการชุบแข็งและการชุบเย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์องศา ด้วยเทคนิคCryogenic แล้ว ปรากฏว่า ออกสเทนไนท์ตกค้างลดลงจาก 42.3 % เป็น 0.9% มาร์เทนไซต์เพิ่มขึ้นจาก 66 % เป็น 81.7 % และคาร์ไบด์เพิ่มขึ้นจาก 6.9 % เป็น 17.4 % และจาก Frozen Gear ในหนังสือ BASICS OF CRYOGENIC METALLURGY สรุปว่าการชุบเย็นด้วยกระบวนการ Cryogenic ทำให้เครื่องมือตัดมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเพิ่มจำนวนชิ้นงานผลิตได้กว่า 400 % เป็นต้น

ด้วยเหตุผลข้างต้นนี้ การปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของแม่พิมพ์ตัดเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทนทานต่อการแตกหักและต้านทานต่อการสึกหรอดีขึ้น ผู้วิจัยจึงกำหนดโครงการวิจัยขึ้นเพื่อศึกษาสาเหตุและแนวทางในการพัฒนาประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ตัด ด้านโครงสร้างจุลภาคภายใต้กระบวนการชุบแข็งและการชุบเย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์องศา เพื่อเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ผลิตภายในประเทศและสร้างมาตรฐานด้านเครื่องมืออุปกรณ์ในการชุบเย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์องศา เป็นการลดต้นทุนการผลิตด้านอุตสาหกรรมสนับสนุนสำหรับการผลิตแม่พิมพ์และอื่น ๆ ที่ใกล้เคียงกัน ในระดับต้นทุนที่ต่ำลง และสามารถแข่งขันกับนา ๆ ประเทศต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาตัวแปรในการชุบแข็ง และการชุบเย็นเหล็กกล้าผงอคริคประสิทธิภาพสูง (High Performance powder metal-based steel)
- 1.2.2 เพื่อปรับปรุง โครงสร้างจุลภาคและลดอัตราการ Retained Austenite
- 1.2.3 เพิ่มประสิทธิภาพการต้านทานต่อการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 วัสดุ Punch และ Die เป็นเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น Vanadis 4 แบ่งเป็น 3 ชุด
- 1.3.2 ให้ความร้อน (Pre-heat) ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส และ 850 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ก่อนถึงอุณหภูมิชุบแข็งโดยเลือกอุณหภูมิชุบแข็งที่ 1030 องศาเซลเซียส ให้เย็นตัวค้างกันประกอบด้วย ถึงอุณหภูมิห้อง ถึงอุณหภูมิ-147 องศาเซลเซียส และถึงอุณหภูมิ -192 องศาเซลเซียส จากนั้นอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส จำนวน 2 ครั้ง ใช้เวลาครั้งละ 2 ชั่วโมง
- 1.3.3 เหล็กกล้าที่ชุบแข็งแล้วนำไปผลิตเป็นชิ้นส่วนแม่พิมพ์ (Blanking Die) จำนวน 3 ชุด
- 1.3.4 เลือกใช้ช่องว่าง(Clearance) ระหว่าง Punch และ Die ที่ 8%

1.3.5 ทดสอบแม่พิมพ์โดยการปั๊มตัด (Press) ชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 แผ่นวัสดุหนา 1.13 มิลลิเมตร โดยปั๊มตัดไม่น้อยกว่า 20,000 ครั้ง ให้มีการตรวจสอบพฤติกรรมของ Punch และ Die และชิ้นงาน (Blank) ตั้งแต่เริ่มตัด เป็นช่วง ๆ ไปจนครบการตัดครั้งสุดท้าย

1.3.6 ศึกษาการสึกหรอของแม่พิมพ์ เริ่มจากการทดสอบปั๊มตัด (Blanking) ที่ระยะเริ่มตัดครั้งที่ 1 เป็นลำดับไป ๆ จนถึงการตัดครั้งที่ 20,000 เป็นอย่างน้อย

1.3.7 ศึกษาการสึกหรอของแม่พิมพ์ ได้แก่ น้ำหนักที่หายไปของชิ้นส่วนทดสอบ (Punch, Die) และทดสอบการเกิดครีป (Burr) ของเศษชิ้นงานที่ถูกตัด การบันทึกหลักฐานลักษณะการสึกหรอ ของ Punch และ Die ที่กำลังขยาย 90 เท่า การตรวจสอบด้วย SEM และ วิเคราะห์ด้วย EDS เป็นต้น

1.4 ระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาการออกแบบแม่พิมพ์ตัด โลหะ

1.4.2 ศึกษาการชุบแข็งและบำบัดเย็น จากผลงานวิจัยและเทคโนโลยีในประเทศ เลือกตัวแปรในการชุบแข็ง ศึกษาตัวแปรในการบำบัดเย็น และเลือกตัวแปรอย่างน้อย 3 ตัวแปร เพื่อทดลองเปรียบเทียบ

1.4.3 ออกแบบแม่พิมพ์ตัด โลหะประเภทแม่พิมพ์ตัด (Blanking Die)

1.4.4 ผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์ตัด โลหะ

1.4.5 ชุบแข็งและบำบัดเย็น Punch และ Die ตามเงื่อนไขการทดลอง

1.4.6 ทำการประกอบแม่พิมพ์ ทดลองปั๊มตัดชิ้นงาน บันทึกผล ศึกษาและวิเคราะห์ผล

1.4.7 สรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ของการวิจัย

1.5.1 เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อพัฒนากระบวนการชุบแข็งเหล็กกล้าเครื่องมือ สำหรับการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์ ตามสาขาวิชาการผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์ และเผยแพร่สู่อุตสาหกรรมถึงผลกระทบในการชุบแข็งและบำบัดเย็น ต่อความสามารถในการสึกหรอของ Punch และ Die

1.5.2 การบำบัดเย็นตามตัวแปรที่เลือกใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนากระบวนการชุบแข็งและบำบัดเย็นเหล็กกล้า พีเอ็มเกรด (Powder metallurgy (P.M. Grade) ชนิดของเหล็กกล้าเป็น Vanadis 4 และสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานต่อการประยุกต์กับเหล็กกล้าเครื่องมืออื่น ๆ ได้

1.5.3 ทราบถึงพฤติกรรมการสึกหรอ และประเภทของการสึกหรอที่เกิดขึ้นบริเวณคมตัดของแม่พิมพ์ตัดเหล็กกล้า พีเอ็มเกรด (Powder metallurgy (P.M. Grade) เป็นประโยชน์ต่อการเรียนการสอนด้านเทคโนโลยีและวิทยาศาสตร์

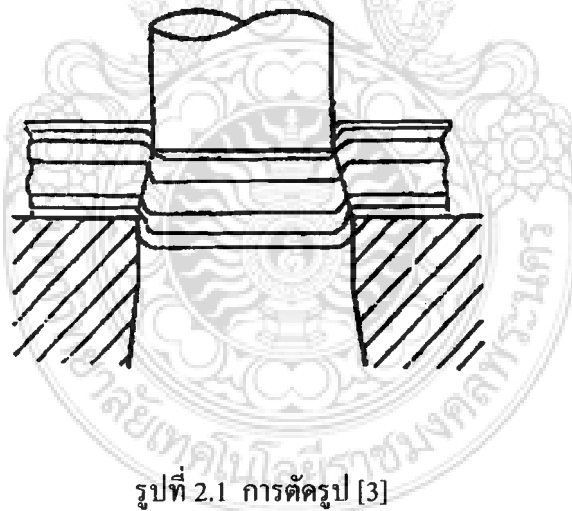
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วยเรื่องเกี่ยวกับแม่พิมพ์ตัด, การตีกรอ, การออกแบบแม่พิมพ์ตัดเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น Assab Vanadis 4

2.1 กรรมวิธีการตัดเฉือน (Shearing Process)

กรรมวิธีการตัดเฉือน คือ การตัดโลหะออกจากกันโดยใช้คมของฟันซ์ และคายโลหะจนเลขจุดแตกหักจะทำให้โลหะฉีกขาดออกจากกัน

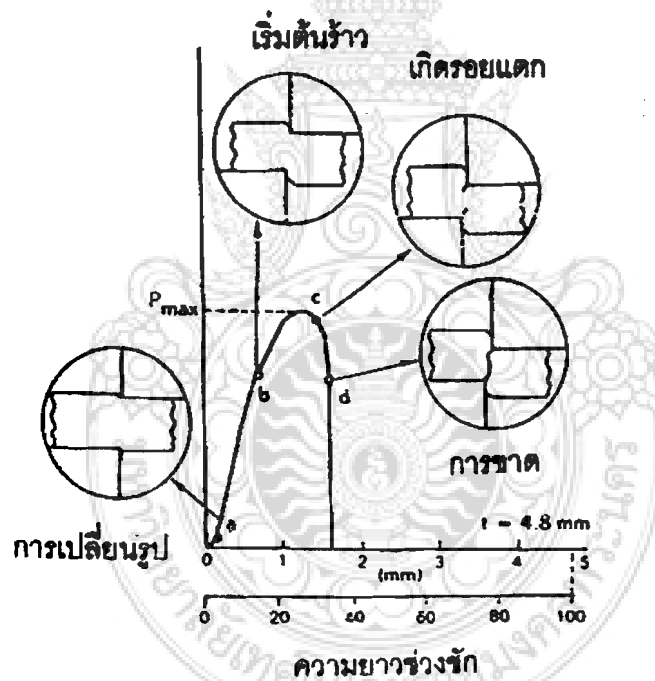


รูปที่ 2.1 การตัดรูป [3]

ขั้นตอนในการตัดเริ่มจาก การที่ฟันซ์กดลงโลหะ และพาเนื้อโลหะเข้าไปในช่องว่างของคายจนเลขจุดจำกัดความยืดหยุ่นของโลหะ ช่วงนี้ทางผิวด้านล่างของโลหะจะเริ่มข้อยเข้าไปในด้านและทางผิวด้านบนก็จะถูกฟันซ์กดลง เมื่อแรงกดเพิ่มขึ้นฟันซ์จะเจาะเข้าไปเนื้อโลหะ โดยความลึกของส่วนที่ถูกกดทางผิวด้านบนจะเท่ากับส่วนที่ถูกกดลงในคายทางผิวด้านล่าง เมื่อแรงกดเพิ่มขึ้นจนเลขจุดแตกหักของโลหะแล้ว โลหะจะฉีกขาดออกจากกัน รายละเอียดของขั้นตอนในการตัดดูได้จากรูปที่ 2.2

- จากรูป
- พื้นที่เริ่มกดลงบนเนื้อโลหะ
 - พื้นที่เพิ่มแรงกดลงบนเนื้อโลหะ
 - โลหะเริ่มฉีกตัว
 - การฉีกของโลหะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

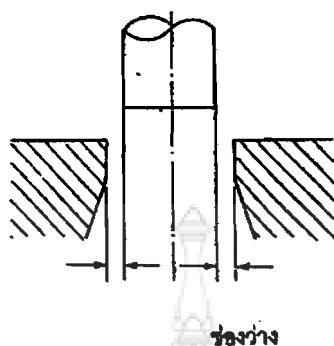
การฉีกของโลหะจะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับช่องว่างระหว่างพื้นที่กับคาย ถ้าช่องว่างมากไม่ทำให้แรงเพิ่ม จะทำให้เพิ่มแรงที่มากกระทำต่อพื้นที่และคายทำให้สึกเร็ว นอกจากนั้นยังทำให้รอยฉีกไม่เรียบอีกด้วย



รูปที่ 2.2 ลำดับขั้นของการตัดโลหะ [3]

2.2 ช่องว่าง (Clearance)

คือ ช่องว่างระหว่างพื้นที่และคาย ซึ่งจะบอกเป็นค่าของผลต่างของรัศมีของพื้นที่กับคาย



รูปที่ 2.3 ช่องว่างระหว่างพื้นชั้กับคาย [3]

มาตรฐานช่องว่างของวัสดุชนิดต่าง ๆ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความหนาของโลหะ

ตารางที่ 2.1 ขนาดของช่องว่างของโลหะชนิดต่าง ๆ [3]

ช่องว่างการตัดต่อข้าง		
เปอร์เซ็นต์ของความหนาของโลหะ		
วัสดุ	งานรูปทรงทั่วไป	งานกลม
อลูมิเนียม		
ความหนาไม่เกิน 3/64"	3%	2%
ความหนา ตั้งแต่ 3/64" ขึ้นไป	5%	3%
อลูมิเนียมผสม	5-8%	4-6%
ทองเหลือง		
ความหนาน้อย 1/2"	3%	2%
ความหนา 1/2" ขึ้นไป	4%	3%
ทองเหลืองผสม	5-6%	4%
เหล็ก		
เหล็กคาร์บอนต่ำ	3%	2%
เหล็กที่มีความหนา 1/2"	4%	2%
เหล็กแข็ง	5%	3%
เหล็กซิลิกอน	4-5%	3%
เหล็กกล้าไร้สนิม	5-8%	4-6%

ช่องว่างจะแตกต่างกันไปตามชนิดของโลหะ ความหนาและรูปร่างของชิ้นงานก็มีส่วนสำคัญ ในการกำหนดขนาดของช่องว่างด้วย โดยชิ้นงานยังมีความหนามากเท่าไร ช่องว่างก็ยิ่งมากขึ้น

2.3 สภาพของช่องว่าง

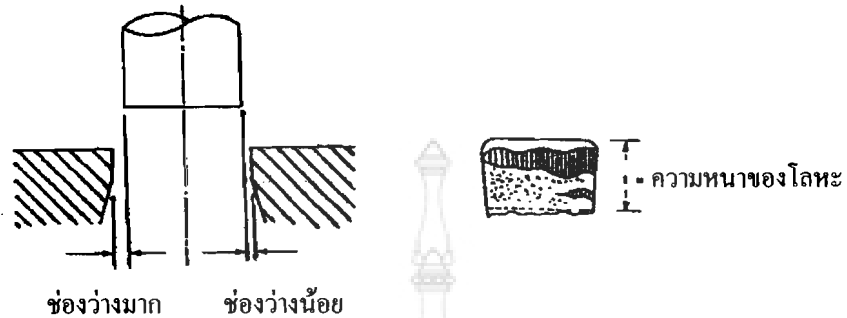
สามารถที่จะทราบว่าช่องว่างระหว่างพื้นซ์กับคายนั้นมีค่ามากไป น้อยไปหรือว่าเหมาะสมดีแล้ว โดยดูได้จากสภาพรอยตัดของชิ้นงาน ดังนี้

1. กรณีที่ช่องว่างพอดีและเหมาะสมนั้นแถบตัดจะมีความกว้างประมาณ $1/3$ ของความหนาของโลหะ และเส้นจะเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ
2. กรณีที่ช่องว่างมากเกินไป ที่มุมขอบจะมีความโค้งมากแถบตัดจะแคบ รอยฉีกจะไม่เป็นระเบียบและมีเส้นมาก
3. กรณีที่ช่องว่างน้อยและน้อยไปที่แถบตัดจะมีบริเวณกว้างและอาจมีมากกว่า 1 แห่ง



รูปที่ 2.4 สภาพของรอยตัดจากการตัดด้วยช่องว่างต่างกัน [3]

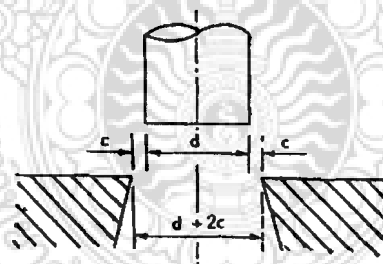
ประโยชน์ที่จะได้รับการตรวจสอบสภาพของรอยตัด โดยดูจากแถบตัด และส่วนอื่นประกอบกัน นี้ จะทำให้เราสามารถพบว่า ตำแหน่งศูนย์กลางของพื้นซ์และคายนั้นอยู่ในแนวเดียวกันหรือไม่ ในกรณีที่พื้นซ์และคายเยื้องศูนย์กลางกันแล้วพื้นซ์และคาย จะได้รับแรงกระทำไม่เท่ากันทุกจุด ทำให้อายุการทำงานของพื้นซ์และคายสั้นลง



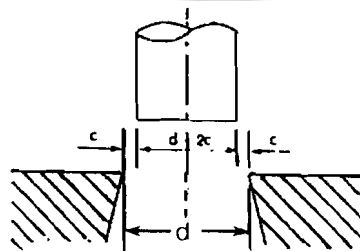
รูปที่ 2.5 สภาพของแท่งโลหะที่ได้จากการเจาะของพินซ์และคายนที่เอียงศูนย์ [3]

2.4 การกำหนดขนาดของพินซ์และคายน

ในการกำหนดพินซ์และคายนว่าควรจะมีขนาดเท่าไรนั้น ขึ้นอยู่กับประเภทของชิ้นงานที่จะนำไปใช้ เช่น ถ้าต้องการใช้รู ก็กำหนดขนาดของพินซ์ให้เท่ากับขนาดของรู แล้วไปเพิ่มขนาดคายนตามช่องว่างที่หาได้ (ดูรูปที่ ก.) ถ้าต้องการใช้แบดลิ่งค์ ให้กำหนดขนาดของคายนตามขนาดของชิ้นงานแล้วลดขนาดของพินซ์ลงตามช่องว่าง (ดูรูปที่ ข.)



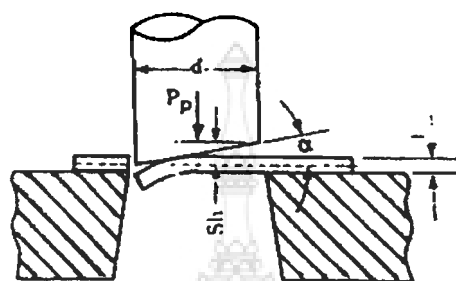
(ก) กรณีที่ต้องการใช้รู



(ข) กรณีที่ต้องใช้ชิ้นงาน

รูปที่ 2.6 การกำหนดของพินซ์และคายนตามประเภทของการใช้งาน [3]

2.5 การคำนวณหาแรงตัด (Cutting Force)



รูปที่ 2.7 แรงตัด [3]

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกลของโลหะชนิดต่าง ๆ [3]

วัสดุ	ความต้านแรงเฉือน (Kg/mm ²)		ความต้านแรงดึง (Kg/mm ²)		เปอร์เซ็นต์
	น้อย	มาก	น้อย	มาก	
ตะกั่ว	2-3	-	2.5-4	-	50
ดีบุก	3-4	-	4-5	-	40
อลูมิเนียม	7-11	13-16	8-12	17-22	60-30
โครเมียม	22	38	26	48	-
สังกะสี	12	20	15	25	60-25
ทองแดง	18-22	25-30	22-28	30-40	30-55
นิกเกิล	28-36	45-56	35-45	55-70	-
เงิน	19	-	26	-	-
เอส เอน 1 8	26	ขึ้น	26	ขึ้น	60-38
เอส พี ซี 1 3	26	ขึ้น	26	ขึ้น	60-38
เหล็กทำแม่พิมพ์	30-35	-	32-28	-	60-38
เหล็กเหนียว SS330	27 - 36		33 - 44		40-28
เหล็กเหนียว SS400	27 - 36		41 - 52		40-28

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

วัสดุ	ความต้านแรงเฉือน (Kg/mm ²)		ความต้านแรงดึง (Kg/mm ²)		เปอร์เซ็นต์
	น้อย	มาก	น้อย	มาก	
เหล็กกล้าคาร์บอน 0.1%	25	32	32	40	50-38
เหล็กกล้าคาร์บอน 0.2%	32	40	40	50	40-28
เหล็กกล้าคาร์บอน 0.3%	36	48	45	60	33-22
เหล็กกล้าคาร์บอน 0.4%	45	56	56	72	27-17
เหล็กกล้าคาร์บอน 0.6%	56	72	72	90	20-9
เหล็กกล้าคาร์บอน 0.8%	72	90	90	110	15-5
เหล็กกล้าไร้สนิม	52	56	65-70	-	-
ไฟเบอร์	9-18		-	-	-

2.6 เพนเนตรชัน (Penetration)

คือ ระยะที่พื้นซึกดเข้าไปในเนื้อโลหะก่อนที่โลหะจะขาดออกจากกันคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับความหนาของโลหะ

สูตรการคำนวณหาแรงตัด

$$P_p = A\sigma_s \frac{1}{1000} \quad (2.1)$$

ในกรณีของการตัดรูกลม (ตัดเจาะ)

$$P_p = d\pi r\sigma_s \frac{1}{1000} \quad (2.2)$$

2.7 การลดแรงในการตัด (Reduction of Shearing Force)

ในการตัดทั่ว ๆ ไปนั้นผิวของคมตัดของพื้นซ์และคายเป็นแบบเรียบหรือขนานกัน ซึ่งแบบนี้จะทำให้ต้องใช้แรงในการตัดมากเพราะการตัดเกิดขึ้นพร้อมกันทุกจุดเราสามารถที่จะลดแรงในการ

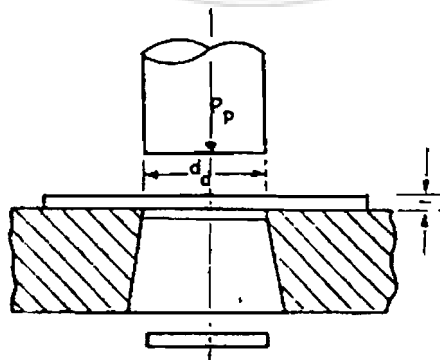
ตัดได้ โดยการออกแบบคมตัดของฟันซ์และคายให้มีความเอียงลาดเพื่อที่จะทำให้การตัดเกิดขึ้นไปพร้อมกัน ซึ่งแรงที่ใช้ตัดก็จะลดลงไปด้วย

ตารางที่ 2.3 เปอร์เซนต์เพนาตรชั้นของเหล็ก [3]

วัสดุ	In	1	3/4	5/8	1/2	3/8	5/16	1/4	3/16	1/8	3/32	1/16
ความหนาของแผ่นวัสดุ	mm	25.	19.	15.	12.	9.5	7.9	6.4	4.8	3.2	2.4	1.6
เพนาตรชั้น		25	31	35	37	44	47	50	56	62	67	75

ตารางที่ 2.4 เปอร์เซนต์เพเนตรชั้น ของวัสดุแบ่งตามค่าของความเค้นเฉือน [3]

วัสดุ	ความหนา			
	0-1	1-2	2-4	4 ขึ้นไป
เหล็ก				
($\sigma = 25 - 35 \text{ kq/mm}^2$)	75-70	70-65	65-55	50-40
($\sigma = 35 - 50 \text{ kq/mm}^2$)	65-60	60-55	55-46	45-35
($\sigma = 50 - 70 \text{ kq/mm}^2$)	50-47	47-45	44-38	35-25
อลูมิเนียม	80-75	75-70	70-60	65-60
ทองแดง				



รูปที่ 2.8 การลดแรงตัด [3]

สูตร

$$P_{ps} = P_p \frac{(t f)}{S_h} \quad (2.3)$$

ในกรณีของการตัดรูกลม

$$P_{ps} = \frac{\pi t^2 I_s \cot \alpha}{1000} \quad (2.4)$$

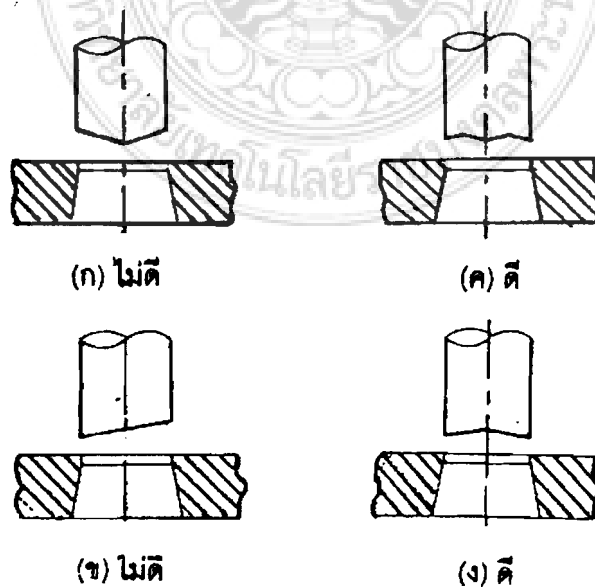
และ

$$\tan \alpha = \frac{S_h}{d}$$

2.8 การออกแบบคมตัดของฟันซ์และคาย

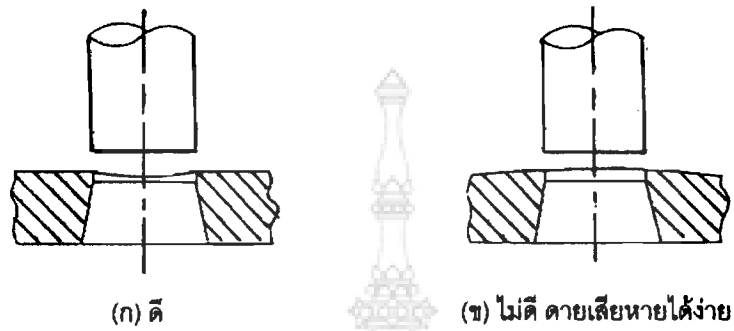
ในการแต่งคมตัดของฟันซ์และคาย เพื่อลดแรงในการตัดนั้นขึ้นอยู่กับรูปร่างและกับลักษณะความซับซ้อนของชิ้นงาน ที่จะนำไปใช้ ถ้าหากต้องการลดแรงในการตัดควรแต่งคมตัดของฟันซ์ แต่ถ้าต้องการนำเอาชิ้นงาน (Blank) ไปใช้ควรแต่งคมตัดของคาย

2.8.1 ลักษณะการแต่งคมตัดของฟันซ์เพื่อขึ้นเอารูปร่างไปใช้



รูปที่ 2.9 การแต่งคมตัดของฟันซ์ [3]

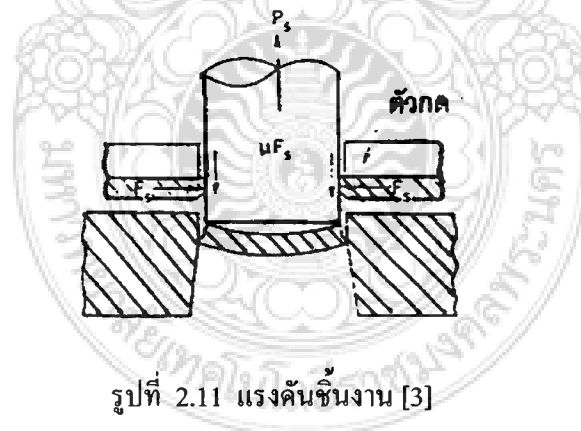
2.7.2 ลักษณะการแตงคมตัดของคายเพื่อเอาไปใช้



รูปที่ 2.10 การแตงคมตัดของคาย [3]

2.9 แรงดันชิ้นงาน (Stripping Force)

คือ แรงที่ใช้ในการดันชิ้นงานให้หลุดออกจากพื้นซ์ ตามปกติจะมีค่าตั้งแต่ 2.5 – 20% ของแรงตัดหรือแรงเฉาะ



รูปที่ 2.11 แรงดันชิ้นงาน [3]

สูตร

$$P_s = 2.5lt \frac{1}{1000} \quad (2.5)$$

ค่าที่ได้ตามสูตรข้างบนนี้เป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น เพราะค่าของกำลังตัดยังขึ้นอยู่กับค่าของตัวแปรอีกหลายค่าซึ่งไม่สามารถประเมินค่าได้ตัวแปรเหล่านี้ได้แก่

1. ความหยาบและมุมของรอยฉีกขาด
2. อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของชิ้นงาน

3. ช่องว่างระหว่างพื้นซ์กับคาย
4. การหล่อลื่นของพื้นซ์
5. ระยะห่างระหว่างรู หรือระยะห่างจากรูถึงของชิ้นงาน
6. สภาพผิวหน้าของพื้นซ์ เช่น แต่งคมตัดเพื่อลดแรงตัดหรือไม่
7. จำนวนของรู
8. เนื้อที่ที่เหลือนบนชิ้นงานหลักจากการเจาะรูหรือตัดชิ้นงานออกไปแล้ว
9. ชนิดของโลหะ

2.10 กลไกและอนุภาคการสึกหรอ (Mechanisms and Particles of Wear)

เนื่องจากกลไกการสึกหรอแต่ละประเภทจะมีความสัมพันธ์กับชนิด, ขนาด และรูปร่าง ลักษณะของอนุภาคการสึกหรอที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงควรทำความเข้าใจถึงประเภทของกลไกการสึกหรอ ประเภทหลัก ๆ ที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปในระบบการหล่อลื่นชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องจักร การสึกหรอนิยามไว้ว่า “การเปลี่ยนแปลงผิวของชิ้นงานในลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งก่อให้เกิดการหลุดแยกออกมาของอนุภาคการสึกหรออันเนื่องมาจากกลไกการสึกหรอแบบใดแบบหนึ่ง หรือหลายกลไก ในขณะเดียวกัน และโดยทั่วไปแล้วการสึกหรอมักจะเกิดขึ้นจากระบบ ซึ่งต้องมีการเคลื่อนไหว และสัมผัสกันภายใต้ภาระกรรมทางกล และ/หรือมีภาระกรรมทางไฟฟ้า, เคมีที่ก่อให้เกิดการสึกหรอแบบอื่นอีกด้วยก็ได้” กลไกการสึกหรออาจจะแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ดังนี้คือ

2.11 กลไกการสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive Wear Mechanism)

การสึกหรอแบบนี้เกิดขึ้นเมื่อโลหะของชิ้นอุปกรณ์ถู หรือเสียดสีกัน โดยมีหรือไม่สารหล่อลื่นเลยก็เป็นได้ โดยที่พื้นผิวสัมผัสของอุปกรณ์ที่มาสัมผัสจะมีขนาดที่ต้องพิจารณากัน ในระดับจุลภาค ซึ่งทำให้ความเค้นที่เกิดขึ้นเกิดจุดยึดติดของวัสดุ ดังนั้นแม้ว่าภาระกรรมทางกลที่มีต่อชิ้นส่วนอุปกรณ์ไม่สูงมากนัก ยังจะทำให้เกิดการะยึดติดกันระหว่างโมเลกุลขึ้น โคนที่มีผลทำให้อนุภาคมีการเคลื่อนย้ายถ่ายเทไปมาระหว่างชิ้นส่วนที่สัมผัสกันไป ๆ มา ๆ และสุดท้ายจะหลุดแยกออกมา เนื่องจากการฉีกของวัสดุ หรืออาจจะถูกเฉือนหลุดออกมาเป็นก้อน ๆ ในบางกรณี ในกรณีของการเกิดการสึกหรอแบบลื่นไถล ภายใต้ภาระกรรมทางกลต่ำ ๆ นั้นจะทำให้เกิดการร่อนหลุดออกมาของอนุภาคการสึกหรอ จากบริเวณผิวชั้นนอกของโลหะ ที่ถูกเรียกว่า ไบเลเยอร์ โดยที่นักวิจัยทางด้านนี้ ยังไม่มีการตกลงกันได้ว่ากลไกการเกิดอนุภาคการสึกหรอแบบนี้ เกิดจากกลไกแบบไมลด์แอคซีซีฟเว หรือ ทฤษฎีที่เรียกว่า คิแลแมนท์ แว ซีโอะระวี กันแน่ แต่ถึงแม้ว่าจะยังไม่มีข้อยุติในเรื่องของกลไกที่แท้จริง ในการก่อให้เกิดอนุภาคการสึกหรอชนิดนี้นั้น การที่ตรวจพบอนุภาค

ดังกล่าว เป็นอาการที่ปกติของระบบการสึกหรอ สำหรับอนุภาคแบบรันนิ่ง แวพาททิก ภายใต้การส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์นั้น จะมีขนาดเล็กกว่า $15 \mu\text{m}$, รูปร่างเป็นแผ่นบาง ๆ มีสีสว่างสดใส (under reflected light mode) และมีอัตราส่วนของความยาวต่อความหนาที่มีค่าสูง ในทางตรงกันข้าม เมื่อเกิดการสึกหรอแบบซีเฟีย แอ็คซีซีฟ แวน นั้น ลักษณะของอนุภาค $25 \mu\text{m}$, มีผิวสีน้ำเงิน หรือสีน้ำตาลอันเกิดจากการบีบอัดแบบรุนแรงที่อุณหภูมิและรวมไปถึงภาระกรรมทางกล หรือความเร็วในการเคลื่อนที่ที่สัมผัสกันมีค่ามาก ๆ นั้นเอง อีกประการหนึ่งที่เป็นลักษณะเด่นของอนุภาคชนิดนี้ก็คือ จะมีรอยขีดเป็นร่อง ๆ ขนานกันบนผิวหน้าของอนุภาคชนิดนี้

2.12 กลไกการสึกหรอแบบขัดสี (Abrasive Wear Mechanism)

การสึกหรอแบบขูดเป็นร่องนี้เกิดจากภาระกรรมทางกลของการถูกเฉือนออกไปของเนื้อโลหะ โดยที่อาจเกิดจากการที่มีสิ่งสกปรกแปลกปลอม (contaminants) เช่น เม็ดทราย ฝุ่นละออง หรือเม็ดแร่ธาตุที่มีความแข็งแรงและคม หลุดลอคเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างผิวสัมผัสของโลหะ ภาระกรรมทางกลอีกรูปแบบหนึ่งของกลไกการสึกหรอแบบนี้คือการที่ชั้นอุปกรณสองชนิดที่มีความแข็งแตกต่างกันมาก ๆ เมื่อมีการสัมผัสกันและเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วกับภาระกรรมทางกล ชั้นอุปกรณที่มีความแข็งแรงมากกว่าก็จะขูดขีดชั้นส่วนอุปกรณที่อ่อนตัวกว่าให้เป็นร่อง ผลที่เกิดขึ้นจากกลไกการสึกหรอแบบนี้จะทำให้อนุภาคการสึกหรอเป็นเส้นเล็ก ๆ เหมือนด้ายที่ขูดตัวโค้งงอในรูปแบบต่าง ๆ หรืออาจจะเปรียบเทียบกับเศษโลหะที่เกิดจากการกลึง ยกเว้นว่ามีขนาดที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าเท่านั้นเอง โดยทั่วไปแล้วอนุภาคแบบนี้จะมีขนาดตั้งแต่ประมาณ $5 \mu\text{m}$ และในบางกรณีอาจจะยาวกว่า $100 \mu\text{m}$ ก็เป็นไปได้ โดยเฉลี่ยจะมีความกว้างประมาณ $2-5 \mu\text{m}$ และในบางครั้งอาจจะมีผิวสีฟ้าแกมน้ำเงินหรือสีน้ำตาลอมส้ม ซึ่งแสดงถึงช่องของความร้อนในขณะที่ถูกฟอร์มตัว การที่ตรวจพบอนุภาคการสึกหรอชนิดนี้ เป็นจุดที่บ่งชี้มีสิ่งปกติเกิดขึ้นในระบบการทำงานของเครื่องจักร และควรมีการติดสภาพต่อไปอย่างใกล้ชิด

2.13 การสึกหรอเนื่องจากการล้า (Fatigue Wear Mechanism)

การสึกหรอแบบนี้เป็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นเนื่องจากผิวสัมผัสของชั้นส่วนอุปกรณได้รับภาระกรรมทางกล กระทำเป็นระยะเวลานาน ๆ และทำให้เกิดการล้าซ้ำขึ้นได้ทั้งในบริเวณ และภายใต้ชิ้นงานตัวอย่างที่เกิดจากกลไกการสึกหรอแบบนี้ได้แก่ ในกรณีของดัลบลูกปืนแบบโรลเลอร์ เมื่อถึงจุด ๆ หนึ่งอนุภาคสึกหรอก็จะหลุดร่อนออกมาจากผิวของเม็ด และกรงลูกปืน ด้วยกลไกแบบนี้จะทำให้เกิดความเสียหายต่อเนื่องในลักษณะของผิวชิ้นงาน ที่เป็นหลุมลึกหรือรอยร้าวลงสู่ผิวอุปกรณและอาจจะก่อให้เกิดจากการแตกหักเสียหายได้ เช่นในกรณีของเฟืองตรงใน

อุปกรณ์เป็นต้น ลักษณะของอนุภาคการสึกหรอแบบนี้มีหลายรูปแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดอุปกรณ์ เช่นในกรณีของอนุภาคการสึกหรอจากพื้นเพียงอย่างเดียวจะมีรูปร่างที่แปลก ๆ และไม่สมมาตร (Irregular Shape Wear Particles), อัตราส่วนของความยาวต่อความหนาที่ค่อนข้างต่ำ ประมาณ 10 : 1) ดังนั้น ส่วนใหญ่ของอนุภาคจะมีลักษณะเป็นก้อน (Chunky Type Wear Particles) แต่สำหรับในกรณีของการสึกหรอแบบล้าของคลัตช์ลูกปืนก็จะมีชนิดอนุภาคที่แตกต่างกันไปคือ อาจจะมีอนุภาครูปทรงกลม ขนาด 1-5 μm เกิดขึ้น รวมทั้งอาจจะมีอนุภาคแบบเป็นแผ่น (ขนาดโตกว่า 15 μm) ที่รูปร่างแปลก ๆ เกิดขึ้น

2.14 การสึกหรอแบบไทรโบ – เคมีคอล (Tribo – Chemical Wear Mechanism)

การสึกหรอแบบนี้เกิดขึ้นจากการที่ชิ้นส่วนอุปกรณ์ได้รับทั้งภาระกรรมทางกล และทางเคมี รวมเข้าด้วยกัน โดยที่ส่วนใหญ่แล้วนักวิจัยที่ทำงานเกี่ยวข้องกับงานในด้านนี้ได้จัดเอากลไกการสึกหรอประเภทย่อย ๆ มารวมไว้ในหัวข้อนี้ เช่นการกัดกร่อนการกัดเซาะและ Fretting Wear (ยังไม่มีศัพท์บัญญัติเป็นภาษาไทย) จากข้อเท็จจริงโดยทั่วไปแล้วพบว่าในระบบหล่อลื่นเครื่องจักรจะมีโอกาสที่จะมีกลไกการสึกหรอแบบนี้เล็กน้อย (น้อยกว่า 5%) รวมทั้งอนุภาคการสึกหรอที่เกิดขึ้นมักจะอยู่ในรูปแบบของออกไซด์ของเหล็กในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง เช่น Fe_2O_3 (red ferrous oxide) Fe_3O_4 (Black ferrous) เป็นต้น

โดยทั่วไปแล้วในระบบการหล่อลื่นเครื่องจักรด้วยน้ำมันหล่อลื่นนั้น อนุภาคการสึกหรอที่เป็นธาตุเหล็กอิสระและมักจะตกอยู่ในอนุภาคที่เกิดกลไกการสึกหรอในสามประเภทแรกคือ การยึดติด, การขัดสี และการล้า ดังนั้นกรณีที่สามารถใช้วิธีการใด ๆ ก็ตามที่ทำให้สามารถบ่งชี้และแยกลักษณะของฟิล์มจากน้ำมันหล่อลื่นจากรูปร่าง (Outline Shape) ลักษณะขอบ โคจรอบ, สี, ความขยาบบนผิวหน้า, อัตราส่วนความยาวต่อความหนา ก็จะทำให้สามารถประเมินสภาพ เครื่องจักรนั้น ๆ ได้โดยไม่ต้องการรื้อถอนชิ้นส่วนใด ๆ ของเครื่องจักรเลยวิธีการของการวิเคราะห์ภาพด้วยคอมพิวเตอร์ ก็อีกวิธีหนึ่งซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการศึกษาอนุภาคการสึกหรอ

2.15 ชนิดของการสึกหรอของพื้นซ์และคาย

ขบวนการสึกหรอของพื้นซ์และคาย จะมีองค์ประกอบที่ทำหน้าที่ของคมตัด เช่น พื้นซ์และคาย มีการสึกหรอดังนี้

- ก. การสึกหรอจากการขัดสี
- ข. การสึกหรอจากการยึดติด
- ค. การสึกหรอจากเคมี

การสีกหรือทั้ง 3 ชนิด คือ ที่มีสาเหตุแตกต่างกัน แต่มีขมพื้นฐานของการสีกหรือเหมือนกัน นั่นคือการสีกหรือ คือการสูญเสียอนุภาควัสดุซึ่งเกิดขึ้นจากความเสียดทานจากการกด การเคลื่อนที่ สัมพันธ์ระหว่างคมตัดกับชิ้นงาน ซึ่งทำให้อุณหภูมิจากความเสียดทานสูงขึ้น

การสีกหรือจากการขัดสี มีผลน้อยในการตัดเฉือนที่เกิดขึ้นเมื่ออนุภาควัสดุแข็งขูดที่เสียดสีกันจนเป็นร่อง

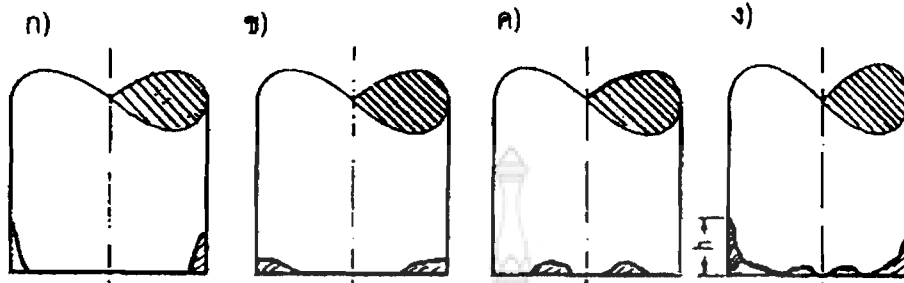
การสีกหรือจากการบิดเกิดขึ้นมากในการตัดเฉือนแผ่นวัสดุอ่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะเกิดจากการสีกหรือจากการบิดมากขึ้น เมื่อเคลือบเรซินระหว่างคมตัดแถบการสีกหรือเกิดขึ้นเมื่อวัสดุพื้นซ์และคาย เชื่อมเข้ติดกับวัสดุชิ้นงานอุณหภูมิเชื่อมเข้เกิดขึ้นจากกันเมื่อมีการเคลื่อนที่ ทำให้มีอนุภาคเล็กหลุดออกมา โดยมากแล้วการสีกหรือจากการบิดเกิดขึ้นเมื่อวัสดุคมตัดและวัสดุชิ้นงานที่มีส่วนผสมทางเคมีคล้ายกัน การสีกหรือจากการเชื่อมเข้เกิดขึ้นได้เฉพาะเมื่อเนื้อโลหะที่ไม่มีสิ่งปกปิดสัมผัสกัน ดังนั้นที่แทรกอยู่ระหว่างผิวโลหะ เช่น फिल्मออกไซด์ फिल्मสารหล่อลื่นหรือฟิล์มอื่นใดที่ปกคลุมผิวสามารถช่วยลดสภาวะเชื่อมเข้ได้

การสีกหรือจากเคมีเป็นลักษณะการสีกหรือที่คมตัดซึ่งเกิดขึ้นบ่อยที่สุดเมื่อตัดแผ่นวัสดุที่แข็งและบาง ผลจากแรงกดและการเคลื่อนที่สัมพันธ์ ทำให้บริเวณคมตัดมีแรงเสียดทาน และอุณหภูมิสูง อนุภาควัสดุขนาดเล็กจึงเกิดออกซิไดซ์ และสีออกไปเมื่อเคลื่อนที่ ผลที่ตามมาคือคมตัดค่อย ๆ ที่อมมากขึ้น

ลักษณะการสีกหรือของพื้นซ์และคาย จะมีลักษณะแตกต่างกัน คือ

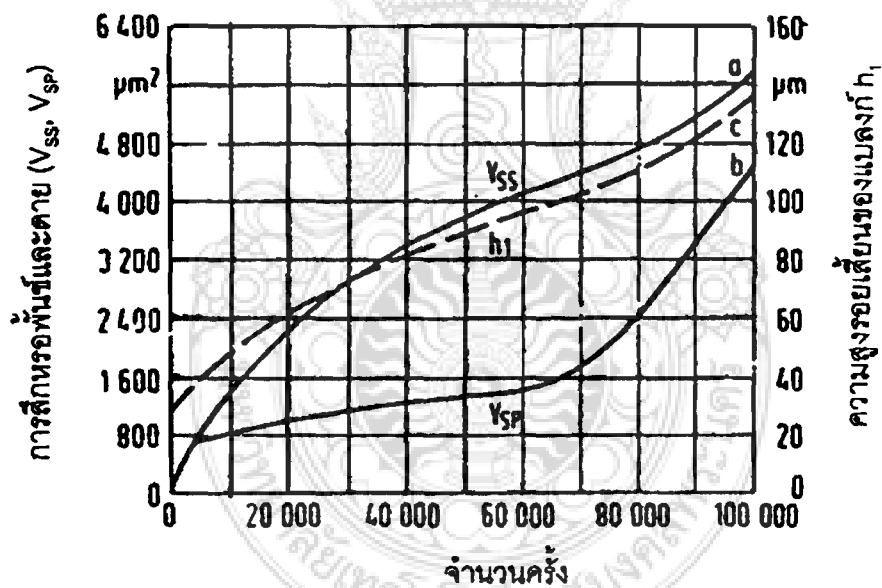
- ก. การสีกหรือที่ผิวโดยรอบของพื้นซ์ และคาย
- ข. การสีกหรือที่ผิวแรงกดของคมตัดพื้นซ์และคาย

จากรูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างการสีกหรือลักษณะต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนพื้นซ์ การสีกหรือที่ผิวโดยรอบเกิดขึ้นรอบพื้นซ์ด้วยผลจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะที่กดพื้นซ์ผ่านวัสดุ และขณะดึงพื้นซ์ กับผ่านรอยเสี้ยวการสีกหรือลักษณะนี้มีผลเสียอย่างมาก เนื่องจากการลับคมพื้นซ์ต้องสูญเสียเนื้อโลหะที่มีประโยชน์ของพื้นซ์ไปมากการสีกหรือที่ผิวรับแรง แบ่งออกเป็น การสีกหรือที่ปลายพื้นซ์และการสีกหรือเป็นหลุม ดังรูปที่ 2.12 ข กับ ค การสีกเป็นหลุมไม่สำคัญเท่าใดนัก การสีกหรือที่เกิดขึ้นกับพื้นซ์ใช้ในการกำหนดจำนวนครั้งในการใช้งานของพื้นซ์ดัง ในรูปที่ 2.13 ความสูงและความกว้างของครีป(Butt) ที่ชิ้นงานเพิ่มขึ้นเมื่อแม่พิมพ์ถูกใช้งานยาวนานขึ้น จำนวนครั้งที่สามารถตัดชิ้นงาน ได้อย่างมีคุณภาพในเกณฑ์กำหนด เรียกว่า อายุใช้งานของคมตัด การกำหนดอายุใช้งานของคมตัดสามารถทำได้ ด้วยการกำหนดความสูงของครีป(Butt) ชิ้นงานที่ผ่านการตัด ครีปที่ยาวขึ้นแปลว่าคมตัดสีกหรือมากขึ้นด้วย



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างลักษณะการสึกหรอที่พื้นซ์ [3]

- ก) การสึกหรอรอบพื้นซ์ ข) การสึกหรอที่ปลายพื้นซ์
- ค) การสึกหรอเป็นหลุม ง) พื้นซ์ที่มีการสึกหรอ



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างการสึกหรอที่ปลายพื้นซ์และคานพร้อมทั้งความสูงครีบบurr

ที่ขึ้นงาน กับจำนวนการตัด [3]

- ก) การสึกหรอที่ปลายพื้นซ์ V_{ss}
- ข) การสึกหรอที่ด้านหน้าตาย V_{sp}
- ค) ความสูงครีบบurr ของแม่ตังค์ h_1

2.16 ขนาดของการสึกหรอ

ขนาดของลักษณะการสึกหรอแต่ละอย่างขึ้นอยู่กับตัวประกอบหลายประการ ซึ่งขึ้นอยู่กับวัสดุแม่พิมพ์ เครื่องเพชรการหล่อลื่น และพารามิเตอร์ในการทำงาน ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการตัดและปริมาณการสึกหรอที่ปลายพินซ์และด้านหน้าดาบ และการสึกหรอที่ผิวโคจรของคมตัดกับจำนวนการตัดดังรูปที่ 2.13 ในรูปยังแสดงถึงความสูงครีบ(Burr)ด้วย ความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ใช้ได้กับชิ้นงานเฉพาะอย่างยิ่งซึ่งต้องทราบถึงผลกระทบอย่างอื่นด้วย เส้นโค้งสำหรับวัสดุและชิ้นงานอื่นที่มีการสึกหรอจากเคมีเป็นหลักก็มีลักษณะคล้ายดาบ มีการสึกหรอที่ผิวด้านหน้ามากเมื่อเริ่มต้นการตัด การสึกหรอตอนต้นขึ้นอยู่กับสภาพและรัศมีที่คมตัด หลังจากนั้นการสึกหรอเพิ่มขึ้นมาก เมื่อจำนวนการตัดเพิ่มขึ้น จนกระทั่งตัดไปถึงจำนวนหนึ่งการสึกหรอจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอีกครั้งหนึ่ง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะความถี่ของอนุภาคขนาดเล็กของวัสดุบริเวณคมตัด และการสึกหรอจากเคมีทางด้านพินซ์ การสึกหรอที่ปลายพินซ์มักมีมากตอนเริ่มต้น จากนั้นจึงมีการสึกหรอช้าลงกว่าการสึกหรอของดาบ เมื่อจำนวนการตัดเพิ่มขึ้นถึงค่าหนึ่งพินซ์จึงสึกหรอมาก ความสูงครีบ(Burr)ชิ้นงานบ่งชี้ถึงการสึกหรอของพินซ์โดยตรง

การลดการสึกหรอของพินซ์และดาบต้องทำพร้อมกันหลายอย่างคือ ทำที่แม่พิมพ์, ชิ้นงาน, เครื่องเพชร และการหล่อลื่นแต่วิธีที่ลดการสึกหรอที่ง่ายและสะดวกคือการหล่อลื่น มาตรการในการลดการสึกหรอแต่ละอย่างช่วยเพิ่มอายุการใช้งาน และความประหยัดของแม่พิมพ์

2.17 การออกแบบแม่พิมพ์ตัด

พื้นฐานการออกแบบแม่พิมพ์ตัดและการประยุกต์ใช้ไดรบบอลีย์

(Blanking Operation : Basic Die Design and Application of Tribology)

2.17.1 ประเภทต่าง ๆ ของงานตัดโดยใช้แม่พิมพ์

ประเภทต่าง ๆ ของงานตัดโดยใช้แม่พิมพ์ หรือพินซ์กับดาบ (Punch and Die) สามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ประเภทดังแสดงในรูปที่ 2.14 คือ

2.17.1.1 แบล็งค์กิ้ง (Blanking) เป็นการตัดชิ้นงานซึ่งทำให้ได้ชิ้นงานมีรูปร่างและขนาดเหมือนกับรูดาบ

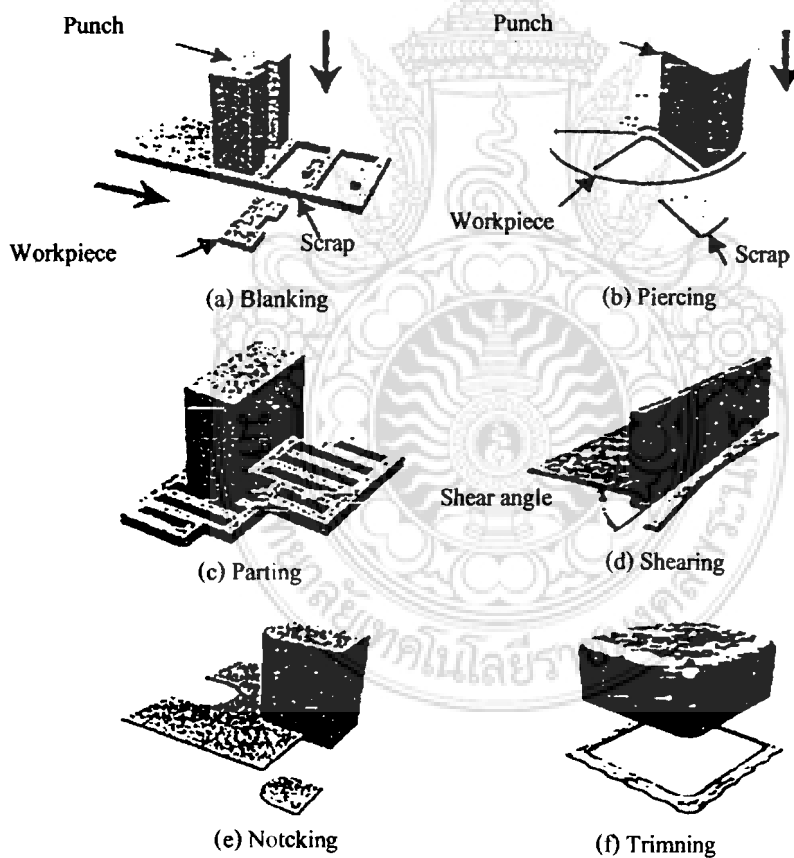
2.17.1.2 งานเจาะรูหรือเพียสซิง (Piercing) เป็นการเจาะรูบนชิ้นงานทำให้ได้ชิ้นงานมีรูปร่างและขนาดเหมือนพินซ์

2.17.1.3 งานตัดแบ่งหรือพาทคิง (Parting) เป็นการตัดแยกชิ้นงานออกจากกันโดยใช้แม่พิมพ์

2.17.1.4 การตัดเฉือน (Shearing) เป็นการเฉือนชิ้นงานออกจากกัน โดยที่คมตัดทั้งสองหรือพื้นซ์กับด้ายจะทำการตัดชิ้นงานในรูปแบบคล้าย ๆ กับกรรไกร

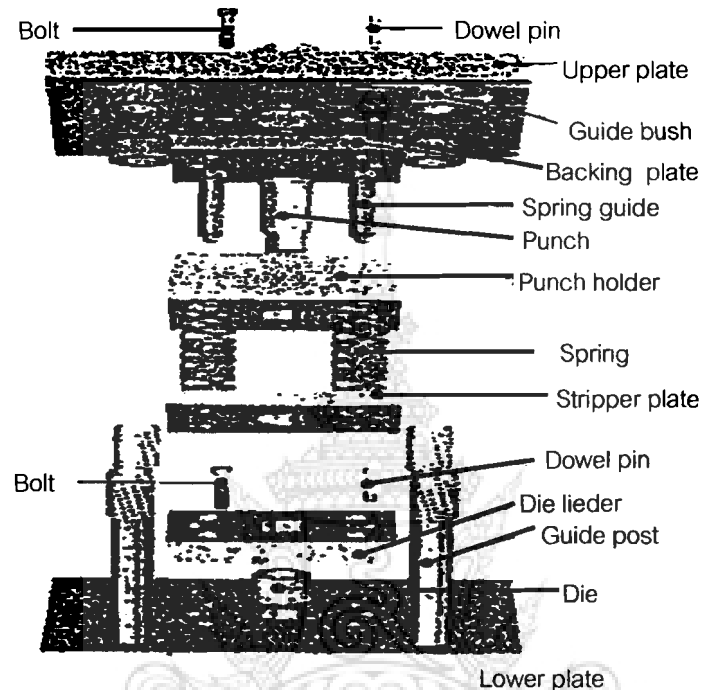
2.17.1.5 การตัดบาก (Notching) เป็นการตัดชิ้นงานออกบางส่วน รูปร่างชิ้นงานที่ได้จะเหมือนกับส่วนของพื้นซ์

2.17.1.6 การขลิบขอบ (Trimming) เป็นการขลิบหรือตัดขอบส่วนที่ไม่ต้องการของชิ้นงานรูปถ้วยออก เพราะ โดยปกติชิ้นงานรูปถ้วยหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการลากขึ้นรูปลึงจะมีขอบที่ไม่เรียบเกิดขึ้นเสมอ และจำเป็นต้องกำจัดออกโดยวิธีทริมมิ่งก่อนที่จะนำไปใช้งานต่อไป



รูปที่ 2.14 ประเภทต่างๆ ของงานตัดโดยใช้แม่พิมพ์ [4]

2.17.2 แม่พิมพ์แบบลึงค์กึ่ง/เพียสซิ่ง (Blanking or Piecing Die)



รูปที่ 2.15 โครงสร้างแม่พิมพ์แบบลึงค์กึ่ง / เพียสซิ่ง [4]

แบบลึงค์กึ่งและเพียสซิ่งเป็นกรรมวิธีการตัดโดยใช้แม่พิมพ์ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากทำให้ได้ชิ้นงานที่มีขนาดสม่ำเสมอ และอัตราการผลิตค่อนข้างสูง ลักษณะเฉพาะและความแตกต่างของทั้งสองกรรมวิธีสามารถอธิบายได้ดังนี้

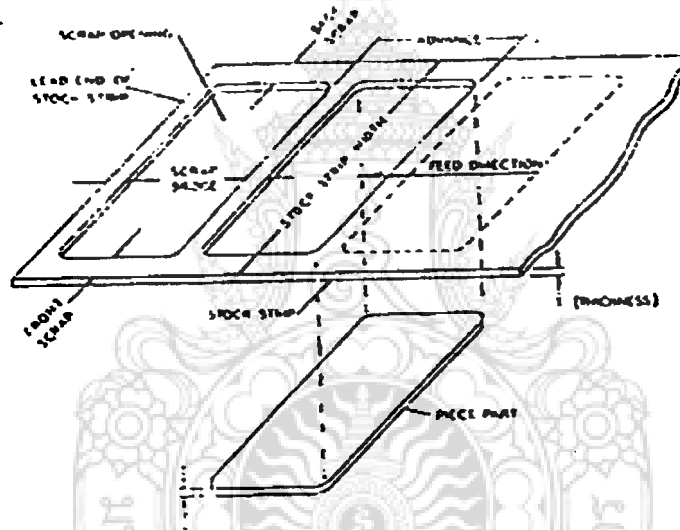
2.17.2.1 แม่พิมพ์แบบลึงค์กึ่ง (Blanking Die)

ในรูปด้านบนแสดงการทำงานของการทำงานการตัดแผ่นชิ้นงาน (Blanking Operation) วัสดุที่ถูกนำมาตัดเรียกว่าแบบลึงค์ (Blank) ผลิตภัณฑ์ที่ถูกตัดออกมาเรียกว่า Workpiece หรือ Piece part เศษวัสดุที่เหลือเรียกว่าสแครป (Scrap) หรือ สลัก (Slug) แบบลึงค์กึ่ง สามารถใช้ได้กับทั้งโลหะและอโลหะ ในระหว่างช่วงชักของการทำงาน (Working Stroke) พิ้นซ์จะเคลื่อนที่ลงมาตัดวัสดุ และชักกลับไปยังที่เดิม เศษวัสดุจะถูกยกคดปลายพิ้นซ์ไปและถูกปลดออกด้วยแผ่นปลดชิ้นงาน (Stripper Plate) โดยทั่วไปในการผลิตอย่างต่อเนื่อง แผ่นชิ้นงานเริ่มต้นอาจจะเป็นแผ่นชิ้นงานขนาดยาวที่มีความกว้างคงที่เรียกว่า สตรีป (Strip) ในกรณีนี้จำเป็นต้องใช้ Stopper Pin (or Location Pin) หรือ สลักกำหนดตำแหน่งเป็นตัวกำหนดตำแหน่งชิ้นงานก่อนที่จะถูกพิ้นซ์กดตัด ในกรณีของแบบลึงค์กึ่ง

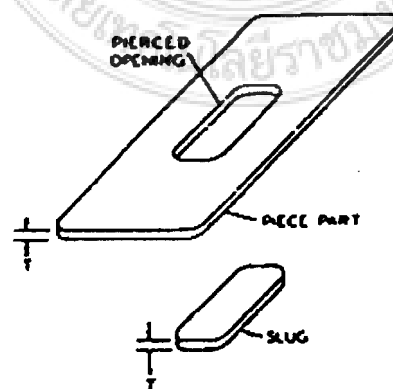
เมื่อเราป้อนวัตถุดิบเข้าไปในแม่พิมพ์และถูกบีบ ส่วนที่หลุดออกมาจากแผ่นวัตถุดิบคือ ชิ้นงานที่นำไปใช้ และส่วนที่เหลือค้างบนคายเป็นสแครป

2.17.2.2 เพียสซิงคาย (Piecing Die) หรือแม่พิมพ์ตัดเจาะรูชิ้นงาน

เป็นการเจาะรูในแผ่นชิ้นงานด้วยการบีบ โดยใช้พื้นที่และคาย แต่จะต่างจากแบล็งคักกิง (Blanking) คือในการเพียสซิง เศษวัสดุจะถูกตัดออกจากแผ่นชิ้นงาน และหลุดเข้าไปในคาย ส่วนชิ้นงานจะถูกปลดออกด้วยสตริปเปอร์เพลท (แผ่นปลดชิ้นงาน) และค้างอยู่บนคาย รูปที่ 2.16 และรูปที่ 2.17 แสดงถึงความสัมพันธ์ของชิ้นส่วนและวัตถุดิบสำหรับงานแบล็งคักกิง และเพียสซิงตามลำดับ



รูปที่ 2.16 ความสัมพันธ์ของชิ้นงานและแผ่นวัตถุดิบสำหรับแบล็งคักกิง [4]



รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ของชิ้นงานและเศษโลหะสำหรับเพียสซิง [4]

2.17.3 กลไกการตัดโลหะโดยใช้ 펀ช์และคายน

(Cutting mechanism or Cutting terminology)

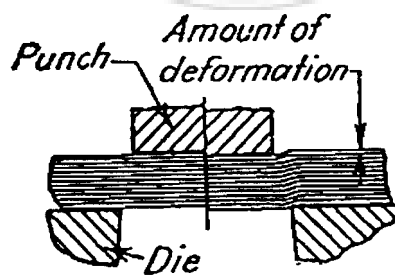
ผลของแรงที่กระทำบนแผ่นวัสดุในงานแม่พิมพ์แบบแบบลึงค์กึ่งหรือเพิสซึ่ง คือการตัดวัสดุให้ขาดจากกัน ซึ่งมีข้อควรคำนึงถึง 3 ขั้นตอนสำคัญสำหรับผู้ทำแม่พิมพ์ เพราะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดและคุณภาพของชิ้นงานที่ได้ ขั้นตอนเหล่านี้แสดงถึงปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของแผ่นวัสดุคืบตามลำดับ ดังแสดงในรูปด้านล่าง

ขั้นตอนการวิเคราะห์กลไกการตัดบนเนื้อโลหะ

ขั้นตอนที่ 1 การเปลี่ยนรูปอยู่ในสภาวะพลาสติก (Plastic deformation) เมื่อวัสดุคืบถูกวางอยู่บนคายน การกดเริ่มต้น โคนพื้นวัสดุเลื่อนมาสัมผัสชิ้นงานที่วางอยู่บนคายน และก่อให้เกิดแรงดันเกิดขึ้นบนแผ่นชิ้นงานจนกระทั่งเกินขีดจำกัดยืดหยุ่น ของวัสดุ จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปถาวรขึ้นและขอบตัดลักษณะเป็นส่วน โค้งมน (Die roll or Roll over)

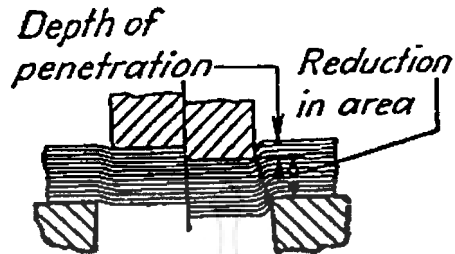
ขั้นตอนที่ 2 การกดลึก (Penetration) ในขณะที่แรม (Ram) ของเครื่อง 펀ช์ทำงานอย่างต่อเนื่อง พื้นผิวจะมีแรงกดลึกบนเนื้อวัสดุเรื่อย ๆ จนแผ่นชิ้นงาน (Blank) หรือเศษ โลหะ (Slug) จะถูกดันลงในช่องคายน (Die opening) พื้นผิวจะตัดเฉือนชิ้นงานทำให้ขอบตัดที่ได้ในช่วงนี้มีผิวเรียบตรง (Smooth sheared surface, Cut band of Burnish)

ขั้นตอนที่ 3 การฉีกขาดในขณะที่มีแรงกดอย่างต่อเนื่องจึงเป็นสาเหตุ ทำให้เกิดรอยแตกขึ้นในเนื้อวัสดุ ซึ่งโดยปกติจะเริ่มเกิดรอยแตกเล็ก ๆ (Crack initiation) ขึ้นบริเวณใกล้ ๆ กับขอบคมตัดของ 펀ช์และคายน ณ จุดนี้จะเกิดความเค้นดึงที่มีค่าสูงมาก ถ้าทำการตัดภายใต้สภาพการตัดที่เหมาะสม (ขนาดของเคลือบแรนซ์ระหว่างพื้นผิวกับคายนที่เหมาะสม) รอยแตกจะขยายวงกว้างออกไปจนมาบรรจบกัน ทำให้แผ่นชิ้นงานหรือเศษ โลหะแยกออกจากแผ่นวัสดุ และพื้นผิวยังคงมีแรงส่งลงไปในช่วงคายนเพื่อดันแผ่นชิ้นงานหรือเศษ โลหะให้หลุดออกจากคมตัดของคายน

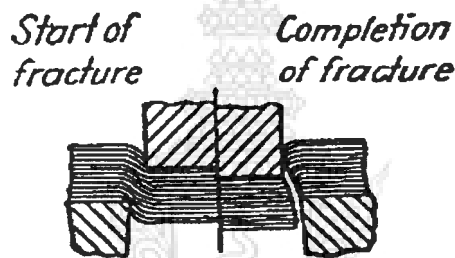


ขั้นตอนที่ 1 การเปลี่ยนรูปทำให้เกิดส่วน โค้งมน

รูปที่ 2.18 ขั้นตอนการวิเคราะห์กลไกการตัดโลหะโดยใช้แม่พิมพ์ [4]



ขั้นตอนที่ 2 การกดลึก (Penetration) ทำให้เกิดหน้าตัดเรียบตรง

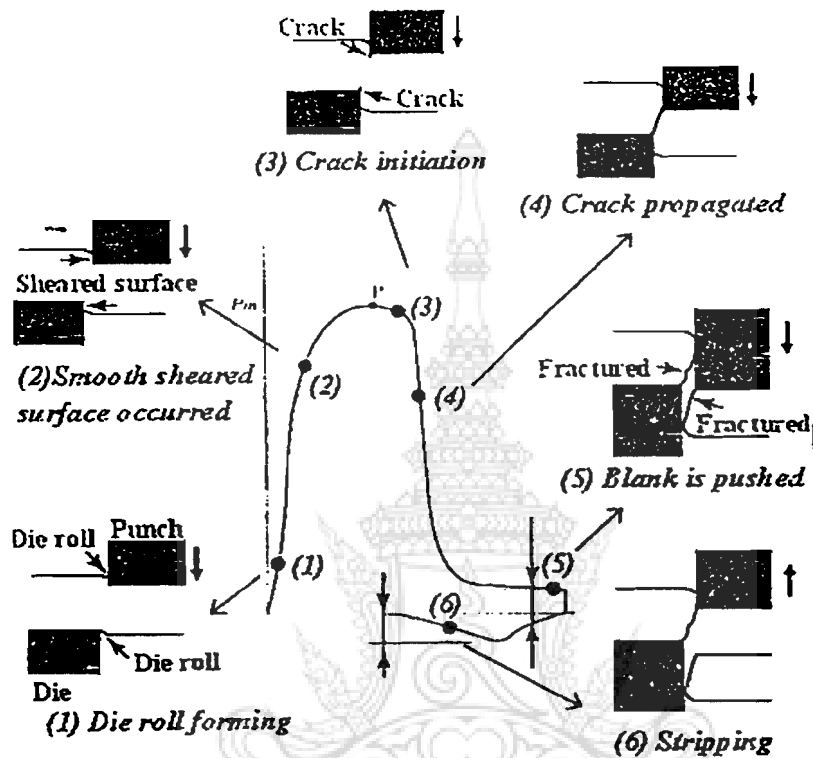


ขั้นตอนที่ 3 การฉีกขนาดของชิ้นงาน

รูปที่ 2.18 ขั้นตอนการวิเคราะห์กลไกการตัดโลหะโดยใช้แม่พิมพ์ [4] (ต่อ)

กลไกการตัดทั้ง 3 ขั้นตอนที่กล่าว คือผลของการตัดซึ่งทำให้เกิดลักษณะพิเศษที่ชิ้นงานจากการแบล็งก์กึ่ง และการเพียสซึ่ง การตรวจสอบลักษณะของชิ้นงานด้วยสายตาสามารถบอกได้ว่าใช้เคลือบเร็นซ์ ที่พื้นซ์และคายเหมาะสมหรือไม่ หรือพื้นซ์และคายอยู่ในตำแหน่งแนวตรงกันหรือไม่ – หรือความร่วมมือศูนย์ดีหรือไม่นั่นเอง (Good alignment)

เมื่อพิจารณาการตัดข้างต้น สามารถแสดงขั้นตอนการเปลี่ยนรูปของชิ้นงานลงในกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงในการตัดกับระยะทางในการตัดได้ดังกราฟรูปที่ 2.19 ซึ่งขั้นตอนที่ 1 คือตั้งแต่เริ่มกดตัดจนถึงหมายเลข (1) ในรูป ขั้นตอนที่ 2 คือหลังหมายเลข (1) ผ่านหมายเลข (2) จนถึงหมายเลข (3) ส่วนขั้นตอนที่ 3 คือหลังหมายเลข (3) ผ่านหมายเลข (4) จนถึงหมายเลข (5)



รูปที่ 2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ตัดชิ้นงานกับระยะที่ฟันเคลื่อนที่ [4]

2.17.4 การพิจารณาเคลียร์แรงในการตัดที่เหมาะสม (Appropriate cutting clearance)

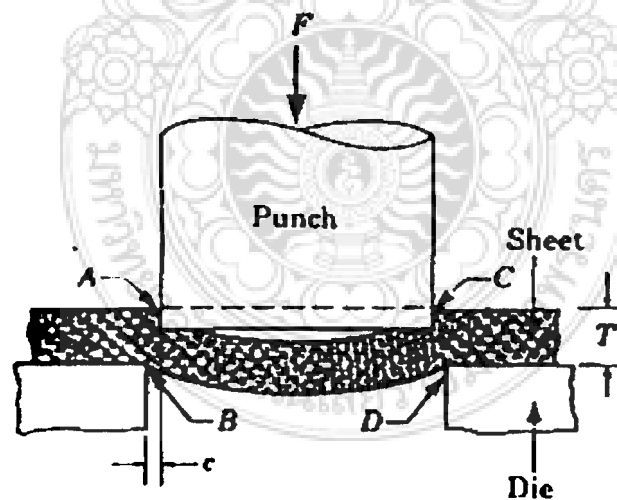
2.17.4.1 ความสัมพันธ์ของขนาดชิ้นงานต่อขนาดฟันและคาย

เมื่อตัดหรือเจาะชิ้นงานออกมาแล้วทำการวัดขนาดตรงเฉพาะขอบตัดส่วนที่เรียบตรง (sheared surface) หรือที่บางครั้งเรียกว่าคัตแบน (Cut band) จะพบว่าขนาดของชิ้นงานจะใหญ่กว่าขนาดของฟันที่ใช้ปัดแผ่นวัสดุ เนื่องจากทั้งขอบตัดของชิ้นงานที่สัมผัสกับฟันและคายจะเกิดการคืบตัวกลับ (Spring back) ชดเชยการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในช่วงยืดหยุ่น (Elastic deformation) ขณะกำลังถูกปัดตัด ดังนั้นช่องคายจึงเป็นตัวกำหนดขนาดของชิ้นงาน ในขณะที่ขนาดของฟันจะเป็นตัวกำหนดขนาดของรูที่ได้ด้วย ความสัมพันธ์เหล่านี้ทำให้ออกแบบแม่พิมพ์สามารถนำไปพิจารณากำหนดเคลียร์แรงในการตัด (Clearance) ที่เหมาะสมเมื่อทราบขนาดของชิ้นงานที่ต้องการ

2.17.4.2 การพิจารณาใช้ช่องว่างหรือเคลียแรนซ์ในการตัด (Cutting Clearance)

ช่องว่างในการตัดระหว่างพื้นซ์และคายที่เรียกว่าเคลียแรนซ์ (Clearance) หรือค่า c ในรูปที่ 2.20 จำเป็นต้องกำหนดให้เหมาะสม เพราะเคลียแรนซ์มีความสำคัญต่ออายุการใช้งานของแม่พิมพ์และคุณภาพของชิ้นงานอย่างมาก ถ้าใช้เคลียแรนซ์มากเกินไปมีผลทำให้ลักษณะขอบของชิ้นงานที่ได้ออกมาไม่ดี และขนาดชิ้นงานอาจไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ ในกรณีตรงกันข้ามถ้าใช้เคลียแรนซ์น้อยไปหรือไม่เพียงพอจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดความเค้นที่มีค่าสูงมาก ส่งผลให้การสึกหรอบริเวณคมตัดเกิดขึ้นเร็วกว่าในกรณีที่เคลียแรนซ์กว้าง เนื่องจากในการป้อนจำเป็นต้องใช้แรงมากขึ้น และการเสียดสีระหว่างคมตัดกับชิ้นงานมีมากขึ้นนั่นเอง

โดยทั่วไปคุณสมบัติทางกล (ความแข็งแรงและความสามารถในการยึดตัวของวัสดุ) และความหนาของแผ่นวัสดุที่ทำการป้อนเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญที่สุดในการพิจารณาเลือกใช้ขนาดของเคลียแรนซ์ ซึ่งมักจะคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของความหนาวัสดุ ตารางที่ 2.7 แสดงถึงเคลียแรนซ์ (ด้านเดียว) ในการตัดของวัสดุชนิดต่าง ๆ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความหนาวัสดุ



รูปที่ 2.20 เคลียแรนซ์ในการตัด (Clearance : c) [4]

ตารางที่ 2.7 เคลียแรนซ์ (Clearance : c) ที่แนะนำให้ใช้ในการตัดสำหรับวัสดุชนิดต่าง ๆ [4]

	ชนิดงาน วัสดุ	งานที่ต้องการความเที่ยงตรง (วัสดุบาง)	งานตัด ทั่วไป	งานตัดเจาะ (วัสดุหนา)
โลหะ	เหล็กกล้าคาร์บอนสูง	4 - 12	12 - 16	18 - 26
	เหล็กเหนียว	2 - 6	6 - 14	12 - 21
	เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel)	2 - 4	4 - 13	13 - 14
	ทองแดง (อบอ่อน)	1 - 3	2 - 9	8 - 24
	ทองแดง (แข็งปานกลาง)	1 - 4	3 - 13	11 - 24
	ทองเหลือง (อบอ่อน)	1 - 4	3 - 10	9 - 22
	ฟอสฟอรัส - บรอนซ์	2 - 5	4 - 11	7 - 23
	อลูมิเนียม	1 - 3	3 - 9	8 - 21
	อลูมิเนียม (แข็ง)	1 - 12	6 - 18	14 - 24
	ตะกั่ว	3 - 6	5 - 12	9 - 23
อโลหะ	ยางผสมกำมะถัน (Ebonite)	2 - 3	2 - 3	2 - 3
	เซลลูโลส, ไฟเบอร์, พอร์ไมกา, ฝ้าย, กระดาษ	อาจใช้ค่าน้อยกว่านี้ได้		

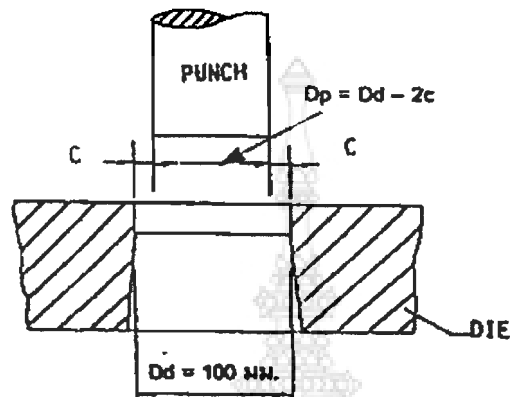
หน่วย : % ความหนาของวัสดุ

* จาก E.V. Crane, PLASTIC WORKING IN PRESSES, John Wiley & Sons, inc., 1948

2.17.4.3 เคลียแรนซ์สำหรับแม่พิมพ์แบล็งค็อกิ้ง (Clearance for blanking dies)

ขนาดของคाय จะใช้ขนาดเท่ากับชิ้นงานที่ต้องการ เคลียแรนซ์ (Clearance) จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณขนาดของพินซ์ (แม่พิมพ์ตัวบนหรือตัวผู้) ซึ่งจะเล็กกว่าคाय ยกตัวอย่างเช่น ต้องการตัดชิ้นงานเหล็กเหนียว (Mild steel) เส้นผ่าศูนย์กลางกลาง 100 มม. หนา 1 มม. จะต้องใช้ขนาดของพินซ์และคायขนาดเท่าไร

1. สำหรับงานแบล็งค็อกิ้ง เส้นผ่าศูนย์กลางของคायโต 100 มม. เท่ากับขนาดของชิ้นงาน
2. เส้นผ่าศูนย์กลางของพินซ์จะต้องเล็กกว่า 100 มม.



รูปที่ 2.21 การกำหนดเคลียแรนซ์ (Clearance) ของพินซ์และคายในกรณีแบล็งคักัง [4]

สำหรับงานแบล็งคักังทั่วไป ในกรณีของ Mild steel จะใช้ค่าเคลียแรนซ์ประมาณ 5% ของความหนา นั่นคือ

$$C = (5/100) * t = (5/100) * 1 = 0.05 \text{ มม.}$$

จากรูปขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของพินซ์ $D_p = D_d - 2C$ (2.6)

จากเส้นผ่าศูนย์กลางของคาย $D_p = 100 \text{ มม.}$

ดังนั้นจะได้เส้นผ่าศูนย์กลางของพินซ์

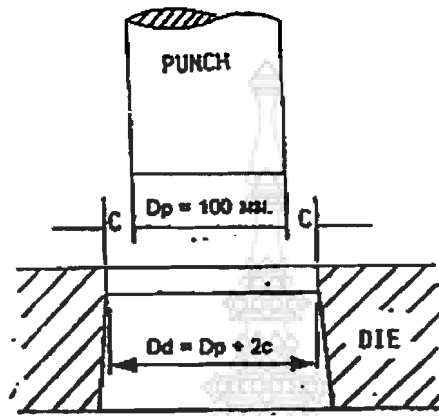
$$\begin{aligned} D_p &= 100 - (2 * 0.05) \\ &= 100 - 0.1 \\ &= 99.9 \text{ มม.} \end{aligned}$$

2.17.4.4 เคลียแรนซ์สำหรับแม่พิมพ์เพียสซิ่ง (Clearance for piercing dies)

ในกรณีของเพียสซิ่ง การกำหนดเคลียแรนซ์จะตรงกับกรณีของงานแบล็งคักัง ซึ่งได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังตัวอย่างที่แล้ว ถ้าต้องการตัดรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มม.

1) สำหรับงานเพียสซิ่ง ต้องกำหนดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของพินซ์ให้เท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูที่ต้องการ นั่นคือในกรณีนี้ $D_p = 100 \text{ มม.}$

2) เส้นผ่าศูนย์กลางของคานจะต้องใหญ่กว่า 100 มม.



รูปที่ 2.22 การกำหนดเคลียร์เรนซ์ (Clearance) ของพินซ์และคานในกรณีเพียสซิ่ง [4]

สมมุติถ้าใช้เคลียร์เรนซ์สำหรับงานเพียสซิ่งเท่ากับ 15% ของความหนานั้นคือ

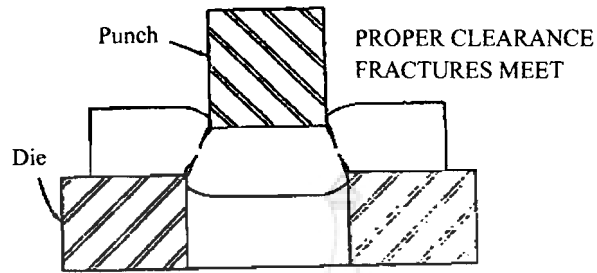
$$C = 15/100t = 15/100 * 1 = 0.15$$

ดังนั้น จะได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของคาน

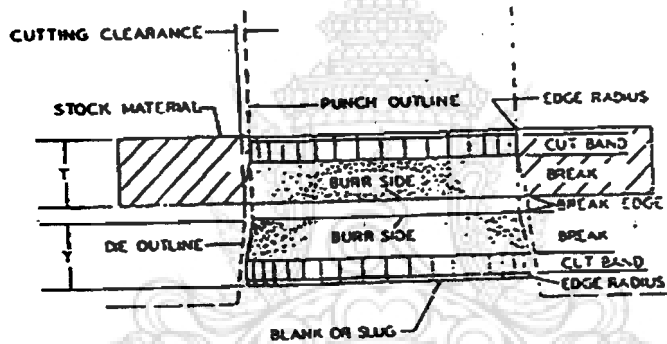
$$\begin{aligned} Dd &= Dp + 2C & (2.7) \\ Dd &= 100 + 2(0.15) \\ &= 100 + 0.3 \\ &= 100.3 \text{ มม.} \end{aligned}$$

2.17.5 อิทธิพลของขนาดเคลียร์เรนซ์ที่มีต่อคุณภาพขอบตัดที่ได้ (Effects of cutting clearance on the quality of cut surface)

2.17.5.1 กรณีเคลียร์เรนซ์ที่เหมาะสม (Optimum cutting clearance)



(ก) การบรรจบกันของรอยแตกในชิ้นงานกรณีที่ใช้ขนาดเคลียร์เรนซ์เหมาะสม



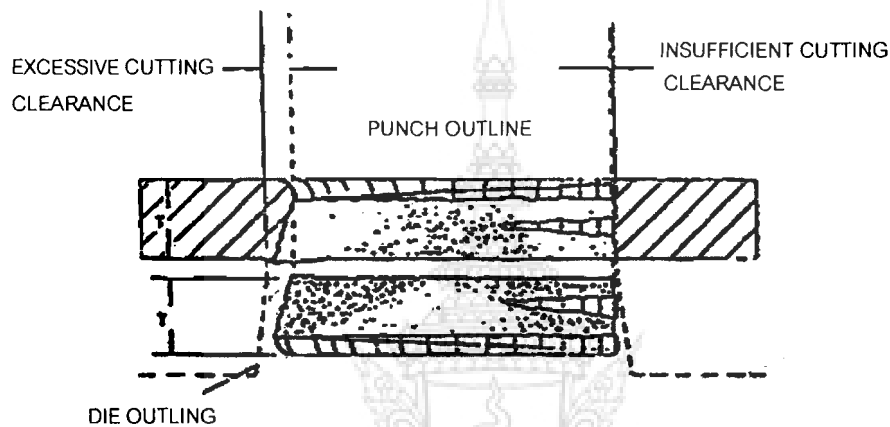
(ข) ขอบตัดที่ได้เมื่อใช้ขนาดเคลียร์เรนซ์ที่เหมาะสม

รูปที่ 2.23 การบรรจบกันของรอยแตกในชิ้นงานและขอบตัดที่ได้เมื่อใช้ขนาดเคลียร์เรนซ์ที่เหมาะสม [4]

ในรูปที่ 2.23 (ก) แสดงให้เห็นการบรรจบกันพอดีของรอยแตกที่ปรากฏในชิ้นงาน ซึ่งเกิดขึ้นในกรณี que เลือกใช้ขนาดของเคลียร์เรนซ์ที่เหมาะสมเท่านั้น รูปที่ 2.23 (ข) แสดงให้เห็นขอบตัดของชิ้นงานหรือเศษที่ถือว่ามีความสูงที่สุด จะได้จากการตัดภายใต้สภาวะที่เหมาะสม หรือมีค่าเคลียร์เรนซ์ระหว่างการตัดที่เหมาะสมนั่นเอง เมื่อพิจารณาขอบตัดที่ได้ ในขั้นตอนแรกของการกดตัดจะเกิดการเปลี่ยนรูปถาวร (Plastic deformation) ซึ่งมีลักษณะเป็นส่วนโค้งมน (Die roll or Roll over) ตรงช่วงแรกสุดของขอบตัด หลังจากนั้นเมื่อพื้นผิวทำการกดอย่างต่อเนื่อง (Penetration) จะทำให้ได้ขอบตัดเป็นแนวเรียบตรง มีลักษณะเป็นเงามัน (Sheared surface or Cut band) ซึ่งเป็นสภาวะการตัดในขั้นตอนที่สอง ส่วนสุดท้ายของขอบตัดจะมีลักษณะเป็นรอยขีดหรือรอยแตก (Fractured surface) เกิดขึ้นในขั้นตอนที่สามของการตัด การฉีกขาดจะเกิดขึ้นเนื่องจากความเค้นภายในเนื้อวัสดุมีค่าสูงเกินกว่าขีดจำกัดความแข็งแรงของวัสดุนั้น ๆ เมื่อรวมความสูงของส่วนโค้ง-

มน แนวเรียบตรงและรอยฉีกขาดเข้าด้วยกันจะต้องได้เท่ากับความหนาของวัสดุชิ้นงาน โดยปกติได้ ส่วนที่เป็นรอยฉีกขาดจะเกิดครีป (Burr) ขึ้นเสมอ ครีปจะมีลักษณะบาง ๆ มีความคมและไม่เรียบ เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการในการตัด

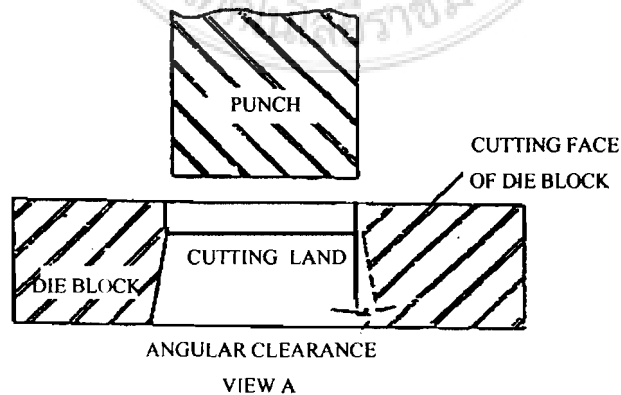
2.17.5.2 การใช้เคลียแรนซ์ที่มากเกินไป (Excessive cutting clearance)



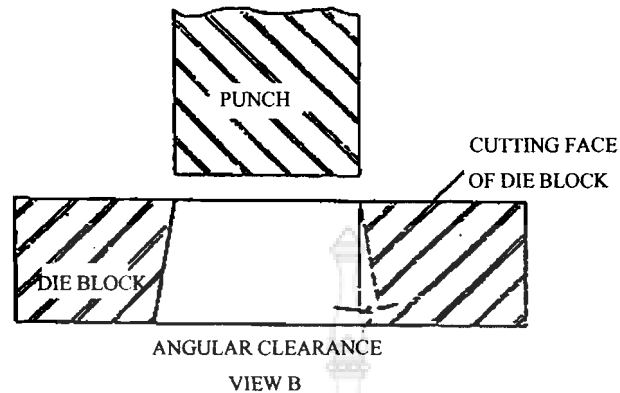
รูปที่ 2.24 ขอบตัดที่ได้เมื่อใช้เคลียแรนซ์ที่มากเกินไป [4]

ในรูปที่ 2.24 แสดงขอบตัดของชิ้นงานที่ได้จากการตัด โดยใช้เคลียแรนซ์ในการตัด ระหว่างพื้นที่กับคายมากเกินไป นั่นคือการขาดออกจากกันของวัสดุจะมีลักษณะคล้าย ๆ กับการถูก ค้างให้ขาดมากกว่าการตัด ซึ่งจะเห็นได้ว่าในกรณีนี้จะได้ส่วนเรียบตรงน้อยมากหรือแทบไม่มีเลย ในขณะที่ส่วนโค้งมนและรอยฉีกขาดจะมีขนาดใหญ่ขึ้น และครีปที่ได้ก็จะมี ความสูงมากขึ้น และมีความหนามากขึ้น

2.17.5.3 การใช้เคลียแรนซ์น้อยเกินไป (Insufficient cutting clearance)



(ก) การขยายตัวของรอยแตกในชิ้นงานกรณีที่มีขนาดเคลียแรนซ์น้อยเกินไป

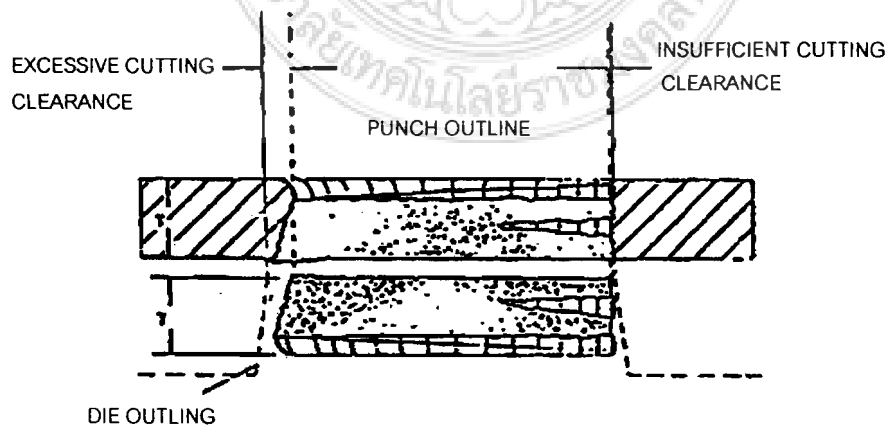


(ข) ขอบตัดที่ได้เมื่อใช้เคลือบเร้นซ์น้อยเกินไป

รูปที่ 2.25 ลักษณะการขยายตัวของรอยแตกและขอบตัดที่ได้เมื่อใช้เคลือบเร้นซ์น้อยเกินไป [4]

เมื่อใช้เคลือบเร้นซ์ระหว่างพื้นที่และคายน้อยเกินไป รอยแตกที่เกิดขึ้นจากด้านพื้นที่และคายจะขยายยาวออกไปแต่ไม่บรรจบกันดังแสดงในรูปที่ 2.25 (ก) ทำให้รอยฉีกขาดของวัสดุไม่ยาวต่อเนื่อง แต่จะเกิดเป็นบางส่วนเท่านั้น ดังนั้นขอบตัดที่ได้จากการตัดโดยใช้เคลือบเร้นซ์น้อยเกินไปอาจจะมีแนวเรียบตรงเกิดขึ้นได้มากกว่า 2 แห่ง เรียกกันว่า Secondary cut หรือ Secondary sheared surface นั่นเองดังแสดงในรูปที่ 2.25 (ข) ในกรณีนี้จะมีเนื้อวัสดุที่พื้นที่ต้องกดตัดให้ขาดออกจากกันมากกว่าในกรณีที่เคลือบเร้นซ์กว้าง ดังนั้นแรงตัดที่ต้องการก็จะมากกว่า และส่งผลให้เกิดการสึกหรอของพื้นที่เร็วกว่าอีกด้วย โดยปกติเมื่อเคลือบเร้นซ์ในการตัดมีค่าน้อยจะทำให้ครีบที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กลงด้วยเช่นกัน

2.17.5.4 กรณีที่ตำแหน่งของพื้นที่และคายเยื้องศูนย์กลางกัน (Misalignment)



รูปที่ 2.26 ขอบตัดของชิ้นงานที่ได้กรณีตำแหน่งของพื้นที่และคายเยื้องศูนย์กลางกัน [4]

รูปที่ 2.26 แสดงถึงขอบคัตที่ได้เมื่อตำแหน่งของพินซ์และช่องคายไม่เที่ยงตรง หรือเยื้องศูนย์ซึ่งกันและกัน (Misalignment) นั่นคือการพิจารณาขอบคัตของชิ้นงานที่ได้ จะทำให้ทราบได้ว่าพินซ์หรือคายเอียงไปทางไหน ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากในการปรับแต่งแม่พิมพ์ให้ได้ความเที่ยงตรง เพราะถ้ายังฝืนทำงานในสภาพที่มีการเยื้องศูนย์ จะทำให้อัตราการสึกหรอในแต่ละด้านของพินซ์และคายแตกต่างกัน ส่งผลให้แรงที่กระทำต่อพินซ์ในแต่ละด้านแตกต่างกันถ้าความแตกต่างดังกล่าวมากพอ อาจจะทำให้เกิดความเสียหายกับพินซ์ คาย แม่พิมพ์ หรือแม้กระทั่งเครื่องปั๊มได้

2.17.6 เสี้ยนหรือครีบลโลหะ (Burr)

การตัดชิ้นงานโดยใช้พินซ์และคายจะทำให้เกิดครีบลโลหะที่มีความคมขึ้นตรงขอบคัต ทั้งส่วนของวัสดุที่ถูกตัดออกมา (ส่วนที่เป็นชิ้นงานในกรณีแบบลึงคั้งและส่วนที่เป็น slug ในกรณีเพียสซิ่ง) และส่วนของวัสดุที่ถูกบีบคัตเป็นรู (ส่วนสแครปในงานแบบลึงคั้งและส่วนที่เป็นชิ้นงานในกรณีเพียสซิ่ง) ครีบลที่เกิดขึ้นเป็นข้อเสีย (Defect) ของงานคัตในบางกรณีก่อนที่จะนำชิ้นงานไปใช้หรือไปผ่านกรรมวิธีผลิตต่อไปอาจจำเป็นต้องกำจัดครีบลออกก่อน การกำจัดครีบลออกอาจต้องการกรรมวิธีเฉพาะที่เรียกว่าดีเบอร์ริง (Deburring) ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น โดยปกติครีบลจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อคมคัตที่พินซ์และคายทื่อ หรือตำแหน่งของพินซ์และคายเยื้องศูนย์กัน เพราะฉะนั้นขนาดของครีบลบนชิ้นงานจะบอกให้ทราบได้ว่าแม่พิมพ์สามารถใช้งานต่อไปได้หรือไม่ หรือต้องนำไปเจียร ไนแต่งให้ความใหม่ก่อน

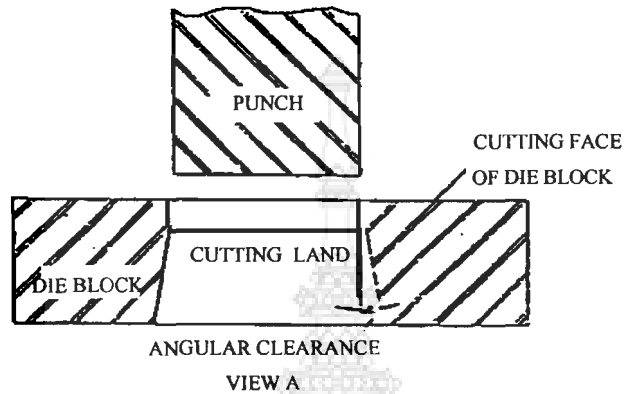
ลักษณะเฉพาะของการเกิดเสี้ยนหรือครีบลโลหะบนชิ้นงานหรือเศษที่ตัดออกมาและรูที่พินซ์ (Punched opening) ออกมานั้นจะตรงข้ามกัน นั่นคือ ครีบลชิ้นงานจะอยู่ทางด้านพินซ์ส่วนครีบลที่รูจะอยู่ทางด้านคาย

2.17.7 มุมหลบที่ช่องคาย (Angular clearance or Relief angle)

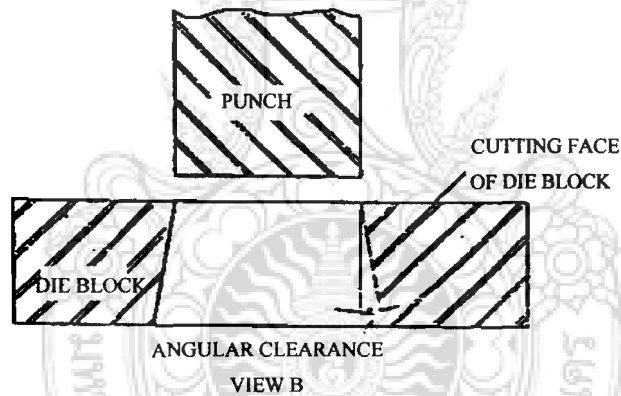
มุมหลบคือมุมที่ทำขึ้นให้มีความลาดเอียงที่ด้านผนังของช่องคาย เพื่อช่วยลดแรงกดที่กระทำต่อชิ้นงานหลังจากถูกบีบหลุดออกมาจากแผ่นเดิมแล้ว ให้ไหลผ่านช่องคายออกมาได้สะดวก เพราะโดยปกติชิ้นงานที่ถูกบีบออกมาจะติดตัวกับชดเชยการเปลี่ยนรูปในช่วงยึดหยุ่นขณะที่ถูกบีบคัต ถ้าไม่มีมุมหลบชิ้นงานจะอัดแน่นติดกับคาย ทำให้ชิ้นงานอาจเสียรูปได้ในขณะที่ถูกกดให้ไหลผ่านช่องคายลงมา และยังก่อให้เกิดแรงสะสมอัดอยู่ในช่องคาย เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้พินซ์และคายแตกเร็วได้ ปกติมุมหลบจะใช้ประมาณ $\frac{1}{4}$ - 2 องศาต่อด้าน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ตัด จำนวนการผลิต กรรมวิธีการผลิตและรูปร่างของแม่พิมพ์

โดยทั่วไปวัสดุอ่อนต้องการมุมหลบใหญ่กว่าวัสดุแข็ง เพราะวัสดุอ่อนโดยเฉพาะอลูมิเนียมมักจะเข้าไปอัดแน่นในช่องคาย (Die opening) ใฝ่กว่าวัสดุที่แข็ง สำหรับวัสดุชนิด

เดียวกันถ้ามีความหนามาก ควรใช้มุมหลบมากกว่ากรณีที่มีความหนาน้อย ในกรณีของชิ้นงานที่ต้องการจำนวนการผลิตสูง ควรใช้มุมหลบที่น้อยกว่า



(ก) เทเปอร์ค้ายแบบมีค้ายแลนค์ (Tapered die with die land)



(ข) เทเปอร์ค้ายแบบไม่มีค้ายแลนค์ (Tapered die without die land)

รูปที่ 2.27 ลักษณะมุมหลบในช่องค้าย [4]

2.18 เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น ASSAB VANADIS 4

2.18.1 คุณสมบัติทั่วไป (General)

ส่วนผสมทางเคมี C 1.5%, Si 1.0%, Mn 0.4%, Cr 8.0%, Mo 1.5% และ V 4.0%

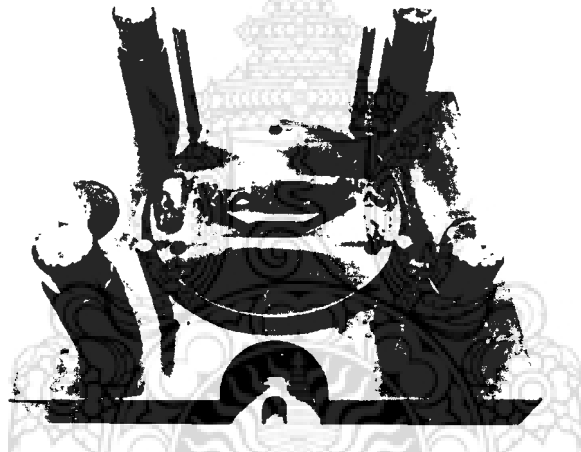
สภาพจำหน่าย อบอ่อนที่ความแข็ง 235 HB

สัญลักษณ์สี เขียว / ขาว

Vanadis 4 เป็นเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็นที่ผลิตด้วยกรรมวิธี Power metallurgy ที.เอ็ม. เกรด (P.M Grade) ซึ่งจะให้คุณสมบัติทั้งความทนทานต่อการสึกหรอและทนต่อแรงกระแทก

(มีความแข็งและความเหนียวสูงในขณะเดียวกัน) สามารถแปรรูป กัด ง่ายถึงแม้ว่ามีธาตุผสมสูงและข้อดีของ Vanadis 4 ที่สำคัญอีกข้อคือสามารถคงรูปได้ดีภายหลังจากชุบแข็ง ซึ่งดีกว่าเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น ตามมาตรฐานทั่วไป จึงเหมาะสำหรับการเคลือบผิวแข็ง CVD (CVD Coating)

Vanadis 4 เป็นเหล็กกล้าผสม โครเมียม-โมลิบดีนัม วานาเดียมสูง (4% วานาเดียม) ซึ่งสามารถสรุปคุณลักษณะพิเศษได้ดังนี้ ทนต่อการเสียดสี สึกหรือสูง ทนต่อแรงกดสูง สามารถชุบแข็งทั้งชิ้นงาน ได้ดีมาก มีความเหนียวสูงมาก สามารถคงรูปอยู่ได้ดีภายหลังจากชุบแข็งและอบคืนตัว ทนต่อการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูงได้ดี



รูปที่ 2.28 แม่พิมพ์ปั๊มตัดงานละเอียด (Fine Blanking) ซึ่งต้องการความทนทานต่อการสึกหรอและทนแรงกระแทกสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อปั๊มชิ้นงานนาน ๆ ทำจาก ASSAB Vanadis 4 [5]

2.18.2 การใช้งานของเหล็กกล้าพีเอ็มเกรด (Vanadis 4 Application)

เป็นเหล็กกล้าซึ่งเหมาะกับงานที่ต้องการความทนทานต่อการสึกหรอ (Adhesive wear) หรือต้องการแก้ปัญหาแม่พิมพ์แตกสะเก็ด (Chapping) ซึ่งโดยมากจะเกี่ยวข้องกับการปั๊มตัด ชิ้นรูปวัสดุเหนียว เช่น เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เหล็กเหนียว (Mild Steel) ทองแดง อะลูมิเนียม หรือวัสดุหนา ๆ เช่น Blanking and forming, Fine Blanking, Cold extrusion tooling, Power Pressing, Deep drawing และ Knite

2.18.3 สมบัติ ของเหล็กกล้า พีเอ็มเกรด Vandadis 4

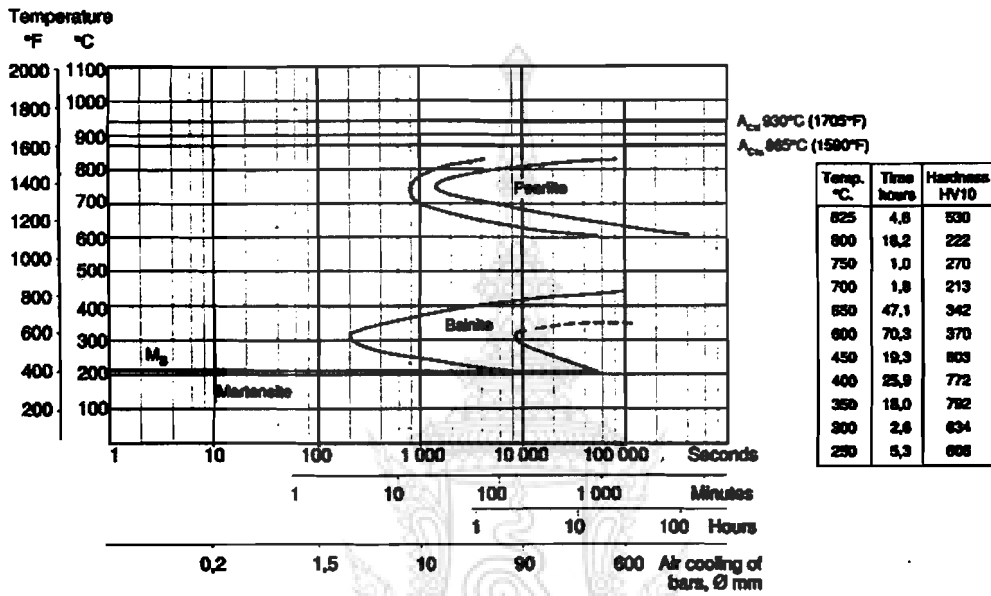
ตารางที่ 2.8 ข้อมูลทางกายภาพ [5]

อุณหภูมิ		25°C (68°F)	200°C (390°F)	400°C (750°F)
ความหนาแน่น	kg/m ³	7.600		
	lbs/in ³	0.273		
ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น	N/mm ²	200,000	185,000	170,000
	Pis	29 × 10 ⁶	26.8 × 10 ⁶	24.6 × 10 ⁶
ค่าประสิทธิภาพการขยายตัวทางความร้อน				
	ต่อ °C จาก 20°C	-	10.8 × 10 ⁶	11.9 × 10 ⁶
	ต่อ °F จาก 68°F	-	6.0 × 10 ⁶	6.6 × 10 ⁶
ค่าความสามารถในการนำความร้อน				
	w/m °C	26	27	28.5
	Btu in (ft ² tr)	181	188	199
	°F			
ค่าความจุความร้อนจำเพาะ				
	J/kg °C	460		
	Btu/lb °F	0.11		

2.18.4 ความแข็งแรงต่อแรงกระแทก (Impact Strength)

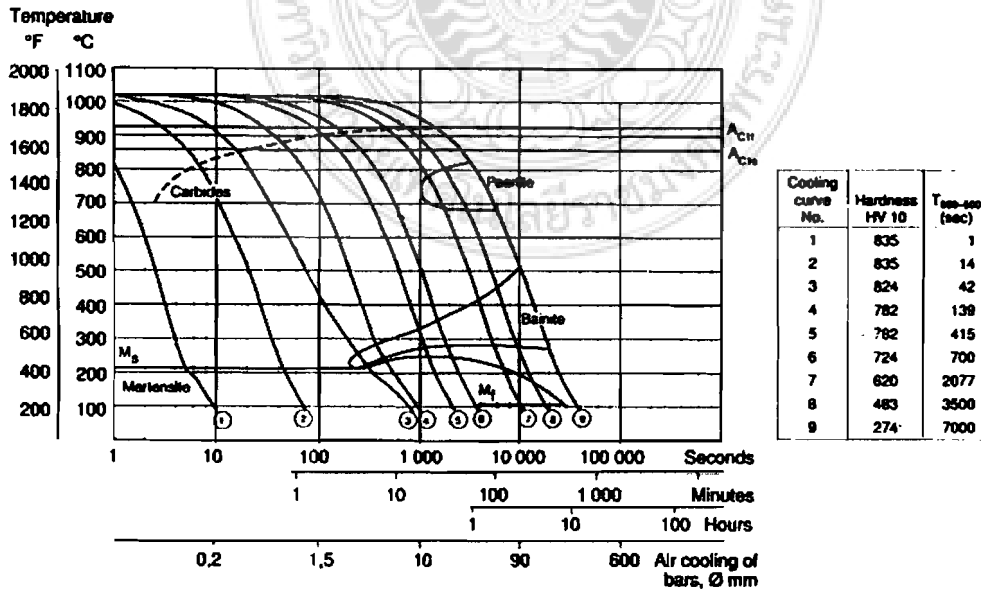
ความแข็งแรงต่อแรงกระแทกที่อุณหภูมิต่าง ๆ ขณะทดสอบ ณ อุณหภูมิห้อง ในสภาพไม่มีรอยบาก และผ่านการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1020 องศาเซลเซียส แล้วทำให้เย็นตัวในอากาศ (Quenched in air) จากนั้นอบคืนตัว 2 ครั้ง ได้ผลดังกราฟ

TTT-graph
 Austenitizing temperature 1020° C (1870° F). Holding time 30 minutes.



รูปที่ 2.29 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างออสเตนไนท์ที่อุณหภูมิอุณหภูมิกึ่งที่ [5]

CCT-graph
 Austenitizing temperature 1020° C (1870° F). Holding time 30 minutes.



รูปที่ 2.30 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างออสเตนไนท์ในลักษณะต่อเนื่อง [5]

2.18.5 การอบชุบความร้อน (Heat treatment)

การอบอ่อน (Soft annealing) ป้องกันชิ้นงานและให้ความร้อนตลอดชิ้นงานจนถึงอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส (1650°F) แล้วปล่อยให้เย็นตัวในเตา ด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียส (20°F) ต่อชั่วโมง จนถึงอุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส (1200°F) จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ

การอบคลายเครียด (Stress Relieving) หลังจากแปรรูปอย่างหยาบ (Rough machining) ควรให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน ให้ทั่วจนถึงอุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส (1200°F) และคงอุณหภูมินี้ไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (Holding time) แล้วปล่อยให้เย็นตัวช้า ๆ จนถึงอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส (930°F) จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ

2.18.6 การชุบแข็ง (Hardening)

อุณหภูมิอุ่นชิ้นงาน : 600-700 องศาเซลเซียส (1110-1290°F)

อุณหภูมิชุบแข็ง : 80-1100 องศาเซลเซียส (1800-2100°F) แต่ปกติชุบแข็ง

ที่อุณหภูมิ 1020 องศาเซลเซียส (1870°F)

สำหรับชิ้นงานที่มีขนาดหน้าตัดใหญ่กว่า 70 mm (2.75)

ชุบแข็งที่อุณหภูมิ 106 องศาเซลเซียส (1940°F)

โสดคิง ไทม์ : 30 นาที

โสดคิง ไทม์ (Holding Time) คือ ช่วงเวลาอบชิ้นงานที่อุณหภูมิชุบแข็งหลังจากชิ้นงานมีอุณหภูมิชุบแข็งทั่วทั้งก้อนแล้ว ถ้าอบน้อยกว่า 30 นาที อาจมีผลต่อการสูญเสียความแข็ง ควรทำการป้องกันการการสูญเสียคาร์บอนที่ผิว (Decarburization) และการเกิดออกไซด์ (Oxidation) ขณะชุบแข็ง

2.18.7 ตัวกลางที่ใช้ทำให้เหล็กเย็นตัว (Quenching media)

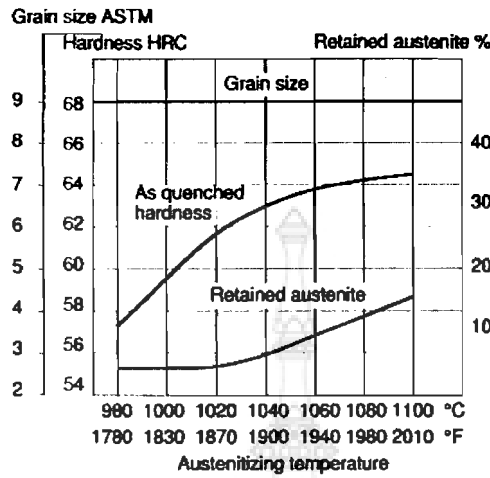
1. สูญญากาศ (แก่สความเร็วที่สูงที่ความดันสูงเพียงพอ)

2. อ่างมาร์เทมเปอร์ริง (Martempering bath) หรือเตาฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed)

ที่อุณหภูมิ 500-550 องศาเซลเซียส (930-1020°F)

3. อ่างมาร์เทมเปอร์ริง (Martempering bath) หรือเตาฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed)

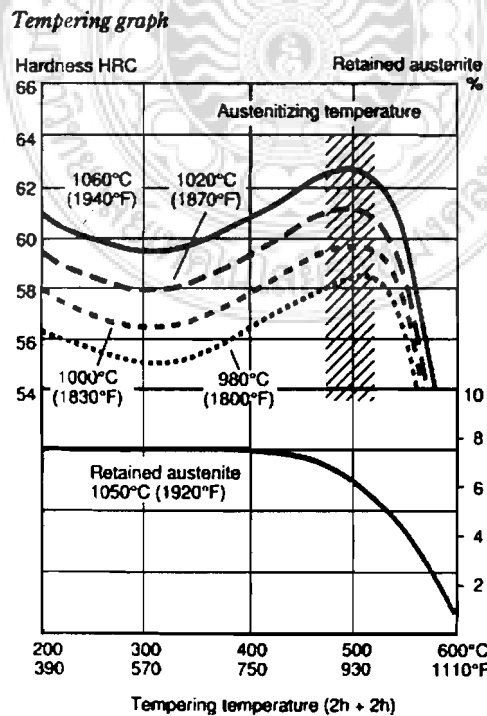
ที่อุณหภูมิ 200-350 องศาเซลเซียส (390-660°F)



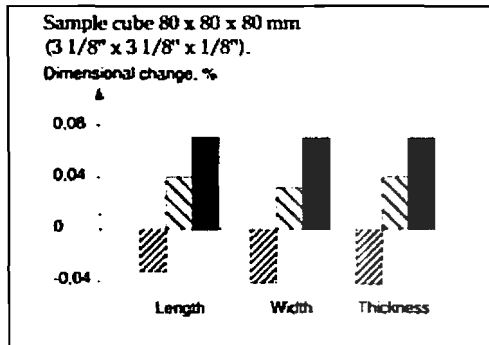
รูปที่ 2.31 ผลของอุณหภูมิชุบแข็งที่มีต่อความแข็ง, ขนาดเกรน, ออสเตนไนท์เหลือค้าง [5]

2.18.8 การอบคืนตัว (Tempering)

เลือกอุณหภูมิอบคืนตัวให้สอดคล้องกับความแข็งที่ต้องการ โดยเทียบจากกราฟการอบคืนตัว (Tempering diagram) ควรทำการอบคืนตัว 2 ครั้ง และปล่อยให้เย็นตัว จนถึงอุณหภูมิห้อง โดยที่อุณหภูมิอบคืนตัวไม่ควรต่ำกว่า 180 องศาเซลเซียส (360°F) และอบเป็นเวลาอย่างน้อย 2 เพื่อไม่เป็นการทำให้ความเหนียว (Toughness) ลดลงไม่ควรอบคืนตัวในช่วงอุณหภูมิ 470-520 องศาเซลเซียส (880-970°F)

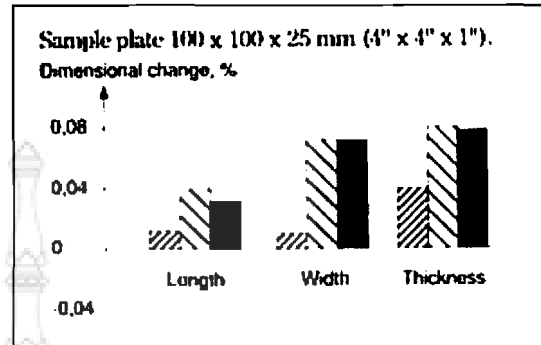


รูปที่ 2.32 กราฟการอบคืนตัว [5]



ขนาดแผ่นทดสอบ

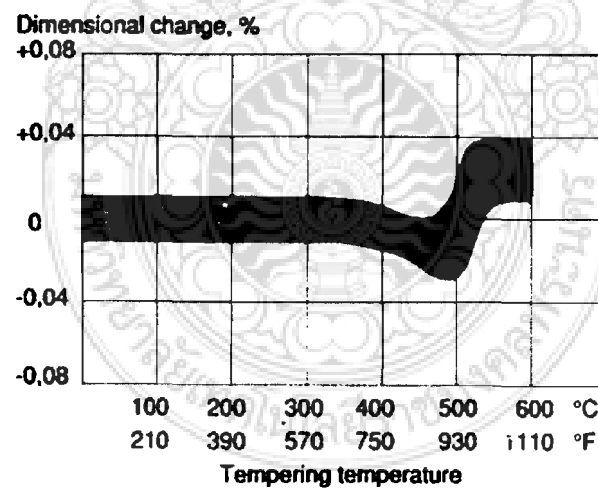
100 x 100 x 25 mm (4" x 4" x 1)



ขนาดชิ้นทดสอบลูกบาศก์

80 x 80 x 80

รูปที่ 2.33 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างระหว่างการชุบแข็ง [5]

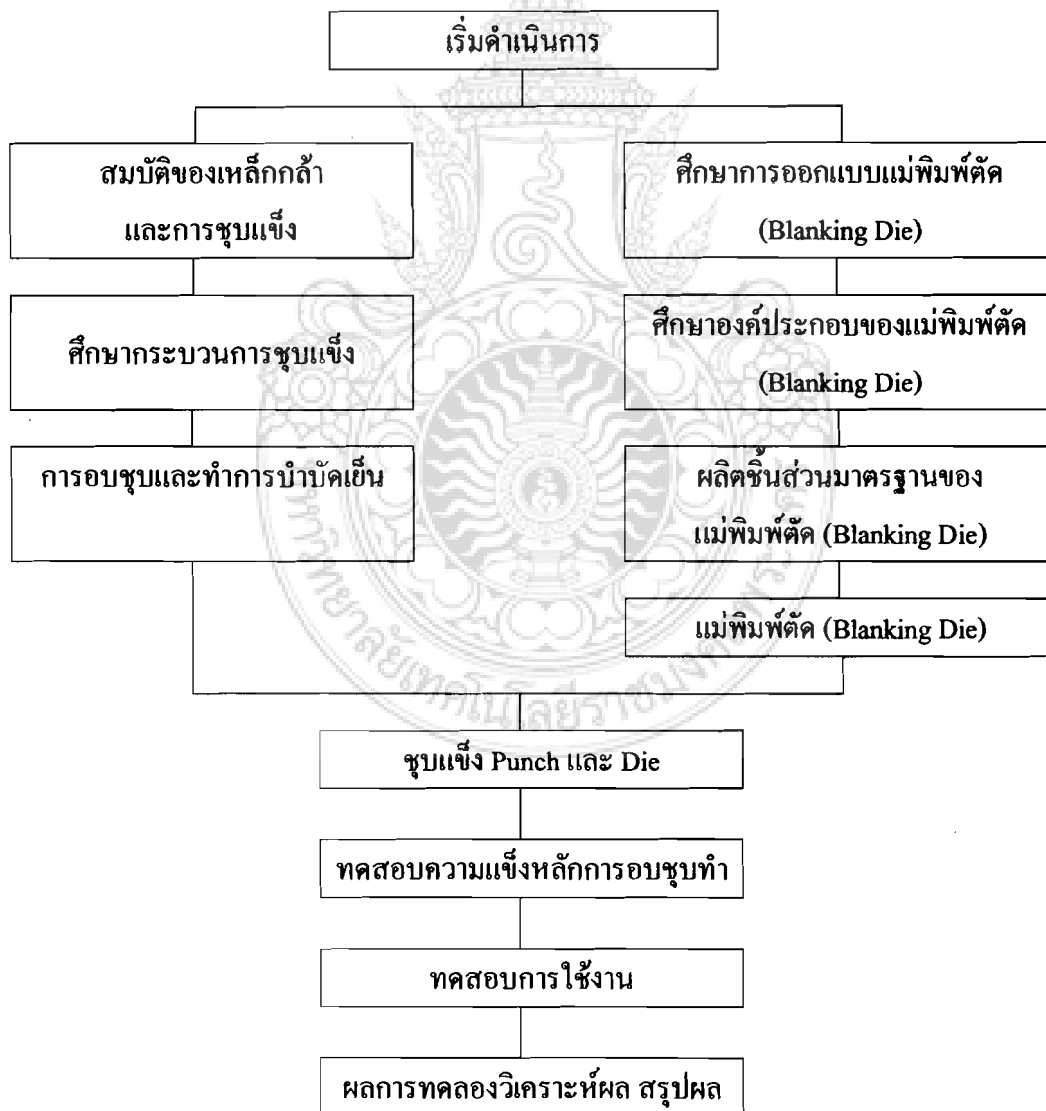


รูปที่ 2.34 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างระหว่างการชุบแข็งและการอบคืนตัว [5]

บทที่ 3

การดำเนินโครงการวิจัย

ในการดำเนินโครงการวิจัยเพื่อศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์สำหรับตัดแผ่นเหล็ก เหล็กไร้สนิม SUS 304 ซึ่งทำการทดลองโดยแม่พิมพ์ที่ออกแบบสร้างขึ้นเพื่อทำการศึกษาการสึกหรอบริเวณ ขอบคมตัดของพUNCHและคาย เพื่อให้ได้ทราบถึงอายุการใช้งานของพUNCHและคาย ได้ ดำเนินตามขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงการวิจัย

3.1 สมบัติของเหล็กกล้าและการชุบแข็ง

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทั่วไปของเหล็ก Vanadis 4

ส่วนผสมทางเคมี (%)	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
	1.5	1.0	0.4	8.0	1.5	4.0
สภาพจำหน่าย	อบอ่อนที่ความแข็ง 235 HB					
สัญลักษณ์สี	เขียว / บาง					

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลทางกายภาพ (Physical Data) ของเหล็ก Vanadis 4

อุณหภูมิ		20°C (68°F)	200°C (390°F)	400°C (750°F)
ความหนาแน่น	kg/m ³	7,600	-	-
	Lbs/in ³	0.273	-	-
ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น	N/mm ²	200,000	185,000	170,000
	Psi	29 x 10 ⁶	26.8 x 10 ⁶	24.6 x 10 ⁶
ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน	ต่อ °C จาก 20°C	-	10.8 x 10 ⁻⁶	11.9 x 10 ⁻⁶
	ต่อ °F จาก 68°F	-	6.0 x 10 ⁻⁶	6.6 x 10 ⁻⁶
ค่าความจุความร้อนจำเพาะ	J/kg°C	460	-	-
	Btu/lb°F	0.11	-	-
ค่าความสามารถในการนำความร้อน	w/m °C	86	27	28.5
	Btu in (ft ² h°F)	181	188	199

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติทั่วไปของ Stainless (S304)

ส่วนผสมทางเคมี % โดยน้ำหนัก	C	Si	Mn	Ni	Cr	S	P	N
	0.46	0.520	1.180	8.120	18.12	0.002	0.027	0.041

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลทางกายภาพ (Physical Data) ของ Stainless (S 304)

Ts (Mpa)	Ys (Mpa)	EI (%)	HARD VAL	HARD TYPE
671	285	52	81	HRB

ตารางที่ 3.5 แสดงข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิในการอบชุบ

แหล่งข้อมูล	วัสดุ	Hardening Temperature	Holding time (min)	Tempering (°C)	HRC
UDDEHOLM VANADIS 4	V4	980-1100	30	525	60

การประยุกต์ใช้งาน

Vanadis 4 เป็นเหล็กกล้า ซึ่งเหมาะกับการใช้งานที่ต้องการความทนทาน ต่อการสึกหรอ (Adhesive wear) หรือต้องการแก้ปัญหาแม่พิมพ์แตกสะเก็ด (Chipping) ซึ่งโดยมากจะเกี่ยวข้องกับ การปั๊มตัด, ขึ้นรูป วัสดุนิ่ม เช่น เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก, เหล็กกล้าละมุน (Mild Steel), ทองแดง, อะลูมิเนียม หรือวัสดุหนา ๆ เช่น Blanking and forming, Fine Blanking, Cold extrusion tooling, Powder pressing, Deep drawing และ Knife

ตารางที่ 3.6 แสดงเวลาในการคงอุณหภูมิในการชุบไนโตรเจนและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำ Cryogenic

ลำดับ	บทความ	แหล่งอ้างอิงข้อมูล	ชนิดวัสดุ	เวลาในการคงอุณหภูมิ (ชม.)	อุณหภูมิในการชุบ (°C)	ผลการทดลองด้านการสึกหรอ
1	The Cryogenic Process	www. Mmsonline.com/articles /0301rt2.html	Tool Steel	15-30	-196	
2	Deep Cryogenic Tempering Process	http://info.lu.farmingdale.cdn/depts/met/mct205/cxyogenic treatment.html	Tool Steel	20-40	-196	ดีขึ้น 40%
3	Deep Cryogenic Tempering	http://www.ln2cryo.com	Tool Steel	20	-196	
4	Cryogenic Treatment	www. Heat treatment Cryogenic	Tool Steel	-	-75 -185	
5		UDDEHOLM VANADIS 4	V4	3-4	-70 -80	เพิ่มขึ้น 1-3HRC

3.1.1 ศึกษาตัวแปรในการชุบแข็งและบำบัดเย็น

3.1.1.1 วิเคราะห์ข้อมูลในการชุบแข็ง

1) ค่าเฉลี่ยตัวอย่าง (Sample mean) เป็นการหาค่ากลางของข้อมูลที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากเป็นการหาค่ากลางที่ใช้ ข้อมูลทุกค่า จึงเป็นค่าที่น่าเชื่อถือ วิธีการจะทำโดยการนำเอา ข้อมูลทั้งหมดมาหาผลรวม แล้วหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด

สูตร

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i$$

เมื่อ n คือจำนวนตัวอย่างทั้งหมด

2) มัชยฐาน (Median: Med) คือข้อมูลที่อยู่ตำแหน่งตรงกลางของข้อมูลทั้งหมดเมื่อทำการเรียงลำดับจากน้อยไปหามากหรือมากไปหาน้อย

ถ้าข้อมูลเป็นเลขคี่ มัชยฐานคือข้อมูลที่อยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของข้อมูลทั้งหมด

สูตร

$$\frac{n-1}{2} \text{ ถ้า } n \text{ เป็นจำนวนคี่}$$

ถ้าข้อมูลเป็นเลขคู่ มัชยฐาน คือค่าเฉลี่ยของข้อมูล 2 ค่าที่อยู่ตำแหน่งกึ่งกลางของข้อมูลทั้งหมด

สูตร

$$\frac{n}{2} \text{ และ } \frac{n-1}{2} \text{ ถ้า } n \text{ เป็นจำนวนคู่}$$

เมื่อ n คือ จำนวนตัวอย่างทั้งหมดในการสุ่มตัวอย่าง

ตารางที่ 3.7 สรุปข้อมูลจากตารางการอบชุบ (Heat Treatment)

	Hardening Temperatures (°C)	Tempering (°C)
ค่าเฉลี่ย	1026	440
ค่ามัธยฐาน	1025	525
ค่าฐานนิยม	1025	525

ตารางที่ 3.8 สรุปข้อมูลจากตารางการทำ Cryogenics Temperature

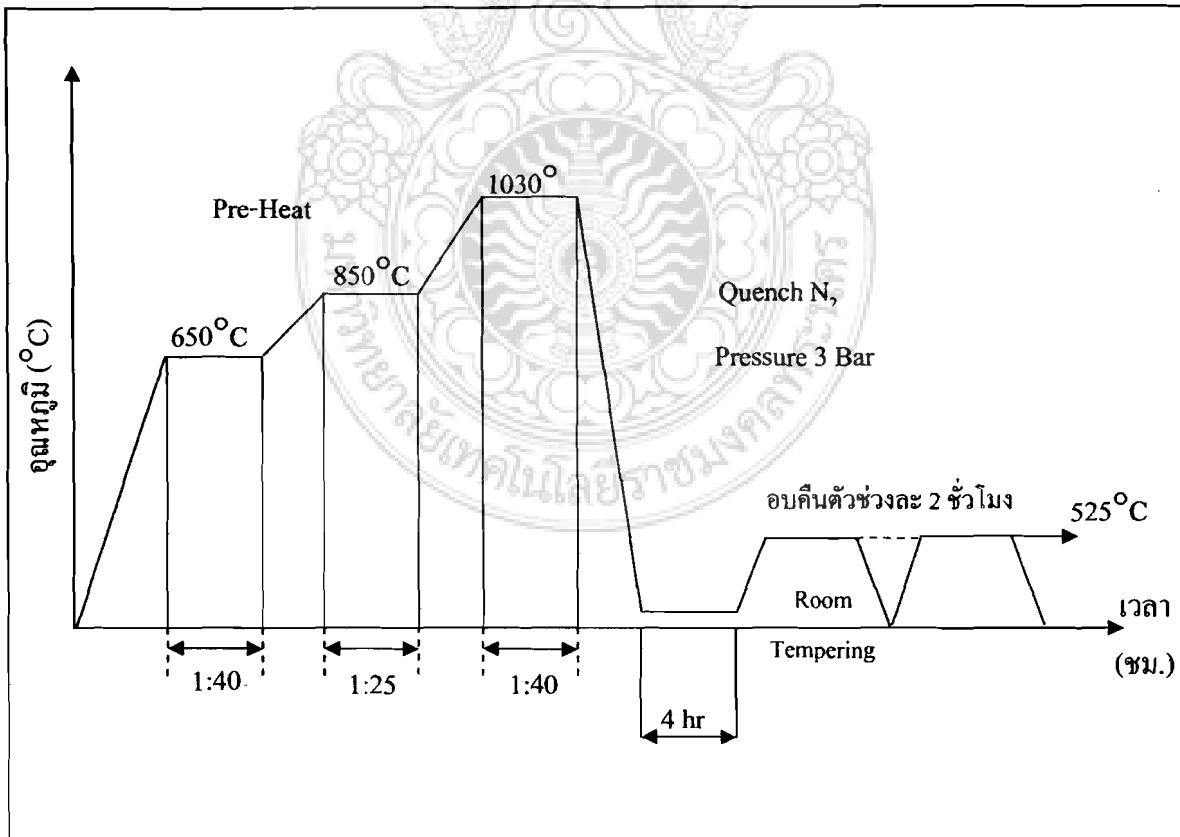
	Holding times (ชม.)	Cryogenics Temperature (°C)
ค่าเฉลี่ย	24	-161
ค่ามัธยฐาน	25	-196
ค่าฐานนิยม	20, 25, 30	-196

ศึกษาอุณหภูมิอุ่นให้ความร้อนสำหรับอุณหภูมิ Pre-Heat ของเหล็กกล้าเครื่องมืองาน
เป็นมาตรฐาน JIS ชนิด Powder Metallurgy วานเดียม 4% (V4) ช่วงแรกเป็นการให้ความร้อนแก่
ชิ้นงานเริ่มต้นตั้งแต่การอุ่นชิ้นงานจากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส โดยรอ
จนกว่าอุณหภูมิของแกนกลางชิ้นงานเท่ากับ 650 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจนถึง
อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส แล้วค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิชุบแข็งตามที่กำหนดไว้แต่ละ
เงื่อนไขจากตารางสรุปข้อมูลที่ 3.7 และ 3.8 ได้มาจากการหาค่าทางสถิติทั้งสามขั้นตอนมีทั้งการคิด
ค่าเฉลี่ย, ค่ามัธยฐานและค่าฐานนิยม งานวิจัยนี้จึงได้พิจารณาเลือก

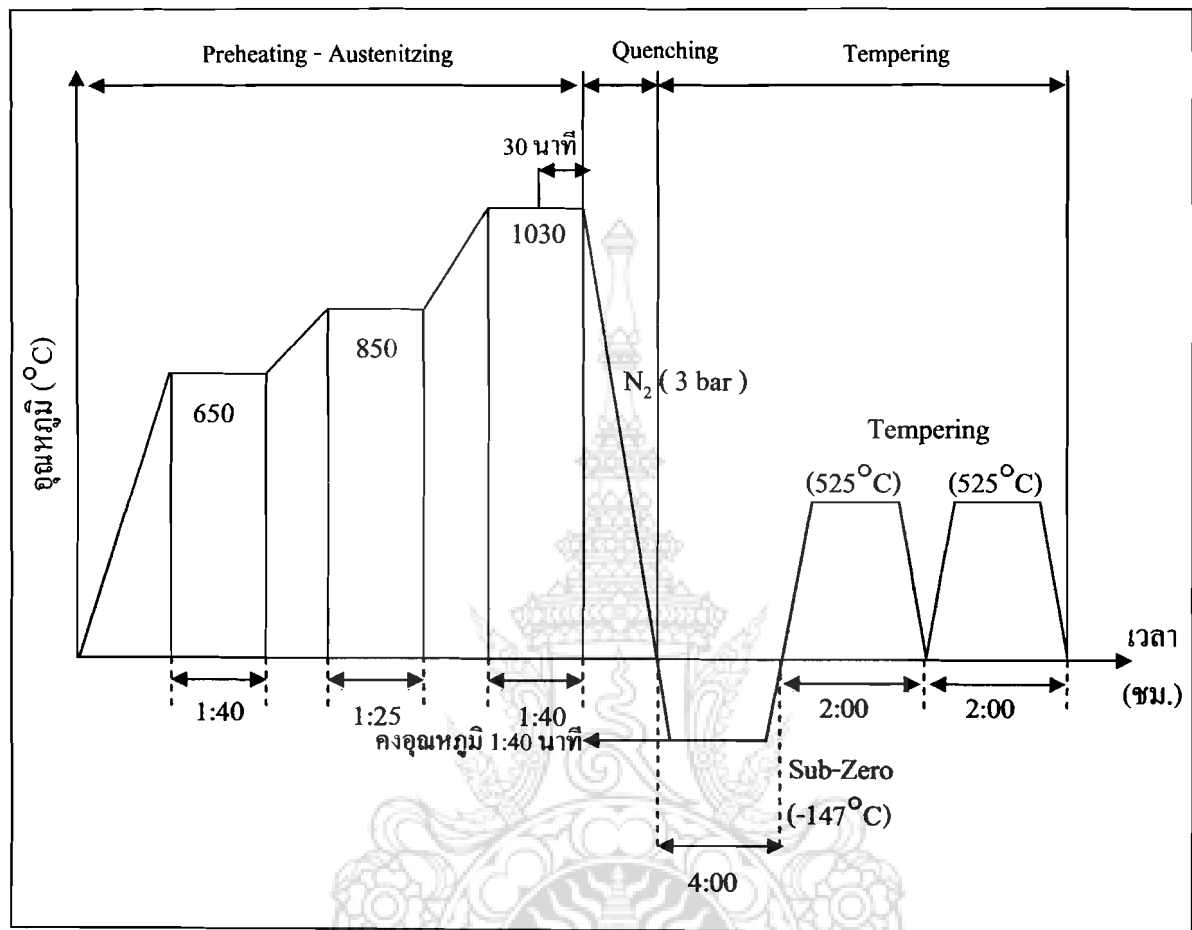
ก) ชุบแข็งที่อุณหภูมิ (Hardening Temperatures °C) 1030 องศาเซลเซียส คงเวลาไว้
30 นาที

ข) ทำการเย็นตัวที่อุณหภูมิต่างกัน 3 อุณหภูมิ ได้แก่ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส
-147 องศาเซลเซียส และ -192 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 4 ชั่วโมง

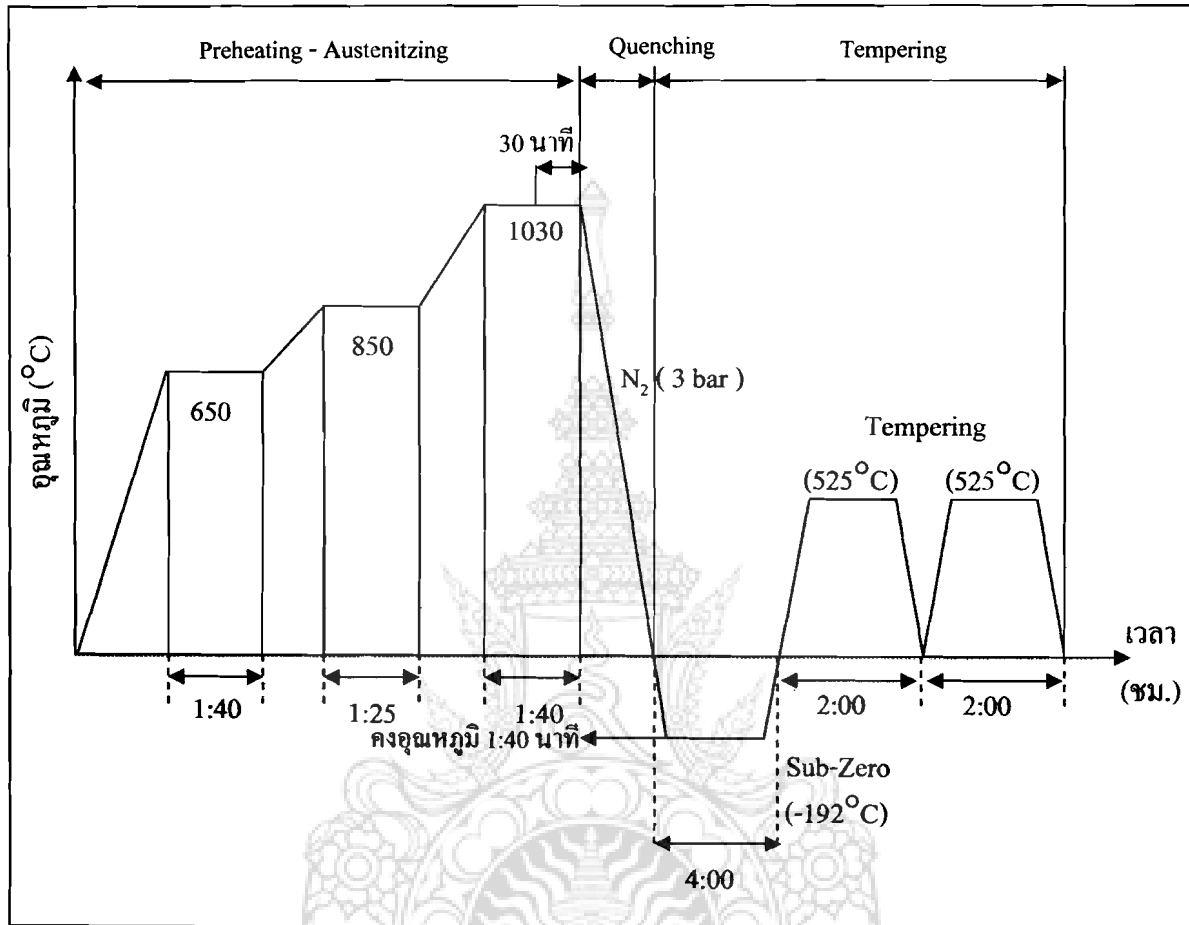
ค) อบคืนตัวที่อุณหภูมิ (Tempering °C) ที่อุณหภูมิ 525 เซลเซียส 2 ครั้ง ๆ 2 ชั่วโมง



รูปที่ 3.2 กราฟแสดงอุณหภูมิชุบแข็ง 1030 องศาเซลเซียส Tempering (525 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงอุณหภูมิชุบแข็ง 1030 องศาเซลเซียส Tempering (525 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงอุณหภูมิชุบแข็ง 1030 องศาเซลเซียส Tempering (525 องศาเซลเซียส)

ตารางที่ 3.9 ข้อมูลการอบชุบของเหล็กเครื่องมืองานเย็น Vanadis 4

เอกสารอ้างอิง	อุณหภูมิอุ่นชิ้นงาน (Pre-Heat) ^{°C}	ชั่วโมง	อุณหภูมิ การชุบแข็ง (Austenitezing) ^{°C}	โฮลคิงไทม์ (Holding Time)	Sub- Zero	อบคืนตัว (Tempering) ^{°C}	ตัวกลางที่ใช้ทำ ให้เหล็กเย็นตัว (Quenching media)	เตาที่ใช้	สารชุบ	แรงดัน (Pressure)
บริษัทผู้ผลิต	650	1 : 40	1030 ^{°C}	1 : 40	-192 ^{°C}	2 ครั้ง	สูญญากาศ	Vacuum	N ₂	3 Bar
(Assab)	850	1 : 25				ครั้งละ 525 ^{°C} ใช้เวลา 2 ชม.				



3.1.2 การอบชุบและทำการบำบัดเย็น

จากแผนผังที่ได้จะนำไปทำการชุบแข็ง Punch และ Die ต่อไปในหัวข้อที่ 3.3



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการชุบแข็งและบำบัดเย็น

3.2 การออกแบบและผลิตแม่พิมพ์ตัด (Blanking Die)

3.2.1 ศึกษาเรื่องของแม่พิมพ์ตัด (Blanking Die)

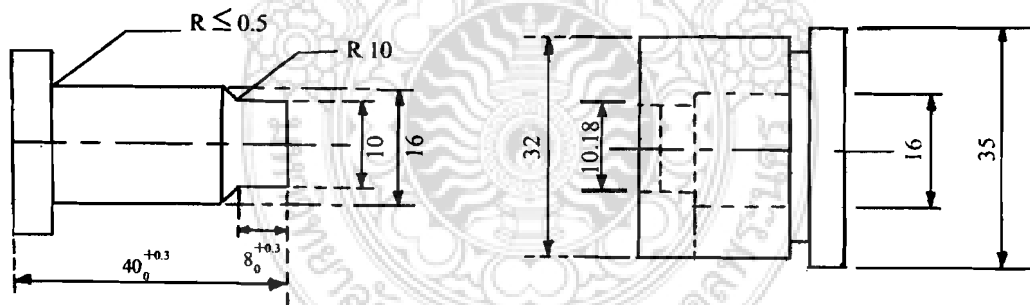
ในการออกแบบแม่พิมพ์ตัดจำเป็นต้องคำนึงถึงวัสดุที่ใช้ในการทดสอบและวัสดุที่ใช้ผลิตพื้นซ์และคาย

3.2.1.1 การออกแบบแม่พิมพ์ตัดโดยมีข้อจำกัดที่สำคัญในการออกแบบ และสร้างแม่พิมพ์ คือ ออกแบบสร้างแม่พิมพ์จำนวน 1 พิมพ์ โดยที่แม่พิมพ์สามารถถอดเปลี่ยนชิ้นส่วนพื้นซ์และคายได้ แม่พิมพ์ตัดที่ออกแบบสร้างใช้สำหรับปั๊มตัดชิ้นงานที่มีลักษณะทรงกลม

1) ใช้วัสดุสำหรับทำพื้นซ์ (Punch) และคาย (Die) เป็นวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น Vanadish 4 มีส่วนผสมดังในตารางที่ 3.1

2) ชิ้นงานทดสอบเป็นวัสดุแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 กลุ่มโครเมียม-นิกเกิล (Chrome-nickel-group of Stainless Steel) ประเภทเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (Austenitic Stainless Steel) มีความหนาที่ใช้ 1.13 mm มีส่วนผสม ดังตารางที่ 3.3

3) Clearance ระหว่างพื้นซ์และคายของวัสดุ Stainless อยู่ระหว่าง 6% ถึง 12%ตามมาตรฐาน JIS ดังนั้นเลือกใช้ระยะห่างระหว่างพื้นซ์และคายไว้ 8%



รูปที่ 3.6 การออกแบบ Punch และ Die

$$\begin{aligned}
 \text{ดังสูตร} \quad \text{ระยะ Clearance} &= \% c \times t \\
 &= 8\% \times 1.13 \text{ (สแตนเลสหนา 1.13 mm)} \\
 &= 0.0904 \times 2 \\
 &= 0.1808 \\
 \therefore \text{ระยะ Clearance ที่ Die} &= 10 + 0.1808 \\
 &= 10.1808 \text{ mm.}
 \end{aligned}$$

จากสูตรได้กำหนดพื้นซ์ไว้ที่ 10 mm และกำหนดขนาดของพื้นซ์ไว้ที่ 10.18 mm

4) การเลือกชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ได้ทำการเลือกตามแบบมาตรฐานของบริษัท อินเทอร์เน็ต เทคโนโลยี จำกัด ดังนี้


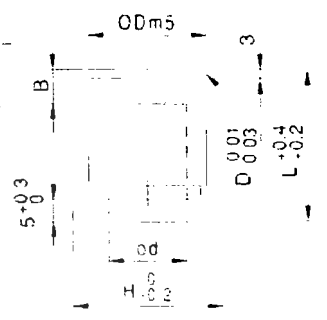
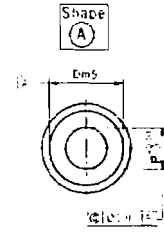
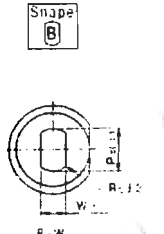
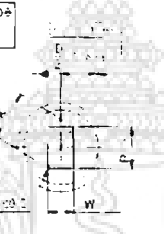
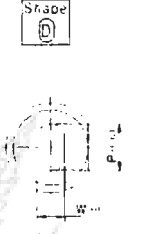
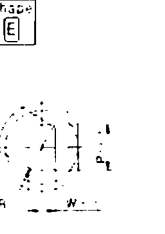
ชนิด (Type)	ขนาดลำตัว (Shank dia.) / D	STEEL GRADE [A] HARDNESS [B]	Catalog No.		รูปทรงของปลายหัวตัดจากรูป (A) - (E) ตามภาพด้านล่าง (For point, select from shape (A) - (E) shown below)
			Type	B Point length	
	Dm5	SKD11 50-63HRC	SP	S	
		SKH51 61-68HRC	SH		
		HAP30 64-67HRC	SPH		
	D +0.005 / 0	SKD11 60-63HRC	A-SP	L	
		SKH51 61-64HRC	A-SH		
		HAP30 64-67HRC	A-SPH		

Shape (A)	Shape (B)	Shape (C)	Shape (D)	Shape (E)
P:W R:0.2	P:W R:0.2	P:W R:0.2	P:W R:0.2	P:W R:0.2
K = P * W				K = (P * 2R) + (W * 2R) * 2R


Catalog No.		ØD	L	0.01 mm.				B	H				
Type	B Point length			A	B C	(D) E	E						
(Dm5) SP SH SPH (D +0.005) A-SP A-SH A-SPH	ระบบคมตัดสั้น S	(A) (B) (C) (D) (E)	3	40 50 60 70 80	1.00-2.99	2.97	0.70	0.20 ≤ R < W/2 (E only) [13 #L = (40) B = 8 19 #L = (40) B = 8 23 28]	5 7 8 9 11 13 16 19 23 28				
			4	40 50 60 70 80	1.00-3.99	3.97	1.00						
			5	40 50 60 70 80	2.00-4.99	4.97	1.20						
			6	40 50 60 70 80	2.00-5.99	5.97	1.50						
			8	(40) 50 60 70 80 90 100	3.00-7.99	7.97	2.00						
			10	(40) 50 60 70 80 90 100	3.00-9.99	9.97	2.50						
			13	(40) 50 60 70 80 90 100	6.00-12.99	12.97	3.00						
			16	(40) 50 60 70 80 90 100	10.00-15.99	15.97	4.00						
			20	(40) 50 60 70 80 90 100	13.00-19.99	19.97	5.00						
			25	(40) 50 60 70 80 90 100	18.00-24.99	24.97	6.00						
	ระบบคมตัดยาว L	(A) (B) (C) (D) (E)	3	50 60 70 80	1.00-2.99	2.97	0.70	0.20 ≤ R < W/2 (E only)	5 7 8 9 11 13 16 19 23 28				
			4	50 60 70 80	1.00-3.99	3.97	2.00						
			5	50 60 70 80	2.00-4.99	4.97	2.00						
			6	50 60 70 80	2.00-5.99	5.97	2.00						
			8	50 60 70 80 90 100	3.00-7.99	7.97	2.50						
			10	50 60 70 80 90 100	3.00-9.99	9.97	2.50						
			13	50 60 70 80 90 100	6.00-12.99	12.97	3.00						
			16	60 70 80 90 100	10.00-15.99	15.97	4.00						
			20	60 70 80 90 100	13.00-19.99	19.97	5.00						
			25	60 70 80 90 100	18.00-24.99	24.97	6.00						
			ระบบคมตัดยาวพิเศษ X (ไม่เหมาะตัดเหล็ก)	(A)	3	50 60 70 80	1.20-2.99					19 25 30 40	5 7 8 9 11 13 16 19 23 28
					4	50 60 70 80	1.20-3.99						
					5	60 70 80	2.00-4.99						
					6	60 70 80	2.00-5.99						
					8	60 70 80 90 100	3.00-7.99						
10	60 70 80 90 100	3.00-9.99											
13	60 70 80 90 100	6.00-12.99											
16	70 80 90 100	10.00-15.99											
20	70 80 90 100	13.00-19.99											
25	70 80 90 100	18.00-24.99											

	Order	Catalog No.	ØD	L	P	W	(R E only)
		SPLD	13	80	P10.50	W7.34	

รูปที่ 3.7 แบบมาตรฐานของ Punch

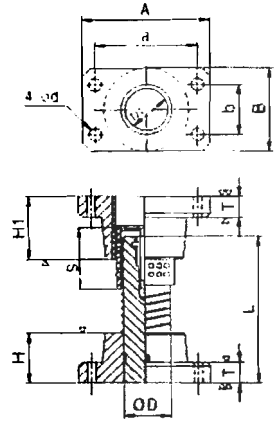
ชนิด (Type)	STEEL GRADE <input type="checkbox"/> HARDNESS <input type="checkbox"/>	ขนาด (Size) Standard	Catalog No.	ส่วนประกอบ/วัสดุ (Part) A - E * and width *Part point select from shape A - E shown below
- Head type - 	SKD 11 60-63HRC	D6-56	A BHA B BHB C BHC D BHD E BHE	BH PBH 
	HAP 40 64-67HRC	D6-25	A PBHA B PBHB C PBHC D PBHD E PBHE	
Shape A 	Shape B 	Shape C 	Shape D 	Shape E 

Dm5	Catalog No.	ØD	L	0.01 mm					B	Ød	H	
				A	B	C	D	E				
	ชนิด (Type)			min	P	max	P	Kmax	P	Wmin	P	
6	SKD11	6	16	1.20	3.00	3.00	1.00	3.00	1.00	3.00	3.4	9
8		1.20		4.00	4.00	1.00	4.00	4.4	11			
10		2.00		6.00	6.00	1.20	6.00	6.4	13			
13		3.00		8.00	8.00	1.50	8.00	8.4	16			
16		5.00		10.00	10.00	2.00	10.00	10.6	19			
20		7.00		12.00	12.00	3.00	12.00	12.6	23			
25		10.00		15.00	15.00	3.00	15.00	16.6	28			
32		15.00		20.00	20.00	4.00	20.00	20.6	35			
38		19.00		25.00	25.00	5.00	25.00	26.6	41			
45		25.00		35.00	35.00	6.50	35.00	36.0	46			
50	33.00	40.00	40.00	7.00	40.00	41.0	50					
56	38.00	45.00	45.00	8.00	45.00	46.0	52					
6	HAP40	6	16	1.20	3.00	3.00	1.00	3.00	1.00	3.4	9	
8		1.20		4.00	4.00	1.00	4.00	4.4	11			
10		2.00		6.00	6.00	1.20	6.00	6.4	13			
13		3.00		8.00	8.00	1.50	8.00	8.4	16			
16		5.00		10.00	10.00	2.00	10.00	10.6	19			
20		7.00		12.00	12.00	3.00	12.00	12.6	23			
25		10.00		15.00	15.00	3.00	15.00	16.6	28			

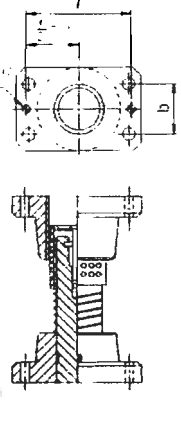
	Order	Catalog No.	ØD	-	L	-	P	-	W	-	R (E only)
	BHA	13	-	30	-	P7.00					

รูปที่ 3.8 แบบมาตรฐานของ Die

ชนิดธรรมดา (Standard Type)
GPSB (เปลือกกลูบีนพลาสติก) (Plastic Ball Retainer)
GPSB-A (เปลือกกลูบีนอลูมิเนียม) (Aluminum Ball Retainer)



ชนิดมีรูโดเวล (With Dowel Holes)
GPBP (เปลือกกลูบีนพลาสติก) (Plastic Ball Retainer)
GPBP-A (เปลือกกลูบีนอลูมิเนียม) (Aluminum Ball Retainer)




OD	OD1	A	B	a	b	od	H	H1	T	r	eH7		S
20	26	74	44	56	30	6.6	30	50	15	56	6	+0.012 0	50
25	31	84	48	66	30	9	30	50	20	66	8		50
32	40	100	58	76	36	11	40	60	20	76	+0.010	8	60
38	48	130	75	100	44	11	50	70	25	100		10	70
50	60	155	90	125	60	14	65	90	25	125		10	90

ขนาดของสกรู และ Dowel Pin ที่ใช้ในตัวไกด์โพสต์กับแบริ่ง (Sizes of suitable cap screws and dowel pins)

OD	สกรู (Cap screw)	DOWEL PIN
20	M6-30	DPT 06-20
25	M8-35	DPT 08-30
32	M10-40	
38	M10-45	DPT 010-40
50	M12-50	

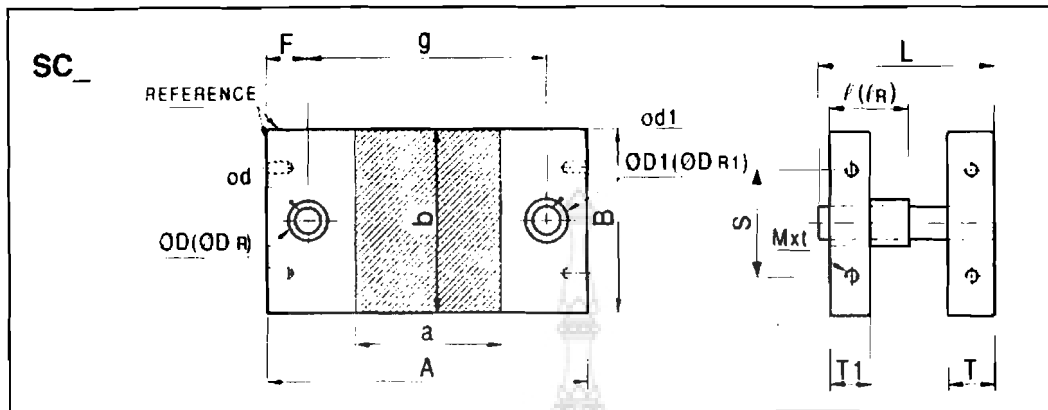
ส่วนประกอบของชุดไกด์โพสต์แบบลูกปืน 1 ชุด
 (Part for 1 set of guide post set)



- M** SUJ-2
- H** HRC 62±2
- M** FC 250
- M** พลาสติก POM หรือ Aluminum
- M** SUJ-2
- H** HRC 62±2
- Inducter hardened
- M** FC 250

ไกด์โพสต์ธรรมดาและลูกปืน เหมาะสำหรับแม่พิมพ์ที่ใช้งานด้วยความเร็วสูง เนื่องจากเป็นลูกปืน การถอดและประกอบแผ่นฐานด้านบนจึงทำได้ง่ายและคล่อง ไกด์โพสต์ประเภทนี้ไม่มีฝาครอบกันปลอกลูกปืนหลุด จึงเหมาะกับแม่พิมพ์ที่มีระยะชักค่อนข้างสั้นและ ไคเซทที่เมื่อยึดเข้ากับเครื่องปั๊มแล้วเสากไกด์โพสต์ไม่สามารถวิ่งเลยแผ่นบนของ ไคเซทได้ ใช้ได้กับแม่พิมพ์คัตเป็นหลัก

รูปที่ 3.9 ไกด์โพสต์แบบลูกปืน



บุชชิ่งเหล็ก (Steel bushing) บุชชิ่งลูกปืน (Ball bearing bushing)

SIZE		น้ำหนัก kgs.	A	B	F	g	T1	T	od	od1	oD	oD1	f	oD _m	oD _{m1}	f _R	L	Mxt	S
a	b																		
100	100	11	210	100	30	150	30	35	20	22	31	34	60	37	40	60	140	-	-
125		12	230			170													
160		17	280			210													
180		19	300			230													
200		20	320			250													
230		22	350			280													
250		23	380			310													
300		26	420			350													
125	125	19	250	125	35	180	35	40	25	28	37	40	67	44	48	75	150	-	-
160		22	280			210													
180		23	300			230													
200		25	320			250													
230		27	350			280													
250		29	380			310													
300		32	420			350													
350		46	500			420													
400	50	550	470																
160	160	27	280	160	35	210	35	40	25	28	37	40	67	44	48	75	150	-	-
180		29	300			230													
200		31	320			250													
230		34	350			280													
250		37	380			310													
300		52	450			370													
350		58	500			420													
400		64	550			470													
450	69	600	520																
180	180	33	300	180	35	230	35	40	25	28	37	40	67	44	48	75	150	-	-
200		35	320			250													
230		38	350			280													
250		52	400			320													
300		59	450			370													
350		65	500			420													
400	71	550	470																

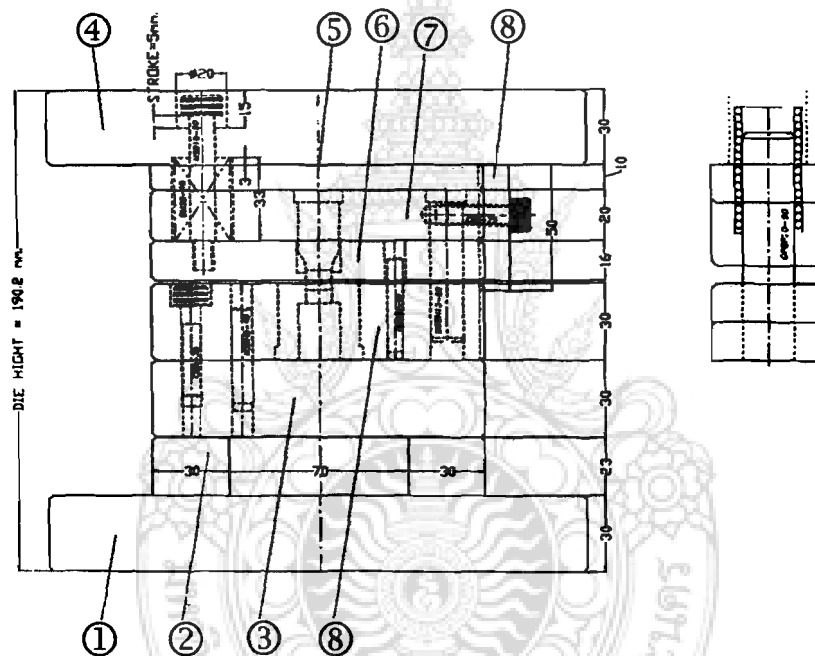
รูปที่ 3.10 แบบมาตรฐานโคเซท

3.2.2 ผลิตชิ้นส่วนมาตรฐานของแม่พิมพ์ตัด (Blanking Die)

3.2.2.1 ชนิดของแม่พิมพ์ตัดที่ใช้ในการทดลองเป็นแม่พิมพ์ขนาดเล็ก ซึ่งมีไกด์โพสต์ 2 เสา มี ลูกปืน Stopper และตัวตัดชิ้นงานด้านหลัง

3.2.2.2 การทำงานเมื่อแผ่นชิ้นงานเลื่อนไปชนตัว Stripper ตัวตัดชิ้นงานจะเลื่อนตัดเศษทิ้ง ในการป้อนชิ้นงานจะใช้มือป้อนชิ้นงานเข้าและใช้เท้าเหยียบตัวเครื่องเพรสตัดชิ้นงานทิ้งที่ละจังหวะการทำงาน

3.2.2.3 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ตัด



รูปที่ 3.11 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ตัด

1. Lower Plate	วัสดุที่ใช้	SS41
2. Lower Support	วัสดุที่ใช้	SS41
3. Die Holder	วัสดุที่ใช้	SS41
4. Punch Holder	วัสดุที่ใช้	SS41
5. Punch Backing	วัสดุที่ใช้	S50C
6. Stripper Plate	วัสดุที่ใช้	S50C
7. Punch Plate	วัสดุที่ใช้	S50C
8. Die Plate	วัสดุที่ใช้	S50C
9. Scrap Cutter	วัสดุที่ใช้	S50C

3.2.3 ประกอบแม่พิมพ์ตัด (Blanking Die)

ในการประกอบแม่พิมพ์ตัดได้นำชิ้นส่วนมาตรฐาน ทั้งหมดมาประกอบกับเป็นชุดแม่พิมพ์ตัด แล้วนำพื้นที่และคายที่ผ่านการทำผิวสำเร็จแล้วมาประกอบเข้ากับชุดแม่พิมพ์

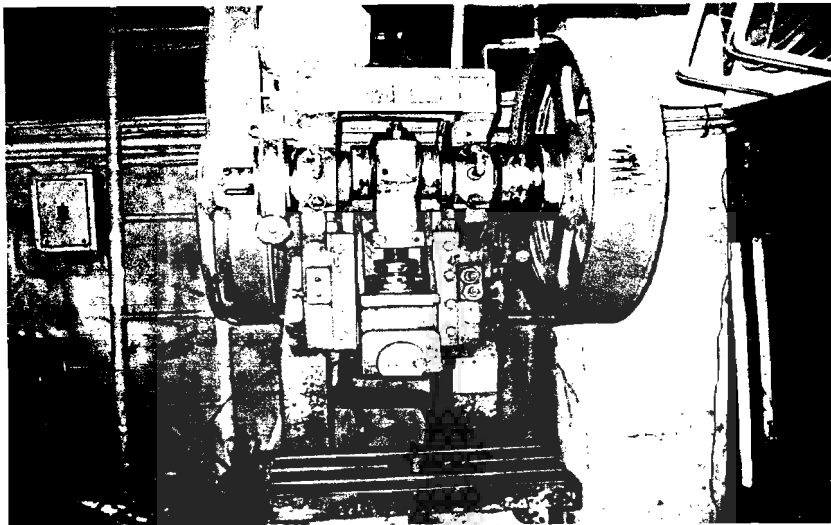
3.2.3.1 ตรวจสอบการประกอบของพื้นที่และคาย

- 1) ตรวจสอบการปรับระยะของแม่พิมพ์ โดยการใช้เวอร์เนียวัดขนาดระยะของพื้นที่เพลท และ Die เพลท เช็กระยะไกด์โพสท์, เช็กระยะความยาวของสปริง
- 2) ใช้แผ่นกระดาษรองตัดระหว่างพื้นที่กับคาย เพื่อทดสอบระยะช่องว่างให้แน่นอน แล้วสังเกตรอยฉีกรอบวงกลมให้มีความสม่ำเสมอ

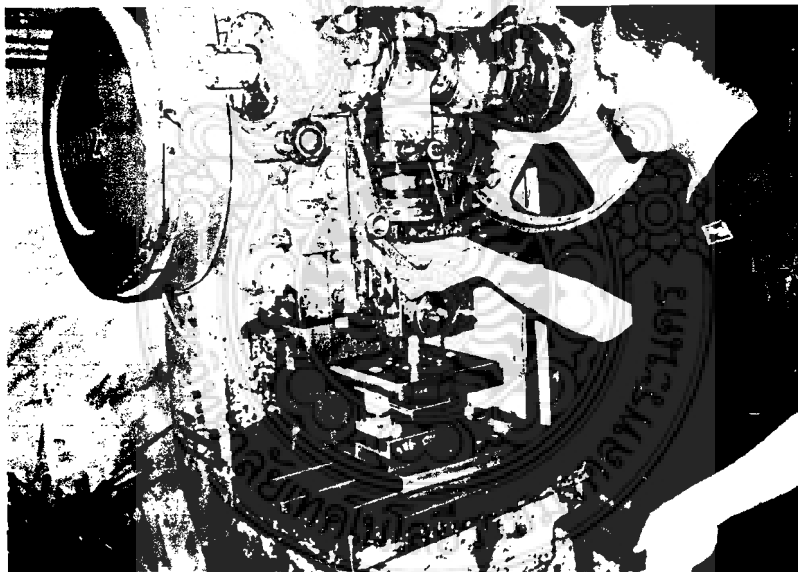
3.2.3.2 ทดลองแม่พิมพ์ หลังจากตรวจสอบการปรับระยะของแม่พิมพ์เรียบร้อยแล้ว นำชุดแม่พิมพ์ไปติดตั้งบนเครื่องเพรสขนาด 25 ตัน ระยะช่วงชัก 100 mm. รอบวัดต่อนาที 145 S.P.M. ระยะปรับหัวปั๊ม ขึ้น-ลง เท่ากับ 100 mm. ขนาดของรูจับด้านพิมพ์เส้นผ่านศูนย์กลาง 32 mm. ระยะชักหน้าแทนถึงหัวปั๊ม 190 mm. และทำการทดลองตัดชิ้นงาน โดยไม่มีการหล่อลิ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่เท่ากับ 10 mm. คายเท่ากับ 10.2 mm ในการตัดวัสดุแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีความหนา 1.13 mm.



รูปที่ 3.12 แม่พิมพ์ตัด (Blanking Die)



รูปที่ 3.13 เครื่อง Press ขนาด 25 ตัน



รูปที่ 3.14 การติดตั้งแม่พิมพ์กับเครื่อง Press

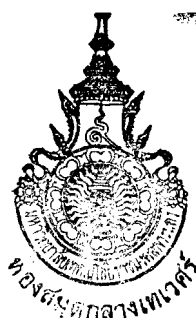
3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 ทำการชุบแข็ง Punch และ Die

ในการอบชุบเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น Vanadis 4 ได้ทำการศึกษาดังนี้

3.3.1.1 อุณหภูมิให้ความร้อนสำหรับอุณหภูมิ Pre Heat ของเหล็กกล้าเครื่องมืองาน

เย็น Vanadis 4 จะทำการ Pre-Heat 2 ช่วง



1) ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ใช้เวลานาน 1 : 40 ชั่วโมง

2) ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ใช้เวลานาน 1 : 25 ชั่วโมง

3.3.1.2 อุณหภูมิ Austenite ในการชุบแข็งเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น Vanadis 4 ที่อุณหภูมิ Austenite 1030 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 1 ชั่วโมง 40 นาที

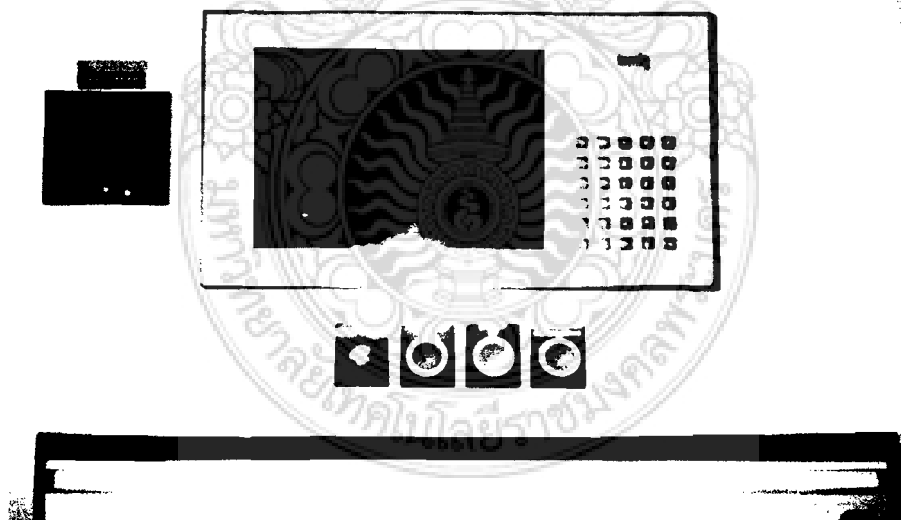
3.3.1.3 การ Quenching สำหรับตัวกลางที่ใช้ทำให้เหล็กเย็นตัว ของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น Vanadis 4 มีการใช้อยู่ 3 อย่าง คือ สูญญากาศ (แก้สความเร็วสูงที่ความดันสูงเพียงพอ) อ่างมาร์เทมเปอร์ริง (Mar tempering Bath) หรือฟลูอิดไดซิเบด (Fluidized Bed) ที่อุณหภูมิ 500-550 องศาเซลเซียส อ่างมาร์เทมเปอร์ริง (Mar tempering Bath) หรือตามฟลูอิดไดซิเบด (Fluidized Bed) ที่อุณหภูมิ 200-350 องศาเซลเซียส สำหรับในโครงการนี้ได้ใช้เตา Vacuum เป็นอุปกรณ์ในการอบชุบโดยใช้สูญญากาศสาร N₂ เป็นตัวกลางซึ่งความดันที่ใช้ (Pressure) 3 บาร์ (Bars)



รูปที่ 3.15 แสดงภาพของเตาอบชุบสูญญากาศ (Vacuum furnace)

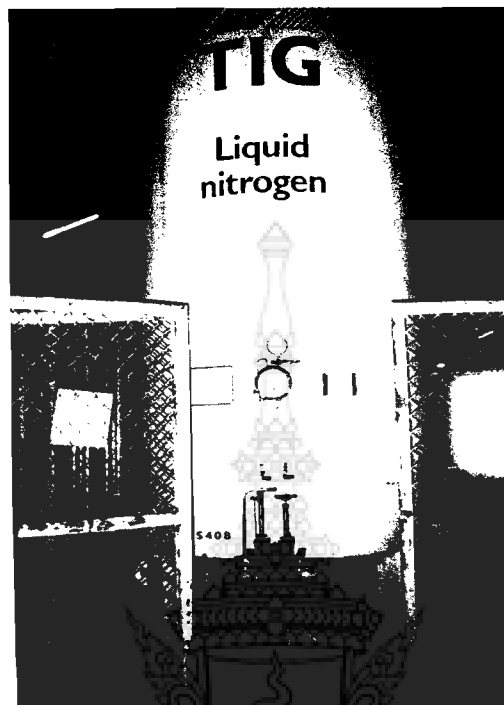


รูปที่ 3.16 แสดงภาพชิ้นงานในเตาอบซูบ



รูปที่ 3.17 เครื่อง Control เตาอบซูบ

3.3.1.4 อุณหภูมิต่ำ (Sub-Zero Tempering) ในการทดลองได้ทำการ (Sub-Zero) ที่อุณหภูมิต่ำ (-192 องศาเซลเซียส) ใช้เวลา 4 ชั่วโมง โดยใช้ Liquid nitrogen และใช้ Thermocouple เป็นตัววัดอุณหภูมิต่ำ



รูปที่ 3.18 Liquid nitrogen

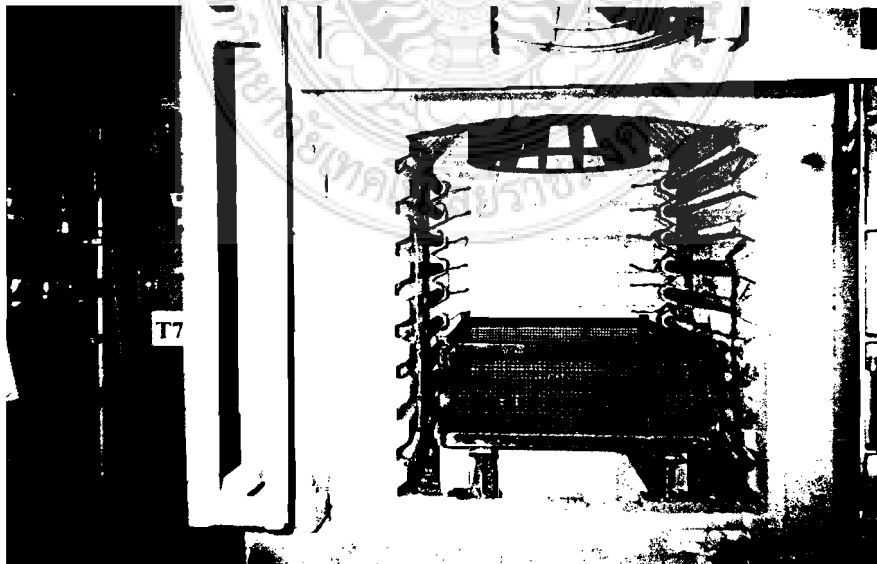


รูปที่ 3.19 แสดงการต่อสาย Thermocouple



รูปที่ 3.20 การทำ Sub-Zero

3.3.1.5 อุณหภูมิการอบคืนตัว (Tempering) ทำการอบคืนตัวของเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น Vanadis 4 จะต้องมีการเลือกอุณหภูมิอบคืนตัวให้สอดคล้องกับความแข็งที่ต้องการ โดยทำการอบคืนตัว 2 ครั้ง และปล่อยให้เย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้องในโครงการนี้ได้เลือกการอบคืนตัว คือ 525 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2 ชั่วโมง 2 ครั้ง



รูปที่ 3.21 ภายในเตา Tempering

3.3.2 ทดสอบความแข็งหลังการอบชุบ

เมื่อทำการอบชุบ Punch และ Die ในหัวข้อที่ 3.3.1 แล้ว ได้ทำการทดสอบความแข็งของ Punch และ Die ดังนี้

3.3.2.1	พื้นซ์	หลังทำการ Preheat-Austenite	ได้ความแข็ง 60.1 HRC
	คาย	หลังทำการ Preheat-Austenite	ได้ความแข็ง 60.2 HRC
3.3.2.2	พื้นซ์	หลังการทำ Sub Zero Tempering	ได้ความแข็ง 61.2 HRC
	คาย	หลังการทำ Sub Zero Tempering	ได้ความแข็ง 60.4 HRC

จะต้องนำพื้นซ์และคาย มาทำการแตกต่างผิวสำเร็จ โดยการเจียรระโนผิวของพื้นซ์และคาย ด้วยเครื่องเจียรระโนเพลากลมจะได้ขนาดพื้นซ์ 10 mm. และคายขนาด 10.20 mm.



รูปที่ 3.22 การวัดค่าความแข็ง

3.4 การทดลองและการบันทึกผลการทดลอง

3.4.1 เงื่อนไขการทดสอบ

3.4.1.1 การตรวจสอบชิ้นงานที่ปัดเป็นรูปเหรียญกลมในแต่ละช่วงโดยมีระยะการเก็บชิ้นงานที่เป็นรูปเหรียญกลมนำไปตรวจสอบดังนี้ 1-10, 11-20, 501-510, 1001-1010, 2491-2500, 4985-4994, 5001-5010, 7485-7494, 7501-7510, 9985-9994, 10001-10010, 12485-12494, 12501-12510, 14985-14994, 15001-15010, 17485-17494, 17501-17510, 19985-19994 และนำชิ้นงานทุกชิ้นไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก OHAUS Analytical Plus Electronic Balance เป็นเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.001 กรัม และได้นำชิ้นงานช่วงละ 10 ชิ้น ของช่วงที่ 1-10, 4985-4994, 9985-9994, 14985-14994, 19985-19994 ไปทำการวัดค่าความสูงของ Cut band ด้วยเครื่อง Measuring Micro Scope

3.4.1.2 นำพื้นซ์และคายไปทำการวัดค่าและตรวจสอบ

1) ก่อนนำชิ้นส่วนพื้นซ์และคายไปทำการทดลองและบันทึกข้อมูลต้องทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ เอทานอล 70%

2) การบันทึกผลการวัดโดยใช้เครื่องมือประกอบดังนี้

ก) เครื่องชั่งน้ำหนัก OHAUS Analytical Plus Electronic Balance เป็นเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.0001 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 3.21

ข) บันทึกภาพถ่ายของพื้นซ์และคายโดยการใช้กล้อง Reflected Light Microscope Axiotech กำลังขยาย 90 เท่า ที่ 0 องศาเซลเซียส และ 90 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3.22

ค) วัดค่าการสึกหรอของจากเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นซ์ก่อนและหลังทดสอบโดยใช้เครื่อง Measuring Micro Scope ดังแสดงในรูปที่ 3.23

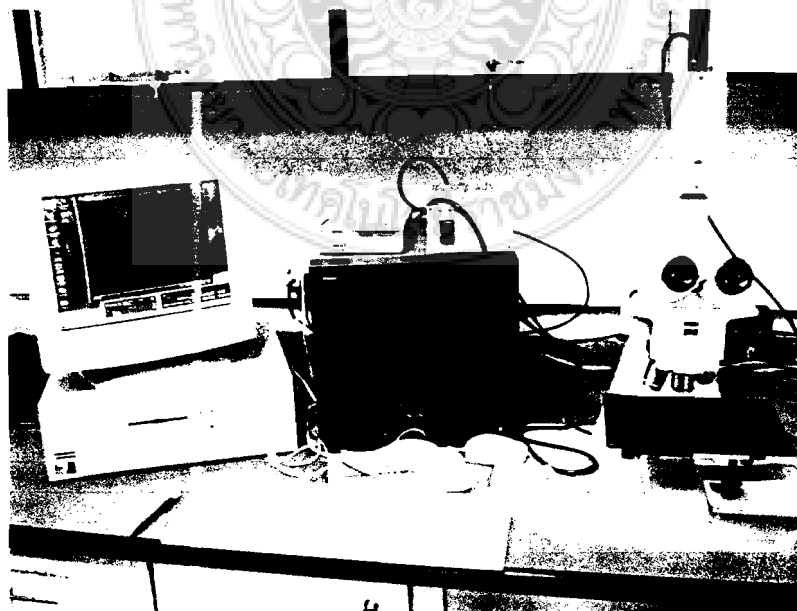
ง) บันทึกภาพถ่ายของพื้นซ์ด้วยเครื่อง SEM บริเวณคมตัด ดังแสดงในรูปที่ 3.24

3.4.2 บันทึกรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

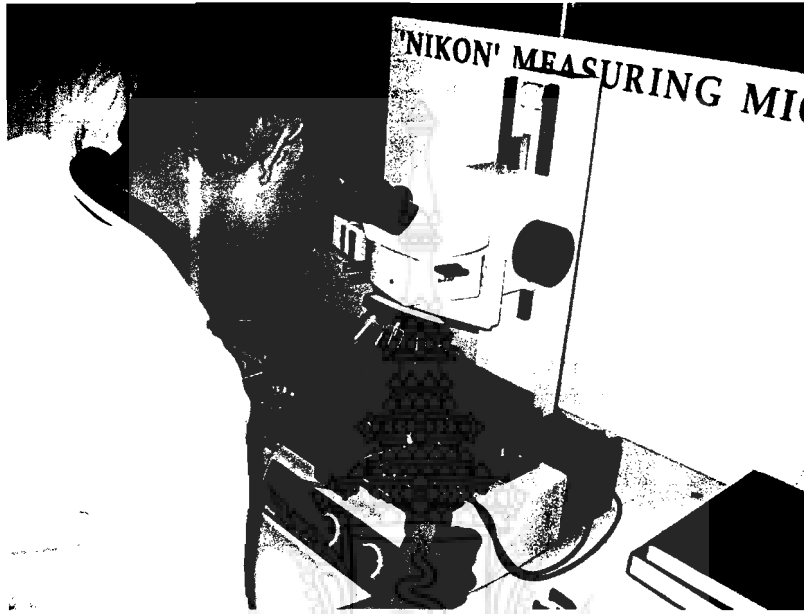
ในการบันทึกข้อมูลได้กำหนดวิธีการบันทึกผลการทดลอง เกี่ยวกับระยะการสึกหรอของ Punch , Die ชิ้นงาน ตั้งแต่เริ่มปัดชิ้นงานตลอดการทดลองและบันทึกภาพการทำงานและรายละเอียดของงานที่จำเป็นตั้งแต่เริ่มทำการทดลองปัดเป็นลำดับไปถึงครั้งที่ 5000, 7500, 10000, 12500, 15000, 17500 และ 20000 โดยทุก ๆ 2,500 ครั้ง ต้องตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงเพื่อนำผลมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง พิจารณาแนวโน้ม โดยกราฟเส้น กราฟท่ง และการวิเคราะห์ผลดังแสดงในบทที่ 4 ต่อไป



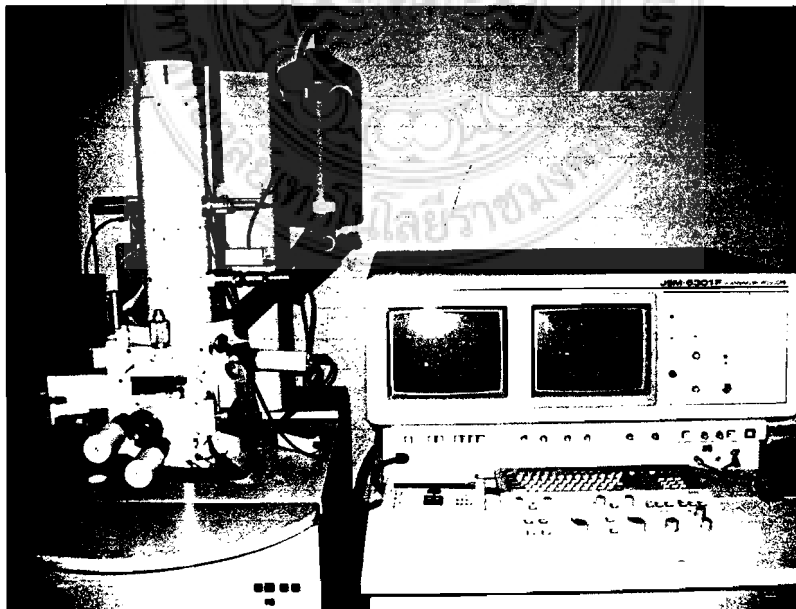
รูปที่ 3.23 เครื่องชั่งน้ำหนัก OHAUS Analytical Plus Electronic Balance ความละเอียด 0.001 g.



รูปที่ 3.24 กล้อง Reflected Light Microscope Axiotech กำลังขยาย 90 เท่า



รูปที่ 3.25 เครื่อง Measuring Micro Scope



รูปที่ 3.26 เครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope)

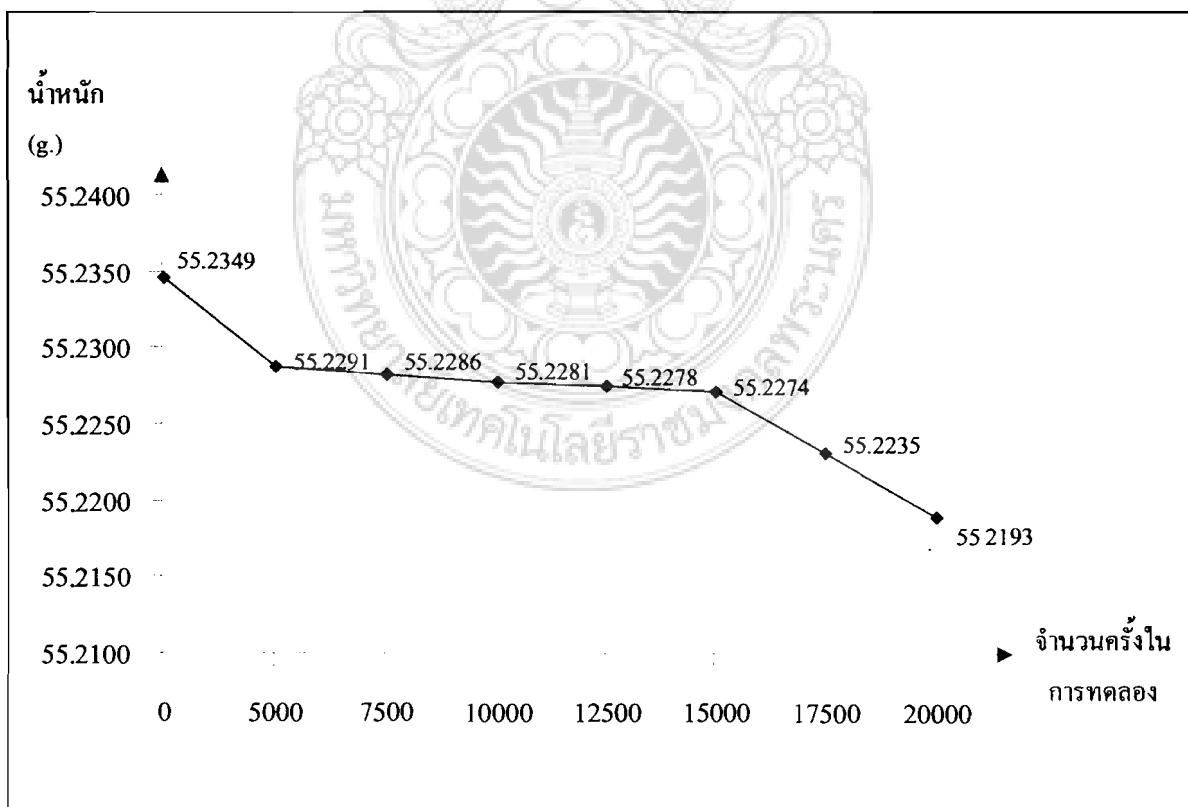
บทที่ 4

ผลการทดลอง

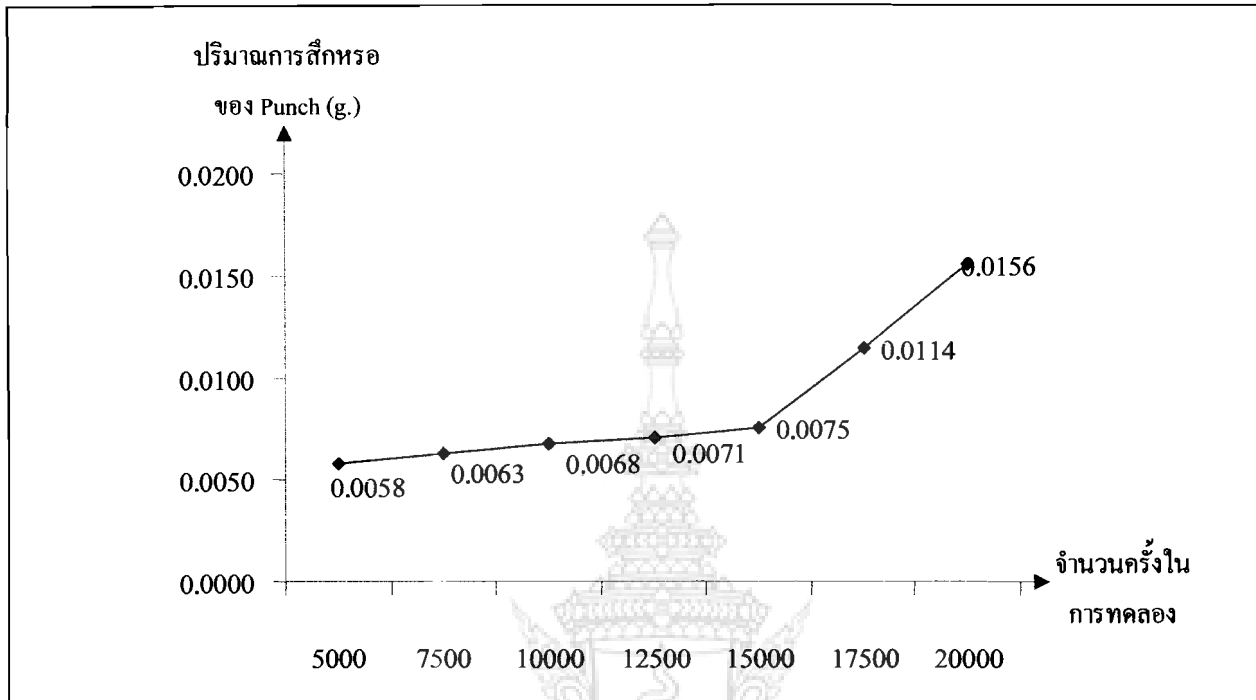
4.1 ผลการทดลองแม่พิมพ์ที่ผ่านการเย็นตัวที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

การทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัดที่ใช้งานกับวัสดุเหล็กแผ่น โดยใช้วัสดุแม่พิมพ์สำหรับ Punch และ Die Vanadis 4 สำหรับการทดสอบชนิดของเหล็กแผ่น JIS วัสดุมีความหนา 1.13mm. ค่าระยะช่องว่างระหว่าง Punch และ Die เท่ากับ 8% ของความหนาของแผ่น วัสดุโดยใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Punch และ Die คือ 10 mm. ประกอบกับชุดแม่พิมพ์ แล้วติดตั้งบนเครื่องปั๊มข้อเหวี่ยงขนาด 25 ตัน เพื่อทำการปั๊มตัดวัสดุชิ้นงาน

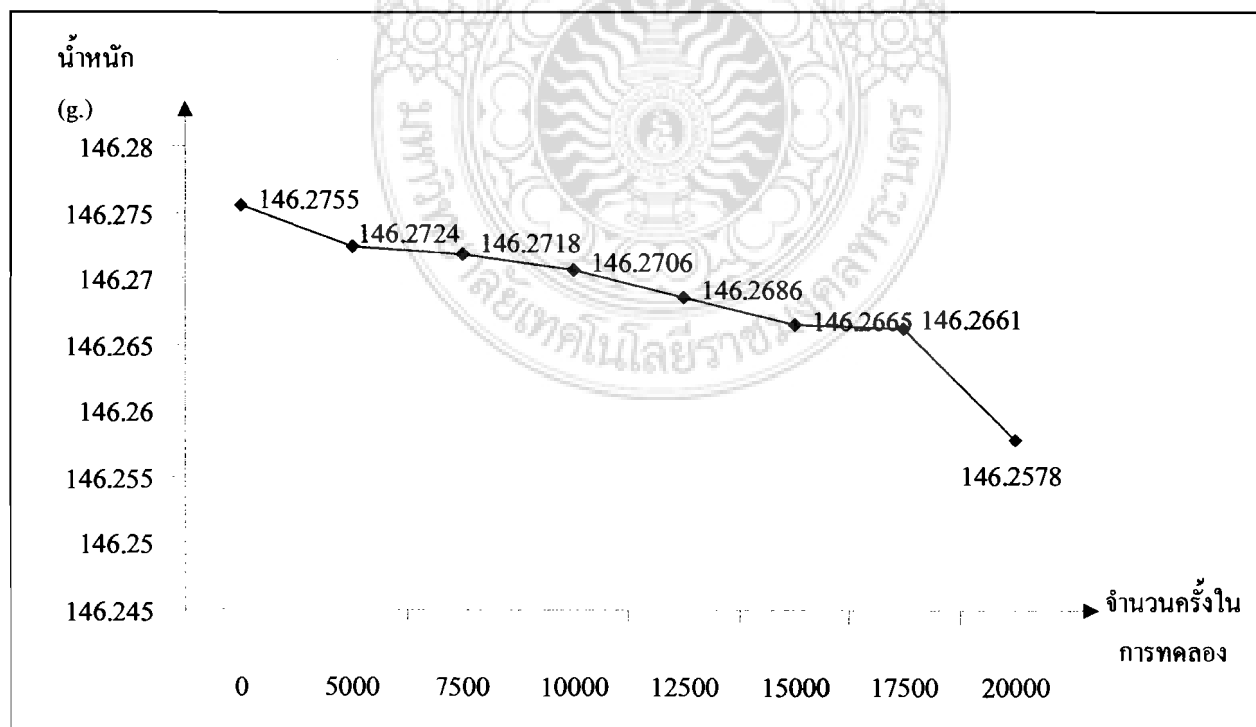
4.1.1 ผลการทดสอบการชั่งน้ำหนักของ Punch และ Die



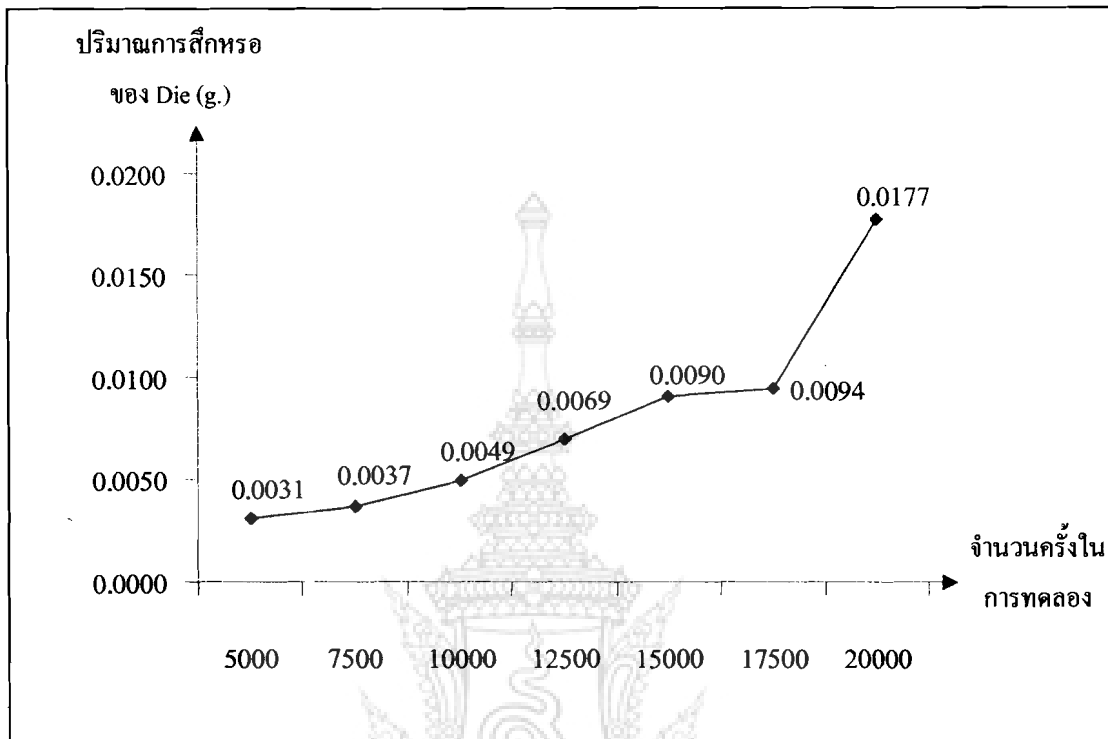
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลชั่งน้ำหนักของ Punch



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการสึกหรอของ Punch โดยการชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลชั่งน้ำหนักของ Die

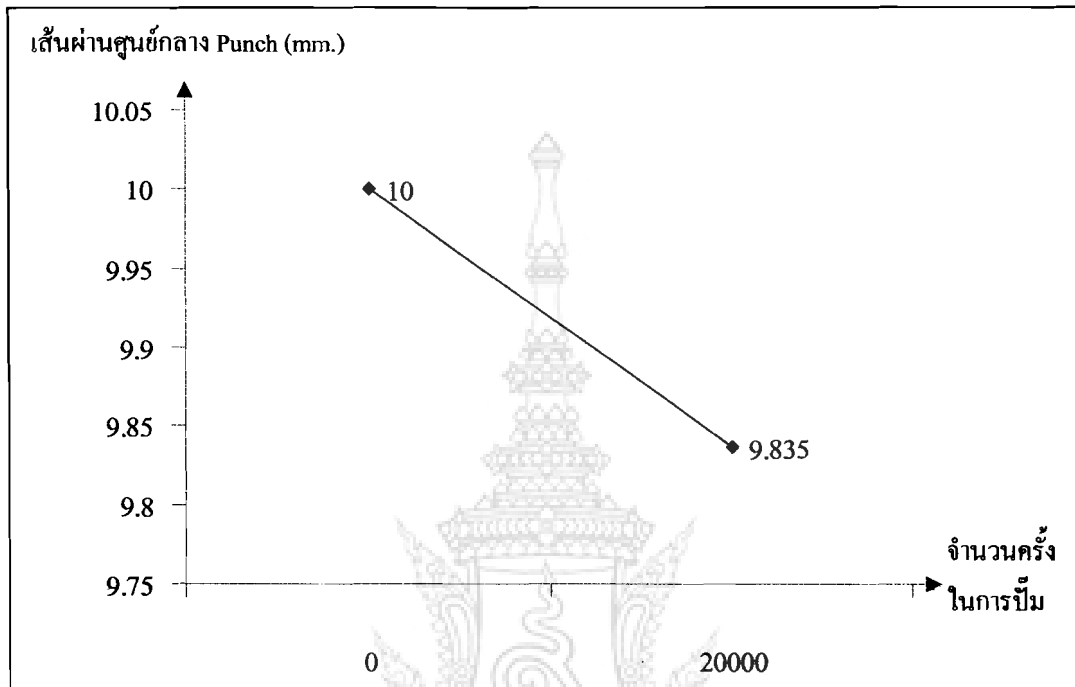


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการสึกหรอของ Die โดยการชั่งน้ำหนัก

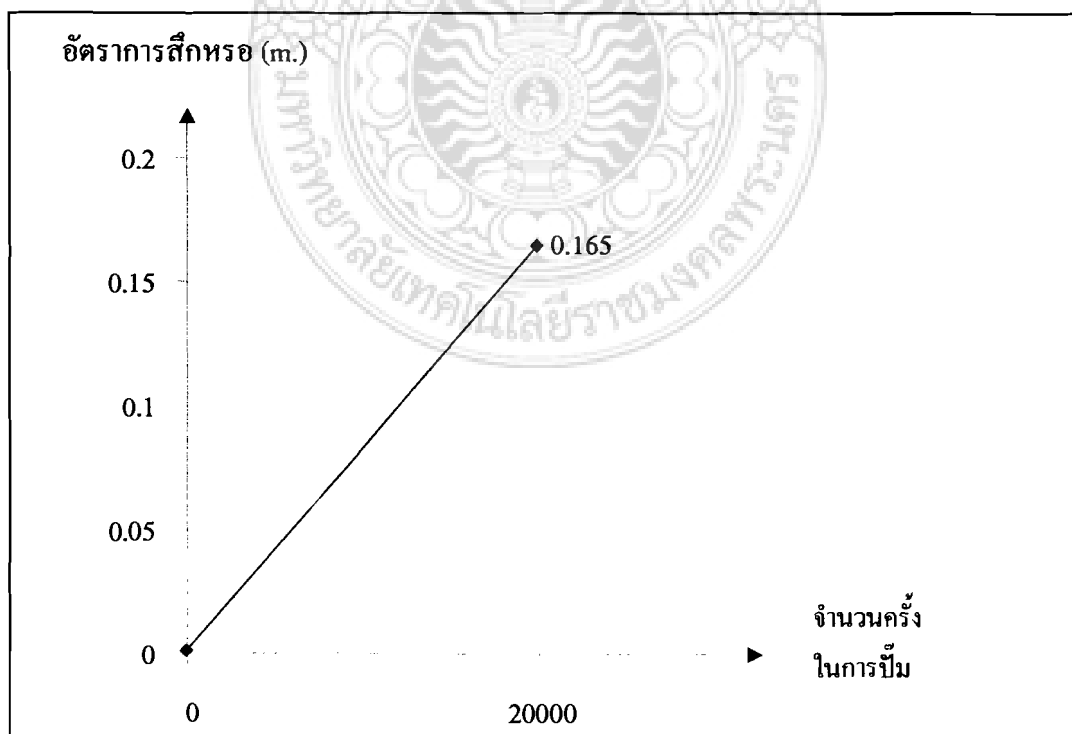
จากรูปที่ 4.1 และ 4.3 เป็นกราฟแสดงผลน้ำหนักของ Punch และ Die กราฟที่ได้เป็นค่าของน้ำหนัก Punch และ Die ก่อนทำการทดสอบ แล้วทำการทดสอบป้อนตัดชิ้นงานจนถึงขั้นที่ 5000,7500,10000,12500,15000,17500 และ 20000 แล้วนำ Punch และ Die ไปชั่งน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.2 และ 4.4 เป็นกราฟแสดงการสึกหรอของ Punch และ Die จากน้ำหนักที่หายไป

4.1.2 การวัดการสึกหรอของ Punch

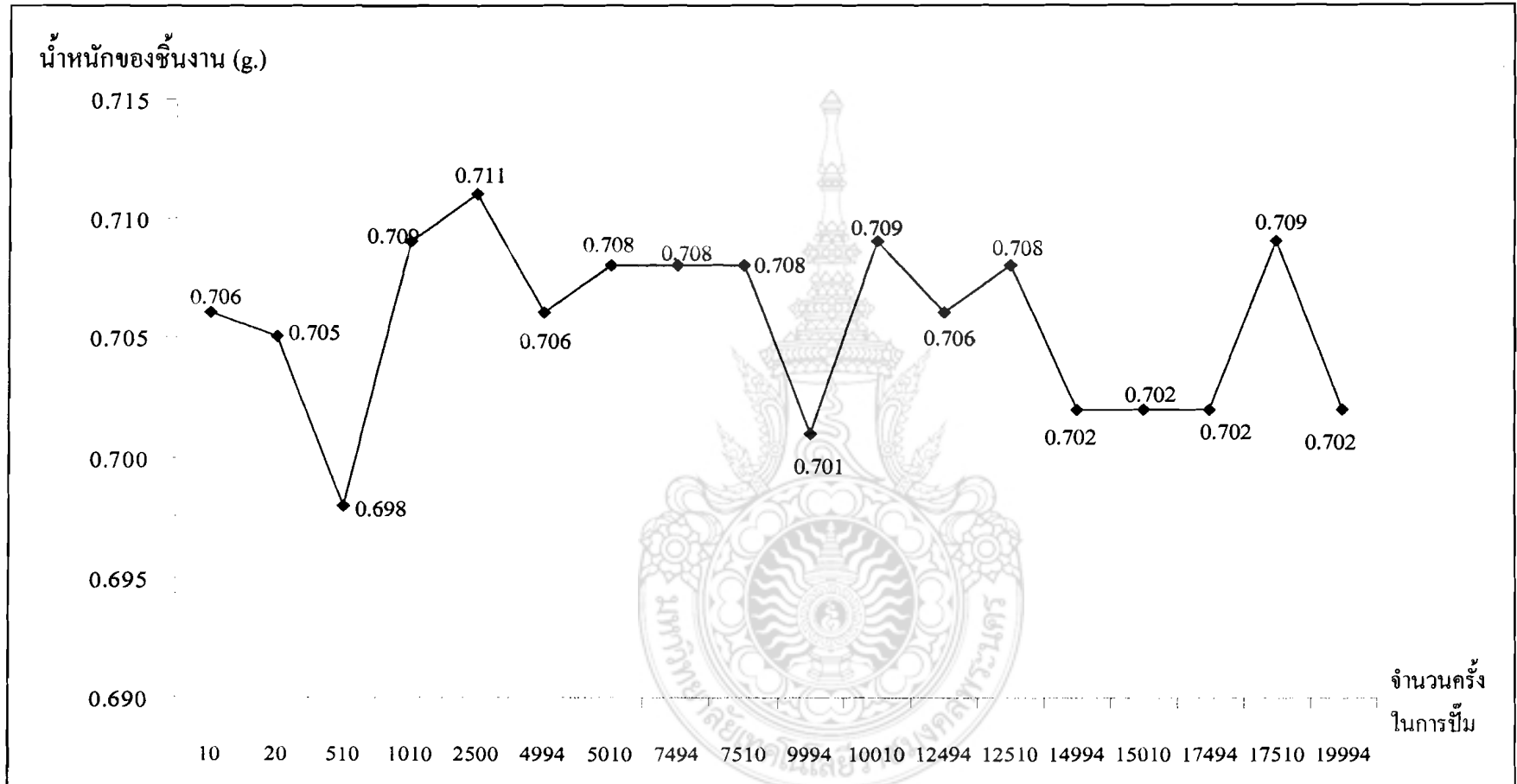


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของ Punch

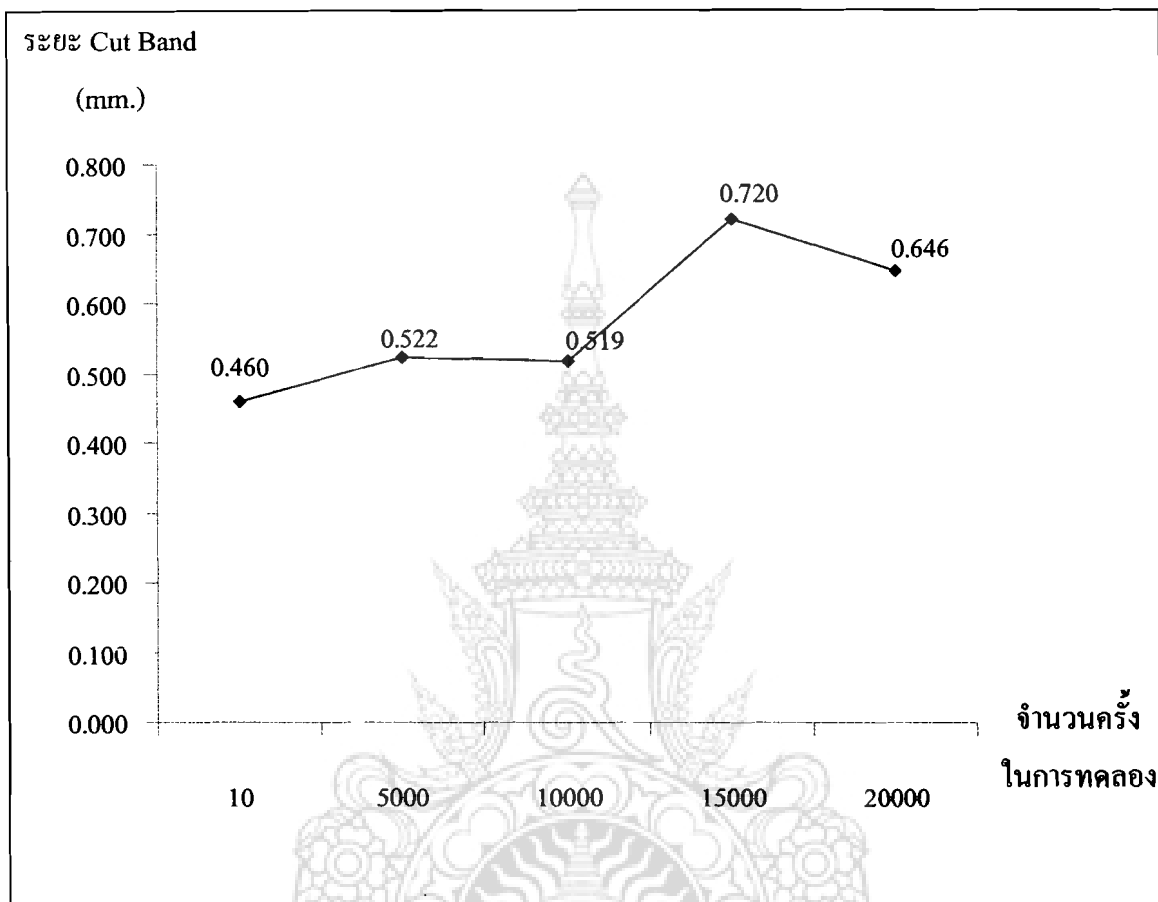


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการสึกหรอจากเส้นผ่านศูนย์กลาง Punch

4.1.3 การชั่งน้ำหนักของชิ้นงาน



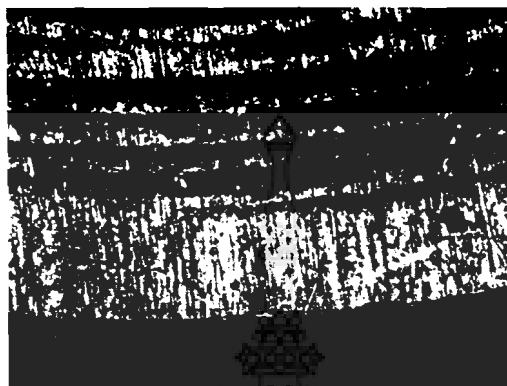
รูปที่ 4.7 กราฟน้ำหนักของชิ้นงาน



รูปที่ 4.8 ระยะ Cut Band ของเศษชิ้นงาน

ในการวัดระยะ Cut Band ได้กำหนดช่วงในเก็บเศษที่จะนำมาวัดคือ 1-10, 4985-4994, 9985-9994, 14985-14994 และ 19985-19994 ในแต่ละช่วงได้ทำการหาค่าเฉลี่ยของระยะ Cut Band ออกมาดังรูปที่ 4.8 โดยในการวัดระยะ Cut Band ได้ใช้เครื่อง Measuring Micro scope ในการวัดค่า และได้ทำการถ่ายภาพด้วยกำลังขยาย 63 เท่า ในหัวข้อที่ 4.1.14

4.1.4 ภาพพื้นผิวของ Punch และ Die ก่อนการใช้งานที่มุม 0 องศา



รูปที่ 4.9 Punch. ก่อนการใช้งาน กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

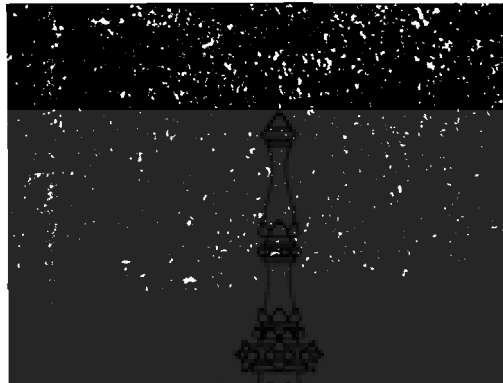


รูปที่ 4.10 Punch. ก่อนการใช้งาน กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง

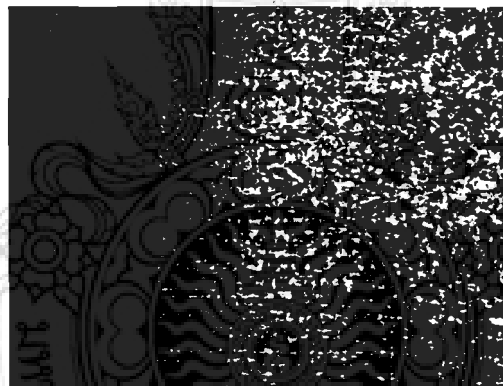


รูปที่ 4.11 Die ก่อนการใช้งาน กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

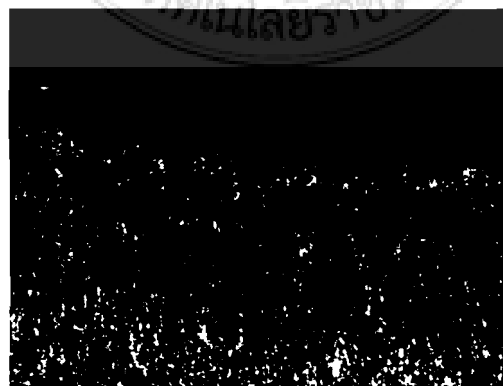
4.1.5 ภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 5,000 ครั้ง ที่มุม 0 องศา



รูปที่ 4.12 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 5,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

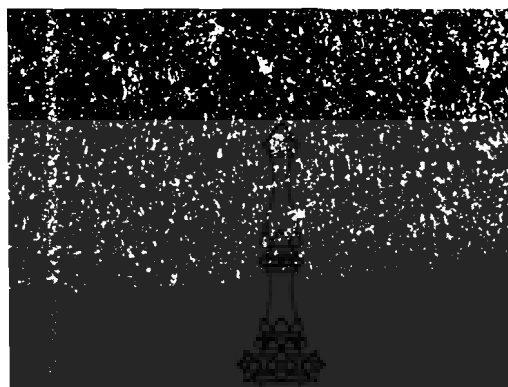


รูปที่ 4.13 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 5,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง



รูปที่ 4.14 Die ผ่านการปั๊มที่ 5,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

4.1.6 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 7,500 ครั้ง ที่มุม 0 องศา



รูปที่ 4.15 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 7,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

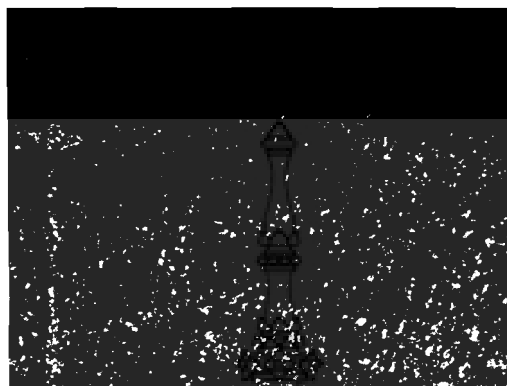


รูปที่ 4.16 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 7,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง

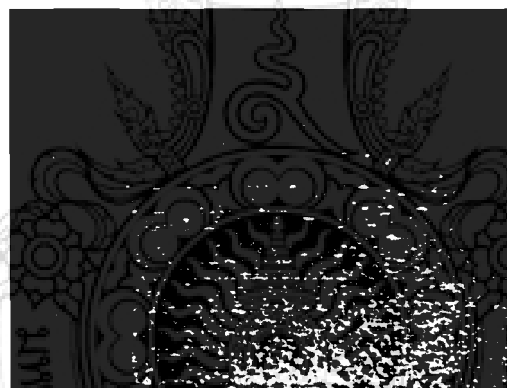


รูปที่ 4.17 Die ผ่านการปั๊มที่ 7,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

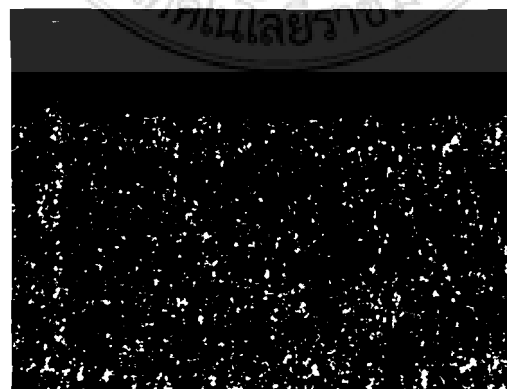
4.1.7 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 10,000 ครั้ง ที่มุม 0 องศา



รูปที่ 4.18 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 10,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

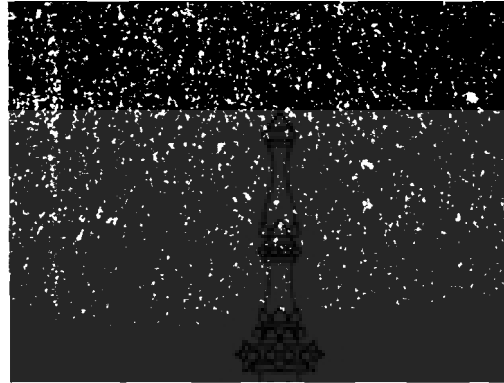


รูปที่ 4.19 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 10,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง

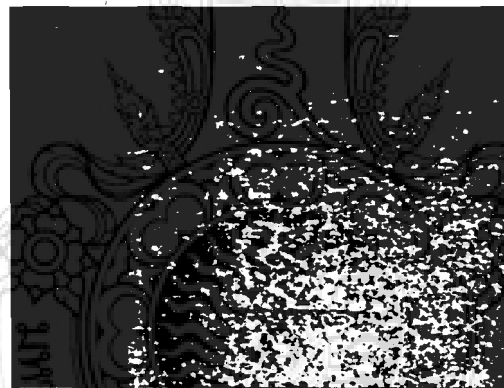


รูปที่ 4.20 Die ผ่านการปั๊มที่ 10,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

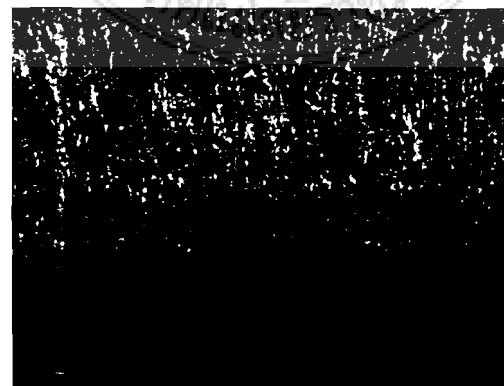
4.1.8 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 12,500 ครั้ง ที่มุม 0 องศา



รูปที่ 4.21 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 12,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

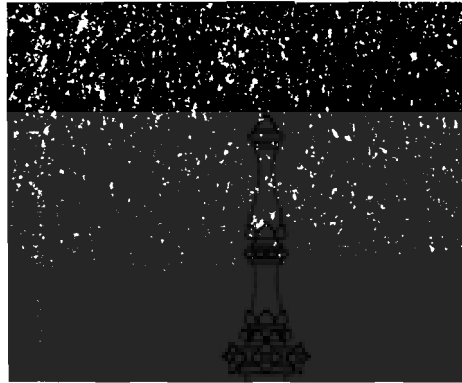


รูปที่ 4.22 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 12,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง



รูปที่ 4.23 Die ผ่านการปั๊มที่ 12,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

4.1.9 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 15,000 ครั้ง ที่มุม 0 องศา



รูปที่ 4.24 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 15,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

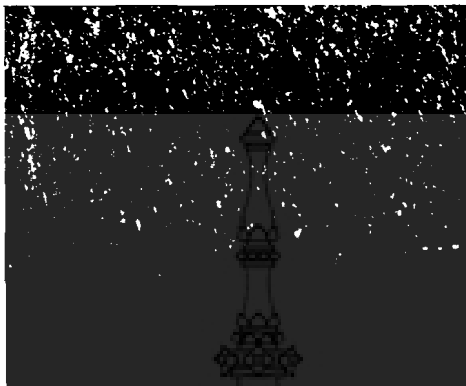


รูปที่ 4.25 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 15,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง



รูปที่ 4.26 Die ผ่านการปั๊มที่ 15,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

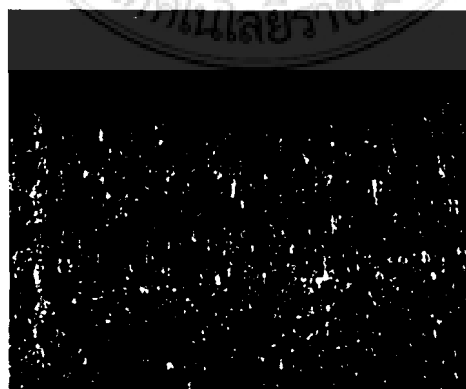
4.1.10 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 17,500 ครั้ง ที่มุม 0 องศา



รูปที่ 4.27 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 17,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

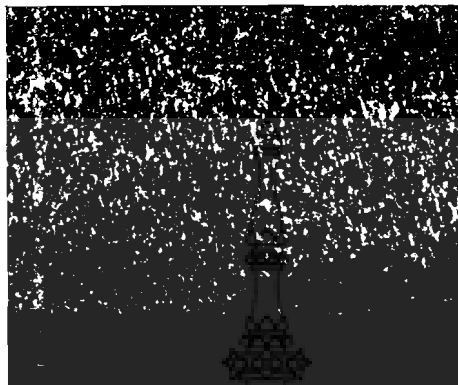


รูปที่ 4.28 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 17,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง



รูปที่ 4.29 Die ผ่านการปั๊มที่ 17,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

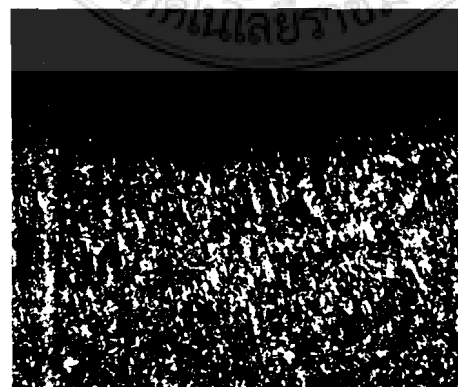
4.1.11 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 20,000 ครั้ง ที่มุม 0 องศา



รูปที่ 4.30 Punch ผ่านการปั๊มที่ 20,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

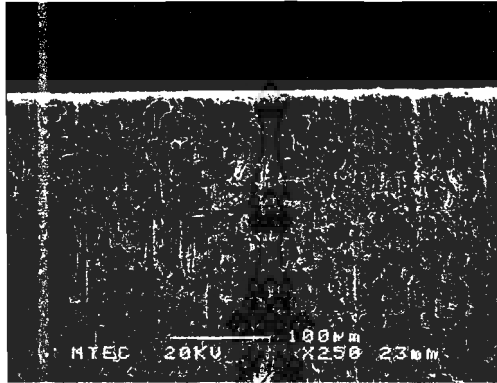


รูปที่ 4.31 Punch ผ่านการปั๊มที่ 20,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง



รูปที่ 4.32 Die ผ่านการปั๊มที่ 20,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

4.1.12 ภาพพื้นผิวของ Punch ที่ผ่านการปั๊มตัดที่ 10,000 โดยใช้เครื่อง SEM ที่มุม 0 องศา

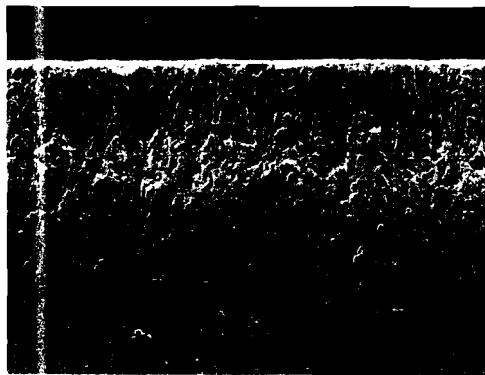


รูปที่ 4.33 รูปถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 250 เท่า, Punch ผ่านการปั๊มที่ 10,000 ด้านข้าง

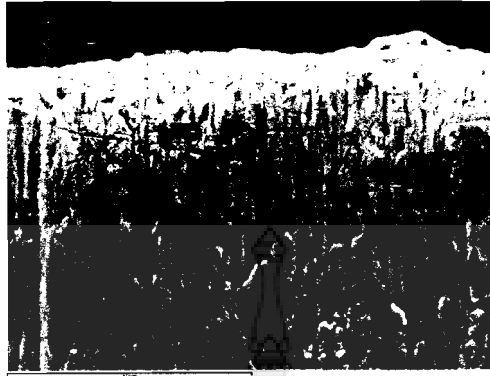


รูปที่ 4.34 รูปถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า, Punch ผ่านการปั๊มที่ 10,000 ด้านข้าง

4.1.13 ภาพพื้นผิวของ Punch ที่ผ่านการปั๊มตัดที่ 20,000 โดยใช้เครื่อง SEM ที่มุม 0 องศา



รูปที่ 4.35 รูปถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 200 เท่า, Punch ผ่านการปั๊มที่ 20,000 ด้านข้าง



รูปที่ 4.36 รูปถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า, Punch ผ่านการปั๊มที่ 20,000 ด้านข้าง

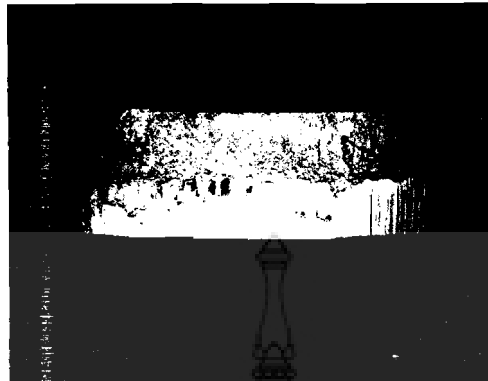
4.1.14 สภาพพื้นผิวของเศษชิ้นงาน



รูปที่ 4.37 เศษชิ้นงานช่วงที่ 10 ชั้นแรก กำลังขยาย 63 มี Cut Band 41%



รูปที่ 4.38 เศษชิ้นงานช่วงที่ 5,000 กำลังขยาย 63 เท่า มี Cut Band 46.19%



รูปที่ 4.39 เศษชิ้นงานช่วงที่ 10,000 กำลังขยาย 63 เท่า มี Cut Band 46%



รูปที่ 4.40 เศษชิ้นงานช่วงที่ 15,000 กำลังขยาย 63 เท่า มี Cut Band 63.71%

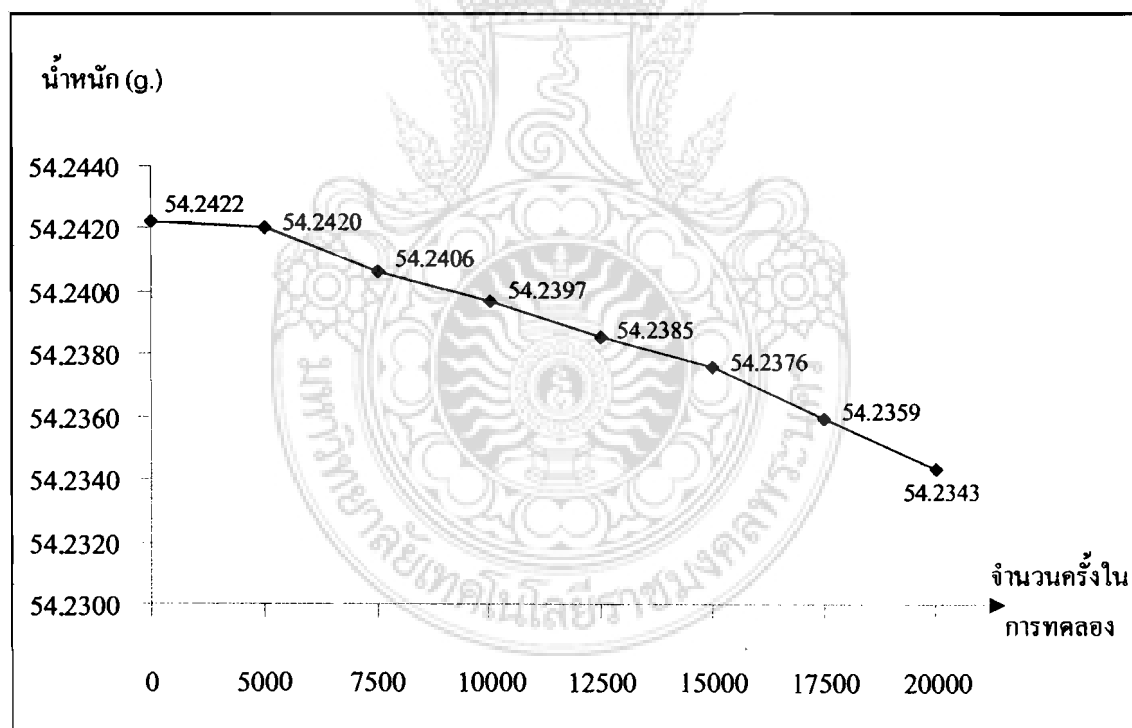


รูปที่ 4.41 เศษชิ้นงานช่วงที่ 20,000 กำลังขยาย 63 เท่า มี Cut Band 57.16%

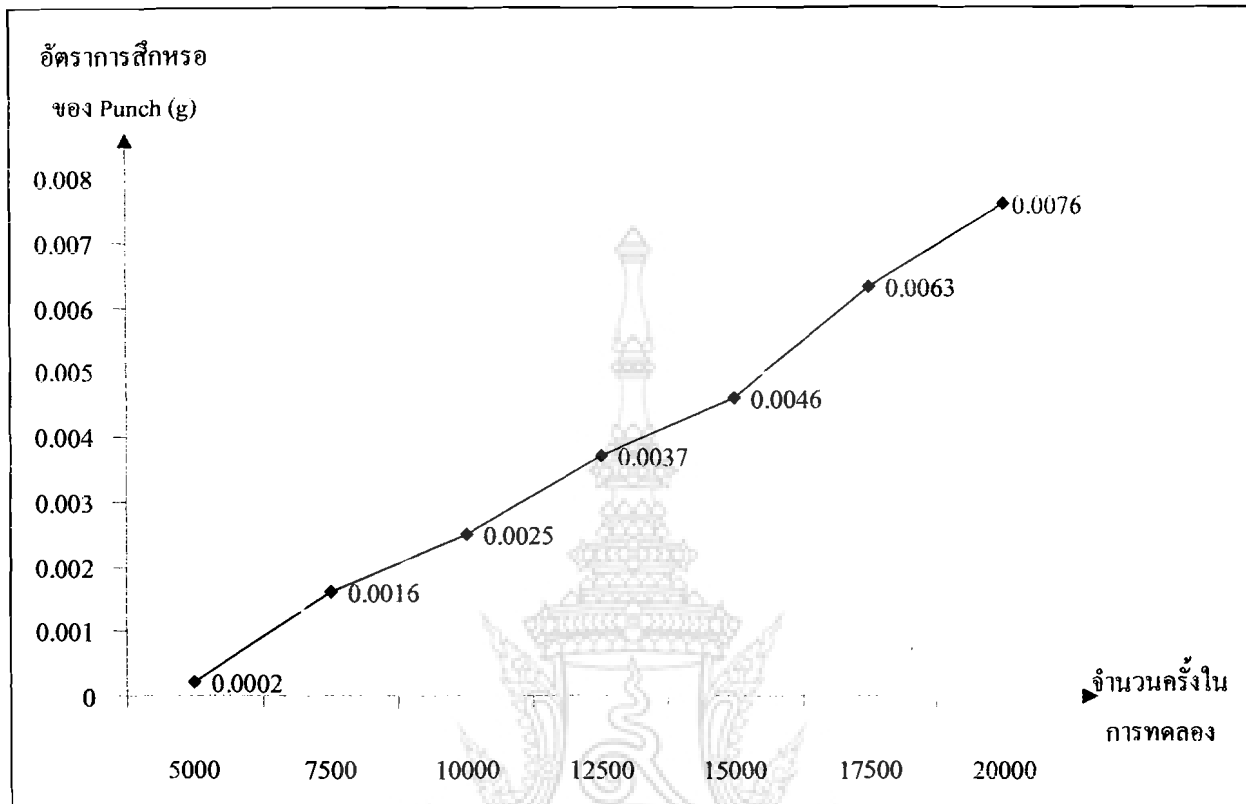
4.2 ผลการทดลองแม่พิมพ์ที่ผ่านการเย็นตัวที่อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

การทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัดที่ใช้งานกับวัสดุเหล็กแผ่น โดยใช้วัสดุแม่พิมพ์สำหรับ Punch และ Die Vanadis 4 สำหรับการทดสอบชนิดของเหล็กแผ่น JIS วัสดุ มีความหนา 1.13mm. ค่าระยะช่องว่างระหว่าง Punch และ Die เท่ากับ 8% ของความหนาของแผ่น วัสดุโดยใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Punch และ Die คือ 10 mm. ประกอบกับชุดแม่พิมพ์ แล้ว ติดตั้งบนเครื่องปั๊มข้อเหวี่ยงขนาด 25 ตัน เพื่อทำการปั๊มตัดวัสดุชิ้นงาน

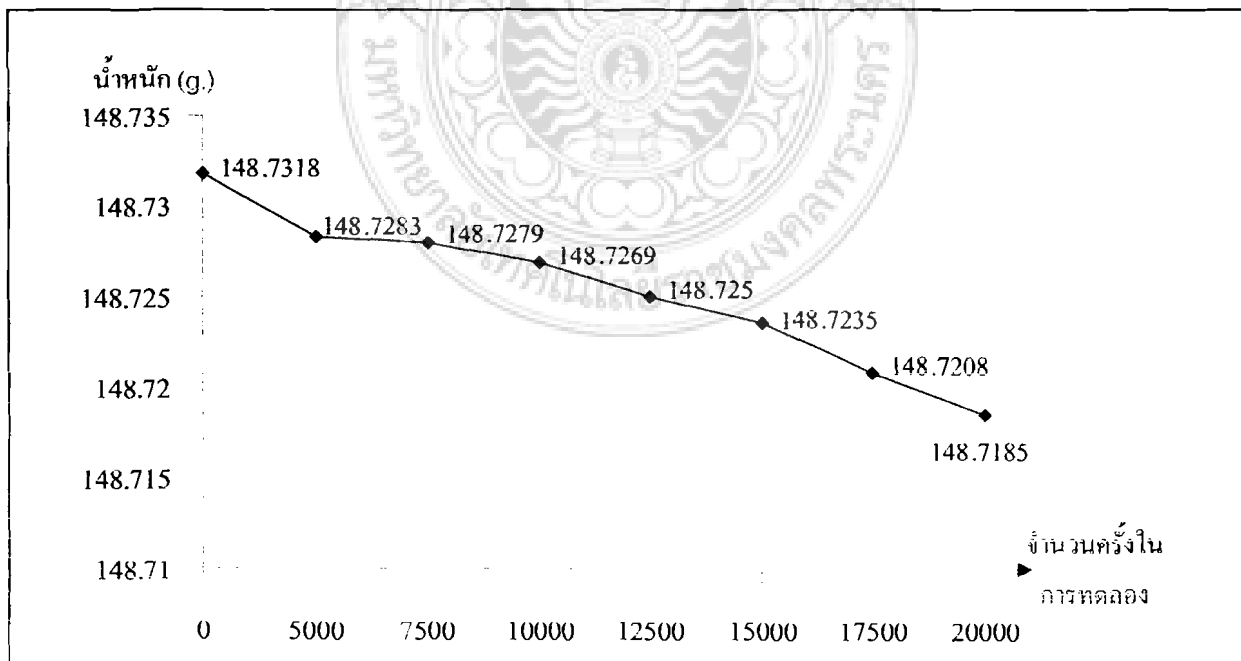
4.2.1 ผลการทดสอบการชั่งน้ำหนักของ Punch และ Die



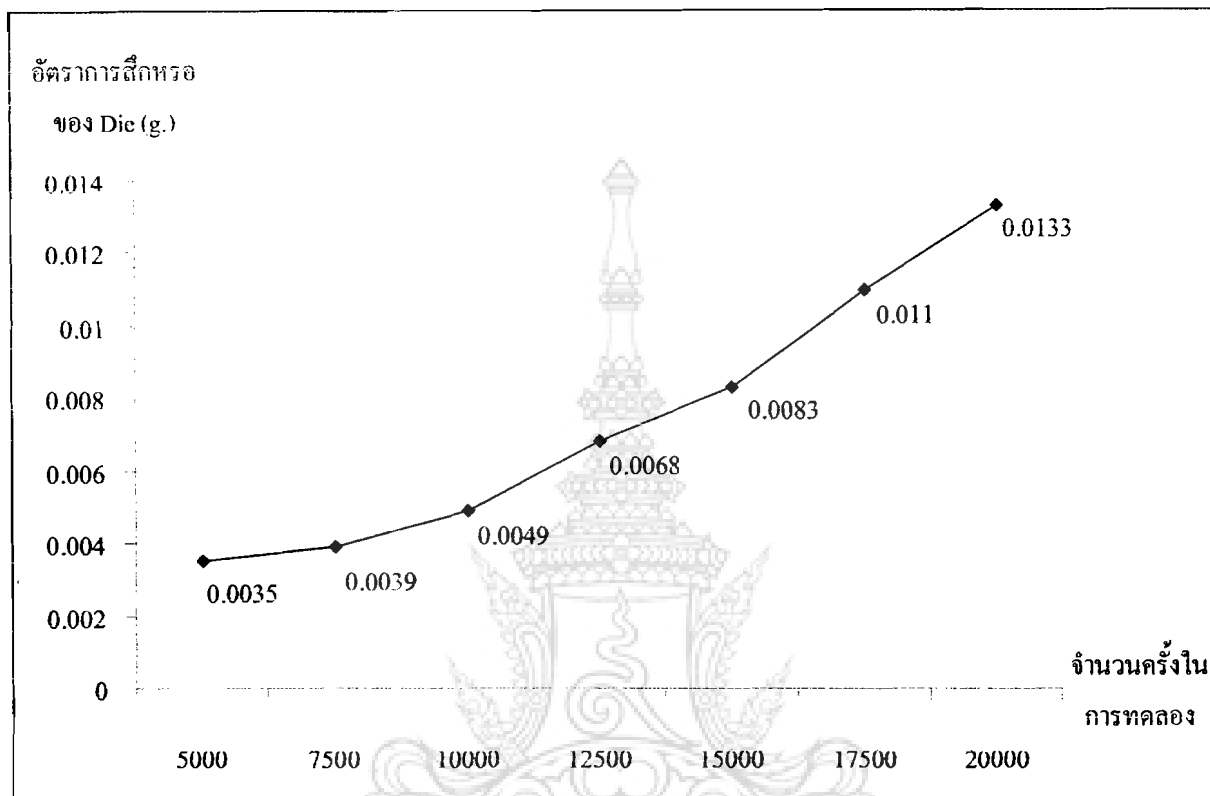
รูปที่ 4.42 กราฟแสดงผลชั่งน้ำหนักของ Punch



รูปที่ 4.43 กราฟการสึกหรอของ Punch โดยการชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 4.44 กราฟแสดงผลชั่งน้ำหนักของ Die

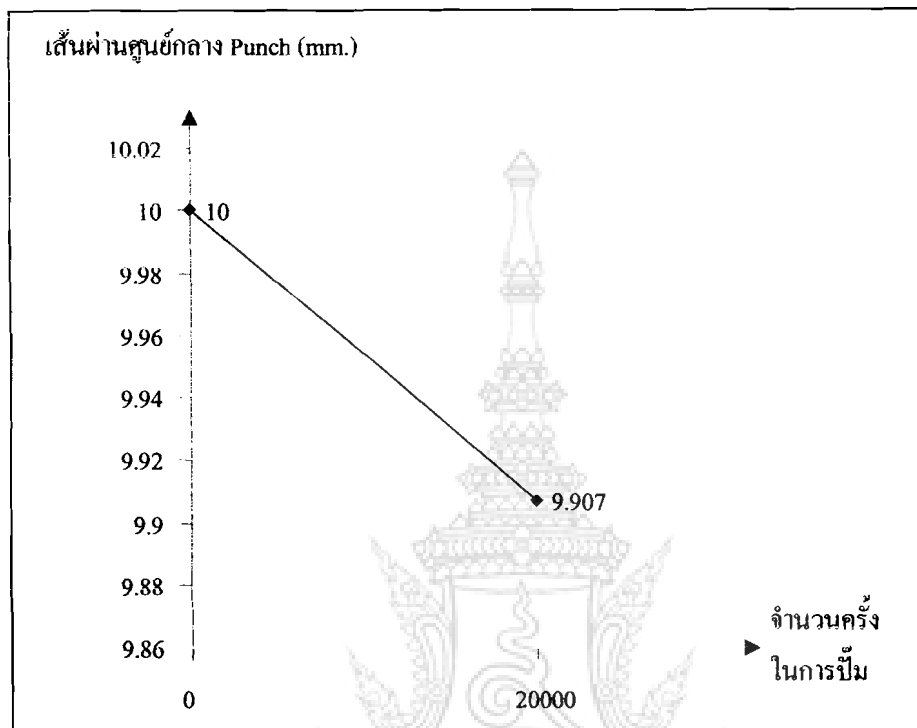


รูปที่ 4.45 กราฟแสดงการผลิตหรือของ Die โดยการชั่งน้ำหนัก

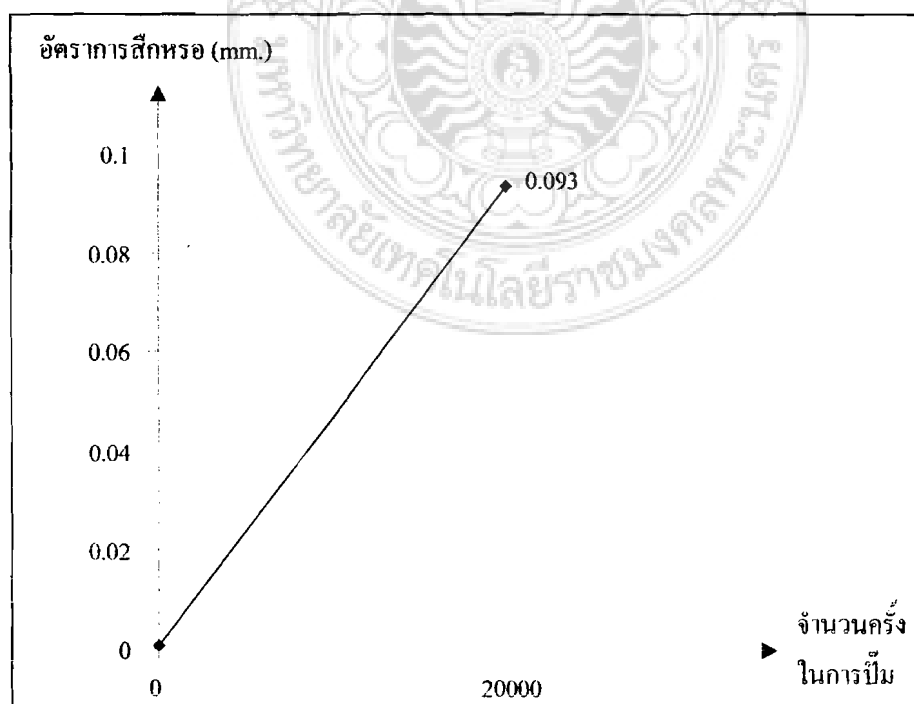
จากรูปที่ 4.42 และ 4.44 เป็นกราฟแสดงผลน้ำหนักของ Punch และ Die กราฟที่ได้เป็นค่าของน้ำหนัก Punch และ Die ก่อนทำการทดสอบ แล้วทำการทดสอบป้อนตัดชิ้นงานจนถึงขั้นที่ 5000, 7500, 10000, 12500, 15000, 17500 และ 20000 แล้วนำ Punch และ Die ไปชั่งน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.43 และ 4.45 เป็นกราฟแสดงการผลิตหรือของ Punch และ Die จากน้ำหนักที่หายไป

4.2.2 การวัดการสึกหรอของ Punch

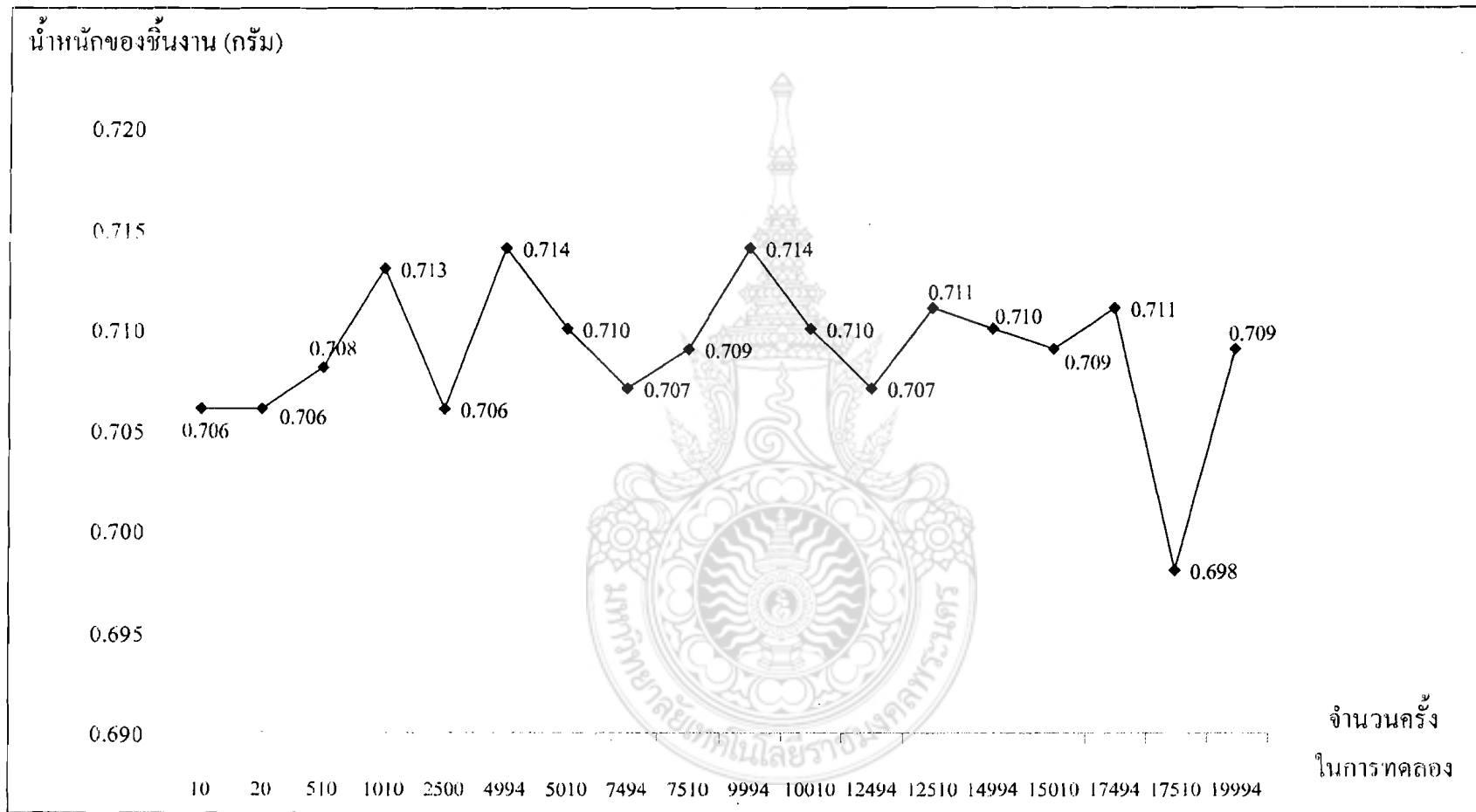


รูปที่ 4.46 กราฟแสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของ Punch

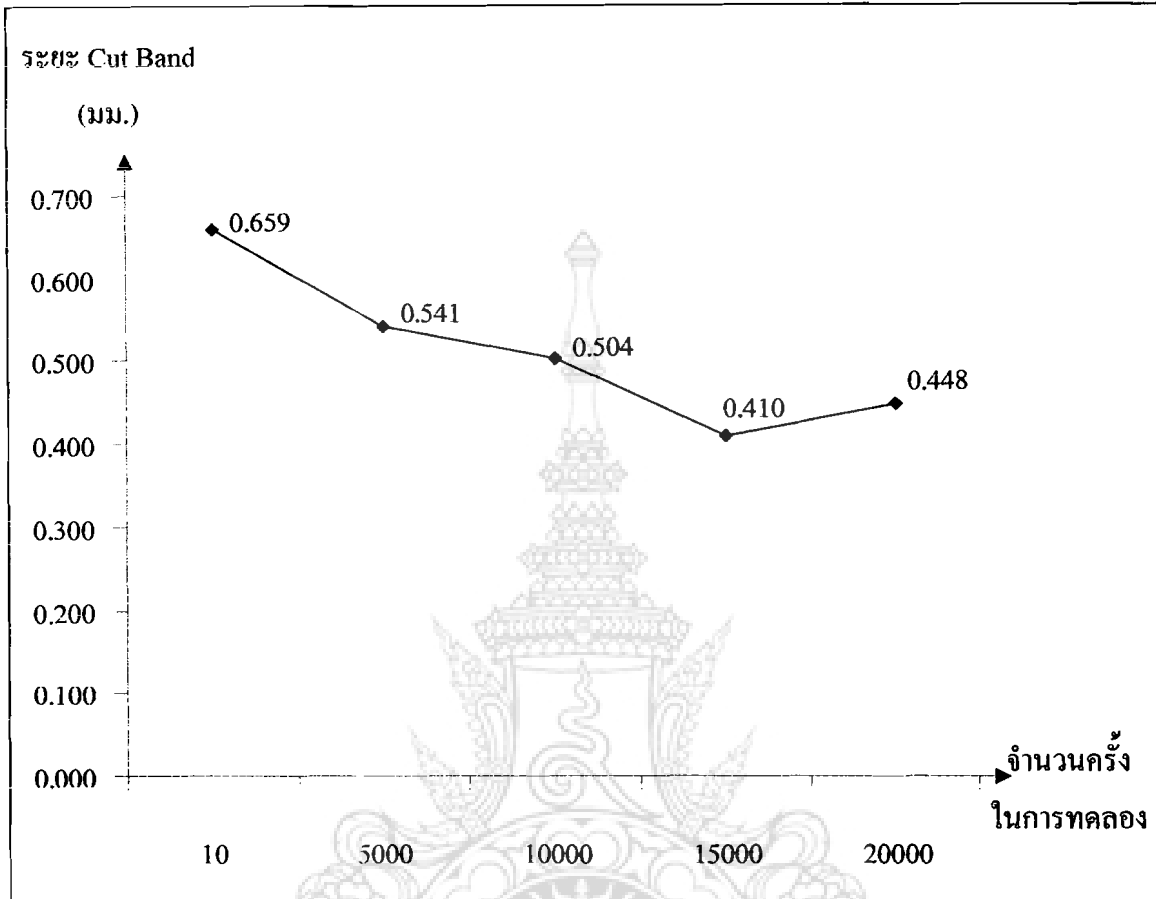


รูปที่ 4.47 กราฟแสดงการสึกหรอจากเส้นผ่านศูนย์กลาง Punch

4.2.3 การชั่งน้ำหนักของชิ้นงาน



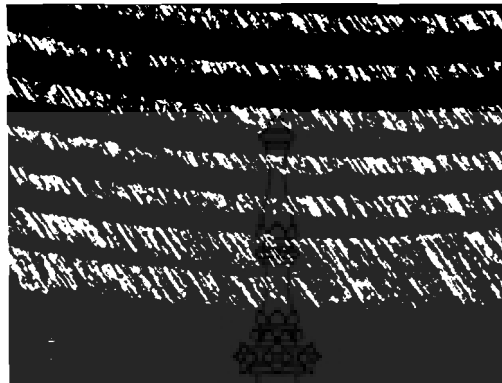
รูปที่ 4.48 กราฟน้ำหนักของชิ้นงาน



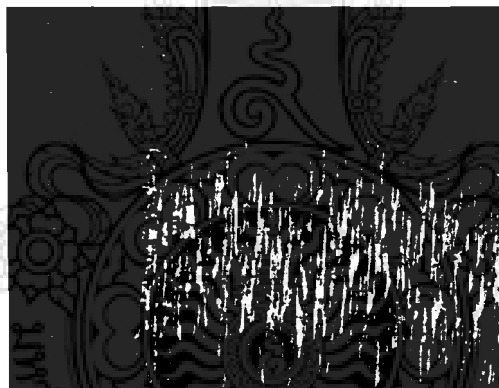
รูปที่ 4.49 ระยะ Cut Band ของเศษชิ้นงาน

ในการวัดระยะ Cut Band ได้กำหนดช่วงในเก็บเศษที่จะนำมาวัดคือ 1-10, 4985-4994, 9985-9994, 14985-14994 และ 19985-19994 ในแต่ละช่วงได้ทำการหาค่าเฉลี่ยของระยะ Cut Band ออกมาดังรูปที่ 4.49 โดยในการวัดระยะ Cut Band ได้ใช้เครื่อง Measuring Micro scope ในการวัดค่า และได้ทำการถ่ายรูปด้วยกล้องขยาย 63 เท่า ในหัวข้อที่ 4.2.14

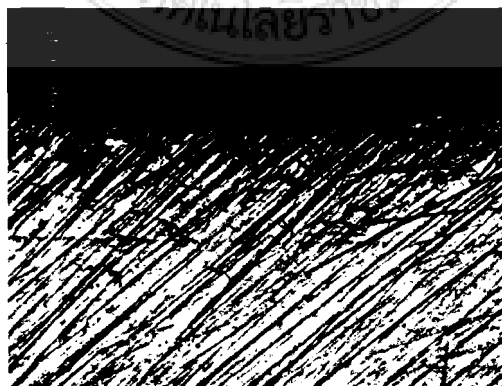
4.2.4 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die ก่อนการใช้งานที่มุม 0 องศา



รูปที่ 4.50 Punch ก่อนการใช้งาน กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

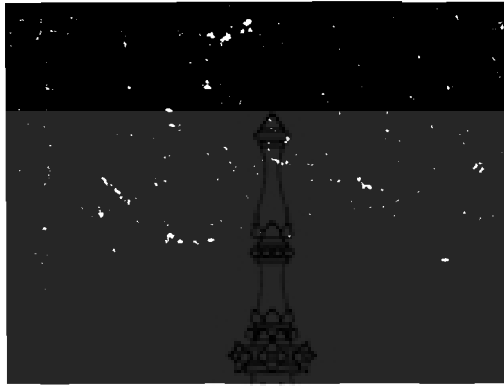


รูปที่ 4.51 Punch ก่อนการใช้งาน กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง

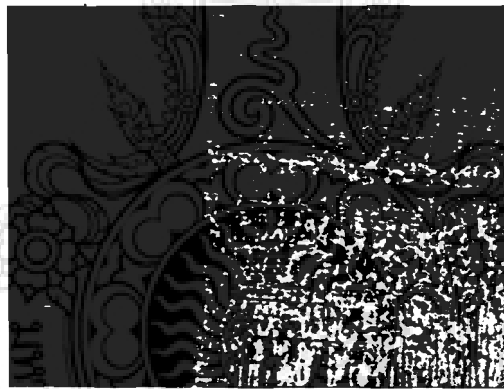


รูปที่ 4.52 Die ก่อนการใช้งาน กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

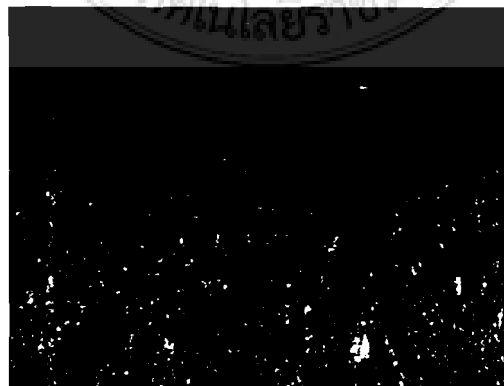
4.2.5 ภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 5,000 ครั้ง ที่มุม 0 องศา



รูปที่ 4.53 Punch ผ่านการปั๊มที่ 5,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

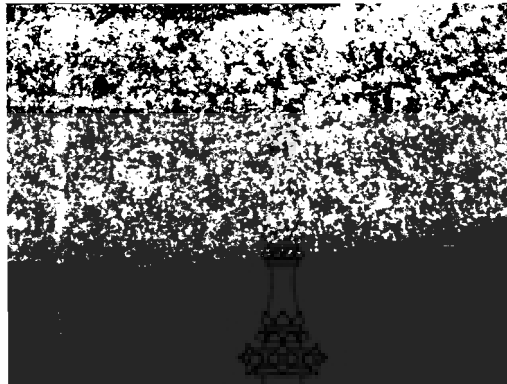


รูปที่ 4.54 Punch ผ่านการปั๊มที่ 5,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง

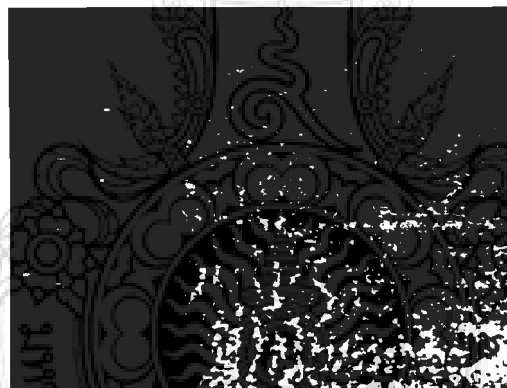


รูปที่ 4.55 Die ผ่านการปั๊มที่ 5,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

4.2.6 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 7,500 ครั้ง ที่มุม 0 องศา



รูปที่ 4.56 Punch ผ่านการปั๊มที่ 7,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

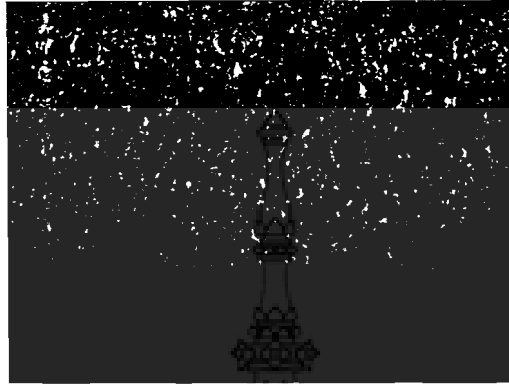


รูปที่ 4.57 Punch ผ่านการปั๊มที่ 7,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง

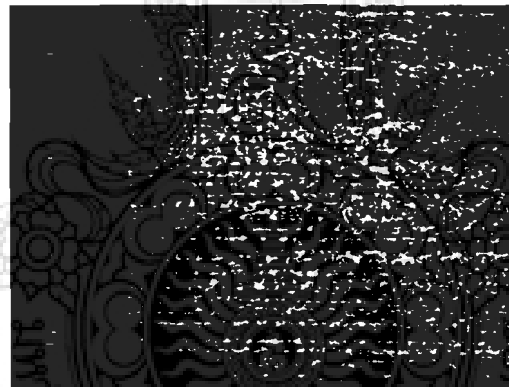


รูปที่ 4.58 Die ผ่านการปั๊มที่ 7,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

4.2.7 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 10,000 ครั้ง ที่มุม 0 องศา



รูปที่ 4.59 Punch ผ่านการปั๊มที่ 10,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

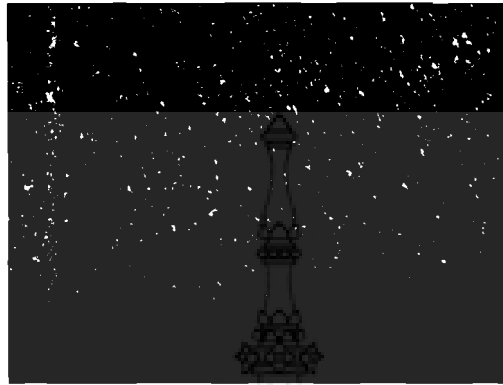


รูปที่ 4.60 Punch ผ่านการปั๊มที่ 10,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง

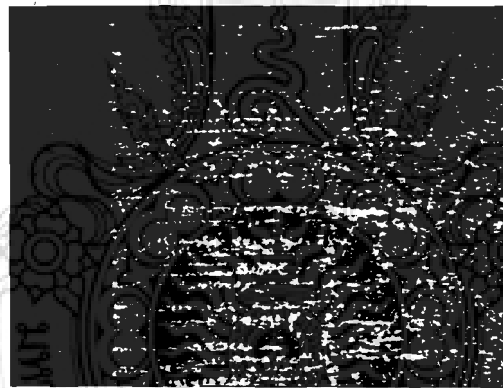


รูปที่ 4.61 Die ผ่านการปั๊มที่ 10,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

4.2.8 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 12,500 ครั้ง ที่มุม 0 องศา



รูปที่ 4.62 Punch ผ่านการปั๊มที่ 12,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

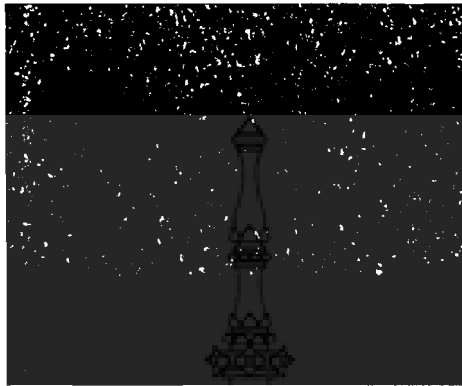


รูปที่ 4.63 Punch ผ่านการปั๊มที่ 12,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง



รูปที่ 4.64 Die ผ่านการปั๊มที่ 12,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

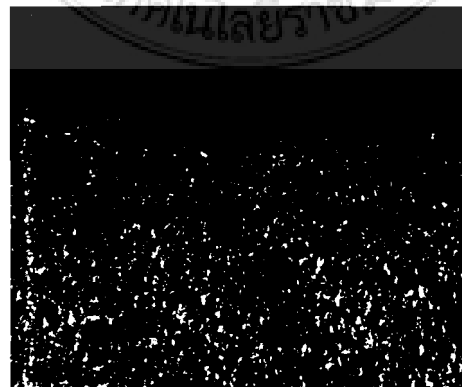
4.2.9 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 15,000 ครั้ง ที่มุม 0 องศา



รูปที่ 4.65 Punch ผ่านการปั๊มที่ 15,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

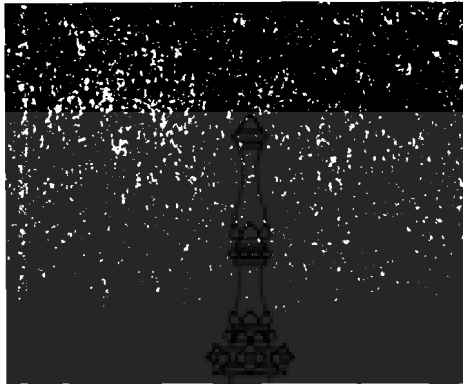


รูปที่ 4.66 Punch ผ่านการปั๊มที่ 15,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง

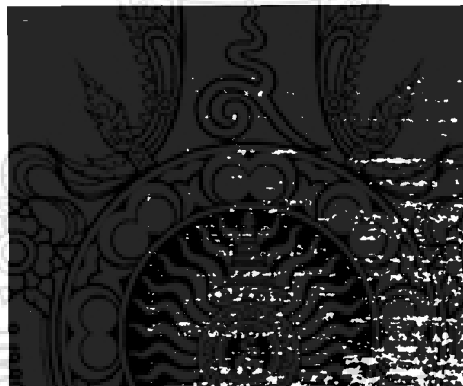


รูปที่ 4.67 Die ผ่านการปั๊มที่ 15,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

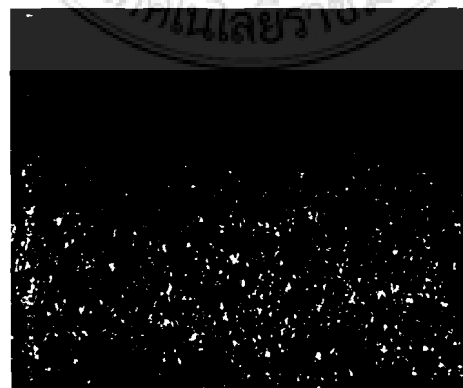
4.2.10 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 17,500 ครั้ง ที่มุม 0 องศา



รูปที่ 4.68 Punch ผ่านการปั๊มที่ 17,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน



รูปที่ 4.69 Punch ผ่านการปั๊มที่ 17,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง

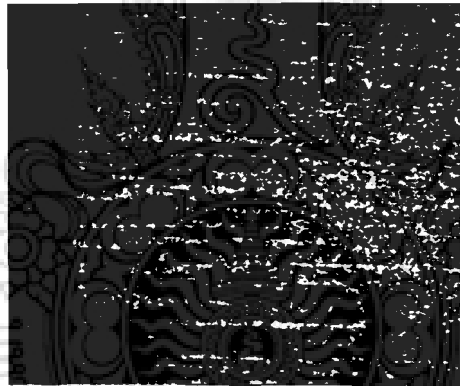


รูปที่ 4.70 Die ผ่านการปั๊มที่ 17,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

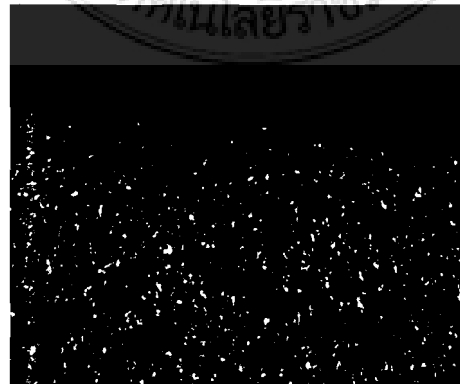
4.2.11 ภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 20,000 ครั้ง ที่มุม 0 องศา



รูปที่ 4.71 Punch ผ่านการปั๊มที่ 20,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

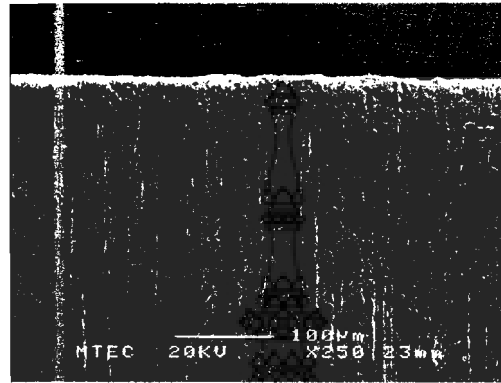


รูปที่ 4.72 Punch ผ่านการปั๊มที่ 20,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง

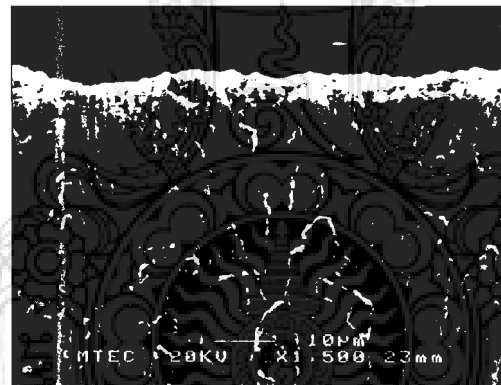


รูปที่ 4.73 Die ผ่านการปั๊มที่ 20,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

4.2.12 สภาพพื้นผิวของ Punch ที่ผ่านการป้อนตัดที่ 10,000 โดยใช้เครื่อง SEM ที่มุม 0 องศา

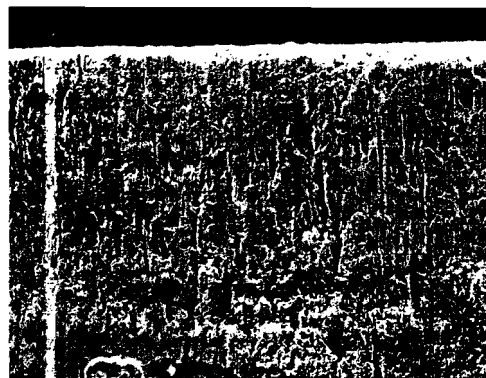


รูปที่ 4.74 รูปถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 250 เท่า, Punch ผ่านการป้อนที่ 10,000 ด้านข้าง

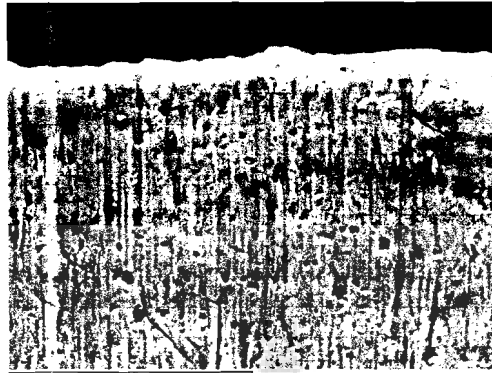


รูปที่ 4.75 รูปถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า, Punch ผ่านการป้อนที่ 10,000 ด้านข้าง

4.2.13 สภาพพื้นผิวของ Punch ที่ผ่านการป้อนตัดที่ 20,000 โดยใช้เครื่อง SEM ที่มุม 0 องศา

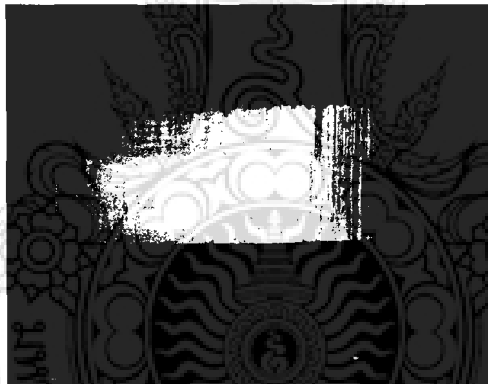


รูปที่ 4.76 รูปถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 200 เท่า, Punch ผ่านการป้อนที่ 20,000 ด้านข้าง



รูปที่ 4.77 รูปถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า Punch ผ่านการป้อนที่ 20,000 ด้านข้าง

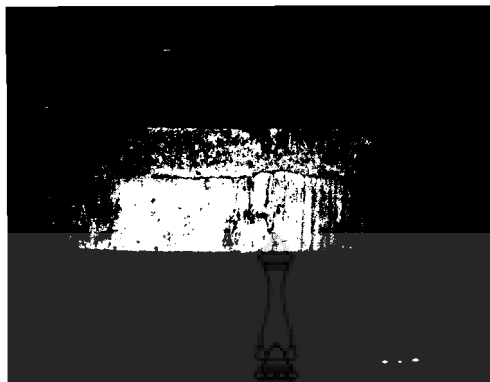
4.2.14 สภาพพื้นผิวของเศษชิ้นงาน (ผ่านการบำบัดเย็นที่ -147 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 4.78 เศษชิ้นงานช่วงที่ 10 ชั้นแรก กำลังขยาย 63 เท่า มี Cut Band 58%



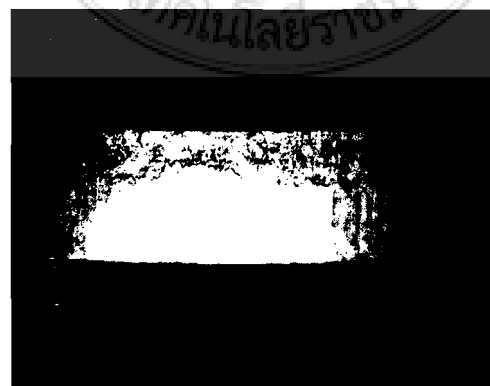
รูปที่ 4.79 เศษชิ้นงานช่วงที่ 5,000 กำลังขยาย 63 เท่า มี Cut Band 47%



รูปที่ 4.80 เศษชิ้นงานช่วงที่ 10,000 กำลังขยาย 63 เท่า มี Cut Band 44%



รูปที่ 4.81 เศษชิ้นงานช่วงที่ 15,000 กำลังขยาย 63 เท่า มี Cut Band 36%

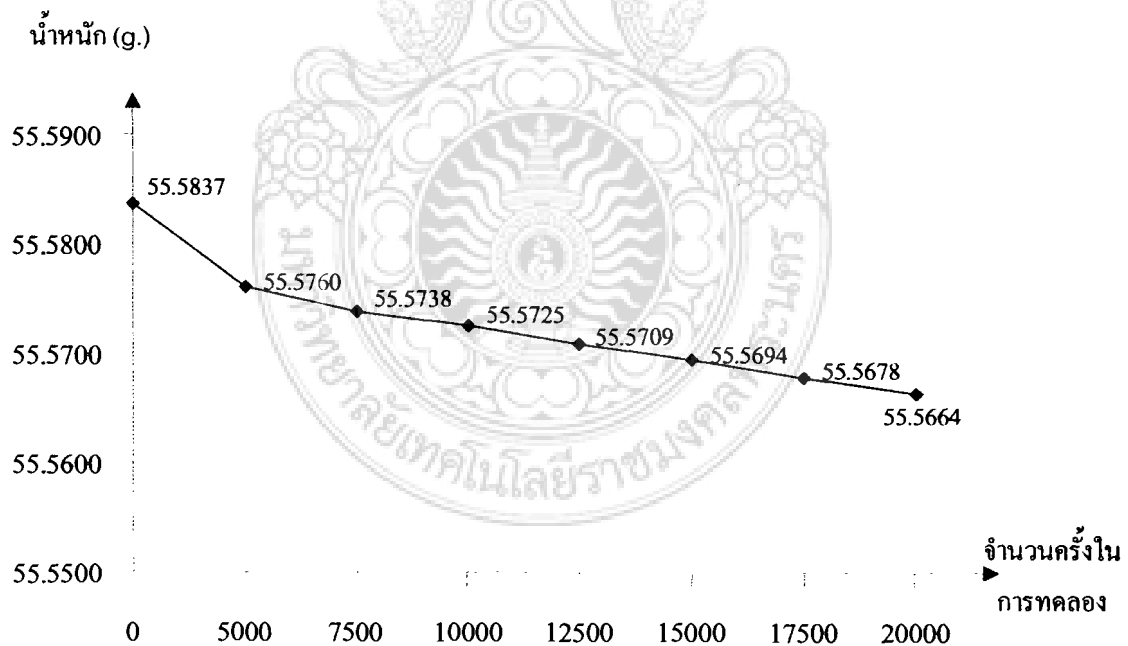


รูปที่ 4.82 เศษชิ้นงานช่วงที่ 20,000 กำลังขยาย 63 เท่า มี Cut Band 39%

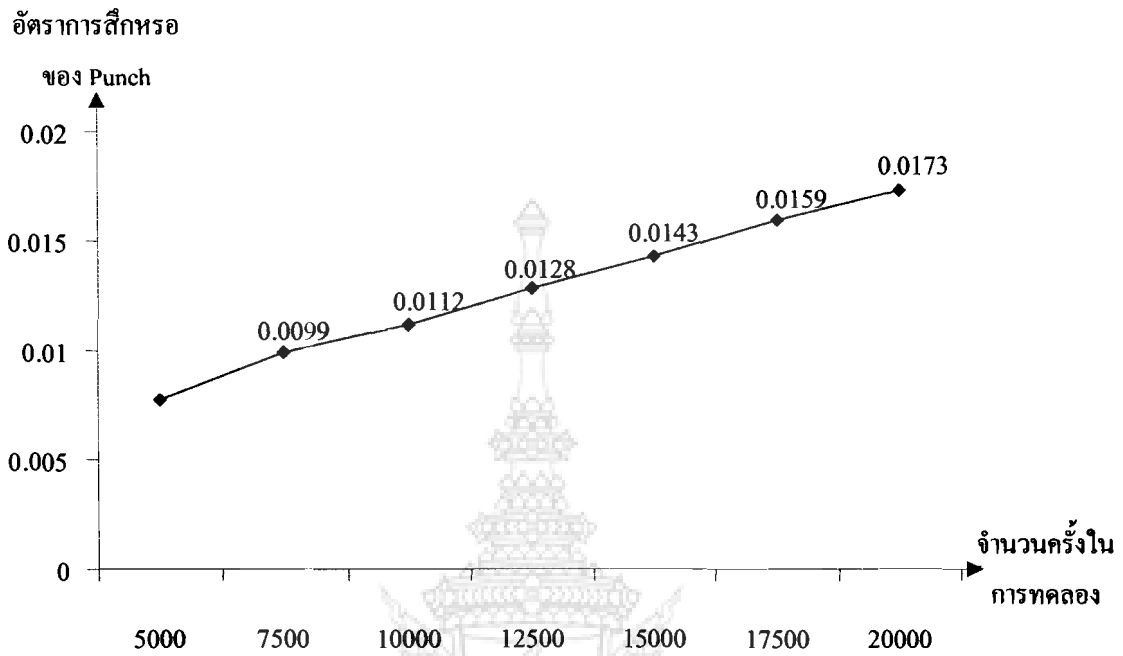
4.3 ผลการทดลองแม่พิมพ์ที่ผ่านการเย็นตัวที่อุณหภูมิ -192 องศาเซลเซียส

การทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัดที่ใช้งานกับวัสดุเหล็กแผ่น โดยใช้วัสดุแม่พิมพ์สำหรับ Punch และ Die Vanadis 4 สำหรับการทดสอบชนิดของเหล็กแผ่น JIS วัสดุมีความหนา 1.13 mm. คาระยะช่องว่างระหว่าง Punch และ Die เท่ากับ 8% ของความหนาของแผ่นวัสดุ โดยใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Punch และ Die คือ 10 mm. ประกอบกับชุดแม่พิมพ์แล้วติดตั้งบนเครื่องปั๊มข้อเหวี่ยงขนาด 25 ตัน เพื่อทำการปั๊มตัดวัสดุชิ้นงาน

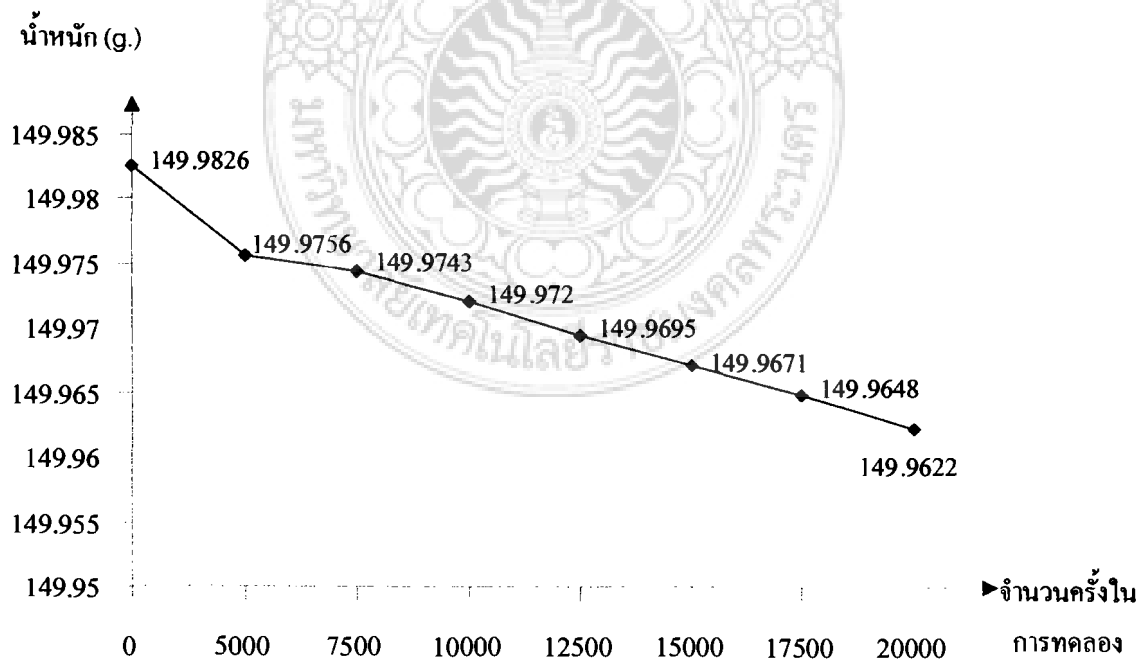
4.3.1 ผลการทดสอบการชั่งน้ำหนัก Punch และ Die



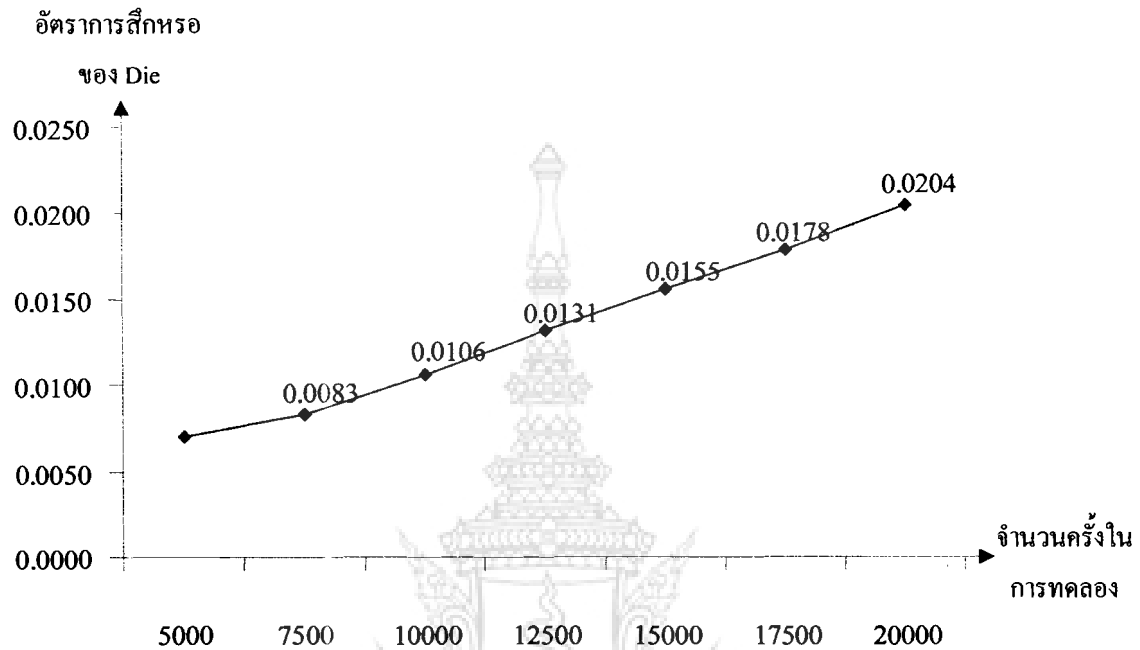
รูปที่ 4.83 กราฟแสดงผลชั่งน้ำหนักของ Punch ผ่านการบำบัดเย็นที่ -192 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.84 กราฟแสดงการศึกษาหรือของ Punch โดยการชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 4.85 กราฟแสดงผลชั่งน้ำหนักของ Die ผ่านการบำบัดเย็นที่ -192 องศาเซลเซียส



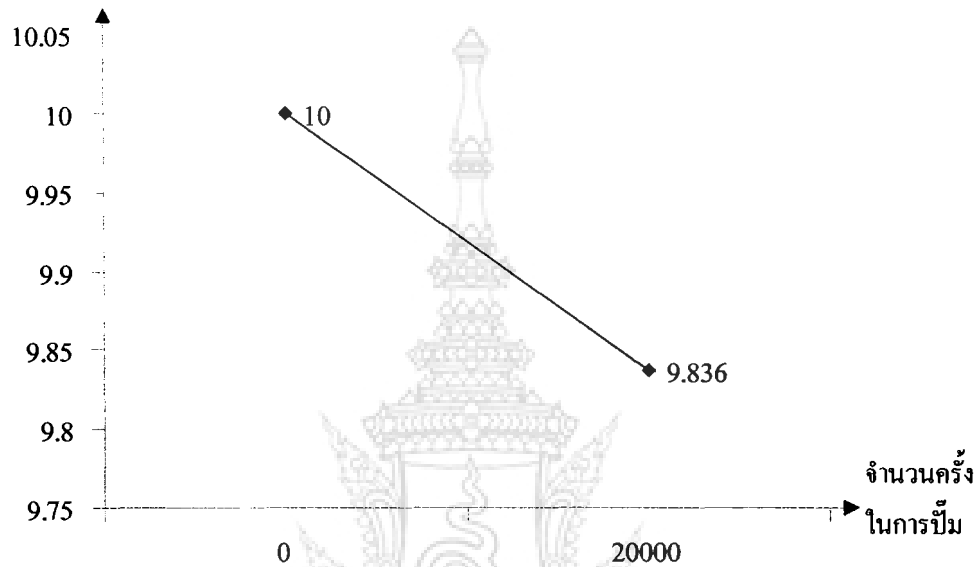
รูปที่ 4.86 กราฟแสดงการสึกหรอของ Die โดยการชั่งน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.83 และ 4.85 เป็นกราฟแสดงผลน้ำหนักของ Punch และ Die กราฟที่ได้เป็นค่าของน้ำหนัก Punch และ Die ก่อนทำการทดสอบ ทำการทดสอบป้อนตัดชิ้นงานจนถึงชิ้นที่ 5000, 7500, 10000, 12500, 15000, 17500 และ 20000 แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

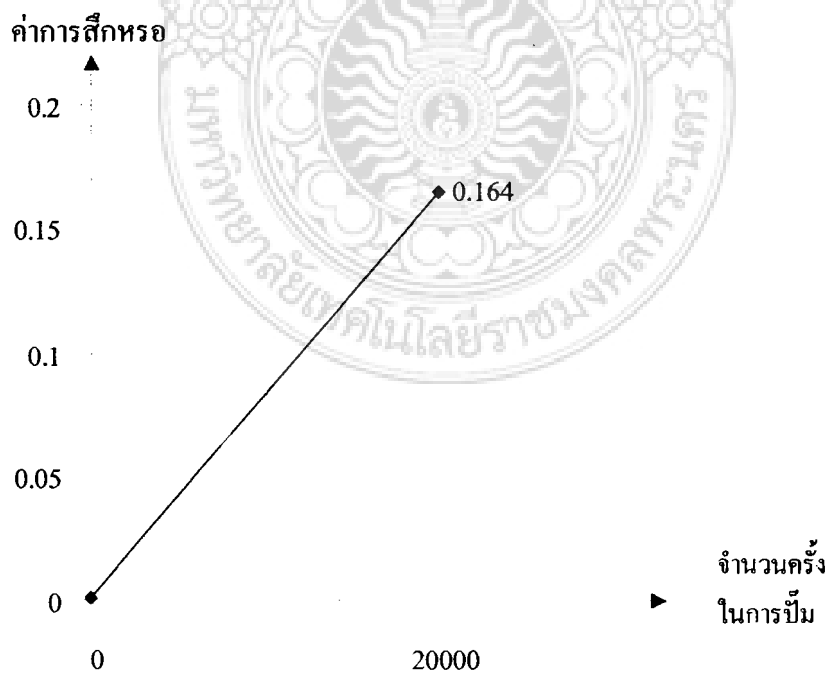
จากรูปที่ 4.84 และ 4.86 เป็นกราฟแสดงการสึกหรอของ Punch และ Die โดยการชั่งน้ำหนัก แล้วนำค่าที่ได้แต่ละช่วงมาทำการลบกับค่าน้ำหนักก่อนการทดลอง

4.3.2 การวัดการสึกหรอของ Punch

เส้นผ่านศูนย์กลาง Punch

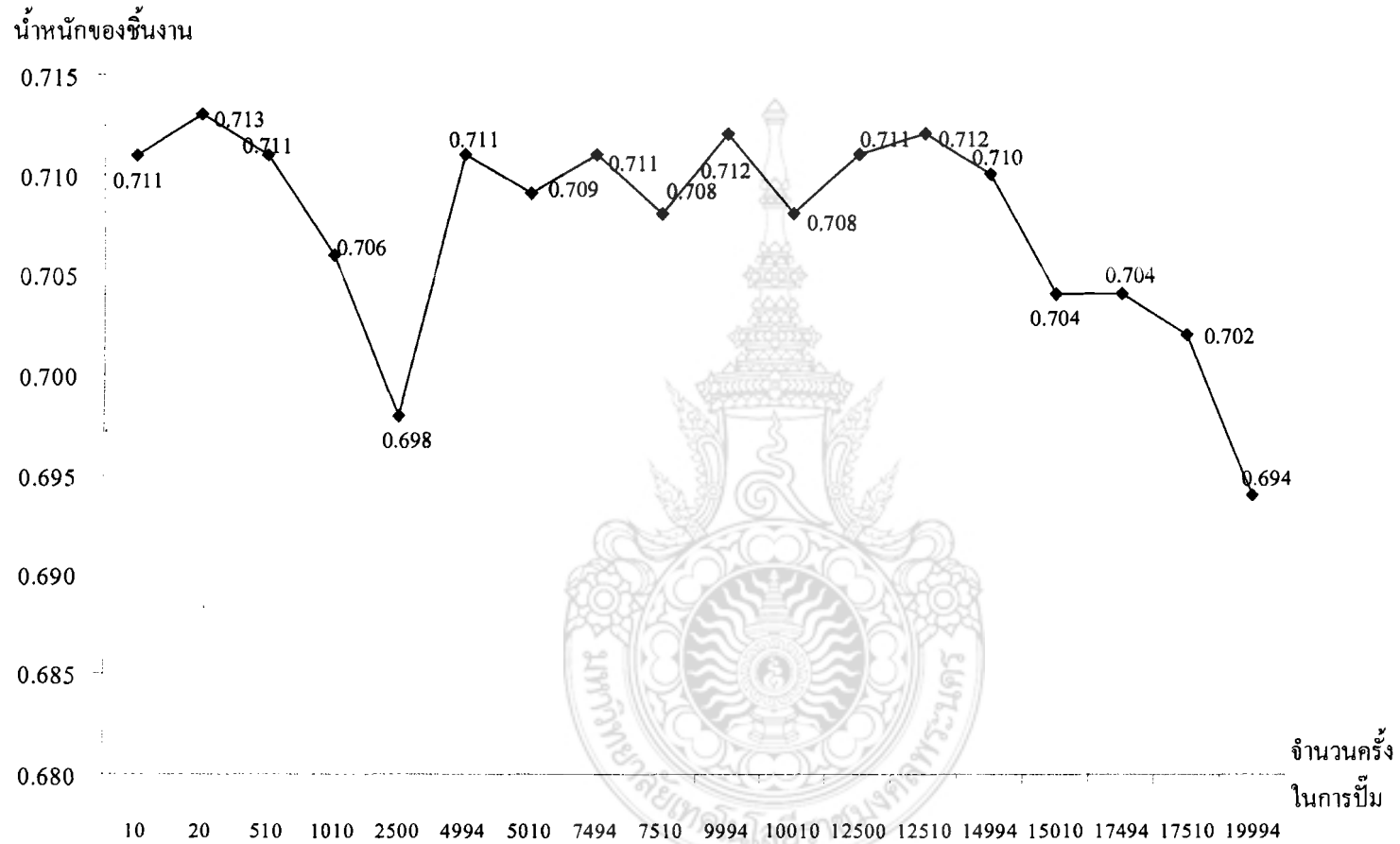


รูปที่ 4.87 กราฟแสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของ Punch ผ่านการบำบัดเย็นที่ -192 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.88 กราฟแสดงการสึกหรอจากเส้นผ่านศูนย์กลาง Punch

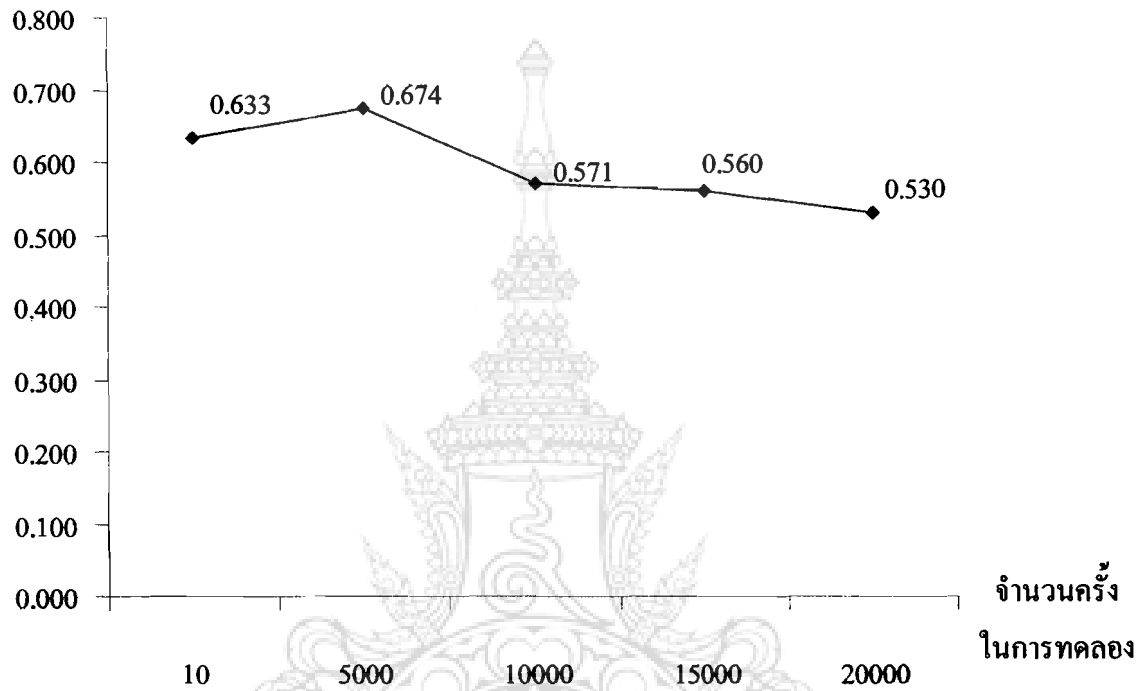
4.3.3 การขังน้ำหนักของชิ้นงาน



รูปที่ 4.89 กราฟน้ำหนักของชิ้นงาน ผ่านการบำบัดเย็นที่ -192 องศาเซลเซียส

ระยะ Cut Band

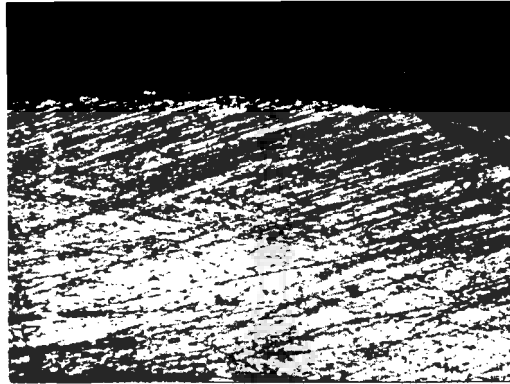
(มม.)



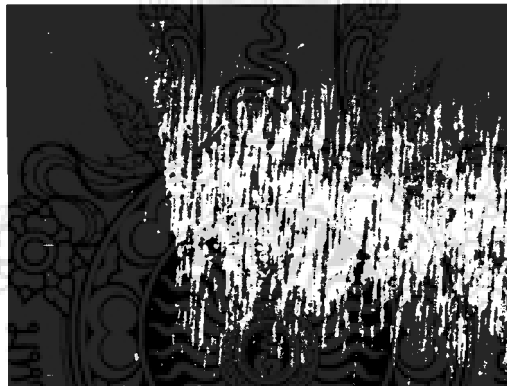
รูปที่ 4.90 ระยะ Cut Band ของชิ้นงาน

ในการวัดระยะ Cut Band ได้กำหนดช่วงในเก็บเศษที่จะนำมาวัดคือ 1-10, 4985-4994, 9985-9994, 14985-14994 และ 19985-19994 ในแต่ละช่วงได้ทำการหาค่าเฉลี่ยของระยะ Cut Band ออกมาดังรูปที่ 4.90 โดยในการวัดระยะ Cut Band ได้ใช้เครื่อง Measuring Micro scope ในการวัดค่า และได้ทำการถ่ายรูปด้วยกล้องขยาย 63 เท่า ในหัวข้อที่ 4.3.14

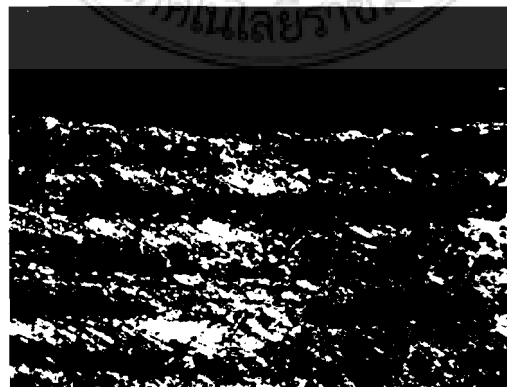
4.3.4 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die ก่อนการใช้งานที่มุม 180 องศา



รูปที่ 4.91 Punch ก่อนการใช้งาน กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

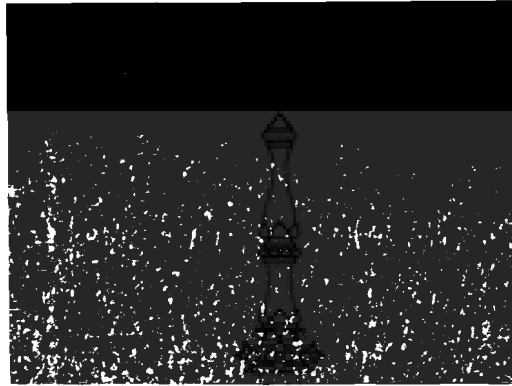


รูปที่ 4.92 Punch. ก่อนการใช้งาน กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง

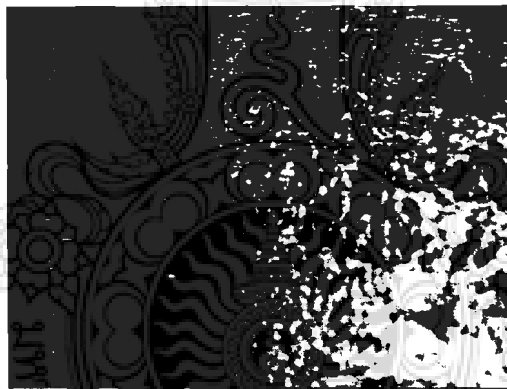


รูปที่ 4.93 Die ก่อนการใช้งาน กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

4.3.5 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 5,000 ครั้ง ที่มุม 180 องศา



รูปที่ 4.94 Punch ผ่านการปั๊มที่ 5,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

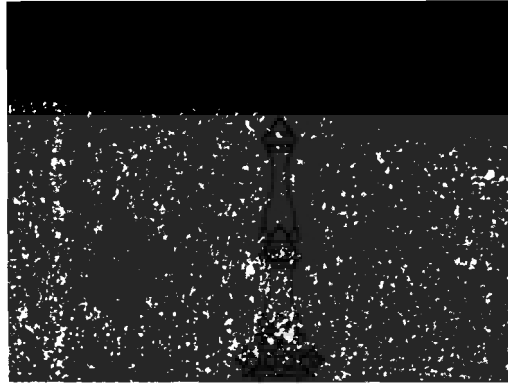


รูปที่ 4.95 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 5,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง



รูปที่ 4.96 Die ผ่านการปั๊มที่ 5,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

4.3.6 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 7,500 ครั้ง ที่มุม 180 องศา



รูปที่ 4.97 Punch ผ่านการปั๊มที่ 7,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

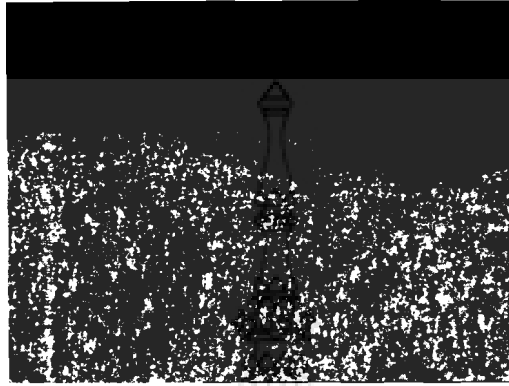


รูปที่ 4.98 Punch ผ่านการปั๊มที่ 7,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง

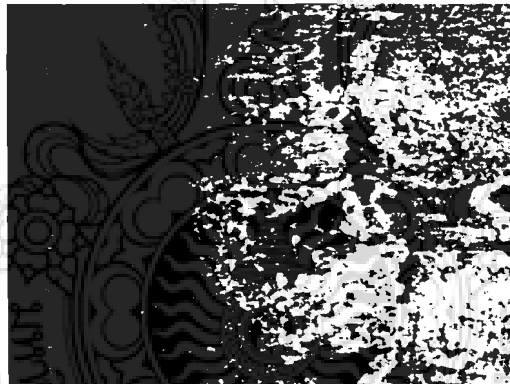


รูปที่ 4.99 Die ผ่านการปั๊มที่ 7,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

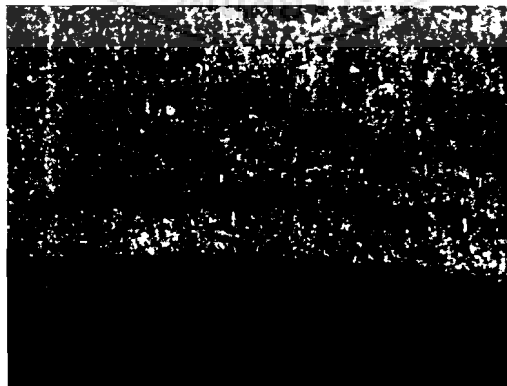
4.3.7 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 10,000 ครั้ง ที่มุม 180 องศา



รูปที่ 4.100 Punch ผ่านการปั๊มที่ 10,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

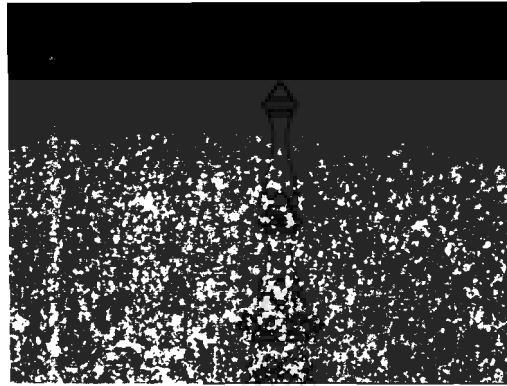


รูปที่ 4.101 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 10,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง



รูปที่ 4.102 Die ผ่านการปั๊มที่ 10,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

4.3.8 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 12,500 ครั้ง ที่มุม 180 องศา



รูปที่ 4.103 Punch ผ่านการปั๊มที่ 12,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

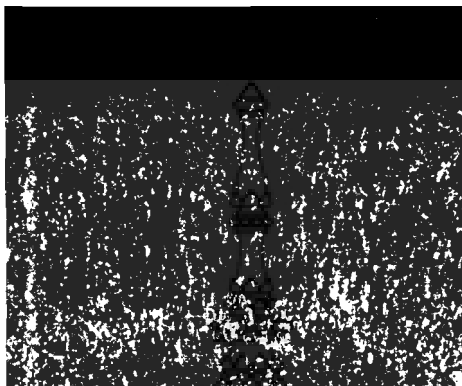


รูปที่ 4.104 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 12,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง



รูปที่ 4.105 Die ผ่านการปั๊มที่ 12,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

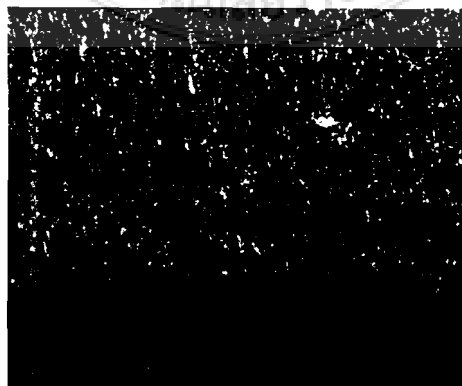
4.3.9 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 15,000 ครั้ง ที่มุม 180 องศา



รูปที่ 4.106 Punch ผ่านการปั๊มที่ 15,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

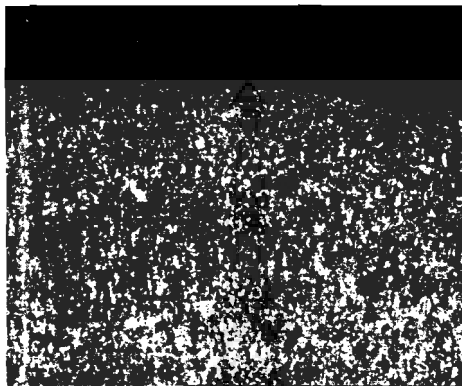


รูปที่ 4.107 Punch ผ่านการปั๊มที่ 15,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง

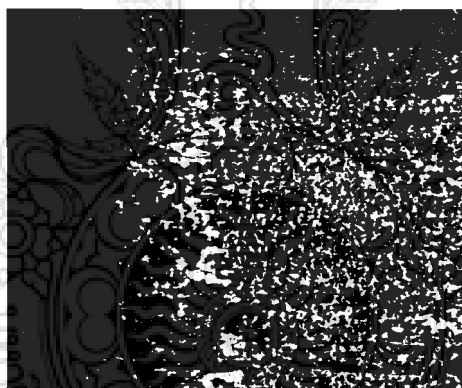


รูปที่ 4.108 Die ผ่านการปั๊มที่ 15,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

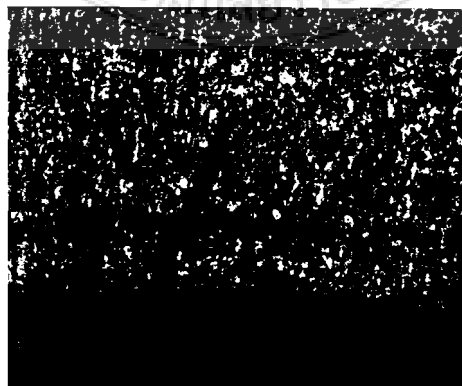
4.3.10 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มครั้งที่ 17,500 ครั้ง ที่มุม 180 องศา



รูปที่ 4.109 Punch ผ่านการปั๊มที่ 17,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

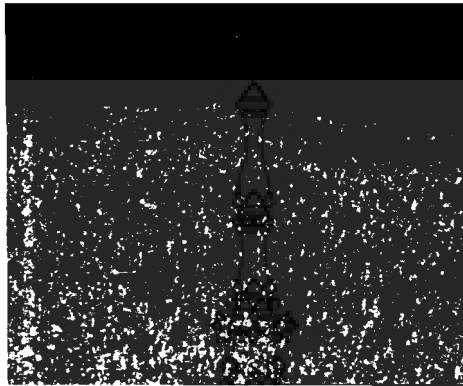


รูปที่ 4.110 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 17,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง

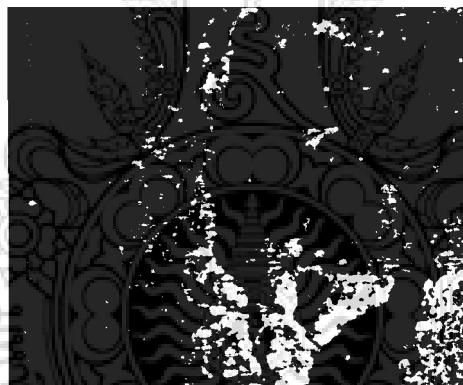


รูปที่ 4.111 Die ผ่านการปั๊มที่ 17,500 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

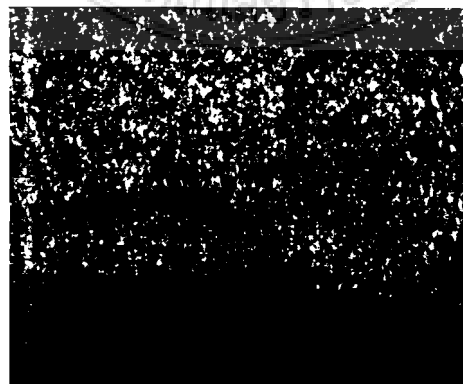
4.3.11 สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 20,000 ครั้ง ที่มุม 180 องศา



รูปที่ 4.112 Punch ผ่านการปั๊มที่ 20,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

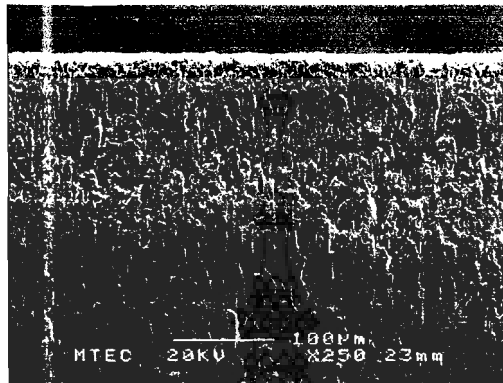


รูปที่ 4.113 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 20,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง



รูปที่ 4.114 Die ผ่านการปั๊มที่ 20,000 กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

4.3.12 ภาพพื้นผิวของ Punch ที่ผ่านการบีบอัดที่ 10,000 โดยใช้เครื่อง SEM ที่มุม 180 องศา



รูปที่ 4.115 รูปถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 250 เท่า, Punch ผ่านการบีบที่ 10,000 ด้านข้าง



รูปที่ 4.116 รูปถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า, Punch ผ่านการบีบที่ 10,000 ด้านข้าง

4.3.13 ภาพพื้นผิวของ Punch ที่ผ่านการบีบอัดที่ 20,000 โดยใช้เครื่อง SEM ที่มุม 180 องศา



รูปที่ 4.117 รูปถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 200 เท่า, Punch ผ่านการบีบที่ 20,000 ด้านข้าง



รูปที่ 4.118 รูปถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า, Punch ผ่านการปั๊มที่ 20,000 ด้านข้าง

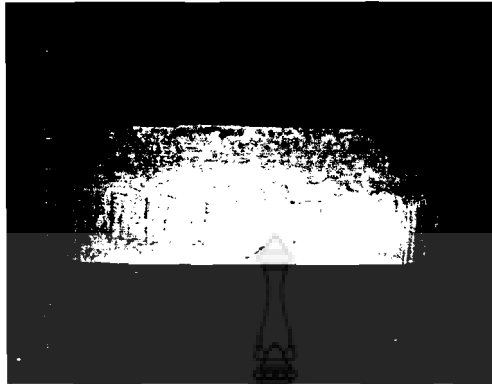
4.3.14 ภาพพื้นผิวของเศษชิ้นงาน (ผ่านการบำบัดเย็นที่ -192 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 4.119 เศษชิ้นงานช่วงที่ 10 ชิ้นแรก กำลังขยาย 63 เท่า มี Cut Band 56%



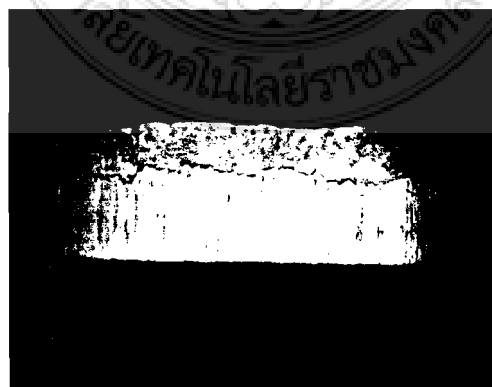
รูปที่ 4.120 เศษชิ้นงานช่วงที่ 5.000 กำลังขยาย 63 เท่า มี Cut Band 59%



รูปที่ 4.121 เศษชิ้นงานช่วงที่ 10,000 กำลังขยาย 63 เท่า มี Cut Band 50%

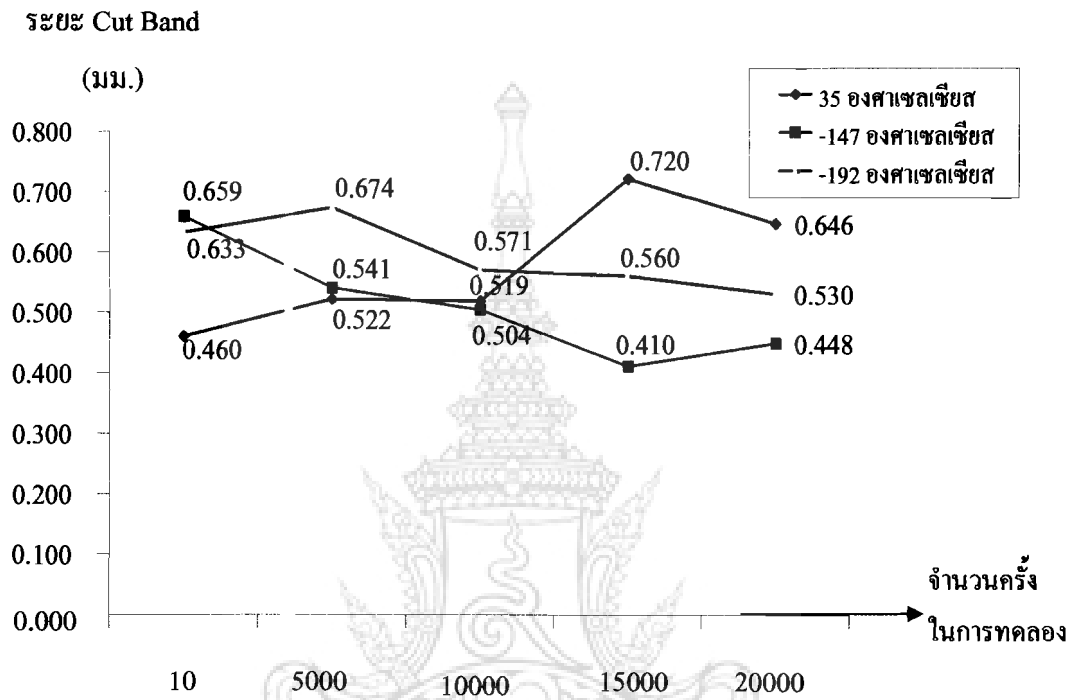


รูปที่ 4.122 เศษชิ้นงานช่วงที่ 15,000 กำลังขยาย 63 เท่า มี Cut Band 49%



รูปที่ 4.123 เศษชิ้นงานช่วงที่ 20,000 กำลังขยาย 63 เท่า มี Cut Band 46%

4.4 ผลการทดลองแม่พิมพ์ที่ผ่านการเย็นตัว 3 อุณหภูมิ



รูปที่ 4.124 เปรียบเทียบระยะ Cut Band จากการปั๊มตัวของแม่พิมพ์ที่ผ่านการชุบแข็งต่างกัน ทั้ง 3 อุณหภูมิ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาตัวแปรในการชุบแข็งและบำบัดเย็นเหล็กกล้าพีเอ็มเกรด V4 ด้านความสามารถด้านทานการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด ผลการศึกษาการสึกหรอบริเวณคมตัดของ Punch และ Die น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป การเกิดครีบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 ตามตัวแปร ดังนี้

5.1.1 ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ผ่านการชุบแข็งโดยไม่บำบัดเย็น

น้ำหนักของ Punch ก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 55.2349 g. ช่วงทดลองครั้งที่ 5,000 มีค่าเท่ากับ 55.2291 g. ช่วงทดลองครั้งที่ 7,500 มีค่าเท่ากับ 55.2286 g. ช่วงทดลองครั้งที่ 10,000 มีค่าเท่ากับ 55.2281 g. ช่วงทดลองครั้งที่ 12,500 มีค่าเท่ากับ 55.2278 g. ช่วงทดลองครั้งที่ 15,000 มีค่าเท่ากับ 55.2274 g. ช่วงทดลองครั้งที่ 17,500 มีค่าเท่ากับ 55.2235 g. ช่วงทดลองครั้งที่ 20,000 มีค่าเท่ากับ 55.1293 g. และน้ำหนักของ Die ก่อนการทดสอบมีค่าเท่ากับ 146.2755 g. ช่วงทดลองครั้งที่ 5,000 มีค่าเท่ากับ 146.2724 g. ช่วงทดลองครั้งที่ 7,500 มีค่าเท่ากับ 146.2718 g. ช่วงทดลองครั้งที่ 10,000 มีค่าเท่ากับ 146.2706 g. ช่วงทดลองครั้งที่ 12,500 มีค่าเท่ากับ 146.2686 g. ช่วงทดลองครั้งที่ 15,000 มีค่าเท่ากับ 146.2665 g. ช่วงทดลองครั้งที่ 17,500 มีค่าเท่ากับ 146.2661 g. ช่วงทดลองครั้งที่ 20,000 มีค่าเท่ากับ 146.2578 g.

เส้นผ่านศูนย์กลางของ Punch หลังการทดสอบปรากฏว่า มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 9.835 mm. ลดลง 0.165 mm. หรือ 9.3% ส่วน Cut Band ที่ระยะ 10 ชิ้นแรก มีค่า 41% ของความหนาชิ้นงาน ช่วงทดลองครั้งที่ 5,000 ผลที่ได้ Cut Band มีค่า 46.19% ของความหนาชิ้นงาน ช่วงทดลองครั้งที่ 10,000 ผลที่ได้ Cut Band มีค่า 46% ของความหนาชิ้นงาน ช่วงทดลองครั้งที่ 15,000 ผลที่ได้ Cut Band มีค่า 63.71% ของความหนาชิ้นงาน ช่วงทดลองครั้งที่ 20,000 ผลที่ได้ Cut Band มีค่า 51.16%

5.1.2 ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ผ่านการชุบแข็งและบำบัดเย็นที่ -147 องศาเซลเซียส

น้ำหนักของ Punch ก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 54.2422 g. ช่วงทดลองที่ 5,000 มีค่าเท่ากับ 54.2420 g. ช่วงทดลองที่ 7,500 มีค่าเท่ากับ 54.2406 g. ช่วงทดลองที่ 10,000 มีค่าเท่ากับ 54.2397 g. ช่วงการทดลองที่ 12,500 มีค่าเท่ากับ 54.2385 g. ช่วงการทดลองที่ 15,000 มีค่าเท่ากับ 54.2376 g. ช่วงทดลองที่ 17,500 มีค่าเท่ากับ 54.2359 g. ช่วงทดลองที่ 20,000 มีค่าเท่ากับ 54.2343 g. และน้ำหนักของ Die ก่อนการทดสอบมีค่าเท่ากับ 148.7318 g. ช่วงทดลองที่ 5,000 มีค่าเท่ากับ

148.7283 g. ช่วงทดลองที่ 7,500 มีค่าเท่ากับ 148.7279 g. ช่วงทดลองที่ 10,000 มีค่าเท่ากับ 148.7269 g. ช่วงทดลองที่ 12,500 มีค่าเท่ากับ 148.7250 g. ช่วงทดลองที่ 15,000 มีค่าเท่ากับ 148.7235 g. ช่วงทดลองที่ 17,500 มีค่าเท่ากับ 148.7208 g. ช่วงทดลองที่ 20,000 มีค่าเท่ากับ 148.7185 g. สรุปได้ว่าน้ำหนักของ Punch และ Die จะลดลงเรื่อย ๆ เพราะมีค่าการสึกหรอเกิดขึ้น

การวัดค่าการสึกหรอของบริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางของ Punch ก่อนและหลังการทดสอบปรากฏว่า หลังการทดสอบ Punch มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 9.907 mm. เพราะฉะนั้น Punch เกิดการสึกหรอเท่ากับ 0.093 mm. หรือ 9.3% จากการศึกษาการสึกหรอของ Punch, Die ผลการตรวจสอบ Cut Band ที่ระยะเริ่มตัด 10 ชิ้นแรก Cut Band มีค่า 58% ของความหนาชิ้นงาน ที่ช่วงการปั๊มตัดครั้งที่ 5,000 Cut Band มีค่า 47% ของความหนาชิ้นงาน ช่วงการปั๊มตัดครั้งที่ 10,000 ผลที่ได้ Cut Band มีค่า 44% ของความหนาชิ้นงาน ช่วงการปั๊มตัดครั้งที่ 15,000 ผลที่ได้ Cut Band มีค่า 36% ของความหนาชิ้นงาน ช่วงการปั๊มตัดครั้งที่ 20,000 ผลที่ได้ Cut Band มีค่า 39%

5.1.3 ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ผ่านการชุบแข็งและบำบัดเย็นที่ -192 องศาเซลเซียส

น้ำหนักของ Punch ก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 55.5837 กรัม ที่ช่วงทดลองครั้งที่ 5000 มีค่าเท่ากับ 55.5760 กรัม ช่วงทดลองครั้งที่ 7,500 มีค่าเท่ากับ 55.5738 กรัม ช่วงทดลองครั้งที่ 10,000 มีค่าเท่ากับ 55.5725 กรัม ช่วงทดลองครั้งที่ 12,500 มีค่าเท่ากับ 55.5709 กรัม ช่วงทดลองครั้งที่ 15,000 มีค่าเท่ากับ 55.5694 กรัม ช่วงทดลองครั้งที่ 17,500 มีค่าเท่ากับ 55.5678 กรัม ช่วงทดลองครั้งที่ 20,000 มีค่าเท่ากับ 55.5664 กรัม และน้ำหนักของ Die ก่อนการทดสอบมีค่าเท่ากับ 149.9826 กรัม ที่ช่วงการทดลองครั้งที่ 5,000 มีค่าเท่ากับ 149.9756 กรัม ช่วงการทดลองครั้งที่ 7,500 มีค่าเท่ากับ 149.9756 กรัม ช่วงการทดลองที่ 10,000 มีค่าเท่ากับ 149.9743 กรัม ช่วงการทดลองที่ 12,500 มีค่าเท่ากับ 149.9695 กรัม ช่วงการทดลองที่ 15,000 มีค่าเท่ากับ 149.9671 กรัม ช่วงการทดลองที่ 17,500 มีค่าเท่ากับ 149.9648 กรัม และช่วงการทดลองที่ 20,000 มีค่าเท่ากับ 149.9622 กรัม สรุปได้ว่าน้ำหนักของ Punch และ Die จะลดลงเรื่อย ๆ เพราะมีค่าการสึกหรอเกิดขึ้น

เส้นผ่านศูนย์กลางของ Punch หลังการทดสอบปรากฏว่าเท่ากับ 9.836 mm. ลดลง 0.164 mm. ส่วน Cut Band ที่ ระยะการตัด 10 ชิ้นแรก Cut Band มีค่า 56% ของความหนาชิ้นงาน ช่วงทดลองครั้งที่ 5,000 Cut Band มีค่า 59% ของความหนาชิ้นงาน ช่วงทดลองครั้งที่ 10,000 Cut Band มีค่า 50% ของความหนาชิ้นงาน ช่วงทดลองครั้งที่ 15,000 Cut Band มีค่า 49% ของความหนาชิ้นงาน ช่วงทดลองครั้งที่ 20,000 ผลที่ได้ Cut Band มีค่า 46% ค่า ดังนั้น Cut Band ที่เหมาะสมควรจะอยู่ในช่วง 20-30% ของความหนาชิ้นงาน

ผลการวิจัยปรากฏว่า ทั้ง 3 ตัวแปรความแข็งของพื้นซ์ 61.0 HRC. 61.0 HRC. และ 60.2 HRC. ตามลำดับ ส่วนคายมีความแข็ง 59.9HRC. 60.6 HRC. และ 60.4 HRC. ตามลำดับ สำหรับแม่พิมพ์ที่ใช้ตัวแปรการเย็นตัวหลังชุบแข็งถึงอุณหภูมิห้องพื้นซ์มีน้ำหนักลดลง 0.0179 กรัม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลดลงเป็น 9.835 มม. การตรวจสอบชิ้นงาน(Blank) ขนาดของ Cut Band ช่วงเริ่มตัด มีค่า 0.460 มม. เมื่อตัดถึง 20,000 ครั้ง มีค่าเป็น 0.646 มม. สำหรับแม่พิมพ์ที่ใช้ตัวแปรการเย็นตัวหลังชุบแข็งถึงอุณหภูมิ -147°C ผลการตัดปรากฏว่าพื้นซ์มีน้ำหนักลดลง 0.0079 กรัม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลดลง เป็น 9.907 มม. ขนาด Cut Band ของชิ้นงาน ช่วงเริ่มตัด มีค่า 0.659 มม. และช่วงการตัดที่ 20,000 ครั้ง มีค่าเป็น 0.448 มม. ส่วนแม่พิมพ์ที่ใช้ตัวแปรการเย็นตัวหลังชุบแข็งถึงอุณหภูมิ -192°C ผลการตัดปรากฏว่าพื้นซ์มีน้ำหนักลดลง 0.0173 กรัม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลดลง เป็น 9.886 มม. ขนาด Cut Band ของชิ้นงาน ช่วงเริ่มตัด มีค่า 0.633 มม. และช่วงการตัดที่ 20,000 ครั้ง มีค่าเป็น 0.530 มม.

ผลการวิจัยสรุปได้ว่าชิ้นงานที่ผ่านการชุบเย็นเมื่อเริ่มตัดจะมีการสึกหรอมากกว่า หลังจากจำนวนครั้งในการตัดเพิ่มขึ้นอัตราการสึกหรอจะช้าลงและสึกหรอน้อยกว่าชิ้นงานที่ไม่ผ่านการชุบเย็น สามารถคงสภาพคมตัดได้นานกว่า และพฤติกรรมการสึกหรอของคมตัดจากลักษณะการกระแทกของพื้นซ์และคายสำหรับตัดชิ้นงานพบว่าเป็นการสึกหรอแบบ Abrasive wear

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากการวิจัยสามารถแยกประเด็นสำคัญของปัญหาที่พบ ได้ดังนี้

5.2.1 เวลาในการบำบัดเย็น 4 ชั่วโมง ในอ่างชุบที่บรรจุไนโตรเจนเหลวในภาชนะปิดเพียงครั้งเดียว ไม่เคลื่อนไหวน อาจจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโลหะได้

5.2.2 การบำบัดเย็นหลังการชุบแข็งอาจจะได้รับผลที่เป็นไปตมเป้าหมายเนื่องจก เมื่อบำบัดเย็นแล้วนำไปอบคืนตัวอาจมีผลด้านารเกิดความเค็งหรือปฏิกิริยาอื่นใดจนกว่า หากใช้เวลานานมากขึ้นกว่า 4 ชั่วโมง และควรบำบัดเย็นหลังการอบคืนตัวหรือสลับช่วงเวลาระหว่างการอบคืนตัวและบำบัดเย็น โดยใช้เวลายาวนานมากขึ้นอาจจะให้ผลดีขึ้นได้

5.2.3 ขั้นตอนระหว่างกระบวนการใช้ความร้อน การเย็นตัว รวมถึงระบบการเคลื่อนไหวนวดดินและล้างเศษที่อบในขณะ ทำการบำบัดเย็นอาจจะไม่เหมาะสม

5.2.4 ปฏิบัติการของวัสดุผงอัดรีดและไนโตรเจนอาจจะมีข้อจำกัด ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม และควรศึกษาเปรียบเทียบเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นชนิดอื่น ๆ ในสภาวะที่อบผลของก็สามารถทำให้โครงสร้างเกิดการเปลี่ยนแปลง ระหว่างการทดลองปีนคัตวัสดุนี้

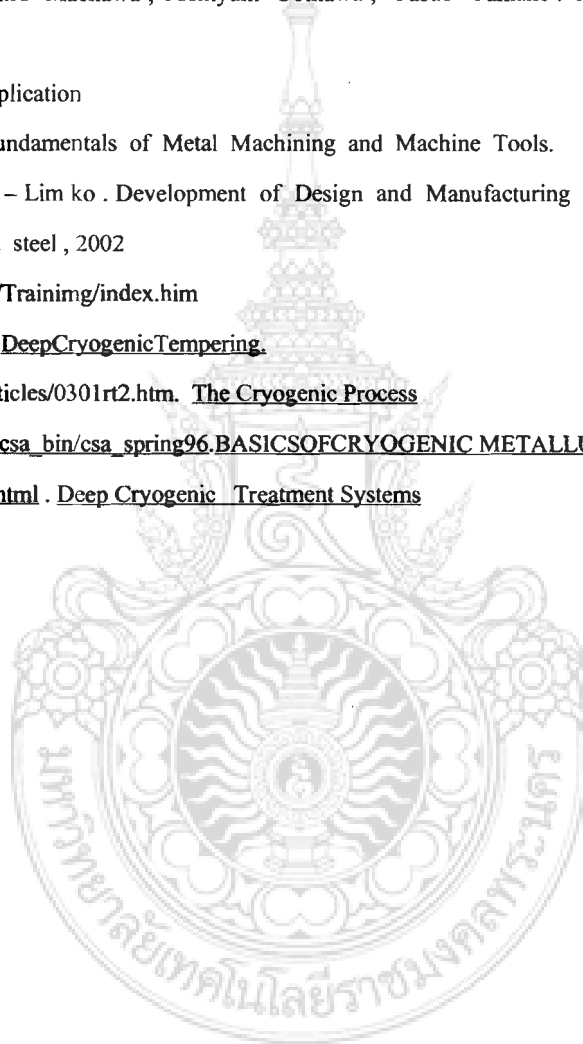
5.2.5 สภาพการใช้งาน ไม่มีสารหล่อลื่นอาจจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่มีผลต่ออายุการใช้งานของแม่พิมพ์ ดังนั้นควรศึกษาผลกระทบจากการหล่อลื่นและไม่หล่อลื่น เช่น สารหล่อลื่นจากน้ำมันพืช น้ำมันปาล์ม เป็นต้น เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานให้ยาวนานขึ้น

5.2.6 การสึกหรอของวัสดุที่แตกต่างกันจะมีค่าสัมประสิทธิ์ของการสึกหรอที่ต่างกันไป ขึ้นอยู่กับการขัดสีระหว่างคู่สัมผัสที่นำมาพิจารณาและควรมีการศึกษาเปรียบเทียบกัน เช่น งานปั๊ม ตัด โลหะชนิดอื่น ๆ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมต่อไป เป็นต้น



รายการอ้างอิง

- [1] รศ. สมนึก วัฒนศรีขกุล . โลหะวิทยา (METALLURGY).สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พิมพ์ครั้งที่ 1 , กันยายน 2538
- [2] Frydery E. Corczyca, 1978, Application of metal cutting theory
- [3] Thomas Childs , Katsuhiro Mackawa , Toshiyuki Obikawa , Yasuo Yamane . Metal Machining Theory and Applications
- [4] Taegu Tec .Milling Application
- [5] Geoffrey boothroyd . Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools.
- [6] Yong – Hyun Kim, Sung – Lim ko . Development of Design and Manufacturing technology for end mills in Machining hardend steel , 2002
- [7] www.endmill.com/page/Training/index.htm
- [8] <http://www.ln2cryo.com/DeepCryogenicTempering>.
- [9] www.mmsonline.com/articles/0301rt2.htm. The Cryogenic Process
- [10] http://www-csa.fnal.gov/csa_bin/csa_spring96.BASICSOFCRYOGENIC METALLURGY
- [11] www.Cryopro.com/tool.html . Deep Cryogenic Treatment Systems





ภาคผนวก ก.

ผลการทดสอบน้ำหนักของ Punch และ Die โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก
OHAUS Analytical Plus Electronic Balance มีความละเอียด 0.0001 g.



ตารางที่ ก-1 ผลการทดสอบน้ำหนักของ Punch และ Die โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก

OHAUS Analytical Plus Electronic Balance มีความละเอียด 0.0001 g.

จำนวนการทดลอง (ชิ้น)	Punch (g)	จำนวนการทดลอง (ชิ้น)	Die (g)
ก่อนใช้ (0)	55.5837	ก่อนใช้ (0)	149.9826
5000	55.5760	5000	149.9756
7500	55.5738	7500	149.9743
10000	55.5725	10000	149.9720
12500	55.5709	12500	149.9695
15000	55.5694	15000	149.9671
17500	55.5678	17500	149.9648
20000	55.5664	20000	149.9622





ตารางที่ ข-1 การวัดการสึกหรอของ Punch โดยใช้เครื่อง Measuring Micro scope

ด้านที่	จำนวนป้อน	
	ก่อนการทดลอง	20000
1	10	9.818
2	10	9.860
3	10	9.872
4	10	9.870
5	10	9.833
6	10	9.817
7	10	9.845
8	10	9.753
9	10	9.797
10	10	9.775
11	10	9.796
12	10	9.814
13	10	9.832
14	10	9.855
15	10	9.867
16	10	9.876
17	10	9.882
18	10	9.824
19	10	9.883
20	10	9.853
ค่าเฉลี่ย	10	9.836

ภาคผนวก ค.

น้ำหนักชิ้นงาน โดยใช้เครื่อง OHAUS Analytical Plus Electronic Balance

มีความละเอียด 0.001 g



ตารางที่ ก-1 น้ำหนักชิ้นงาน โดยใช้เครื่อง OHAUS Analytical Plus Electronic Balance มีความละเอียด 0.001 g

ช่วงที่	ชั้นที่	ค่าที่ได้	ค่าเฉลี่ย
1-10	1	0.709	0.711
	2	0.712	
	3	0.712	
	4	0.712	
	5	0.712	
	6	0.712	
	7	0.712	
	8	0.712	
	9	0.712	
	10	0.712	
11-20	11	0.713	0.713
	12	0.713	
	13	0.713	
	14	0.713	
	15	0.713	
	16	0.713	
	17	0.713	
	18	0.713	
	19	0.713	
	20	0.713	
501-510	501	0.711	
	502	0.711	
	503	0.711	
	504	0.711	
	505	0.711	

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

ช่วงที่	ชั้นที่	ค่าที่ได้	ค่าเฉลี่ย
	506	0.711	0.711
	507	0.711	
	508	0.711	
	509	0.711	
	510	0.711	
1001-1010	1001	0.706	0.706
	1002	0.706	
	1003	0.706	
	1004	0.706	
	1005	0.706	
	1006	0.706	
	1007	0.706	
	1008	0.706	
	1009	0.706	
	1010	0.706	
2491-2500	2491	0.710	0.698
	2492	0.698	
	2493	0.698	
	2494	0.698	
	2495	0.698	
	2496	0.698	
	2497	0.698	
	2498	0.698	
	2499	0.698	
	2500	0.698	

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

ช่วงที่	ชั้นที่	ค่าที่ได้	ค่าเฉลี่ย
4985-4994	4985	0.711	0.711
	4986	0.711	
	4987	0.711	
	4988	0.711	
	4989	0.711	
	4990	0.711	
	4991	0.711	
	4992	0.711	
	4993	0.711	
	4994	0.711	
5001-5010	5001	0.710	0.709
	5002	0.709	
	5003	0.709	
	5004	0.708	
	5005	0.710	
	5006	0.709	
	5007	0.710	
	5008	0.713	
	5009	0.710	
	5010	0.711	
7485-7494	7485	0.710	0.711
	7486	0.711	
	7487	0.711	
	7488	0.711	
	7489	0.712	
	7490	0.712	
	7491	0.712	

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

ช่วงที่	ชั้นที่	ค่าที่ได้	ค่าเฉลี่ย
	7492	0.713	
	7493	0.712	
	7494	0.712	
7501-7510	7501	0.707	0.708
	7502	0.708	
	7503	0.708	
	7504	0.707	
	7505	0.708	
	7506	0.707	
	7507	0.705	
	7508	0.709	
	7509	0.709	
	7510	0.710	
9985-9994	9985	0.711	0.7127
	9986	0.711	
	9987	0.712	
	9988	0.712	
	9989	0.712	
	9990	0.713	
	9991	0.714	
	9992	0.714	
	9993	0.713	
	9994	0.714	

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

ช่วงที่	ชั้นที่	ค่าที่ได้	ค่าเฉลี่ย
10001-10010	10001	0.710	0.708
	10002	0.710	
	10003	0.709	
	10004	0.708	
	10005	0.709	
	10006	0.709	
	10007	0.709	
	10008	0.708	
	10009	0.708	
	10010	0.708	
12485-12494	12485	0.711	0.712
	12486	0.710	
	12487	0.711	
	12488	0.712	
	12489	0.712	
	12490	0.711	
	12491	0.712	
	12492	0.713	
	12493	0.712	
	12494	0.712	
12501-12510	12501	0.714	0.712
	12502	0.713	
	12503	0.713	
	12504	0.713	
	12505	0.713	
	12506	0.712	
	12507	0.712	

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

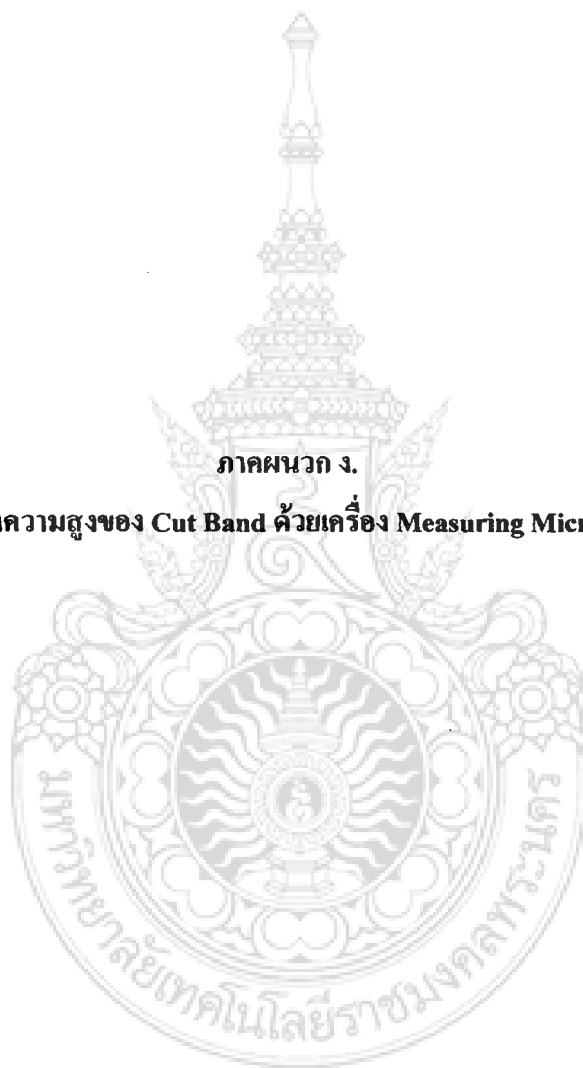
ช่วงที่	ชั้นที่	ค่าที่ได้	ค่าเฉลี่ย
	12508	0.711	
	12509	0.713	
	12510	0.711	
14985-14994	14985	0.714	0.710
	14986	0.712	
	14987	0.711	
	14988	0.710	
	14989	0.709	
	14990	0.709	
	14991	0.710	
	14992	0.710	
	14993	0.711	
	14994	0.710	
15001-15010	15001	0.705	0.704
	15002	0.705	
	15003	0.704	
	15004	0.704	
	15005	0.704	
	15006	0.705	
	15007	0.705	
	15008	0.705	
	15009	0.706	
	15010	0.706	
17485-17494	17485	0.703	0.704
	17486	0.703	
	17487	0.704	
	17488	0.704	

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

ช่วงที่	ชั้นที่	ค่าที่ได้	ค่าเฉลี่ย
	17489	0.705	
	17490	0.706	
	17491	0.705	
	17492	0.706	
	17493	0.702	
	17494	0.703	
17501-17510	17501	0.702	0.702
	17502	0.702	
	17503	0.702	
	17504	0.701	
	17505	0.701	
	17506	0.702	
	17507	0.703	
	17508	0.704	
	17509	0.702	
	17510	0.704	
19985-19994	19985	0.692	0.694
	19986	0.693	
	19987	0.695	
	19988	0.696	
	19989	0.695	
	19990	0.696	
	19991	0.695	
	19992	0.695	
	19993	0.695	
	19994	0.695	

ภาคผนวก ง.

การวัดค่าความสูงของ Cut Band ด้วยเครื่อง Measuring Micro scope



ตารางที่ ง-1 การวัดค่าความสูงของ Cut Band ด้วยเครื่อง Measuring Micro scope

ช่วงที่	ชั้นที่	ค่าที่ได้/ด้านที่			ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ยรวม	เปอร์เซ็นต์
		1	2	3			
1-10	1	0.424	0.418	1.178	0.673	0.633	56%
	2	0.483	0.385	1.013	0.627		
	3	0.380	0.372	1.139	0.630		
	4	0.446	0.365	1.086	0.632		
	5	0.399	0.486	1.103	0.662		
	6	0.443	0.322	1.031	0.598		
	7	0.433	0.439	1.080	0.650		
	8	0.459	0.330	1.107	0.632		
	9	0.381	0.393	1.102	0.625		
	10	0.366	0.360	1.080	0.602		
4985 - 4994	1	0.466	0.414	1.063	0.647	0.674	59%
	2	0.404	0.493	1.039	0.645		
	3	0.474	0.492	1.077	0.681		
	4	0.503	0.503	1.018	0.674		
	5	0.564	0.459	0.988	0.670		
	6	0.536	0.482	1.012	0.676		
	7	0.492	0.535	1.061	0.696		
	8	0.500	0.502	1.049	0.683		
	9	0.481	0.527	1.028	0.678		
	10	0.506	0.595	0.974	0.591		
9985 - 9994	1	0.442	0.477	0.753	0.557	0.571	50%
	2	0.395	0.422	0.826	0.547		
	3	0.411	0.437	0.757	0.535		
	4	0.487	0.426	0.840	0.584		
	5	0.422	0.462	0.809	0.574		
	6	0.497	0.452	0.900	0.616		

ตารางที่ ง-1 (ต่อ)

ช่วงที่	ชั้นที่	ค่าที่ได้/ด้านที่			ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย รวม	เปอร์เซ็นต์
		1	2	3			
	7	0.424	0.434	0.773	0.543		
	8	0.498	0.449	0.954	0.633		
	9	0.400	0.457	0.772	0.543		
	10	0.426	0.474	0.838	0.579		
14985	1	0.461	0.404	0.908	0.591	0.560	49%
	2	0.444	0.412	0.922	0.592		
	3	0.398	0.446	0.872	0.555		
	4	0.394	0.442	0.884	0.573		
	5	0.327	0.431	0.887	0.548		
14994	6	0.473	0.455	0.700	0.542		
	7	0.344	0.450	0.798	0.530		
	8	0.384	0.411	0.834	0.543		
	9	0.420	0.428	0.886	0.578		
	10	0.372	0.430	0.867	0.556		
19985	1	0.450	0.438	0.586	0.491	0.530	46%
	2	0.485	0.506	0.621	0.537		
	3	0.446	0.580	0.736	0.587		
	4	0.531	0.402	0.677	0.536		
	5	0.480	0.475	0.522	0.492		
19994	6	0.562	0.409	0.865	0.612		
	7	0.480	0.376	0.748	0.534		
	8	0.411	0.442	0.505	0.452		
	9	0.456	0.499	0.515	0.490		
	10	0.518	0.540	0.660	0.572		

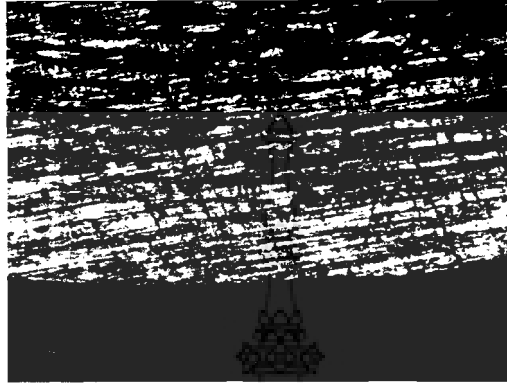
ภาคผนวก จ.

ภาพแสดงสภาพพื้นผิวของ Punch และ Die

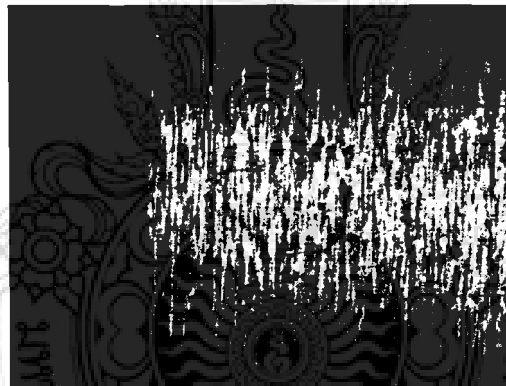
ด้วยกล้อง Reflected Light Microscope Axiotech กำลังขยาย 90 เท่า



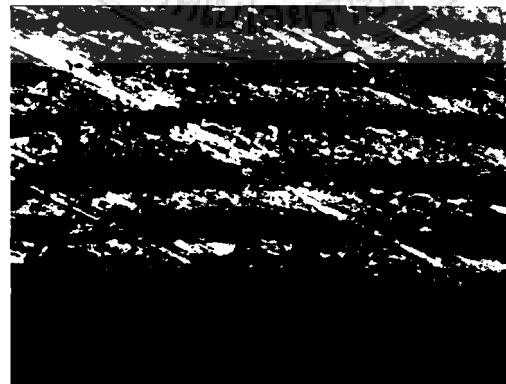
สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die ก่อนการใช้งาน



รูปที่ จ-1 Punch. ก่อนการใช้งาน 0° กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

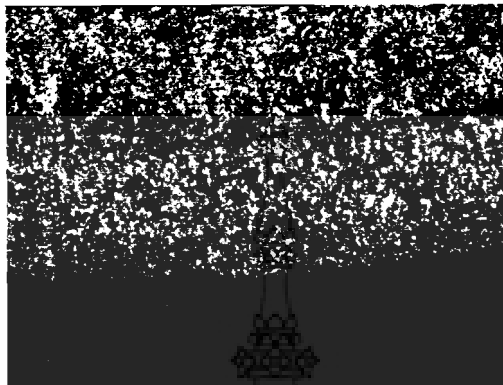


รูปที่ จ-2 Punch. ก่อนการใช้งาน 0° กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง

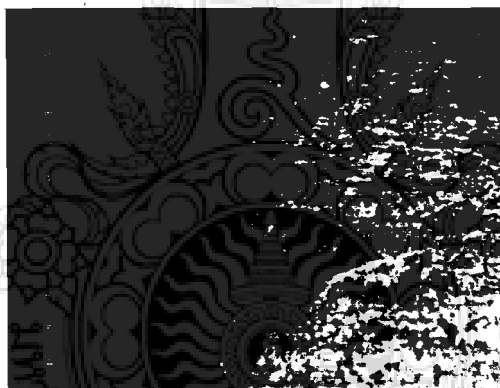


รูปที่ จ-3 Die ก่อนการใช้งาน 0° กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 5000 ครั้ง



รูปที่ จ-4 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 5000, 0° กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

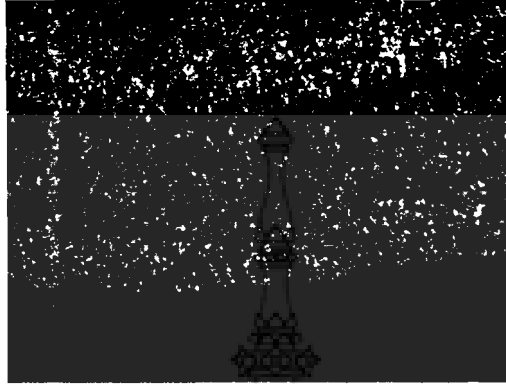


รูปที่ จ-5 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 5000, 0° กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง

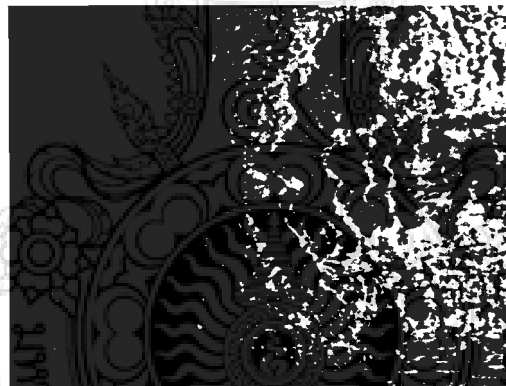


รูปที่ จ-6 Die ผ่านการปั๊มที่ 5000, 0° กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

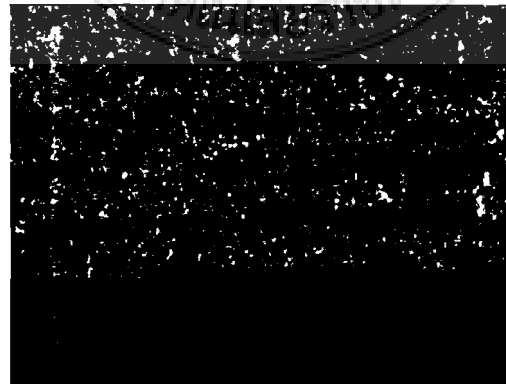
สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มครั้งที่ 7500 ครั้ง



รูปที่ จ-7 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 7500, 0° กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

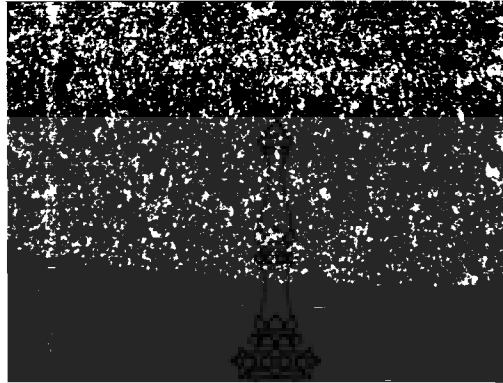


รูปที่ จ-8 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 7500, 0° กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง

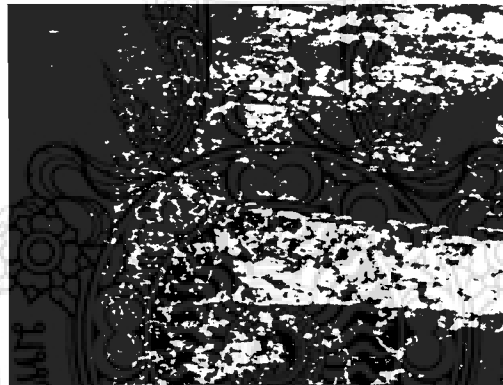


รูปที่ จ-9 Die ผ่านการปั๊มที่ 7500, 0° กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

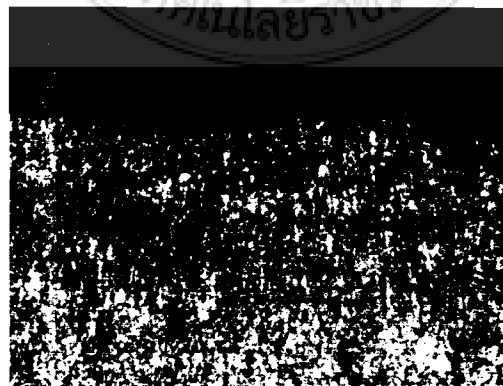
สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 10000 ครั้ง



รูปที่ จ-10 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 10000, 0° กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

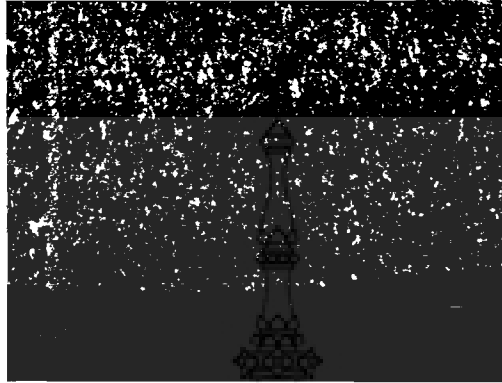


รูปที่ จ-11 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 10000, 0° กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง



รูปที่ จ-12 Die ผ่านการปั๊มที่ 10000, 0° กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

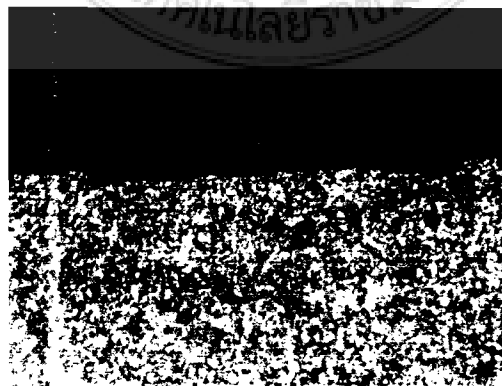
สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 12500 ครั้ง



รูปที่ จ-13 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 12500, 0° กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

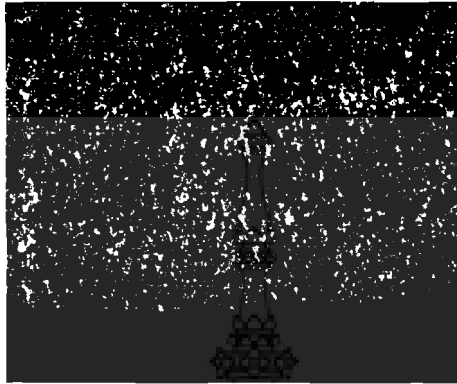


รูปที่ จ-14 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 12500, 0° กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง



รูปที่ จ-15 Die ผ่านการปั๊มที่ 12500, 0° กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

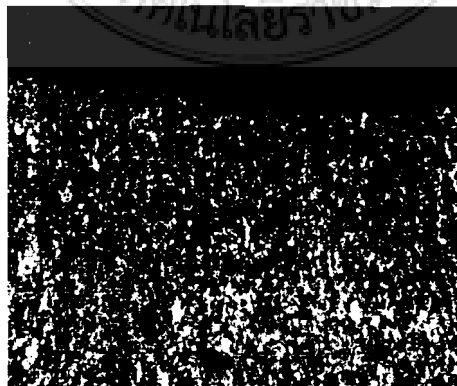
สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มครั้งที่ 15000 ครั้ง



รูปที่ จ-16 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 15000, 0° กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

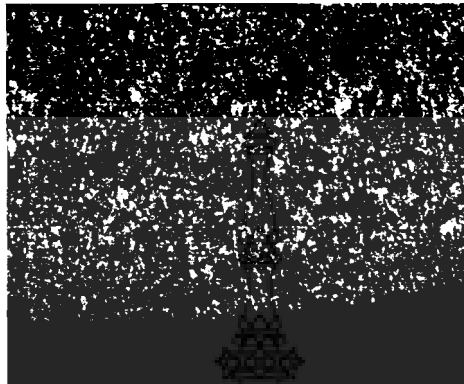


รูปที่ จ-17 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 15000, 0° กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง

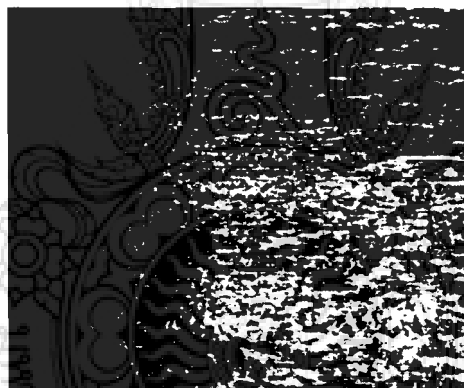


รูปที่ จ-18 Die ผ่านการปั๊มที่ 15000, 0° กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

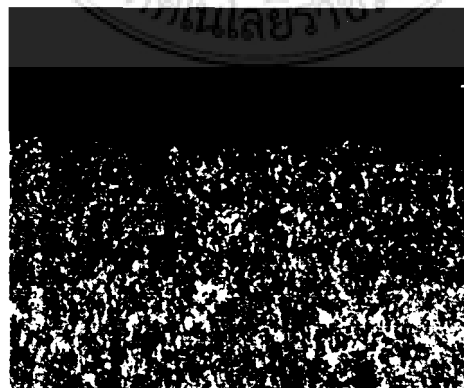
สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มตัดที่ 17500 ครั้ง



รูปที่ จ-19 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 17500, 0° กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

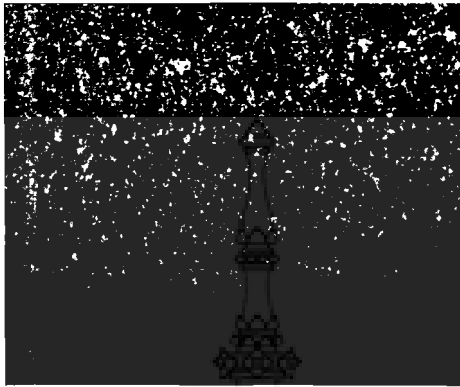


รูปที่ จ-20 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 17500, 0° กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง



รูปที่ จ-21 Die ผ่านการปั๊มที่ 17500, 0° กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

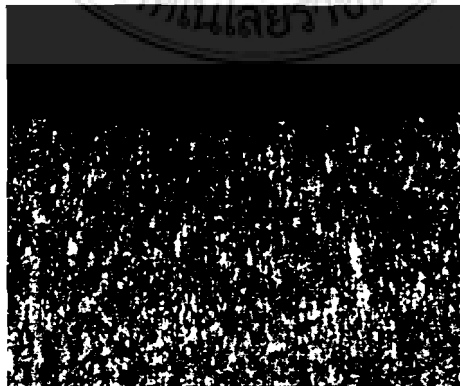
สภาพพื้นผิวของ Punch และ Die หลังผ่านการปั๊มครั้งที่ 20000 ครั้ง



รูปที่ จ-22 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 20000, 0° กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน



รูปที่ จ-23 Punch. ผ่านการปั๊มที่ 20000, 0° กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านข้าง

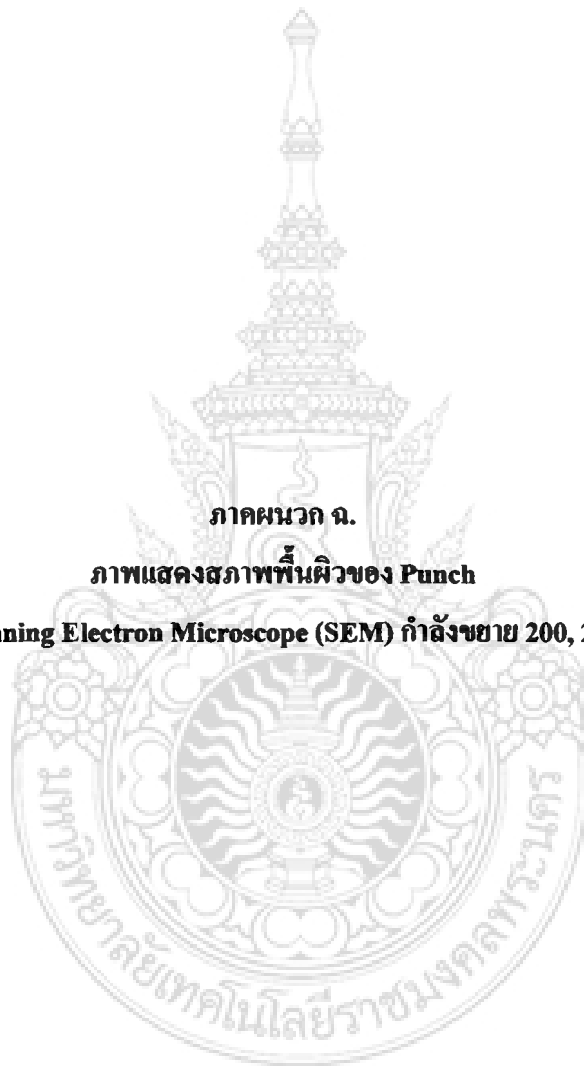


รูปที่ จ-24 Die ผ่านการปั๊มที่ 20000, 0° กำลังขยาย 90 เท่า, ด้านบน

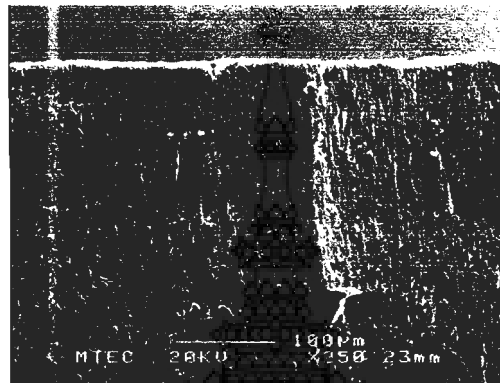
ภาคผนวก ฉ.

ภาพแสดงสภาพพื้นผิวของ Punch

ด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) กำลังขยาย 200, 250, 1500 เท่า



สภาพพื้นผิวของ Punch ที่ผ่านการบีบอัดที่ 10000 โดยใช้เครื่อง SEM

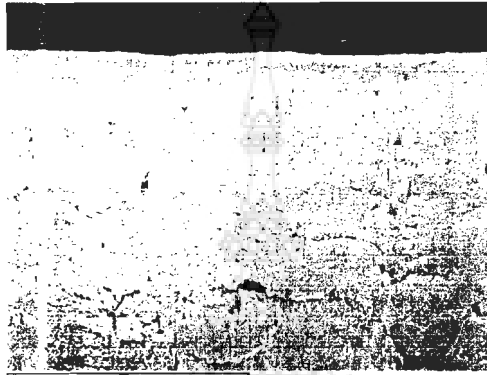


รูปที่ ฉ-1 รูปถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 250 เท่า, Punch ผ่านการบีบที่ 10000, 0° ด้านข้าง



รูปที่ ฉ-2 รูปถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 1500 เท่า, Punch ผ่านการบีบที่ 10000, 0° ด้านข้าง

สภาพพื้นผิวของ Punch ที่ผ่านการปั๊มตัดที่ 20000 โดยใช้เครื่อง SEM

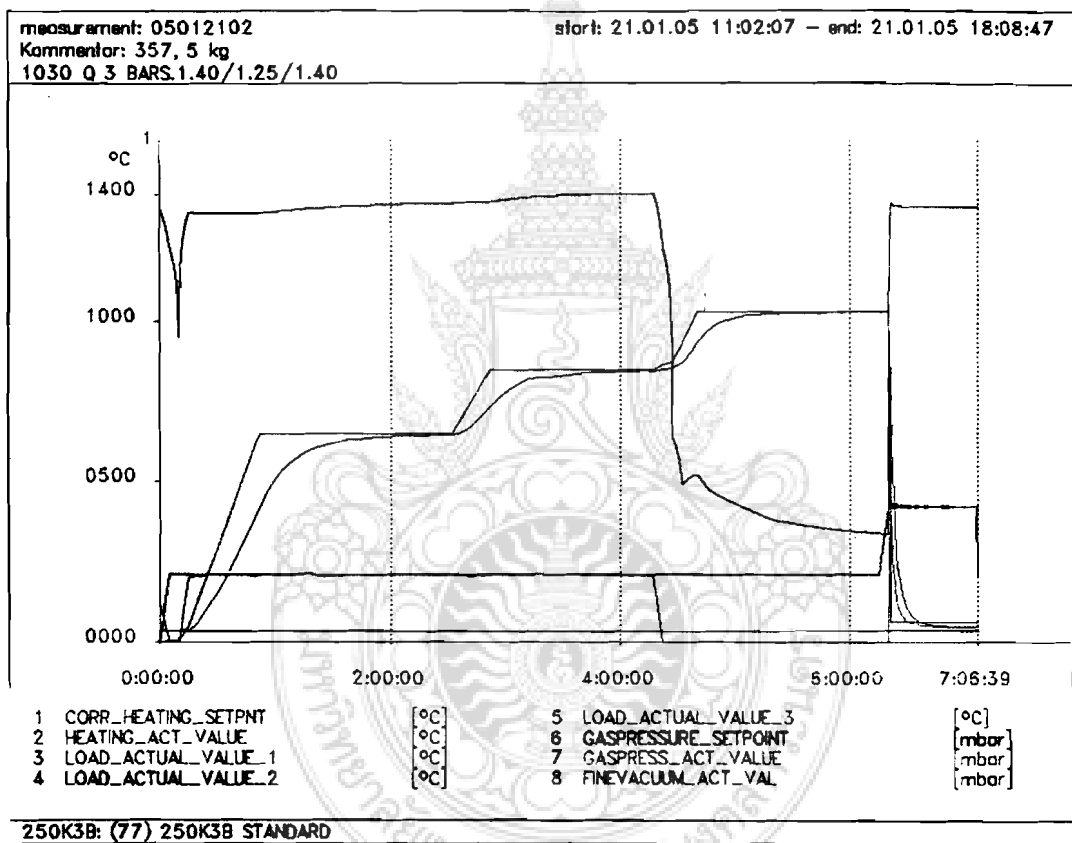


รูปที่ ฉ-3 รูปถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 200 เท่า, Punch ผ่านการปั๊มที่ 20000, 0° ด้านข้าง



รูปที่ ฉ-4 รูปถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 1500 เท่า, Punch ผ่านการปั๊มที่ 20000, 0° ด้านข้าง






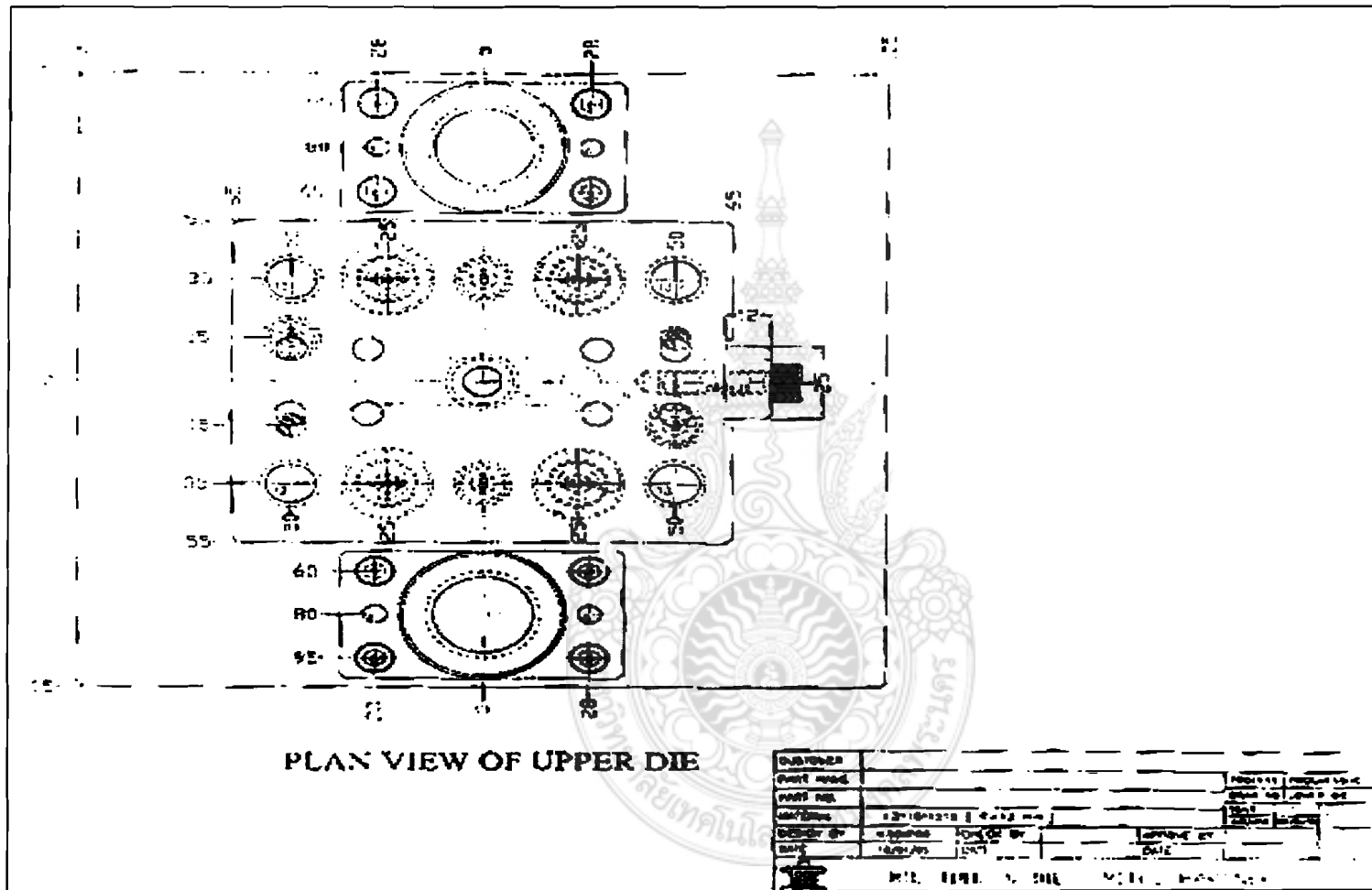
รูปที่ ช-1 กราฟการอบชุบเหล็ก Vanadis 4



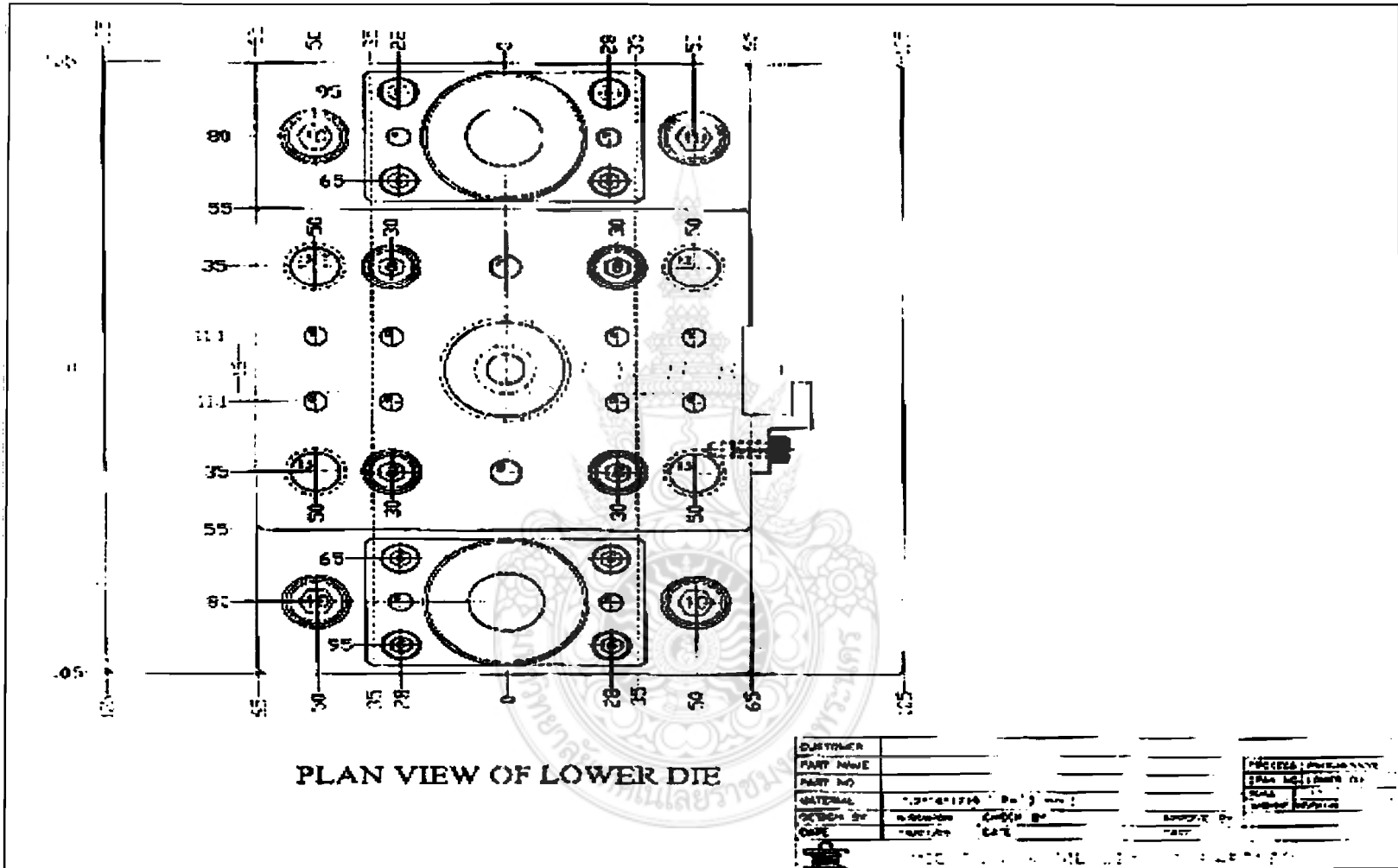
ตารางที่ ซ-1 ชิ้นส่วนมาตรฐานของแม่พิมพ์

 MATERIAL LIST MIC TOOL & DIE LIMITED PARTNERSHIP						
DATE : 18/01/05		PART NAME :		MODEL :		
CUSTOMER :		PART NO. :		PROCESS : PROGRESSIVE		
NO.	PART NAME	SPEC	FINISHED SIZE	Q'TY	HRC.	REMARK
01	LOWER PLATE	SS41	210*210*30	1		
02	LOWER SUPPORT	SS41	30*210*23	2		
03	DIE HOLDER	SS41	130*210*30	1		
04	PUNCH HOLDER	SS41	210*210*30	1		
05	PUNCH BACKING	S50C	110*130*10	1		
06	STRIPPER PLATE	S50C	110*130*16	1		
07	PUNCH PLATE	S50C	110*130*20	1	50HRC.	
08	DIE PLATE	S50C	110*130*30	1	50HRC.	
09	SCRAP CUTTER	S50C	12*25*50	1	50HRC.	
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						

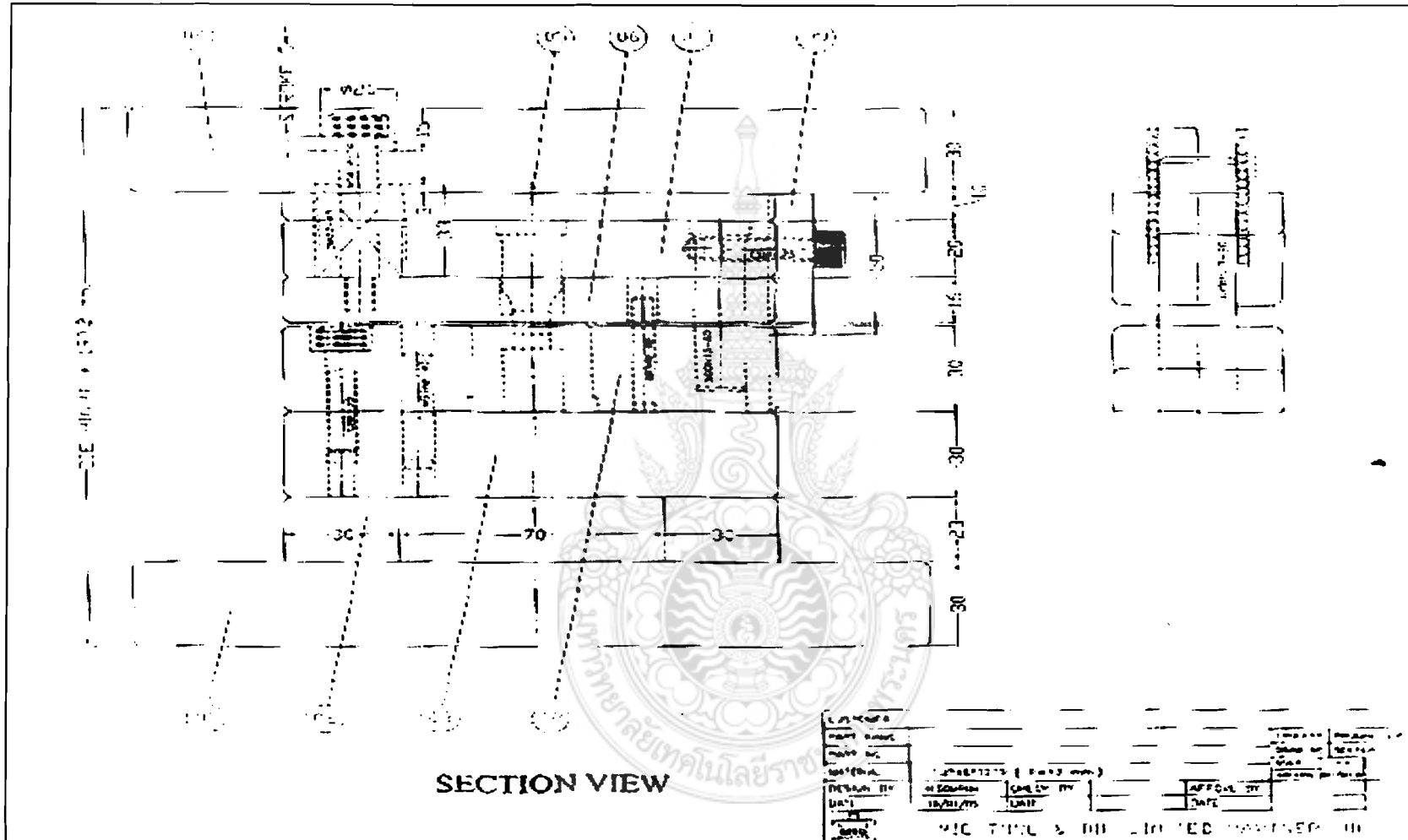
N.SOMPOB



รูปที่ ๗-1 UPPER DIE



รูปที่ ๓-2 LOWER DIE

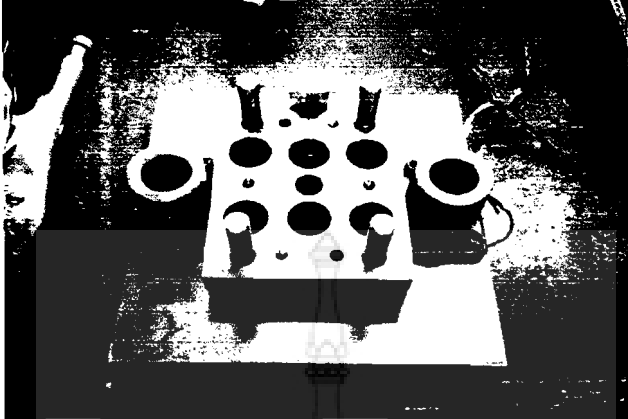


รูปที่ ๗-3 SECTION VIEW

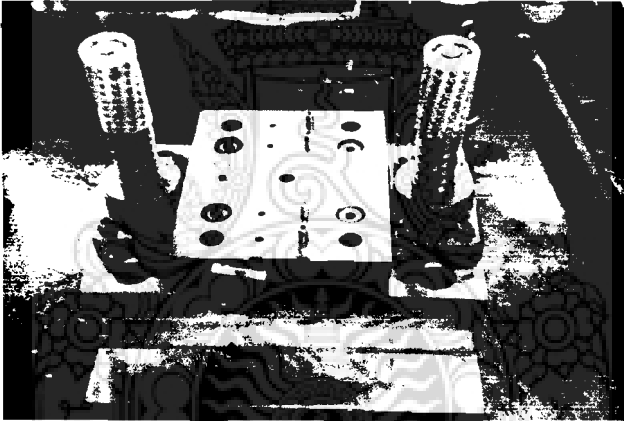


ภาคผนวก ฉ.

ภาพการดำเนินการทำโครงการ



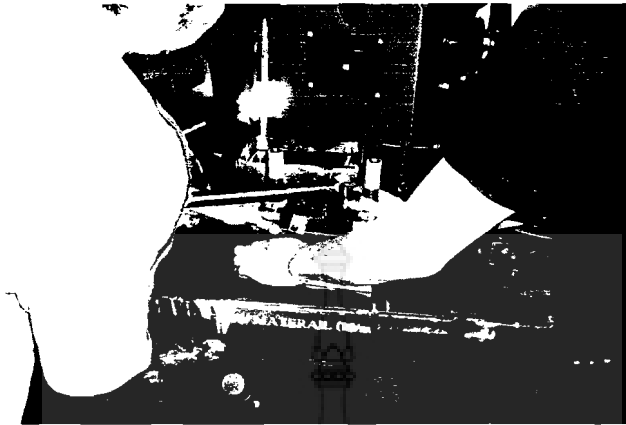
รูปที่ ฅ-1 UPPER DIE



รูปที่ ฅ-2 LOWER DIE



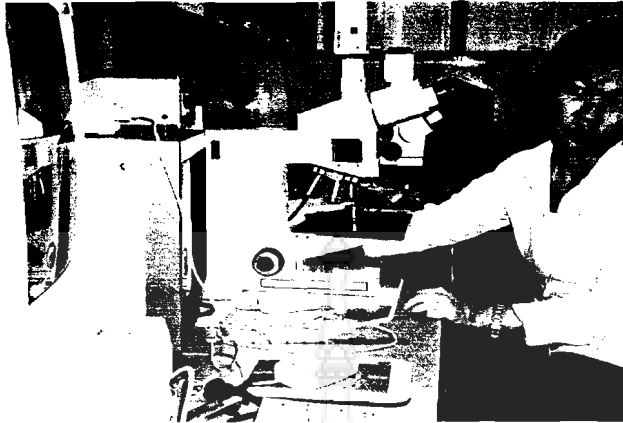
รูปที่ ฅ-3 UPPER AND LOWER DIE



รูปที่ ฅ-4 การถอด DIE



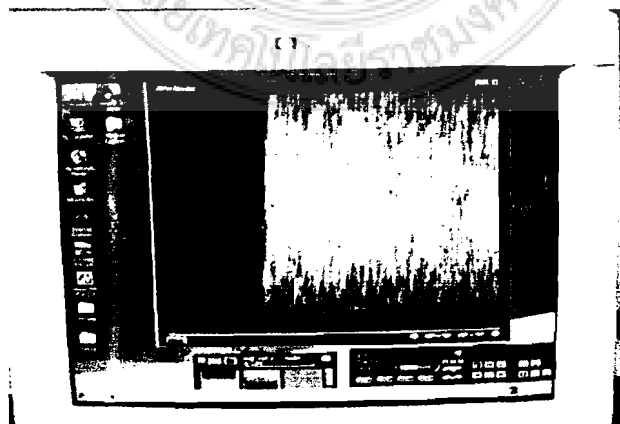
รูปที่ ฅ-5 การป้อนชิ้นงานเข้าแม่พิมพ์เพื่อทำการตัด



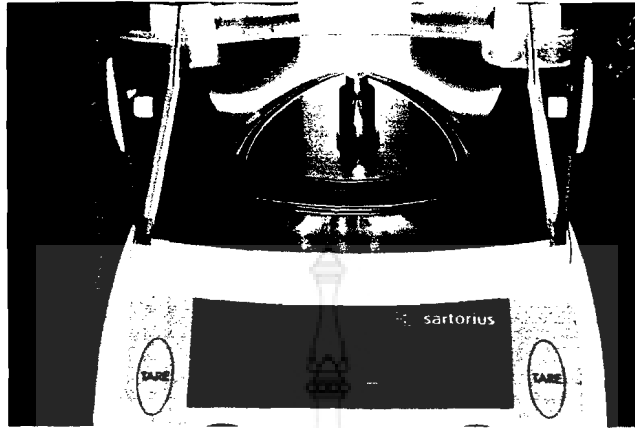
รูปที่ ๓-6 การถ่ายภาพด้วยกล้อง Reflected Light Microscope Axiotech



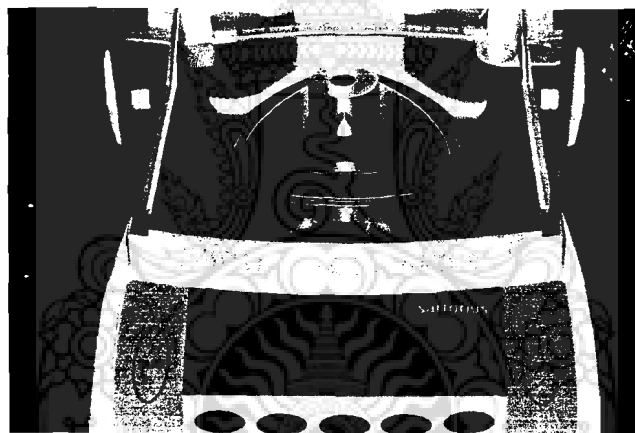
รูปที่ ๓-7 จอแสดงภาพพื้นผิว Die ก่อนทำการถ่ายรูป



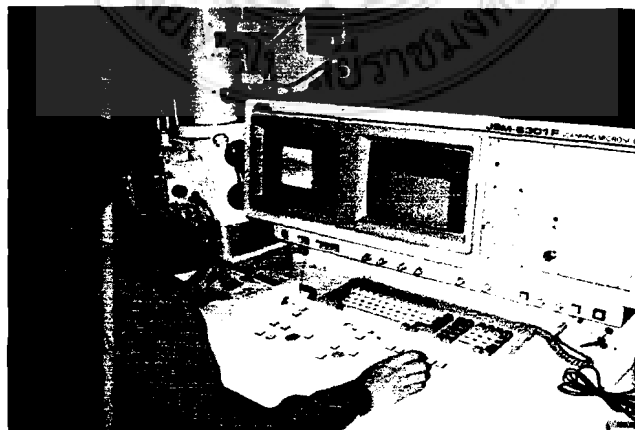
รูปที่ ๓-8 จอแสดงภาพพื้นผิว Punch ก่อนทำการถ่ายรูป



รูปที่ ๗-9 การชั่งน้ำหนัก Punch



รูปที่ ๗-10 การชั่งน้ำหนัก Die



รูปที่ ๗-11 การควบคุมก่อนจะทำการถ่าย SEM