

การศึกษาประสิทธิภาพการกัดชิ้นรูปวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก

**A STUDY OF EFFICIENCY DURING MACHINING MILLING  
OF PLASTIC MOLD STEEL**

บรรจง เฟื่องฟู

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

# การศึกษาประสิทธิภาพการกักขังรูปวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก

บรรจง เฟื่องฟู

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาประสิทธิภาพการกัดขึ้นรูปวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก
ชื่อ - นามสกุล	นายบรรจง เฟื่องฟู
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สมศักดิ์ อธิธิโสภณกุล, Ph.D.
ปีการศึกษา	2555

## บทคัดย่อ

แม่พิมพ์เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการผลิตชิ้นงานพลาสติก การเลือกวัสดุในการทำแม่พิมพ์ที่มีความเหมาะสมจะส่งผลให้คุณภาพของชิ้นงานพลาสติกสูงขึ้น อีกทั้งจะทำให้อายุการใช้งานของแม่พิมพ์ยาวนานขึ้นงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาคุณสมบัติของเหล็กทำแม่พิมพ์ 3 ชนิด และเปรียบเทียบสมบัติการตัดเฉือนของเหล็กกล้าทั้ง 3 ชนิด

วัสดุในการทดลองนี้ คือเหล็กกล้าแม่พิมพ์ 3 ชนิด ที่มีชื่อทางการค้าคือ Daido-Nak80 Bohler -M202 และ S50C โดยทำเป็นชิ้นทดสอบชนิดละ 9 ตัวอย่าง เหล็กกล้าทั้ง 3 ชนิดถูกนำมากัดผิวหน้า โดยใช้ตัวแปรในการทดลองคืออัตราป้อนกัด 45 50 และ 55 มิลลิเมตรต่อนาที ความเร็วรอบ 510 572 และ 637 รอบต่อนาที โดยทำการกัดเป็นขั้นบันไดที่ความลึก 3 5 และ 10 มิลลิเมตร เครื่องมือในการกัด คือดอกกัดเอนมิล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ชนิด 2 คมตัด ผิวงานกัดของเหล็กกล้าแม่พิมพ์ด้วยสภาวะที่กำหนดถูกนำมาทำการศึกษาคุณภาพของผิวงานกัด ได้แก่ค่าความหยาบผิว การสึกหรอคมตัดของมีดกัด

การทดลองสรุปผลได้ดังนี้ ความหยาบผิวของเหล็กกล้าแม่พิมพ์พลาสติกที่ผ่านการกัดซึ่งมีค่าความหยาบผิวสูงสุด 0.593 2.120 และ 2.627 ไมโครเมตร สำหรับเหล็กกล้าแม่พิมพ์ Daido-Nak80 Bohler -M202 และ S50C ตามลำดับ ที่สภาวะการกัดเหมาะสมคือการป้อนด้วยอัตราป้อน 45 มิลลิเมตรต่อนาที ความเร็วรอบ 637 รอบต่อนาที และระดับความลึกการกัดที่ระยะ 3 มิลลิเมตร ส่วนสภาวะการกัดที่ทำให้เกิดการสึกหรอสูงสุดของคมตัดของดอกกัดเอนมิล พบว่าการกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก Bohler -M202 ที่อัตราป้อน 55 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ความเร็วรอบ 510 รอบต่อนาที ระดับการกัดที่ ความลึก 10 มิลลิเมตร

**คำสำคัญ:** วัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก ความหยาบผิว การสึกหรอคมตัดของมีดกัด

<b>Thesis Title</b>	A Study of Efficiency During Machining Milling of Plastic Mold Materials Steels
<b>Name - Surname</b>	Mr. Banjong Fuangfu
<b>Program</b>	Manufacturing Engineering
<b>Thesis Advisor</b>	Mr. Somsak Ithisoponakul, Ph.D.
<b>Academic Year</b>	2012

## ABSTRACT

A plastic forming mold is important equipment for producing plastic products. Selection of a suitable material for producing the mold can improve life time of the mold and product quality. This research aims to investigate properties of three different types of mold steels and to compare the machinability among them.

Materials used in experiments were three types of mold steel with their commercial names: Daido-Nak80, Bohler-M202 and S50C by using 9 samples per each specimen. These three steels were machined using an automatic milling machine with different sets of process parameters. The sets were combinations of a feed rate of 45, 50 and 55 mm/min, a rotating rate of 510, 572 and 637 rpm, and a step cutting depth of 3, 5 and 10 mm. The cutting tool used in this experiment was an end-mill cutting tool that had a diameter of 10 mm and two cutting blades. The surfaces of the steel machined with the given process parameters, was investigated for quality assessments including surface roughness and tool wear evaluations.

Experimental results are summarized as follows. The minimum surface roughness values of each subject were 0.593, 2.120 and 2.627 micrometers ( $\mu\text{m}$ ) for Daido-Nak80 steel, S50C steel and Bohler-M202 steel, respectively. All of them were machined with the feed rate of 45 mm/min, the rotating rate of 637 rpm, and the cutting depth of 3 mm. The process parameter that produced the maximum degree of tool wear of the end-mill cutting blade was the feed rate of 55 mm/min, the rotating rate of 510 rpm, and the cutting depth of 10 mm when applied to the Bohler-M202 steel.

**Keywords:** plastic mold material steel, surface roughness, tool wear



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.สมศักดิ์ อธิธิโสภณกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ขอขอบคุณ ดร.กฤษดา จุลเพ็ญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุลและ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชัย จันทรมณี ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำรวมทั้งข้อเสนอแนะต่างๆ ตลอดจนการแก้ไขปัญหาอันเป็นประโยชน์ต่องานทดลองนี้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่และอาจารย์ในสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและสาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้การสนับสนุนทางด้านการใช้สถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องทดสอบทุกชนิด ขอขอบคุณวิทยาลัยเทคนิคสมุทรสาคร ที่อนุเคราะห์เครื่องจักรในการทดลอง และศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ช่วยให้คำปรึกษาและวิเคราะห์ผลการทดสอบขั้นสูง ท้ายนี้ขอขอบคุณคณาจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา บ่มเพาะจนผู้วิจัยสามารถนำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้ได้จนประสบความสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง และเพื่อนๆ ทุกคน ที่ให้ความรักและกำลังใจในการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมจนสำเร็จการศึกษา

บรรจง เฟื่องฟู

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 สมมติฐาน.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 นิยามศัพท์สำคัญ.....	4
2.2 เครื่องจักร CNC หรือเครื่องมือกล (CNC Machine Tool).....	5
2.3 เหล็กกล้าเกรด DAIDO-NAK80 (AISI-P21).....	9
2.4 เหล็กกล้าเกรด BOHLER-M202 (AISI-P20).....	11
2.5 เหล็กกล้าเกรด JIS S50C (AISI-1050) (Medium Carbon Steel).....	13
2.6 การตัดเฉือน.....	16
2.7 การเกิดเศษ (Chip) ในกระบวนการตัด.....	20
2.8 ความหยาบของผิวงาน.....	23
2.9 กล้องที่ใช้แสงแบบสเตอริโอ.....	25
2.10 กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope).....	27
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30

## สารบัญ (ต่อ)

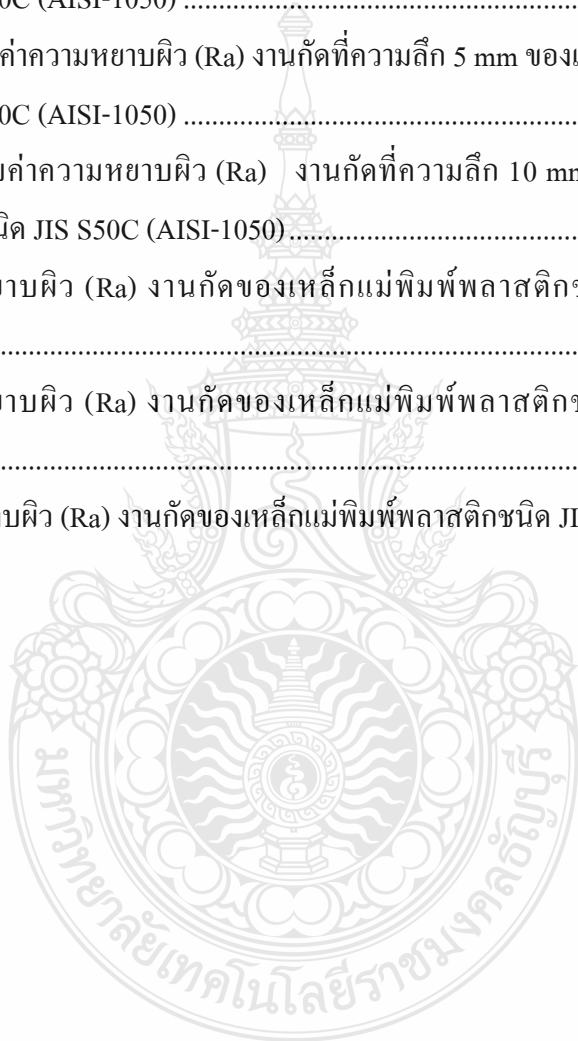
บทที่	หน้า
3 วิธีการดำเนินงาน .....	33
3.1 แผนการดำเนินงาน .....	33
3.2 การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเรียบผิวของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก.....	35
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ ในการทดลอง.....	37
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	39
4 ผลการดำเนินการวิจัย.....	43
4.1 ศึกษาลักษณะคุณภาพผิวงานกัด .....	43
4.2 ศึกษาค่าความหยาบผิว (Ra) ของผิวงานกัด .....	67
4.3 วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวงานกัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope : SEM).....	75
4.4 ศึกษาลักษณะพื้นผิวข้างงานกัด .....	77
4.5 ศึกษาลักษณะการเกิดเศษเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกที่เกิดจากกระบวนการกัด .....	89
4.6 วิเคราะห์การสึกหรอของคมตัดมีดกัดเอ็นมิล (End mill).....	92
5 สรุปและข้อเสนอแนะ .....	97
5.1 สรุปผล.....	97
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	98
รายการอ้างอิง.....	99
ภาคผนวก.....	102
ภาคผนวก ก ตารางบันทึกผลการทดลอง .....	103
ภาคผนวก ข ตารางเทียบเกรดเหล็ก.....	107
ภาคผนวก ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ .....	112
ประวัติผู้เขียน.....	125

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติทางเคมีและสภาพการใช้งานของเหล็กกล้า DAIDO-NAK80 (AISI-P21) .....	10
2.2 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties).....	11
2.3 คุณลักษณะทั่วไปของ BOHLER-M202 (AISI-P20) .....	12
2.4 คุณสมบัติทางกายภาพของเหล็กกล้า BOHLER-M202 (AISI-P20) .....	13
2.5 คุณลักษณะทั่วไป (General Characteristics).....	14
2.6 สภาพจำหน่ายอบปกติ (Normalized).....	14
2.7 สภาพชุบแข็งและอบคืนไฟ (Hardened and Tempered) .....	14
2.8 คุณสมบัติการอบชุบ .....	15
2.9 กระบวนการขึ้นรูป .....	15
3.1 แผนการดำเนินงานในการทำการศึกษาและจัดทำวิทยานิพนธ์ .....	35
3.2 เงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลที่มีต่อความเรียบผิวของเหล็กมาตรฐาน DAIDO-NAK80 (AISI-P21) .....	36
3.3 เงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลที่มีต่อความเรียบผิวของเหล็กมาตรฐาน BOHLER- M202 (AISI- P20).....	36
3.4 เงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลที่มีต่อความเรียบผิวของเหล็กมาตรฐาน JIS S50C (AISI-1050) .....	36
4.1 เปรียบเทียบค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดที่ความลึก 3 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) .....	45
4.2 เปรียบเทียบค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดที่ความลึก 5 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) .....	48
4.3 เปรียบเทียบค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดที่ความลึก 10 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21).....	51
4.4 เปรียบเทียบค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดที่ความลึก 3 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20) .....	54
4.5 เปรียบเทียบค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดที่ความลึก 5 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20) .....	56

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.6	เปรียบเทียบค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดที่ความลึก 10 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก ชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20)..... 59
4.7	เปรียบเทียบค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดที่ความลึก 3 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก ชนิด JIS S50C (AISI-1050) ..... 61
4.8	เปรียบเทียบค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดที่ความลึก 5 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก ชนิด JIS S50C (AISI-1050) ..... 64
4.9	เปรียบเทียบค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดที่ความลึก 10 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก ชนิด JIS S50C (AISI-1050)..... 66
4.10	ค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21)..... 69
4.11	ค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20)..... 71
4.12	ค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) . 73



## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	เครื่องจักรกลซีเอ็นซี ยี่ห้อ CHEVALIER 2040 VMC .....	5
2.2	เครื่องกัดซีเอ็นซีแบบ 3 แกน .....	6
2.3	เครื่องกัดซีเอ็นซีแบบ 5 แกน .....	6
2.4	ชุดควบคุมการทำงาน.....	7
2.5	กลไกการเคลื่อนที่.....	8
2.6	มุมต่างๆ ของมีดกัด End Mills ชนิด 4 คมตัด .....	18
2.7	ลักษณะการกัดตาม (Up-Cut).....	18
2.8	ลักษณะการกัดทวน (Down - Cut).....	19
2.9	ด้านข้างการตัดเนื้อของวัสดุ.....	20
2.10	ลักษณะเศษที่ไม่ยาวต่อเนื่อง.....	21
2.11	ลักษณะเศษตัดที่ยาวต่อเนื่อง .....	22
2.12	ลักษณะเศษตัดที่ยาวต่อเนื่องกับการพอกตัวของเศษที่คมตัด.....	22
2.13	ภาพขยายของผิวชิ้นงาน.....	23
2.14	การวัดค่าความหยาบ Rt.....	24
2.15	การวัดค่าความหยาบ Ra .....	25
2.16	การวัดค่าความหยาบ Rz .....	25
2.17	ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ .....	26
2.18	กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope).....	28
2.19	หลักการการทำงานของเครื่อง SEM .....	29
2.20	พื้นผิวที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM ของสิ่งมีชีวิต .....	30
2.21	พื้นผิวงานของโลหะที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM .....	30
3.1	แผนภาพการไหลกระบวนการ .....	34
3.2	ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ (หน่วย : mm).....	37
3.3	เครื่องจักร CNC ยี่ห้อ CHEVALIERรุ่น 2040VMC .....	37
3.4	มีดกัดคาร์ไบด์ (End mill) ชนิด 2 คมตัด ขนาด Ø 10 mm .....	38
3.5	เครื่องวัดความเรียบผิวยี่ห้อ Mahr MarSurf PS1.....	38
3.6	การติดตั้งชิ้นงานและมีดกัด .....	39

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.7	การป้อนคำสั่งเครื่องจักรให้ทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้..... 39
3.8	ลักษณะชิ้นงานทดสอบ ..... 40
3.9	การวัดค่าความเรียบผิวโดยใช้เครื่อง Mahr Mar Surf PS1 ..... 40
3.10	ลักษณะเศษกัดที่ได้จากกระบวนการกัด ..... 41
3.11	การตรวจสอบคุณภาพผิวงานกัดด้วยกล้องจุลทรรศน์ ..... 42
4.1	ลักษณะคุณภาพผิวงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) ที่อัตราป้อน 45 mm/min..... 44
4.2	การกัดที่ความลึก 3 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) 45
4.3	กษณะคุณภาพผิวงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) ที่อัตราป้อน 50 mm/min ..... 46
4.4	การกัดที่ความลึก 5 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) 47
4.5	ลักษณะคุณภาพผิวงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) ที่อัตราป้อน 55 mm/min ..... 49
4.6	การกัดที่ความลึก 10 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) ..... 50
4.7	ลักษณะคุณภาพผิวงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20) ที่อัตราป้อน 45 mm/min..... 53
4.8	การกัดที่ความลึก 3 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20) 54
4.9	ลักษณะคุณภาพผิวงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20).... 55
4.10	การกัดที่ความลึก 5 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20) 56
4.11	ลักษณะคุณภาพผิวงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20).... 58
4.12	การกัดที่ความลึก 10 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20) ..... 59
4.13	ลักษณะคุณภาพผิวงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) ที่อัตราป้อน 45 mm/min ..... 60
4.14	การกัดที่ความลึก 3 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก ชนิด JIS S50C (AISI-1050)..... 61

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.15 ลักษณะคุณภาพผิวงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) ที่อัตรา ป้อน 50 mm/min .....	62
4.16 การกัดที่ความลึก 5 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก ชนิด JIS S50C (AISI-1050).....	63
4.17 ลักษณะคุณภาพผิวงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) ที่อัตรา ป้อน 55 mm/min .....	65
4.18 การกัดที่ความลึก 10 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050).....	66
4.19 ค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO -NAK80 (AISI-P21).....	70
4.20 ค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHKER-M22 (AISI- P20) .....	72
4.21 ค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) .	74
4.22 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 200 เท่า ของผิวงานกัดที่มีคุณภาพผิวงานดีและไม่ดีของวัสดุ เหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิดต่างๆ .....	76
4.23 ลักษณะคุณภาพผิวข้างงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI- P21) ที่อัตราป้อน 45 mm/min.....	77
4.24 ลักษณะคุณภาพผิวข้างงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI- P21) ที่อัตราป้อน 50 mm/min.....	78
4.25 ลักษณะคุณภาพผิวข้างงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI- P21) ที่อัตราป้อน 55 mm/min.....	79
4.26 ลักษณะคุณภาพผิวข้างงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI- P20) ที่อัตราป้อน 45 mm/min.....	81
4.27 ลักษณะคุณภาพผิวข้างงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI- P20) ที่อัตราป้อน 50 mm/min.....	82
4.28 ลักษณะคุณภาพผิวข้างงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI- P20) ที่อัตราป้อน 55 mm/min.....	83
4.29 ลักษณะคุณภาพผิวข้างงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) ที่ อัตราป้อน 45 mm/min.....	85



## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.30 ลักษณะคุณภาพผิวข้างงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) ที่อัตราป้อน 50 mm/min.....	86
4.31 ลักษณะคุณภาพผิวข้างงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) ที่อัตราป้อน 55 mm/min.....	87
4.32 ลักษณะเศษกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิดต่างๆ.....	90
4.33 ตำแหน่งการตรวจสอบการสึกหรอของมิดกัด (End Mill).....	92
4.34 ลักษณะการสึกหรอ (Wear) น้อยที่สุดของมิดกัด ที่ทำการกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกทั้ง 3 ชนิด .....	93
4.35 ลักษณะการสึกหรอ (Wear) มากที่สุดของมิดกัด ที่ทำการกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกทั้ง 3 ชนิด .....	94



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตภายในประเทศมีการพัฒนาเจริญก้าวหน้าอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมทางด้านแม่พิมพ์ซึ่งอุตสาหกรรมแม่พิมพ์พลาสติกที่เรียกว่า “โมลด์” (Mold) ได้ถูกนำมาใช้ในการผลิตชิ้นงานในปริมาณที่มาก (Mass Production) [1] ทั้งนี้การพิจารณาชนิดวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตโมลด์จะต้องมีคุณสมบัติที่ดีพอ เพื่อลดความบกพร่องที่อาจจะเกิดขึ้นในตัวชิ้นงานสำเร็จ ตลอดจนสามารถยืดอายุการใช้งานของชุดแม่พิมพ์ได้ [2] ซึ่งวัสดุที่ใช้งานมีความแตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสมของงานแต่ละประเภท ของการขึ้นรูปชิ้นส่วนชนิดต่างๆ ของโมลด์ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการผลิตชิ้นงานเพื่อเพิ่มปริมาณ และคุณภาพของผลผลิตให้สูงยิ่งขึ้น ตลอดจนสามารถแข่งขันได้ ทั้งนี้สิ่งที่มีผลกระทบต่อการผลิตชุดโมลด์ในปัจจุบันคือ การที่ไม่ทราบถึงคุณภาพของผิวที่แท้จริงวัสดุที่ใช้ในการสร้างโมลด์ ซึ่งสิ่งจำเป็นสำหรับการผลิตชิ้นงานโมลด์พลาสติก ผิวงาน จึงเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ และสวยงามอย่างมีคุณภาพ ดังนั้นตามสภาวะการใช้งานจริงของวัสดุที่ใช้ทำโมลด์ ผิวของโมลด์ที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับหลายองค์ประกอบ [3] เช่น ความเร็วรอบ (Spindle Speed) อัตราป้อน (Feed Rate) ความเร็วตัด (Cutting Speed) ที่เกิดขึ้นรวมถึงชนิดของมีดกัด (Tools) ที่ใช้ด้วย เป็นต้น [4] เนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้เป็นส่วนที่ทำให้ผิวที่ได้มีคุณภาพมากน้อยเพียงใด โดยวัสดุที่นิยมนำมาใช้ผลิตโมลด์ คือ เหล็กกล้าแม่พิมพ์ชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER-M202 (AISI-P20) และ JIS S50C (AISI-1050) [5]

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญอย่างยิ่งต่องานวิจัยนี้ จึงได้ทำการศึกษาคุณภาพผิวชิ้นงานที่พารามิเตอร์การกัด ที่ให้ผลต่อความเรียบผิวของวัสดุเหล็กกล้าแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER-M202 (AISI-P20) และ JIS S50C (AISI-1050) โดยปรับเปลี่ยนวิธีการป้อนกัด อัตราป้อน และศึกษาการสึกหรอคมตัดของมีดกัดคาร์ไบด์ (End Mill) ชนิด 2 คมตัด ขนาด  $\varnothing$  10 mm ภายหลังตัดเนื้อเหล็กกล้าเครื่องมือแม่พิมพ์ชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER-M202 (AISI-P20) และ JIS S50C (AISI-1050) เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้งานอุตสาหกรรมการผลิตชุดโมลด์ให้เกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไป

## 1.2 สมมติฐาน

ปัจจัยของกระบวนการกัดด้วยเครื่องจักร CNC ได้แก่ อัตราป้อน และพื้นที่การตัดเนื้อจากเปอร์เซ็นต์ของเส้นผ่านศูนย์กลางของมีดกัด ว่ามีผลต่อคุณภาพความเรียบผิวชิ้นงานของกระบวนการขึ้นรูปด้วยเครื่องจักร CNC

วิธีการกัดผิวชิ้นงานแบบ Down Cut จากปลายมีดกัดว่ามีผลต่อความเรียบผิวของเหล็กกล้าเครื่องมือแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER-M202 (AISI-P20) และ JIS S50C (AISI-1050) และการสึกหรอคมตัดมีดกัดภายหลังสิ้นสุดการกัด

## 1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อคุณภาพความเรียบผิว ในกระบวนการกัดของเหล็กกล้าเครื่องมือ แม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER-M202 (AISI-P20) และ JIS S50C (AISI-1050)

1.3.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบตัวแปรที่ความเหมาะสม ในการกัดผิวเหล็กกล้าเครื่องมือแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER-M202 (AISI-P20) และ JIS S50C (AISI-1050) ด้วยมีดกัดคาร์ไบด์ (End mill) ยี่ห้อ OMER HSS-AL GROUND END MILL DIN844 2F ขนาด  $\varnothing$  10 mm แบบ 2 คมตัด

1.3.3 เพื่อศึกษาการสึกหรอของมีดกัดคาร์ไบด์ (End mill) ยี่ห้อ OMER HSS-AL GROUND END MILL DIN 844 2F ภายหลังตัดเฉือนเหล็กกล้าแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER- M202 (AISI-P20) และ JIS S50C (AISI-1050)

## 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือ เหล็กกล้าเครื่องมือสำหรับทำแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER- M202 (AISI-P20) และ JIS S50C (AISI-1050) ขนาดกว้าง 50 ยาว 50 และหนา 50 mm [3]

1.4.2 ศึกษาการกัดผิวด้วยเครื่องกัด CNC ยี่ห้อ CHEVALIER รุ่น 2040VMC โดยวัสดุมีดกัดเป็นมีดกัดคาร์ไบด์ (End mill) ยี่ห้อ OMER HSS-AL GROUND END MILL DIN844 2F ขนาด  $\varnothing$  10 mm แบบ 2 คมตัด [3]

1.4.3 ระดับความลึกในการกัดชิ้นงานทดสอบเป็นชั้นบันได 3, 5 และ 10 mm

1.4.4 ใช้อัตราป้อน (mm/min) สอดคล้องกับ ความเร็วรอบ (m/min) โดยอ้างอิงจากคู่มือการใช้ เครื่องมือตัด (ใช้ความเร็วตัดอยู่ในช่วง 16, 18 และ 20 m/min อัตราป้อน ในช่วง 45, 50 และ 55 mm/min และปัจจัยความลึกที่ระดับ 1 mm) [5]

1.4.5 ศึกษาการกัดผิวชิ้นงานแบบ Down-cut เพื่อเปรียบเทียบความเรียบผิวที่ชิ้นงานที่เกิดจาก ปลายมีดที่กัดงานเหล็กกล้าเครื่องมือแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER-M202 (AISI-P20) และ JIS S50C (AISI-1050)

1.4.6 เปรียบเทียบคุณภาพผิวเหล็กกล้าเครื่องมือแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER-M202 (AISI-P20) และ JIS S50C (AISI-1050) ด้วยเครื่องวัดความหยาบผิวเพื่อศึกษาหา ค่าพารามิเตอร์ของผิวชิ้นงาน ว่าวิธีการป้อนกัดที่ใช้อัตราป้อนกัด ความเร็วตัด ระยะป้อนกัดลึกกว่า พารามิเตอร์ใดให้ค่าคุณภาพความเรียบผิว (Ra) ดีที่สุด และวิเคราะห์ลักษณะผิวงานกัดด้วยภาพถ่าย กำลังขยายสูงจากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

1.4.7 วิเคราะห์ผลการสึกหรอของมีดกัด (End mill) ภายหลังตัดเนื้อเหล็กกล้าเครื่องมือแม่พิมพ์ ชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER-M202 (AISI-P20) และ JIS S50C (AISI-1050) ด้วย กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการกัดผิว เหล็กกล้า เครื่องมือแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER-M202 (AISI-P20) และ JIS S50C (AISI-1050)

1.5.2 ทราบถึงวิธีการป้อนกัด ความเร็วรอบ อัตราการป้อนกัดและ ระยะป้อนลึก ที่ให้ผลกับพื้นที่ ผิวสำเร็จที่ดีที่สุด

1.5.3 ทราบถึงการสึกหรอของมีดกัด (End mill) ยี่ห้อ OMER HSS-AL GROUND END MILL DIN844 2F ขนาด  $\varnothing$  10 mm แบบ 2 คมตัด ภายหลังตัดเนื้อเหล็กกล้าแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER-M202 (AISI-P20) และ JIS S50C (AISI-1050)

1.5.4 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการอื่นๆ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันได้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการกัดที่ใช้ความเร็วรอบ และอัตราป้อนของโต๊ะงานหากมีการตั้งค่าที่เหมาะสมจะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพมีผิวที่เรียบ แต่ถ้าหากมีการใช้ความเร็วรอบ อัตราป้อน และระยะป้อนลึก ที่ไม่สอดคล้องกันแล้วผิวของชิ้นงานที่ได้จะเกิดร่องรอยของดอกกัดที่วัสดุชิ้น ทำให้เกิดผิวที่ไม่มีความเรียบ ความความเร็วรอบ และอัตราป้อนจึงต้องมีความเหมาะสมกับวัสดุที่ใช้ทำชิ้นงาน ซึ่งได้เลือกใช้เหล็กกล้าเครื่องมือสำหรับแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER-M202 (AISI-P20) และ JIS S50C (AISI-1050) ซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้ทำแม่พิมพ์ และชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ทำให้เกิดแนวคิดที่จะหาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยในการกัดผิวชิ้นงานเพื่อต้องการผิวที่ดีที่สุด

#### 2.1 นิยามศัพท์สำคัญ

เหล็กกล้าเครื่องมือสำหรับแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER-M202 (AISI-P20) และ JIS S50C (AISI-1050) คือ เหล็กกล้าที่ใช้สำหรับทำเครื่องมือขึ้นรูปโลหะเป็นส่วนใหญ่ เช่น แบบหล่อโลหะในขบวนการอัดฉีดโลหะร้อน (Die Casting) แม่พิมพ์สำหรับตีขึ้นรูปหรือตัดวัสดุต่างๆ ซึ่งรวมถึงเหล็ก โลหะนอกกลุ่มเหล็ก และพลาสติก เหล็ก DAIDO-NAK80(AISI-P21), BOHLER-M202 (AISI-P20) และ JIS S50C (AISI-1050) จัดเป็นเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนและธาตุอื่นๆ ผสมอยู่ในปริมาณสูง เพื่อให้มีความสามารถในการชุบแข็งสูงและสร้างคาร์ไบด์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านทานการสึกหรอเหล็กทำแม่พิมพ์พลาสติก (Plastic Mold Steels) เหล็กในกลุ่มนี้ที่นิยมใช้กันภายในประเทศจะเป็นเหล็กที่ผ่านการชุบแข็ง และอบคืนตัวที่อุณหภูมิสูง (Pre-Hardened Steels) เพื่อปรับให้ความแข็งลดลงเหลือประมาณ 28-40 HRC เหมาะสำหรับทำแม่พิมพ์ที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากเมื่อทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลและนำมาขัดผิวให้เป็นมันเงาแล้ว สามารถนำไปใช้งานได้เลย โดยไม่ต้องนำมาชุบแข็งอีก ทำให้ไม่เกิดปัญหาด้านการบิดงอและเสียรูป แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากแม่พิมพ์ผ่านการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลมาก่อน ดังนั้นควรนำไปอบคลายความเค้นก่อนใช้งานเพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นงานบิดตัวขณะใช้งาน เหล็กในกลุ่มนี้ที่นิยมใช้จะเป็นเกรด AISI P21, AISI-P20, P20 + S อักษร S หมายถึง เติมซัลเฟอร์ลงไปด้วยเพื่อให้ขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลง่าย เหล็กในกลุ่มนี้สามารถใช้กับแม่พิมพ์ฉีด เป่า แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกได้ดี เหล็กกล้าเครื่องมือสำหรับแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER-M202 (AISI-P20) และ JIS S50C (AISI-1050) จัดเป็นเหล็กกล้าที่นำมาทำแม่พิมพ์พลาสติกที่จำหน่ายในสภาพการชุบแข็งและอบคืนไฟ

จึงมีความแข็งแรงสูง และไม่มีปัญหาจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของชิ้นงานภายหลังจากการชุบแข็ง เหมาะสำหรับการใช้ทำแม่พิมพ์พลาสติกที่มีความหนาไม่เกิน 400 มิลลิเมตร มีความสามารถในการขัดเงาดี มาก เหมาะกับงานแม่พิมพ์พลาสติกที่ต้องการให้มีผิวมันเงา หรือต้องการทำลวดลายที่ผิวแม่พิมพ์

ความละเอียดของผิวชิ้นงาน (Surface Roughness) คือ จะใช้ค่า Ra คือ ค่าความหยาบผิวที่หาได้จากการรวมพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นเหนือเส้นกึ่งกลาง (M-Line) กับพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นใต้เส้นกึ่งกลาง หาด้วยความยาวเฉลี่ย (Lm) โดยค่าของ Ra มีหน่วยวัดเป็นไมโครเมตร คือถ้านำเอาผิวงานที่ผ่านการปาดผิวมาแล้ว เช่น กิ่ง กัด ฯลฯ มาส่องดูด้วยแว่นขยาย จะพบว่าผิวของชิ้นงานขรุขระเป็นลูกคลื่นชิ้นงานใดที่มีคลื่นสูงก็แสดงว่าชิ้นงานนั้นมีผิวหยาบ ส่วนชิ้นที่มีคลื่นต่ำแสดงว่าผิวงานนั้นเรียบ

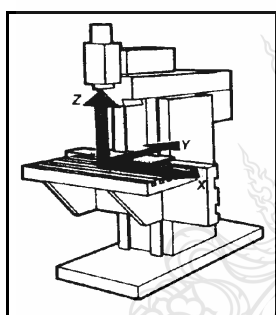
## 2.2 เครื่องจักร CNC หรือเครื่องมือกล (CNC Machine Tool) [6]

ซีเอ็นซี (CNC) ย่อมาจากคำว่า Computerized Numerical Control ระบบควบคุมเอ็นซีแบบนี้จะมีคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถสูงเพิ่มเข้าไปในระบบ ทำให้สามารถจัดการกับข้อมูลที่ป้อนเข้าไปในระบบเอ็นซีและประมวลผลข้อมูลเพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ไปควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลหรือเครื่องมือกล (Machine Tool) การเคลื่อนที่ของเครื่องจักรจะทำงานโดยอัตโนมัติด้วยตัวเครื่องจักรเองตามข้อมูลตัวเลขที่ป้อนให้กับระบบควบคุมของเครื่องจักรกลเอ็นซีในรูปแบบของรหัสที่ระบบควบคุมเครื่องสามารถเข้าใจได้ ดังภาพที่ 2.1

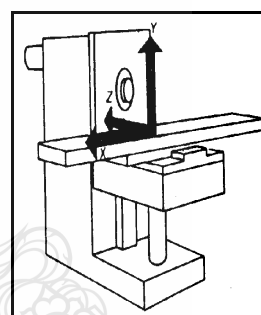


ภาพที่ 2.1 เครื่องจักรกลซีเอ็นซี ยี่ห้อ CHEVALIER 2040 VMC [7]

หลักการการทำงานของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีจะมีระบบควบคุมเอ็นซีของเครื่องจะทำงานในขั้นตอนต่างๆ แทนช่างผู้ควบคุมนั้นคือจะต้องป้อนโปรแกรมเข้าไปในระบบควบคุมของเครื่องเมื่อระบบควบคุมอ่านโปรแกรมที่ป้อนเข้าไปแล้ว ก็จะนำไปควบคุมให้เครื่องจักรกลทำงานเมื่อระบบควบคุมอ่านโปรแกรมแล้วจะเปลี่ยนรหัสโปรแกรมนั้นให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อไปควบคุมมอเตอร์ให้ทำงานความเร็ว และระยะทางการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนจะต้องกำหนดให้ระบบควบคุมรู้ เครื่องกัดซีเอ็นซีเป็นเครื่องจักรกลประเภทหนึ่งที่มีขอบข่ายการทำงานค่อนข้างกว้างกล่าวคือนอกจากจะสามารถทำงานกัดเช่นเดียวกับเครื่องกัดทั่วไปแล้วยังสามารถทำงานอื่นๆ เช่น เจาะรู ทำเกลียว คิวานรู ได้อีกด้วยโดยทั่วไปเครื่องเครื่องกัดซีเอ็นซีจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือเครื่องกัดซีเอ็นซีเพลตตั้งกับเครื่องกัดซีเอ็นซีเพลานอน ซึ่งขึ้นอยู่กับการวางตำแหน่งของเพลตหัวเครื่อง เครื่องกัดซีเอ็นซีจะมีแนวแกนการควบคุมตั้งแต่ 3 แกน 4 แกน 5 แกน และมากกว่าดังแสดงในภาพที่ 2.2 และ 2.3

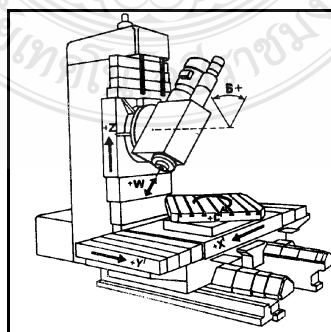


(ก) เพลาตั้ง



(ข) เพลานอน

ภาพที่ 2.2 เครื่องกัดซีเอ็นซีแบบ 3 แกน [6]



ภาพที่ 2.3 เครื่องกัดซีเอ็นซีแบบ 5 แกน [6]

2.2.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี สามารถแบ่งได้ 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ชุดควบคุมการทำงาน (Controller) ระบบกลไกในการเคลื่อนที่ (Drive Mechanisms) และตัวเครื่องจักร (Machine Body)

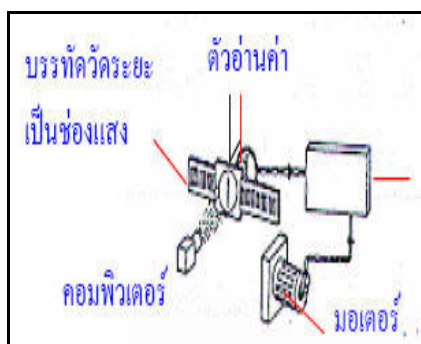
1) ชุดควบคุมการทำงาน (Controller) เป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่สามารถจัดเก็บโปรแกรมแก้ไขตัดแปลงได้ คอมพิวเตอร์เข้าใจโปรแกรมที่ป้อน และทำงานตามคำสั่งในโปรแกรมชุดควบคุม ประกอบไปด้วย แผงควบคุม (Control Panel) จอภาพ (Monitor) แป้นพิมพ์ (Keyboard หรือ Keypad) และปุ่มสวิตช์ควบคุมต่างๆ เช่น ความเร็วอัตราป้อน (Feed) และความเร็วรอบ (Spindle) เป็นต้น แสดงดังภาพที่ 2.4



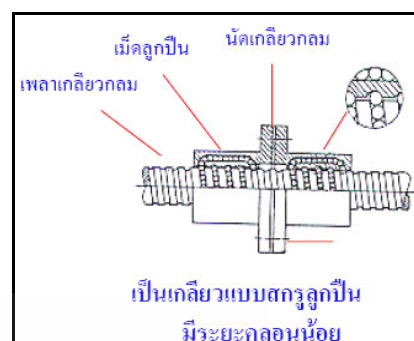
ภาพที่ 2.4 ชุดควบคุมการทำงาน [7]

2) กลไกการเคลื่อนที่ ได้แก่ ฟีดมอเตอร์ (Feed Motor) ซึ่งเป็นเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนต่างๆ ได้โดยใช้บอลสกรู (Ball Screw) แปลงการเคลื่อนที่เชิงมุม (Angular Motion) เป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้น (Linear Motion) โดยมีตำแหน่งหรือระยะทางการเคลื่อนที่และความเร็วถูกควบคุมโดยรับสัญญาณจากคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้จะมีรางนำทาง (Guide Way) รองรับการเคลื่อนที่ที่แกนต่างๆ แสดงดังภาพที่ 2.5 เป็นต้น





(ก) การเคลื่อนที่แบบบอลสกรู



(ข) การเคลื่อนที่แบบคอนโทรลเลอร์

ภาพที่ 2.5 กลไกการเคลื่อนที่ [6]

3) ตัวเครื่องจักร โครงสร้างที่ประกอบเป็นรูปร่างที่เหมาะสมสำหรับการทำงานตามประเภทของเครื่องจักรนั้นๆ ตัวเครื่องจักรมีส่วนประกอบหลัก เช่น แท่นเครื่อง (Machine Bed) หมอนรองหรือแสดเคิล (Saddle) โต๊ะ (Table) เสา (Column) และสปินเดิล (Spindle)

2.2.2 อิทธิพลที่มีผลต่อการตัดเฉือนโลหะด้วยเครื่องจักรกลซีเอ็นซี และแฟคเตอร์ต่างๆ จะต้องนำมาพิจารณาประกอบในการจัดเตรียม โปรแกรมเอ็นซีแฟคเตอร์ต่างๆ ที่จะกล่าวถึงได้แก่ เครื่องจักรกล เครื่องมือตัด สารหล่อเย็น ชิ้นงาน และวัสดุนอกจากนี้ในการเลือกใช้อุปกรณ์การตัดเฉือนซึ่งได้แก่ ความเร็วรอบของเพลงาน ความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกของการตัดเฉือน

### 2.2.3 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องจักรกล CNC

#### ข้อดีของเครื่องจักร CNC

- 1) มีความเที่ยงตรงสูง
- 2) คุณภาพสม่ำเสมอทุกชิ้น
- 3) โอกาสเกิดความเสียหาย หรือ ต้องแก้ไขชิ้นงานน้อย
- 4) สามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมงโดยไม่หยุด
- 5) มีความรวดเร็วในการผลิต ทำให้มีผลผลิตสูง
- 6) สามารถคาดคะเน และวางแผนการผลิตได้อย่างแม่นยำ เพราะเวลาไม่ขึ้นอยู่กับแรงงาน
- 7) สามารถสลับเปลี่ยนชิ้นงาน ได้หลากหลายรูปทรง สะดวก และรวดเร็ว
- 8) เมื่อเปรียบเทียบจำนวนผลผลิตที่เท่ากัน เครื่องจักรกล ซีเอ็นซี ใช้พื้นที่น้อยกว่า และลดพื้นที่การจัดเก็บชิ้นงาน
- 9) มีความสะดวก สำหรับใช้ในการผลิตชิ้นงานต้นแบบที่มีการแก้ไขบ่อย

10) ชิ้นงานที่มีความซับซ้อนสูง และมีหลายขั้นตอนการผลิต สามารถใช้เครื่องจักรกลซีเอ็นซี เครื่องเดียว ทำให้ไม่ต้องย้ายไปทำที่เครื่องอื่น

- 11) ลดปริมาณการตรวจสอบคุณภาพ
- 12) ทำให้สามารถใช้ทูลหรือเครื่องมือตัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 13) ลดแรงงานในสายการผลิต ผู้ควบคุมเครื่อง 1 คน สามารถคุมได้ 3 ถึง 5 เครื่อง
- 14) ใช้อุปกรณ์เสริมน้อย ไม่ต้องใช้แผ่นลอกแบบ (Cammates หรือ Templates)

#### ข้อเสียของเครื่องจักรกล CNC

- 1) มีราคาแพง ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ
- 2) ค่าซ่อมแซมสูง การซ่อมแซมมีความซับซ้อน เพราะมีทั้งฮาร์ดแวร์ และ ซอฟต์แวร์ รวมถึงคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์

- 3) อุปกรณ์ และซอฟต์แวร์เสริม (Option) มีราคาสูง และต้องซื้อจากผู้ผลิตนั้นๆ เท่านั้น

- 4) ต้องมีความรู้พื้นฐานคณิตศาสตร์พอควรในการเขียนโปรแกรม

- 5) ต้องมีพื้นที่ และสิ่งอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้เขียน โปรแกรม

- 6) ต้องหางานป้อนให้เครื่องทำประจำอย่าสม่ำเสมอ

- 7) ไม่เหมาะสมกับการผลิตงานจำนวนน้อยๆ

- 8) ศึกษาค่าซ่อมบำรุงสูง

- 9) ชิ้นส่วนอะไหล่ในบางกรณี ต้องรอจากต่างประเทศ

- 10) คอนโทรลเลอร์ เป็นภาษาอังกฤษ ช่างต้องเรียนรู้ และมีการรับการฝึกอบรมการใช้เครื่อง และการเขียนโปรแกรมก่อนเริ่มใช้เครื่องได้

### **2.3 เหล็กกล้าเกรด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) [8]**

เหล็กกล้า NAK80 (AISI-P21) เป็นเหล็กกล้าแม่พิมพ์พลาสติก ในกลุ่มชุบแข็ง (Precipitation Hardening Steel) โดยสภาพพร้อมใช้งานจะผ่านการชุบแข็ง (Heat Treatment) ให้มีความแข็งประมาณ 36-40 HRC (ประมาณ 400 N/mm<sup>2</sup>) นอกจากนี้ยังผ่านกระบวนการผลิตแบบนำกลับมาหลอมใหม่ในแสลค (Electro Slag Remelted) จึงทำให้มีประสิทธิภาพสูงสุดต่อการใช้งานแม่พิมพ์พลาสติก และสามารถศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและสภาพการใช้งานได้ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางเคมีและสภาพการใช้งานของเหล็กกล้า DAIDO-NAK80 (AISI-P21) [8]

ส่วนผสมทางเคมี (%wt.)	C	Si	Mn	Mo	Cu	Al	Ni
	0.15	0.30	1.50	0.30	1.00	1.00	3.00
AISI	P21						
JIS	-						
DIN	-						
สภาพใช้งาน	อบละลายและชุบแข็ง 36 – 40 HRC						

กระบวนการนำกลับมาหลอมใหม่ในแสลค (Electro Slag Remelting Process) เป็นการนำเอาเกรดเหล็กที่ได้ผ่านกระบวนการผลิตแบบธรรมดา (Conventional Process) นำกลับมาหลอมใหม่โดยผ่านชั้นของแสลคชนิดพิเศษที่ได้เตรียมไว้ เพื่อทำหน้าที่ดูดซับสารมลทินในเนื้อเหล็ก ดังนั้นเหล็กจึงมีความบริสุทธิ์สูงขึ้น มีโครงสร้างที่เล็กละเอียดมากขึ้น และมีประสิทธิภาพสูงขึ้น (High Performance) ดังเช่น NAK80 ที่ได้ผ่านกระบวนการนำกลับมาหลอมใหม่ในแสลค (ESR) จะมีประสิทธิภาพสูงใช้ในทุกด้าน และความทนทานดีกว่าเหล็กเกรดเดียวกันที่ได้ผ่านกระบวนการผลิตแบบธรรมดาเป็นอย่างมาก ทั้งในด้านความทนทานต่อการสึกหรอ (Wear Resistance) การขัดเงา (Polish Ability) การกัดทำลาย (Texture Property) และการตัดแต่งด้วย Wire-Cut และ EDM

### 2.3.1 คุณลักษณะเด่นของ DAIDO-NAK80 (AISI-P21)

- 1) ผ่านการหลอมใหม่ในแสลค จึงมีประสิทธิภาพสูงสุด
- 2) มีความแข็งสูงมากในสภาพจำหน่าย (ประมาณ 40 HRC)
- 3) มีความแข็งสม่ำเสมอตลอดความหนา
- 4) ลดความเสี่ยงต่อความเสียหายและบิดงอที่เกิดจากการชุบแข็ง
- 5) มีความเหนียวแรงแรงดีมาก
- 6) ตัดกลึงง่าย ขัดเงาได้ดีเยี่ยม (High Polish ability)
- 7) กัดทำลาย (Texturing) ได้ดีเยี่ยม
- 8) กัดขึ้นรูปด้วย EDM และตัดด้วย Wire-cut ได้ดีมาก
- 9) สามารถอบชุบให้ผิวแข็ง (Nitriding) และเคลือบผิวแข็งแบบ PVD ได้

### 2.3.2 การนำเหล็กกล้า DAIDO-NAK80 (AISI-P21) ไปใช้งานเหล็กกล้า

DAIDO-NAK80 (AISI-P21) จะเหมาะสมกับการใช้ทำแม่พิมพ์พลาสติกและยาง ทั้งพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกกลุ่มพลาสติกวิศวกรรม (Engineering Plastics) และพลาสติกเสริม

วัสดุอื่นเพื่อเพิ่มความแข็งแรง (Reinforced Plastics) และ Thermosetting ควรนำอบชุบผิวให้แข็ง (Nitriding) โดยจะเหมาะสมกับลักษณะงานขึ้นรูปพลาสติกแบบฉีด (Injection Molding) อัดฉีด (Extrusion Molding) และกดอัด (Compression Molding) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อแม่พิมพ์ต้องการความแข็งแรงทนทานเป็นพิเศษ หรือต้องการความเที่ยงตรงสูง (ขนาดแม่พิมพ์ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อใช้งาน) รวมทั้งงานพลาสติกที่มีปริมาณการผลิตเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังเหมาะกับงานที่ต้องการประสิทธิภาพในการขัดเงาสูง เช่น การทำเลนส์ หรืองานที่ต้องการผิวของการทำ EDM หรือ การกัดทำลวดลาย (Texturing) ดีเป็นพิเศษ โดยจะให้ผิวที่ได้จากการกัดทำลวดลาย (Texturing) ดีเยี่ยมกว่าเกรด AISI-P20 และจากการที่มีความแข็งแรงในช่วงประมาณ  $1,000 \text{ N/mm}^2$  จึงเหมาะที่จะใช้ทำชิ้นส่วนในงานแม่พิมพ์และส่วนประกอบแม่พิมพ์ของงานขึ้นรูปเย็นที่ต้องการความแข็งแรงสูง และหลีกเลี่ยงการชุบแข็ง เช่น แผ่นยึดแม่พิมพ์ (Punch Holder) แผ่นรองแม่พิมพ์ (Base Plate) เป็นต้น แสดงคุณสมบัติทางกายภาพตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) [8]

คุณสมบัติ	อุณหภูมิทดสอบ		
การนำความร้อนที่ $20^\circ \text{C}$ ( $\text{W/m} \cdot \text{K}$ )	31		
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน $20^\circ \text{C}$ ถึง $(10^{-6}/\text{K})$	$100^\circ \text{C}$ 11.3	$200^\circ \text{C}$ 12.6	$300^\circ \text{C}$ 13.5
ความจุความร้อนจำเพาะที่ $20^\circ \text{C}$ ( $\text{J/kg} \cdot \text{K}$ )	460		
โมดูลัสของการยืดหยุ่นที่ $20^\circ \text{C}$ (GPa)	206		

#### 2.4 เหล็กกล้าเกรด BOHLER-M202 (AISI-P20) [9]

เป็นเหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่มงานแม่พิมพ์พลาสติก นำไปใช้งานในสภาพผ่านการชุบแข็งและอบคืนไฟ (Hardening and Tempering) มีความแข็งแรงในช่วง 280-325 HB (29-34 HRC) จึงมีความแข็งแรงสูง และไม่มีปัญหาจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของชิ้นงานภายหลังจากการชุบแข็งเหมาะสำหรับใช้ทำแม่พิมพ์พลาสติกที่มีความหนาไม่เกิน 400 mm มีความสามารถในการขัดเงาดีมากเหมาะกับงานแม่พิมพ์พลาสติกที่ต้องการให้มีผิวมันเงา หรือต้องการทำลวดลายที่ผิวแม่พิมพ์ และสามารถศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและการชุบแข็งได้ตามตารางที่ 2.3

### ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทั่วไปของ BOHLER-M202 (AISI-P20) [9]

ส่วนผสมทางเคมี	C	Si	Mn	Cr	Mo
	0.40	0.30	1.45	2.00	1.20
BOHLER	M202				
JIS	-				
DIN	1.2311				
สภาพใช้งาน	ชุบแข็งและอบคืนไฟ 280 – 325 HB				

#### 2.4.1 คุณสมบัติเด่นของเหล็ก BOHLER-M202 (AISI-P20)

- 1) ขัดเงาและกัดทำลวดลาย (Texturing) ได้ดีเยี่ยม เนื่องจากมีปริมาณกำมะถันในระดับต่ำมาก (S ไม่เกิน 0.025%) มีความแข็งแรงสูง ประมาณ  $850 \text{ N/mm}^2$
- 2) มีความเหนียวแกร่งดีเยี่ยม
- 3) สามารถขึ้นรูปด้วย EDM และ Wire-cut ได้ดีมาก
- 4) มีความแข็งสม่ำเสมอตลอดความหนา 400 มม.
- 5) ลดความเสี่ยงต่อความเสียหายและบิดงอที่เกิดจากการชุบแข็ง
- 6) สามารถทำ (Nitriding) ได้ ให้ผิวแข็งประมาณ 650 HV
- 7) สามารถชุบสาร์ตโครมทำให้ผิวแข็งประมาณ 1000 HV

#### 2.4.2 การนำ BOHLER-M202 (AISI-P20) ไปใช้งาน

ความแข็งแรงประมาณ  $850 \text{ N/mm}^2$  คุณสมบัติทางกายภาพตามตารางที่ 2.4 เพราะฉะนั้นจึงเหมาะที่จะใช้ในงานแม่พิมพ์พลาสติก และชิ้นส่วนเครื่องมือในงานขึ้นรูปโลหะ ตัวอย่างของการใช้งานได้แก่

- 1) ทำแม่พิมพ์ฉีดหรือเป่าพลาสติก โดยเฉพาะกลุ่มเทอร์โมพลาสติกประเภทที่ไม่ทำให้เกิดการกัดกร่อนแม่พิมพ์
- 2) ทำกรอบแม่พิมพ์ (Mold Frames) สำหรับแม่พิมพ์ พลาสติกและแม่พิมพ์ Die Casting ปริมาณการผลิตน้อย
- 3) ปลอกสวม (Sleeves) และเบ้าสวมดายส์ (Die Holder) สำหรับงานอัดขึ้นรูปโลหะ (Extrusion)

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางกายภาพของเหล็กกล้า BOHLER-M202 (AISI-P20) [9]

คุณสมบัติ	อุณหภูมิทดสอบ						
	20 ° C		350 ° C			700 ° C	
การนำความร้อน (J/cm-s-°C)	0.357		0.344			0.320	
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน 20 °C ถึง (10 <sup>-6</sup> /°C)	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C
	11.1	12.9	13.4	13.8	14.2	14.6	14.9
โมดูลัสของการยืดหยุ่น (10 <sup>3</sup> N/mm)	20 ° C	100 ° C	200 ° C	300 ° C	400 ° C	500 ° C	
	224.9	220.0	213.0	205.1	197.0	188.0	
ความจุความร้อนจำเพาะที่ 20 ° C (J/g- ° C)					0.465		
ความต้านทานไฟฟ้า (Ω -mm <sup>2</sup> /m)					0.55		
ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )					7.75		
สภาพทางแม่เหล็ก					ซึมซับ		

## 2.5 เหล็กกล้าเกรด JIS S50C (AISI-1050) (Medium Carbon Steel) [10]

เหล็กกล้าเกรด JIS S50C (AISI-1050) เป็นกลุ่มเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางที่ใช้ในงานโครงสร้างงานเครื่องจักรกล งานแม่พิมพ์และส่วนประกอบแม่พิมพ์รวมทั้งชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ เนื่องจากเป็นเหล็กที่ดีในหลายด้าน ทั้งด้านความแข็งแรง ความเหนียวที่ดี และมีราคาถูกเปรียบเทียบกับเกรดอื่นๆ นอกจากนี้ยังสามารถอบชุบเพิ่มความแข็งแรงให้กับเหล็ก

### 2.5.1 คุณลักษณะเด่นของเหล็กกล้าเกรด JIS S50C (AISI-1050)

- 1) มีราคาที่ถูกเมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กเกรดอื่น
- 2) สามารถขึ้นรูปได้พอสมควร
- 3) มีความแข็งแรงกว่าเหล็กโครงสร้าง
- 4) สามารถอบชุบได้
- 5) สามารถกลึงได้ดี

2.5.2 การอบชุบแข็งผิวเหล็กเกรด JIS S50C (AISI-1050) สามารถทำการให้ความแข็งแรงเฉพาะบริเวณผิวได้หลายวิธี เช่น การทำ Nitriding และการทำ Carbonitriding เป็นต้น ซึ่งมีคุณสมบัติและการนำไปใช้งานแสดงดังตารางที่ 2.5 - 2.9

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติทั่วไป (General Characteristics) [10]

ส่วนผสมทางเคมี (%wt.)	C	Mn	Si	P	S
	0.47-0.55	0.60-0.90	≤0.40	≤0.030	≤0.035
AISI	1050				
JIS	S50C				
DIN	1.1206 (Ck 50/C 50 E)				
สภาพจำหน่าย	อบปกติ ความแข็งไม่เกิน 235 HB				
สภาพหลังชุบแข็ง	ชุบแข็งด้วยน้ำ ความแข็ง 58-60 HRC				

1) คุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties)

ตารางที่ 2.6 สภาพจำหน่ายอบปกติ (Normalized) [10]

∅ (mm)	0.2%Y.S. (N/mm <sup>2</sup> )	U.T.S. (N/mm <sup>2</sup> )	E.L. (%)	Hard. (HB)
$d \leq 16$	≥ 355	≥ 650	≥ 20	≥ 192
$16 < d \leq 40$	≥ 315	≥ 610	≥ 20	≥ 181
$40 < d \leq 100$	≥ 285	≥ 590	≥ 20	≥ 174

ตารางที่ 2.7 สภาพชุบแข็งและอบคืนไฟ (Hardened and Tempered) [10]

∅ (mm)	0.2%Y.S. (N/mm <sup>2</sup> )	U.T.S. (N/mm <sup>2</sup> )	E.L. (%)	Hard. (HB)
$d \leq 16$	≥ 520	750-900	≥ 13	≥ 30
$16 < d \leq 40$	≥ 460	700-850	≥ 15	≥ 35
$40 < d \leq 100$	≥ 400	650-800	≥ 16	≥ 40

## 2) คุณสมบัติการอบชุบ

ตารางที่ 2.8 คุณสมบัติการอบชุบ [10]

กระบวนการ	อุณหภูมิ (° C)	การเย็นตัว	ความแข็ง
อบอ่อน	800-830	ในเตา	217 HB
อบปกติ	810-860	ในอากาศ	179-235 HB
การอบชุบ	810-860	น้ำ	58-60 HRC
การอบคืนไฟ	550-650 ° C		
ความแข็ง	212-277 HB		

การอบชุบแข็ง ที่ผิวเหล็ก เกรด JIS S50C (AISI-1050) สามารถทำการปรับปรุงความแข็งที่ผิวได้หลายวิธีโดยไม่ส่งผลกระทบต่อส่วนผสมทางเคมีของเหล็ก กรณีที่ให้ความแข็งเฉพาะผิวโดยยังคงรักษาโครงสร้างเหล็ก ไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงได้นั้น สามารถทำการชุบแข็งที่ผิวด้วยวิธีการชุบแข็งที่ผิวด้วยเปลวไฟ (Oxy-Acetylene) และ วิธีชุบอินดักชั่น (Induction) โดยอาศัยการเหนี่ยวนำไฟฟ้าเพื่อให้เกิดความร้อนขึ้นที่ผิว จากนั้นทำการชุบแข็งเฉพาะผิว จะทำให้ผิวมีความแข็งขึ้น และทนต่อการสึกหรอ การชุบแข็งที่ผิวนั้นปกติชุบความแข็งผิวลึกประมาณ 0.13-0.64 มม. แต่ถ้าต้องการความแข็งที่ลึกมากสามารถชุบได้ลึกประมาณ 6.3 มม. หรือมากกว่านั้น การขึ้นรูปร้อน

ตารางที่ 2.9 กระบวนการขึ้นรูป [10]

กระบวนการ	อุณหภูมิ (° C)	การเย็นตัว
การขึ้นรูปร้อน	1100-850	ช้า
การทูปขึ้นรูป	1230-845	ช้า



เหล็กกล้าเกรด JIS S50C (AISI-1050) มีความสามารถในการชุบขึ้นรูปดีพอสมควร จึงเหมาะกับงานที่ชุบขึ้นรูป การชุบขึ้นรูปควรเริ่มอบเหล็กให้มีอุณหภูมิ 1230 °C จากนั้นจึงทำการเริ่มชุบ และห้ามชุบขึ้นงานที่อุณหภูมิลดลงมาที่ 845 °C หลังจากนั้นปล่อยให้เย็นตัวลงช้าๆ

การเชื่อมเหล็กกล้าเกรด JIS S50C (AISI-1050) ใช้ลวดเชื่อมที่มีส่วนผสมของโครเมียมและนิกเกิลเป็นจำนวนมาก เช่นลวดเชื่อม E 312-16 และ E 309L-16

การเคลือบผิวแข็งด้วยโครเมียม หรือการชุบฮาร์ดโครม เมื่อเคลือบผิวเสร็จจะต้องทำการอบคืนไฟ (Tempering) ที่อุณหภูมิ 180-260 °C เป็นเวลา 4-6 ชั่วโมง ลดการเสี่ยงต่อความเปราะเกิดจากแก๊สไฮโดรเจน

## 2.6 การตัดเฉือน [11]

การตัดเฉือนเป็นการตัดแบ่งโลหะ โดยใช้การเคลื่อนที่ของเครื่องมือที่ใช้ตัดเฉือน สำหรับโลหะที่มีหน้าแคบจะสามารถเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรในบริเวณที่สัมผัสกับเครื่องมือที่ใช้ตัดเฉือนอย่างรุนแรง หลังจากนั้นจะเกิดการแตกร้าวที่ผิวของโลหะ และเกิดอย่างต่อเนื่องจนการแตกร้าวนั้นมาพบกันและเกิดการแตกหักอย่างสมบูรณ์ ตัวแปรที่สำคัญของการตัดเฉือน ได้แก่ รูปทรงและวัสดุของเครื่องมือที่ใช้ตัดเฉือน ความเร็วตัดเฉือน การหล่อลื่น และค่าเคลียร์เลนซ์ ค่าเคลียร์เลนซ์ของเครื่องมือที่ใช้ตัดเฉือนนั้นมีความสำคัญต่อการตัดเฉือนโลหะเป็นอย่างมาก หากใช้ค่าเคลียร์เลนซ์ที่เหมาะสมจะได้อายุที่สมบูรณ์ การใช้ค่าเคลียร์เลนซ์น้อยเกินไปนั้นจะทำให้เกิดรอยตัดหยาบ และต้องใช้แรงในการตัดมากกว่า หากใช้ค่าเคลียร์เลนซ์ที่มากเกินไปจะเกิดการบิดตัวและอาจต้องการแรงในการตัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากบริเวณที่โลหะต้องเปลี่ยนรูปร่างก่อนเกิดการแตกหักนั้นมีบริเวณมากกว่าความกว้างของบริเวณการเปลี่ยนรูปร่างนั้น ขึ้นอยู่กับความเร็วของเครื่องมือที่ใช้ตัดเฉือนด้วย หากความเร็วเพิ่มขึ้น ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนรูปร่างก็เกิดขึ้นในบริเวณที่แคบลง ทำให้รอยตัดเรียบขึ้น แต่ก็จะมีผลต่อสภาพของโลหะ เนื่องจากขอบตัดมีการแปรรูปเย็นอย่างรุนแรง อีกทั้งการใช้ค่าเคลียร์เลนซ์ที่มากเกินไป โลหะจะมีแนวโน้มโค่นคิงในบริเวณเคลียร์เลนซ์ ซึ่งทำให้มีเศษโลหะยื่นออกมาและอัตราส่วนของบริเวณผิวเรียบต่อบริเวณผิวหยาบลดลง รวมทั้งการที่เครื่องมือที่ใช้ตัดเฉือนที่ก็สามารถเกิดลักษณะดังกล่าวได้เช่นกัน ทั้งนี้ ความสูงของเศษยื่นนั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าเคลียร์เลนซ์และความเหนียวของโลหะเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปจะใช้ค่าเคลียร์เลนซ์คิดเป็น 2 ถึง 10 % ของค่าความหนาของโลหะ ดังนั้นหากโลหะหนามากขึ้นก็ต้องใช้ค่าพิคคเคลียร์เลนซ์มากขึ้นด้วย หากไม่คำนึงถึงแรงเสียดทาน แรงที่ใช้ในการตัดเฉือนโลหะสามารถคำนวณได้จาก ความยาวของโลหะ ความหนาของโลหะ และความต้านทานแรงเฉือนของโลหะ งานที่เกิดขึ้นจากการตัดเฉือนของคมตัดตั้งแต่หนึ่งคมขึ้นไปถึง

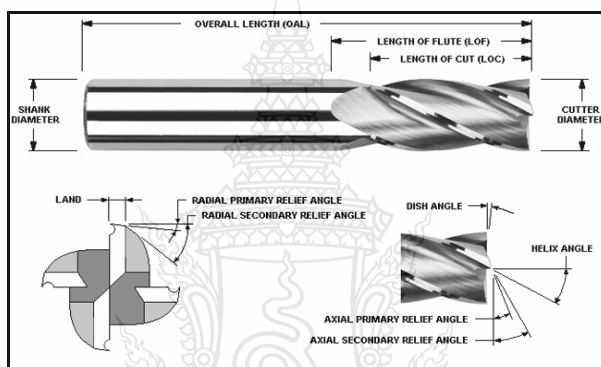
หลายๆ คม การเคลื่อนที่ของคมตัดจะเคลื่อนที่หมุนรอบตัวเอง ซึ่งจะอยู่ในแนวตั้งหรือแนวนอนหรือในแนวเฉียงมุมแบบต่างๆ ได้ ลักษณะของคมตัดจะมีทั้งแบบตายตัว และแบบถอดเปลี่ยนคมได้ซึ่งจะทำการกัดในกรณีที่มีคัตมีคมกัดหลายๆ คม ซึ่งอยู่รอบตัวมันเอง ในการหมุนกัด 1 รอบ มีคัตจะกัดงานเสร็จเฉพาะฟันแล้วเคลื่อนที่ฟรีไปช่วงหนึ่งจึงหมุนกลับมาที่เดิมอีก จึงจะเริ่มกัดงานใหม่ การเว้นว่างเช่นนี้จะประโยชน์ให้กับคมตัดของมีดกัดได้รับการระบายความร้อนออกไปได้บ้าง ซึ่งผิดกับการกัดงานคมมีดจะกัดและผิวงานอยู่ตลอดเวลา เพราะฉะนั้นในการกัดชิ้นงานจำเป็นต้องใช้น้ำมันหล่อเย็นมาช่วยในการระบายความร้อนซึ่งจะช่วยให้ความร้อนที่เกิดจากการเสียดสีระหว่างคมกับชิ้นงานลดลง และไล่เศษกัดอกออกจากผิวงานบริเวณตัดเฉือน การสึกหรอของคมตัดจะเป็นตัวบ่งชี้ว่า มีคัตมีการหมดสภาพมีขนาดเกินที่กำหนดไว้ ซึ่งขนาดของการสึกหรอของคมตัดที่ใช้เป็นเครื่องมือในการประมาณอายุการใช้งานของมีดตัด (Tool Life) นั้นอาจจะประมาณจากขนาดของการสึกหรอแบบหลุมบนผิว (Crater Wear) หรือขนาดของการสึกหรอบนผิวหยาบ (Flank Wear) ก็ได้ ขนาดของการสึกหรอที่ใช้ในการประมาณอายุการใช้งานของมีดตัด จะเป็นขนาดของการสึกหรอที่ถึงจุดที่การสึกหรอเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และส่งผลให้ใบมีดหมดสภาพที่จะใช้งานต่อไป ซึ่งเรียกจุดนี้ว่าจุดวิกฤติ (Critical point) เช่น ถ้าพิจารณาพัฒนาการของการสึกหรอบนผิวหยาบ (Flank Wear) ในระหว่างอายุของใบมีดจะพบว่า มี 3 ขั้น คือ การสึกหรอขั้นแรก (Primary Wear or Initial Wear) การสึกหรอขั้นที่สอง (Secondary Wear or Progressive Wear) และขั้นสุดท้ายเป็นการสึกหรอขั้นที่สาม (Tertiary Wear or Catastrophic Wear)

1) การสึกหรอขั้นแรก (Primary Wear or Initial Wear) เมื่อนำมีดที่เพิ่งลับใหม่หรือใบมีดใหม่มาใช้ทำการตัดเฉือนชิ้นงาน คมตัดก็จะเกิดความเสียหายอย่างรวดเร็ว

2) การสึกหรอขั้นที่สอง (Secondary Wear or Progressive Wear) การสึกหรอในขั้นนี้เป็น การสึกหรอที่ดำเนินต่อเนื่องมาจากการสึกหรอในขั้นแรก แต่การสึกหรอเพิ่มขึ้นในลักษณะคงที่ คือ อัตราการสึกหรอน้อยกว่าช่วงแรก จุดสิ้นสุดของการสึกหรอในช่วงนี้จะเรียกว่าจุดวิกฤติของการสึกหรอบนผิวหยาบ (Critical Point of Flank Wear) หรือเรียกง่ายๆ ว่า Critical Flank ซึ่งจุดนี้มักใช้เป็นจุดสิ้นสุดของอายุการใช้งานของใบมีด ในกรณีนี้จะสิ้นสุดเมื่อการสึกหรอบนผิวหยาบ (Flank Wear  $V_B$ ) มีขนาดมากกว่า 0.8 mm

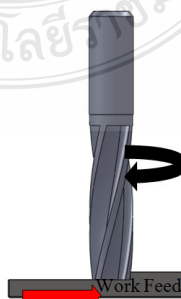
3) การสึกหรอขั้นที่สาม (Tertiary Wear or Catastrophic Wear) การสึกหรอในขั้นนี้เป็น การสึกหรอขั้นสุดท้าย การสึกหรอจะเกิดขึ้นมาก และรวดเร็วซึ่งจะนำไปสู่การสูญเสียสภาพการใช้งาน (Failure) ของใบมีดหรืออินเสิร์ต การสูญเสียสภาพการใช้งาน (Failure) นี้เกิดจากการประกอปกันของการสึกหรอบนผิวหยาบที่มีค่าสูง (High Flank Wear) กับ การสึกหรอบนผิวคายที่มีขนาดใหญ่

2.6.1 End Mill ชนิด 4 คม End Mill อาจจะมีมากกว่า 4 คม ได้ตามความโตเป็นกัตเตอร์ที่ใช้กัดงานทั่วไปเช่นที่ไม่กำหนดค่าพิทช์ของงาน เช่น การกัดร่องทั่วไป การกัดขอบ (Profile Milling) การกัดหลุมในชิ้นงาน (Pocket Milling) แต่เดิมเอนมิลจะมีรูยันทันศูนย์กลาง (Center Drill Hole) เพื่อยันทันศูนย์กลางในกระบวนการผลิตและรอยเว้า (End Recess) ที่หน้าตัดเพื่อกันคมไม่ให้บรรจบกันตรงจุดศูนย์กลาง เพื่อให้การลับคมที่ด้านปลายง่ายขึ้น ลักษณะดังกล่าวทำให้เอนมิลไม่สามารถกินลึกแบบ Plunge Feed ได้เพราะจะติดเนื้อวัสดุที่ไม่ถูกตัดตรงจุดศูนย์กลางอัดติดในรูยันทันศูนย์กลางต้องป้อนงานไปทางด้านข้างเพื่อให้เนื้อวัสดุตรงจุดศูนย์กลางถูกตัดออกไปก่อนจึงจะกินลึกต่อไปได้อีก และมุมต่างๆ ของ End Mill ชนิด 4 คม ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 มุมต่างๆ ของมีดกัด End Mills ชนิด 4 คมตัด [11]

2.6.2 ทิศทางการป้อนกัด การเลือกใช้ลักษณะงานกัดระหว่างงานกัดตามกับงานกัดทวนซึ่งส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนรูปและความดันเฉือนงานกัดตาม (Up-Cut) ในการกัดตามความหนาของเศษและความดันในพื้นที่การตัดเฉือนนั้นจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ที่ฟันมีดกัด และจะมีค่าสูงสุดก่อนที่ฟันมีดกัดจะ



ภาพที่ 2.7 ลักษณะการกัดตาม (Up-Cut) [11]

เลื่อนพื้นวัสดุงานเล็กน้อย เมื่อพื้นมีดกัดเลื่อนพื้นวัสดุงานแล้ว จะเกิดสภาวะที่ติดตามมาคือ ความดันตัดเฉือนจะหมดไปทันที ทำให้มีดกัดเคลื่อนที่ไปข้างหน้าโดยเร็ว และพื้นมีดกัดถัดไปจะเลื่อนเข้ากัดวัสดุงานในลักษณะการกระตุก (Jerking) เป็นผลให้เกิดเป็นรอยสัน (Chatter Marks) ขึ้นที่ผิวงานตามภาพที่ 2.7 ดังแสดงการลักษณะการตัดเฉือนดังภาพที่ 2.7

งานกัดทวน (Down Cut) ในงานกัดทวน ลักษณะการเกิดเศษจะกลับกันกับงานกัดตาม กล่าวคือ เมื่อพื้นมีดกัดเริ่มเข้าตัดเฉือนชิ้นงาน ความหนาของเศษ และความดันตัดเฉือนจะมีค่าสูงสุด และเมื่อพื้นมีดกัดเลื่อนออกจากวัสดุงาน เศษจะมีขนาดบางที่สุดและความดันตัดเฉือนมีค่าน้อยสุด ดังนั้นจึงทำให้เกิดรอยสันสะท้อนน้อย และชิ้นงานมีผิวสำเร็จที่ดีกว่าเมื่อเปรียบกับงานกัดตาม งานกัดทวนจะใช้เครื่องกัดที่มีกำลังน้อยกว่าได้แต่ต้องการความแข็งแรงของเครื่องกัดมากกว่า และมีโตะงานที่ปราศจากระยะคลอน (Backlash) ดังภาพที่ 2.8



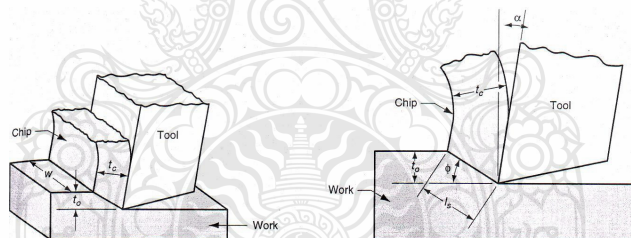
ภาพที่ 2.8 ลักษณะการกัดทวน (Down - Cut) [11]

2.6.3 การเลือกใช้พารามิเตอร์การตัดเฉือนชิ้นงาน จะต้องมีความสัมพันธ์อย่างสอดคล้องกัน ทั้งทางด้านเทคโนโลยีที่ใช้ในการตัดเฉือนและเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานที่ต้องการโดยเฉพาะ งานผลิตแบบอัตโนมัติหรืองานผลิตจำนวนมากๆ ที่ต้องการนำเวลาผลิตชิ้นงานไปวางแผนการทำงาน พารามิเตอร์การตัดเฉือนที่เหมาะสมตามเงื่อนไขของงานกัด โดยพิจารณาภายใต้ข้อจำกัดของกระบวนการทำงานในงานกัดได้แก่ กำลังงานตัดเฉือน แรงตัดเฉือน แรงบิดที่แกนหมุน ปริมาณการตัดเฉือน ความเรียบผิว และการควบคุมอัตราส่วนของเศษตัด จึงควรมีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วย ในการเขียนโปรแกรมซีเอ็นซีจะต้องอาศัยค่าพารามิเตอร์หรือข้อมูลในการตัดเฉือนที่สำคัญ 3 ค่าตัวแปร คือความเร็วตัด (Cutting Speed) อัตราการป้อน (Feed Rate) และความลึกของการตัดเฉือน (Depth of Cut) โดยที่ค่าตัวแปรทั้ง 3 นี้ จะเป็นตัวชี้วัดสมรรถภาพของกระบวนการตัดเฉือนชิ้นงาน

ดังนั้นในการพิจารณาเลือกค่าตัวแปรทั้งสามนี้ควรคำนึงถึงความสามารถในการตัดเฉือนของเครื่องมือตัด กำลังม้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องตัด ความแข็งแรง (Rigidity) ของชิ้นงานและอุปกรณ์จับยึดด้วย อิทธิพลที่มีต่อการตัดเฉือนโลหะ ผู้เขียนโปรแกรมจะต้องมีความรู้ในทฤษฎีของการตัดเฉือน พิจารณาความเร็วรอบ (Speed) ความเร็วตัด (Cutting Speed) อัตราป้อน (Feed Rate) และระยะป้อนลึก (Depth of Cut) ซึ่งจะต้องสัมพันธ์กับเครื่องจักรด้วยและข้อมูลต่างๆ เช่น ข้อมูลทางด้านเทคนิคของวัสดุชิ้นงาน ข้อมูลทางด้านเทคนิคของวัสดุมีดตัด เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้จะมีผลต่ออายุการใช้งานของคมตัด และยังรวมไปถึงคุณภาพผิวของชิ้นงานเพราะจะต้องคำนวณค่าต่างๆ เพื่อที่จะนำไปลงโปรแกรม CNC เพื่อที่จะนำข้อมูลไปป้อนลงในเครื่องต่อไป

## 2.7 การเกิดเศษ (Chip) ในกระบวนการตัด [12]

เศษ (Chip) หรือทั่วไปอาจเรียกว่าเศษขี้กึ่งนั้นเป็นผลที่เกิดจากกระบวนการทางกลที่เรียกว่าการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic Deformation) การเปลี่ยนรูปนี้จะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุงานถูกเฉือนออกด้วยแรงที่มากกว่า Elastic Limit ผลึกของโลหะจะยึดตัวออกตามแนวแรงที่กระทำให้เกิดการเฉือน ซึ่งเกิดขึ้นภายในตัวผลึกเองและระหว่างผลึกโดยรอบๆ แสดงดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 ด้านข้างการตัดเฉือนของวัสดุ [12]

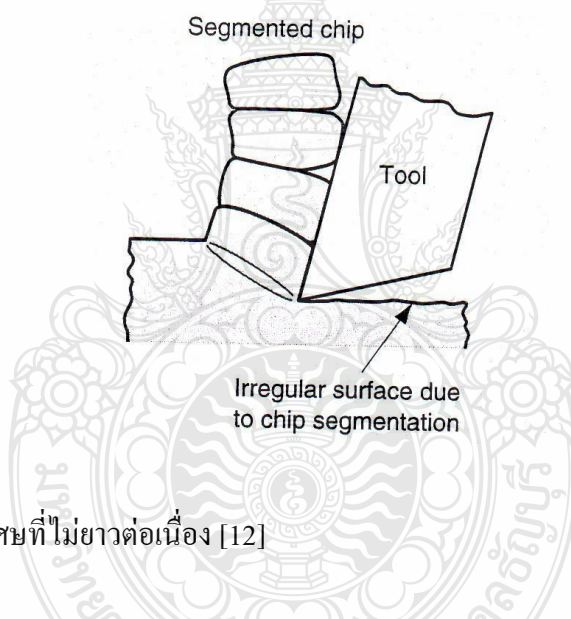
ในกระบวนการตัดวัสดุต่างๆ ไปนั้น อย่างเช่นการกลึง (Turning) และการกัด (Milling) จะมีมุมตัด 2 มุมหรือมากกว่าที่ระดับองศาต่างกันเทียบกับทิศทางของการตัด อย่างไรก็ตามกลไกพื้นฐานสามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีของคมตัดเดี่ยว หรือ Single Cutting Edge

การเกิดเศษ (Chip) ในลักษณะที่เป็นเส้นยาวต่อเนื่องนั้น อาจเกิดได้จากการตัดด้วยมีดตัดที่คมตัดทำมุม ตั้งฉากกับทิศทางการตัด (Orthogonal Cutting) สำหรับมีดตัดที่คมตัดมีค่ามุมต่างไป (Oblique Cutting) นั้น เมื่อวัสดุจะไหลตัวผ่านหน้าคมตัดด้วยมุมหนึ่งๆ ทำให้เกิด Chip ที่มีลักษณะ

เป็นเกลียวขึ้น ลักษณะของเศษ (Chip) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดวัสดุนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบด้วยกันคือ

### 1) เศษที่ไม่ยาวต่อเนื่อง (Discontinuous Chip)

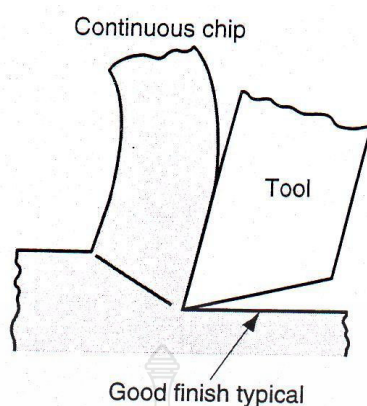
เศษ (Chip) ที่ไม่ยาวต่อเนื่อง หรือขาดเป็นท่อนๆ นั้น เกิดจากการตัดวัสดุประเภทเหล็กหล่อ หรือ Hard Bronze หรืออาจเกิดจากการตัดวัสดุเหนียวที่ตั้งสภาวะการตัดที่ไม่ถูกต้อง เมื่อคมตัดสัมผัสเข้ากับชิ้นงาน แรงกดปริมาณหนึ่งเกิดขึ้นที่คมตัดและเศษ (Chip) ก็เกิดการไหลตัวไปตามหน้ามีดตัด เมื่อมีความเค้นมากกระทำมากขึ้นบนวัสดุประเภทอื่นเนื่องมาจากกระบวนการตัด วัสดุจะถูกอัดตัวจนกระทั่งถึงจุดของการแตกหัก เศษ (Chip) จึงหักออกเป็นท่อนๆ กลไกนี้จะเกิดขึ้นเป็นวัฏจักรที่ซ้ำๆ กันไปเรื่อยๆ ในระหว่างการตัด โดยการหักของเศษ (Chip) นั้นจะเกิดขึ้นที่ระนาบของการเฉือน โดยทั่วไปนั้น คุณภาพผิวงานตัดที่ได้เมื่อเกิดการหักตัวของเศษ (Chip) แบบนี้จะไม่ดีดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 ลักษณะเศษที่ไม่ยาวต่อเนื่อง [12]

### 2) เศษตัดที่ยาวต่อเนื่อง (Continuous Chip)

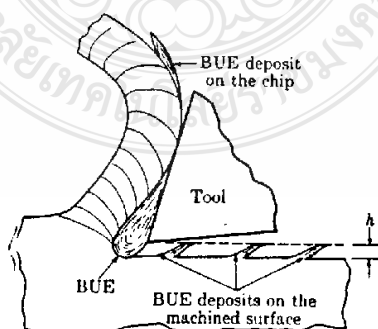
ลักษณะเศษ (Chip) แบบนี้จะยาวเป็นแถบต่อเนื่อง ซึ่งเกิดจากการไหลตัวของวัสดุอย่างต่อเนื่องโดยไม่ถูกขัดขวางด้วยแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่หน้ามีดตัด หรือ เศษวัสดุที่พอกขึ้นมาตามคมตัด หรือ Built-up Edge เศษที่ยาวเป็นแถบนี้ถือเป็นลักษณะที่ดีและให้ผลลัพธ์ของการตัดที่ดีที่สุดเนื่องจากผิวงานที่ได้จะดีมากกว่าการเกิดเศษ (Chip) ในแบบแรก ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 ลักษณะเศษตัดที่ยาวต่อเนื่อง [12]

3) เศษตัดที่ยาวต่อเนื่องกับการพอกตัวของเศษที่คมตัด (Continuous Chip with a Built-up Edge: BUE)

เมื่อวัสดุงานเกิดการไหลตัวไปตามหน้ามีด จะทำให้เกิดอนุกรมุมที่สูงขึ้นมาที่หน้ามีดตัด รวมไปถึงแรงดันและแรงเสียดทานที่พยายามต้านการไหลตัวของเศษที่มีความต่อเนื่องนี้ เศษผงเล็กๆ ที่เกิดขึ้นจากการตัดจึงไปพอกตัวติดอยู่ที่คมตัดในระหว่างที่เศษ (Chip) ส่วนใหญ่ไหลตัวไปตามหน้ามีด เมื่อกระบวนการตัดดำเนินไปเรื่อยๆ ผงวัสดุงานเหล่านี้ก็พอกติดกับคมตัดมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้มีผลต่อกลไกในการตัด การพอกตัวที่ว่านี้เรียกว่า Built-up Edge ซึ่งทำให้กลไกในการตัดมีความไม่เสถียรเกิดขึ้น เมื่อการพอกตัวมากขึ้นจนถึงจุดๆ หนึ่ง BUE ก็จะหลุดออกติดไปตามเศษ (Chip) ที่ไหลผ่านและผิวหน้าของชิ้นงาน การเกิดการพอกตัวและการแตกหักหรือหลุดของ BUE นี้ เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมากในระหว่างการตัด และเศษ BUE ก็จะไปเกาะตัวอยู่ที่ผิวงานที่ตัดแล้ว ทำให้คุณภาพผิวงานตัดที่ได้ไม่ดี ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 ลักษณะเศษตัดที่ยาวต่อเนื่องกับการพอกตัวของเศษที่คมตัด [12]

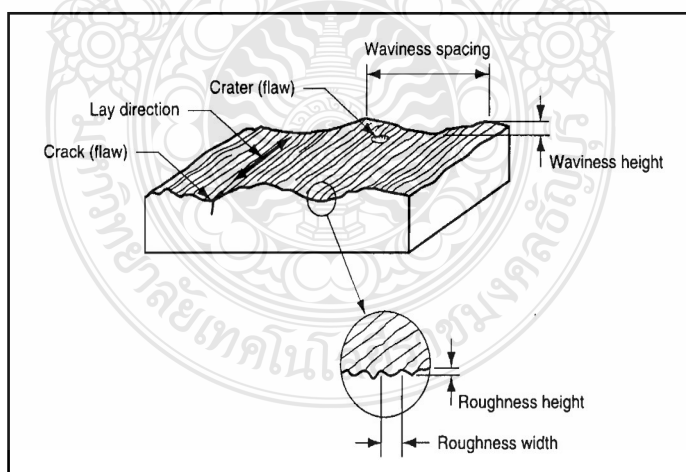


โดยปกติเศษ (Chip) ที่ได้จะมีความหนาและสั้นกว่าชั้นของชิ้นงานที่ถูกตัดออกไป เนื่องจากมุมเฉือนที่เกิดขึ้นและการอัดตัวของวัสดุที่เกิดการเฉือน ทำให้เศษ (Chip) มีความหนามากขึ้น ความหนาที่มากขึ้นนี้ ส่งผลให้แรงที่ใช้ตัด(เฉือน)มากขึ้นตามไปด้วย

ความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการตัดวัสดุนั้น พลังงานทางกลที่ใช้ในการตัดจะถูกเปลี่ยนไปเป็นความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มาจาก 3 แหล่งคือ บริเวณของระนาบการเฉือน ผิวสัมผัสระหว่างหน้ามีดและเศษ (Chip) ที่ไหลตัวผ่าน และหน้ามีดด้านที่สัมผัสกับผิวงานที่ตัดแล้ว ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้ร่วมกับเรขาคณิตของมีดตัด และรูปร่างของเศษ (Chip) ที่เกิดขึ้น ส่งผลให้การกระจายตัวของความร้อนมีความซับซ้อนมากขึ้น

## 2.8 ความหยาบของผิวงาน [13]

ผิวชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการผลิตด้วยกรรมวิธีต่างๆ เช่นงานกัด งานกลึง และงานเจียรระโน ฯลฯ เมื่อมองด้วยสายตาจะเห็นว่าผิวของชิ้นงานมีความเรียบ แต่เมื่อนำมาขยายก็จะพบว่าผิวงานเหล่านั้น ขรุขระเป็นคลื่นสูง-ต่ำไม่เท่ากัน ดังภาพที่ 2.13 โดยเฉพาะผิวของชิ้นงานใดมีความสูง-ต่ำแตกต่างกันมาก ก็แสดงว่าผิวของชิ้นงานมีความหยาบของผิวมาก แต่ถ้าผิวของชิ้นงานใดมีความสูง-ต่ำน้อยแสดงว่ามีความเรียบของผิวมากหรือละเอียดมากกว่า ซึ่งความเรียบของผิวนี้ จะมีความจำเป็นสำหรับงานที่ต้องการความละเอียดสูง



ภาพที่ 2.13 ภาพขยายของผิวชิ้นงาน [13]



ผิวงาน (Surface) หมายถึง ขอบเขตหรือบริเวณที่แยกออกจากเนื้อวัสดุงาน รูปร่าง และ ลักษณะผิวงานระบุได้ด้วยรูปภาพ (Drawing) หรือคำอธิบายคำจำกัดความ (Descriptive Specification) รูปทรงผิว (Profile) หมายถึงเส้นที่แสดงลักษณะพื้นผิวงาน ตลอดภาคหน้าตัดที่ถูกนำมาพิจารณา

ความหยาบของผิว (Roughness) หมายถึง ความผิดปกติของผิวงานที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปอันเนื่องมาจากกระบวนการผลิต

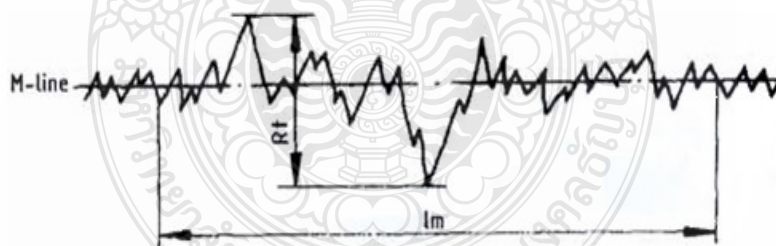
คลื่นของผิวงาน (Waviness) หมายถึง ความผิดปกติของผิวงานที่ระยะในการพิจารณากว้างกว่าช่วงความหยาบผิวเกิดขึ้นจากการโก่งตัวของทั้งชิ้นงาน และการหลวมคลอนของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลรวมทั้งการสั่นสะเทือนขณะทำการขึ้นรูป

Flaw หมายถึง ความผิดปกติของผิวงานที่เกิดขึ้นที่จุดใดจุดหนึ่งบนผิวงาน เช่นรอยขีดข่วน รอยแตกและรูพรุน เป็นต้น

Lay หมายถึง แนวทิศทางของรอยสัน ส่วนยอดความหยาบของผิวที่ทำการตรวจสอบ

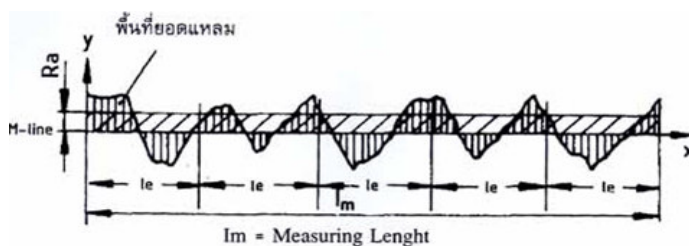
2.8.1 การวัดค่าความหยาบละเอียดของผิวงานตามมาตรฐานของ JIS B 0031 และ JIS B 0061 การวัดค่าความหยาบละเอียดของผิวงานที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปมาแล้ว ในหน่วยนี้จะ กล่าวถึง เฉพาะค่าความหยาบ  $R_t$ ,  $R_a$  และ  $R_z$  เท่านั้น

ค่าความหยาบ  $R_t$  คือ ค่าวัดจากจุดสูงสุดไปยังจุดต่ำสุดของผิวงาน ซึ่งมีหน่วยเป็น ไมโครเมตร ( $\mu\text{m}$ ) จากภาพที่ 2.14



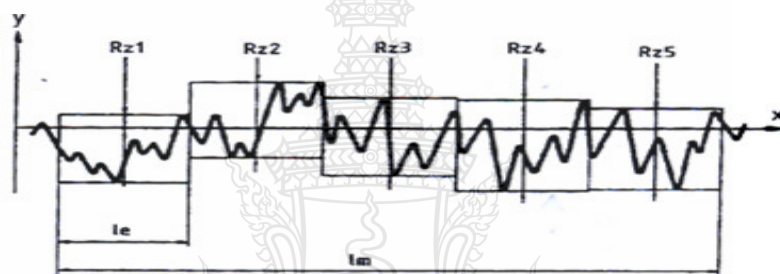
ภาพที่ 2.14 การวัดค่าความหยาบ  $R_t$  [13]

ค่าความหยาบ  $R_a$  หมายถึง ค่าความหยาบผิวที่หาได้จากการรวมพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นเหนือเส้นกึ่งกลาง (M-Line) กับพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นใต้เส้นกึ่งกลางหารด้วยความยาวเฉลี่ย ( $L_m$ ) โดยที่ค่าของ  $R_a$  มีหน่วยวัดเป็นไมโครเมตร จากภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 การวัดค่าความหยาบ Ra [13]

ค่าความหยาบ Rz หมายถึง ค่าความหยาบผิว ซึ่งหาได้จากการวัดทดสอบเป็นช่วงเท่าๆ กัน 5 ช่วง แล้วนำค่าที่ได้มารวมกันหารด้วย 5 โดยที่ค่าของ Rz มีหน่วยเป็น ไมโครเมตร ดังภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 การวัดค่าความหยาบ Rz [13]

## 2.9 กล้องที่ใช้แสงแบบสเตอริโอ [14]

กล้องที่ใช้แสงแบบสเตอริโอเป็นกล้องที่ประกอบด้วยเลนส์ที่ทำให้เกิดภาพแบบ 3 มิติ ใช้ศึกษาวัตถุที่มีขนาดใหญ่แต่ตาเปล่าไม่สามารถแยกรายละเอียดได้จึงต้องใช้ กล้องชนิดนี้ช่วยขยายกล้องชนิดนี้มีข้อแตกต่างจากกล้องทั่วไป คือ

- 1) ภาพที่เห็นเป็นภาพเสมือนมีความชัดลึกและเป็นภาพสามมิติ
- 2) เลนส์ใกล้วัตถุมีกำลังขยายต่ำ คือ น้อยกว่า 1 เท่า
- 3) ใช้ศึกษาได้ทั้งวัตถุโปร่งแสงและวัตถุทึบแสง
- 4) ระยะห่างจากเลนส์ใกล้วัตถุกับวัตถุที่ศึกษาอยู่ในช่วง 63-225 mm

โดยมีส่วนประกอบของกล้อง ดังภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.17 ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ [14]

### 2.9.1 วิธีใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ

1) ตั้งระยะห่างของเลนส์ใกล้ตาให้พอเหมาะกับนัยน์ตาของผู้ใช้กล้องทั้งสองข้าง จะทำให้จอภาพที่เห็นอยู่ในวงเดียวกัน

2) ปรับ โฟกัสเลนส์ใกล้ตาทีละข้างจนชัดเจน ถ้าหากต้องการศึกษาจุดใดจุดหนึ่งของตัวอย่างให้ปรับโฟกัสของเลนส์ใกล้วัตถุ ที่มีกำลังขยายสูงก่อน เพราะจะทำให้เห็นภาพวัตถุได้ชัดเจน ทั้งกำลังขยายสูงและกำลังขยายต่ำ

### 2.9.2 การบำรุงรักษากล้อง

1) ควร ดูแลรักษากล้องให้สะอาดอยู่เสมอ และเมื่อไม่ได้ใช้กล้องควรใช้ถุงคลุมกล้องไว้เสมอ เพื่อป้องกันฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกเข้าไปสัมผัสกับเลนส์ของกล้อง

2) ในการทำความสะอาดหรือการประกอบกล้อง ควรทำด้วยความระมัดระวัง อย่าให้ชิ้นส่วนถูกกระแทกหรือหลุดตกหล่น กรณีที่กล้องหรือส่วนประกอบใดๆ ของกล้องตกหรือกระแทก จะมีผลให้เมื่อประกอบกล้องแล้วภาพที่เห็นไม่คมชัด (เป็นเพราะระบบภายในปริซึม) อาจเกิดการคลาดเคลื่อนได้ ซึ่งกรณีนี้ควรส่งให้กับบริษัทซ่อม เพราะการตั้งศูนย์ของปริซึมและระบบเลนส์นั้นต้องใช้เครื่องมือที่ซับซ้อนและความชำนาญของช่างภายใน

- 3) ห้ามใช้มือหรือส่วนใดๆ ของร่างกาย สัมผัสถูกส่วนที่เป็นเลนส์ และหลีกเลี่ยงการนำเลนส์ออกจากตัวกล้อง
- 4) ในกรณีที่ถอดเลนส์ออกจากตัวกล้อง ควรใช้ฝาครอบด้วยทุกครั้งเพื่อป้องกันไม่ให้ฝุ่นละอองเข้าไปข้างใน ซึ่งอาจทำให้เกิดความไม่ชัดของการมองภาพ
- 5) สำหรับเลนส์ใกล้วัตถุ 100x ที่ใช้กับ Oil Immersion หลังจากใช้แล้ว ควรทำความสะอาดทุกครั้ง โดยการเช็ดด้วยกระดาษเช็ดเลนส์ Cotton Bud หรือผ้าขาวบางที่สะอาด และนุ่ม ซับด้วยน้ำยาโซลิน หรือส่วนผสมของแอลกอฮอล์และอีเทอร์ ในอัตราส่วน 40:60 ตามลำดับ
- 6) ควรหมุนปรับปุ่มปรับความฟืดเบาให้พอดี ไม่หลวมเกินไป ซึ่งจะทำให้แท่นวางสไลด์เลื่อนหมุนลงมาได้ง่าย หรือฝืดจนเกินไปทำให้การทำงานช้าลง
- 7) ปุ่มปรับ ภาพหยวนนั้น ควรหมุนในลักษณะทวนเข็มนาฬิกาอย่างช้าๆ จนกว่าจะได้ภาพ ห้ามปรับปุ่มปรับภาพทั้งซ้ายและขวาของตัวกล้องในลักษณะสวนทางกัน เพราะนอกจากจะไม่ได้ภาพตามต้องการแล้ว ยังจะทำให้เกิดการขัดข้องของฟันเฟือง
- 8) ในกรณีต้องการใช้แสงมากๆ ควรใช้การปรับไดอะแฟรม แทนการปรับเร่งไฟไปตำแหน่งที่กำลังแสงสว่างสุด จะทำให้หลอดไฟมีอายุยาวนาน
- 9) ก่อนปิดสวิตซ์ไฟทุกครั้งควรหรีไฟก่อนเพื่อยืดอายุการใช้งาน และเมื่อเลิกใช้ก็ควรปิดสวิตซ์ทุกครั้ง
- 10) การเสียบปลั๊กไฟของตัวกล้องไม่ควรใช้รวมกันกับเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น เพราะจะทำให้หลอดไฟขาดง่าย
- 11) หลังจากเช็ดส่วนใดๆ ของกล้องก็ตาม ถ้าไม่แน่ใจว่าแห้งหรือปราศจากความชื้นแล้ว ควรเป่าลมให้แห้ง โดยใช้พัดลม หรือ ลูกลยางเป่าลม ห้ามเป่าด้วยปากเพราะจะมีความชื้น
- 12) เมื่อแน่ใจว่าแห้งและสะอาดแล้ว จึงคลุมด้วยถุงพลาสติก
- 13) เก็บกล้องไว้ในที่ที่ค่อนข้างแห้งและไม่มีความชื้น

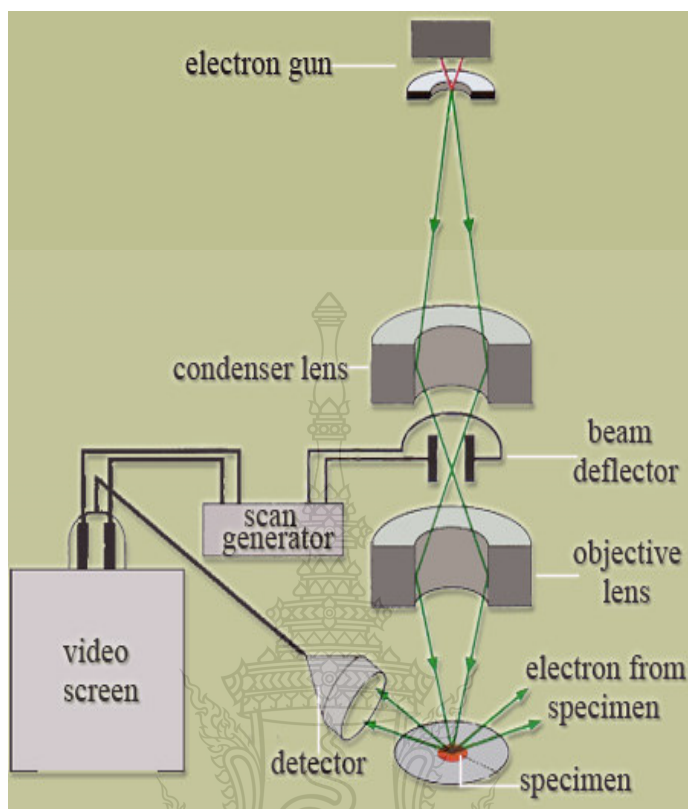
## 2.10 กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) [15]

กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) เรียกย่อว่า SEM เอ็มวอน เอนเดนนิ สร้างสำเร็จเมื่อปี พ.ศ. 2481 โดยใช้ศีกษาผิวของเซลล์หรือผิวของวัตถุที่นำมาศึกษา โคนลำแสงอิเล็กตรอนจะส่องกราดไปบนผิววัตถุ ทำให้ได้ภาพซึ่งมีลักษณะเป็นภาพ 3 มิติ ดังภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) [15]

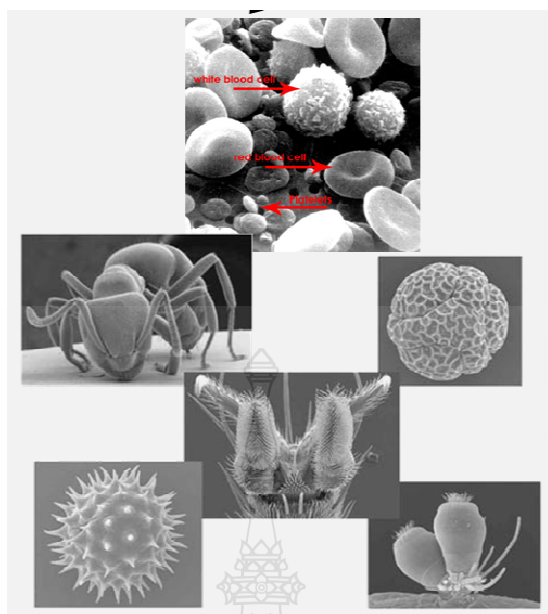
Scanning Electron Microscope (SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายไม่สูงเท่ากับเครื่อง TEM (เครื่อง SEM มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร) การเตรียมตัวอย่างเพื่อที่จะดูด้วยเครื่อง SEM นี้ไม่จำเป็นต้องที่ตัวอย่างจะต้องมีขนาดบางเท่ากับเมื่อดูด้วยเครื่อง TEM ก็ได้ (เพราะไม่ได้ตรวจวัดจากการที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ทะลุผ่านตัวอย่าง) การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของ ตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาพื้นฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น อธิบายหลักการทำงานดังภาพที่ 2.19



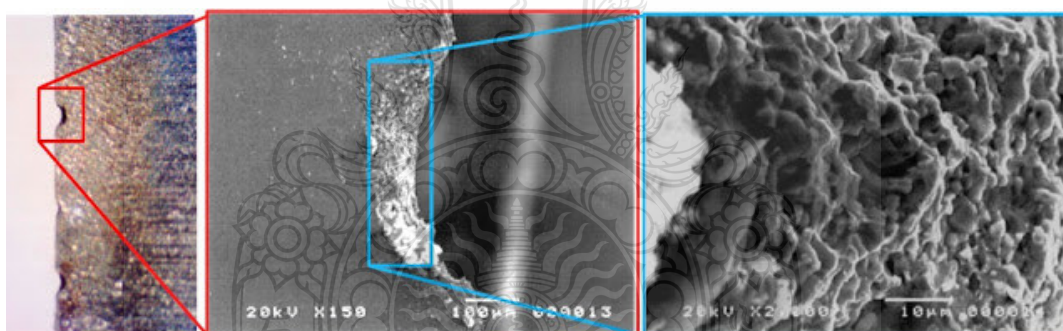
ภาพที่ 2.19 หลักการทำงานของเครื่อง SEM [15]

หลักการทำงานของเครื่อง SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser Lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective Lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron) ขึ้นซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไปและสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอตีพิมพ์ได้ ตัวอย่างดังภาพที่ 2.20 -2.21





ภาพที่ 2.20 พื้นผิวที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM ของสิ่งมีชีวิต [15]



ภาพที่ 2.21 พื้นผิวงานของโลหะที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM [15]

## 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธีระยุทธ เปรินกุล, นเรศ สุ่มเงิน และสมโภชน์ บุญล้อม [1] เหล็กกล้าเครื่องมือ P20 และ NAK80 เป็นวัสดุที่ใช้ในการทำโมลด์เหมือนกัน แต่จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน จึงต้องการศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการกัดผิวและศึกษาเปรียบเทียบวิธีการป้อนกัดที่ให้ผลกับพื้นผิวสำเร็จ เพราะเหล็กกล้าเครื่องมือทั้ง 2 ชนิดเป็นวัสดุที่ใช้ในการทำโมลด์พลาสติกโดยเฉพาะการศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการกัดผิว และศึกษาเปรียบเทียบวิธีการป้อนกัด ซึ่งจะต้องทำการแบ่งชิ้นงานทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม ตามชนิดของวัสดุ และแต่ละกลุ่มจะแบ่งชิ้นงานออกเป็น 22 กรณีๆ

ละ 3 ผิวงานโดยผ่านกระบวนการกัดด้วยเครื่องกัด CNC โดยใช้ End Mill ชนิด 2 คมตัด ขนาด 10 mm กัดชิ้นงานจนมีความลึก 10 mm โดยใช้ความเร็วรอบคงที่ 541 rpm/min เปลี่ยนอัตราป้อนในช่วง 0.0415...0.0505 mm/tooth และกัดผิวชิ้นงานด้วยวิธีการกัดแบบ Up-Cut และ Down-Cut เพื่อเปรียบเทียบผิวชิ้นงานที่เกิดขึ้นจากปลายมีดและด้านข้างมีดของวัสดุทั้ง 2 ชนิดและเปรียบเทียบผิวที่ได้ด้วยเครื่องวัดความเรียบผิว Mitutoyo รุ่น Surtest 301 เพื่อศึกษาหาพารามิเตอร์ของผิวชิ้นงานทั้ง 2 ชนิด โดยการเปรียบเทียบพื้นที่ผิวชิ้นงานจากการวัดค่า 3 ครั้ง/ชิ้นงาน เพื่อศึกษาว่าอัตราป้อนในช่วงใดให้ค่าความเรียบผิว Ra ดีที่สุดเหล็กกล้าเครื่องมือ P20 และ NAK80 เป็นวัสดุที่ใช้ทำโมลด์เหมือนกันแต่มีค่าความแข็งต่างกัน และจากการทดสอบภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ให้ผลออกมาเป็นที่น่าสนใจว่าเหล็กมาตรฐาน AISI P20 และ NAK80 ที่ผ่านการกัดด้วยปลายของมีดกัดและด้านข้างของมีดกัด ได้ค่าความเรียบผิวที่ดีที่สุดออกมาที่อัตราป้อน 0.0415 mm/tooth ความเร็วรอบคงที่ 541 rpm/min โดยวิธีการกัดแบบ Down-Cut ทั้ง 2 ด้าน ซึ่งนั่นหมายถึงวิธีที่ใช้ในการป้อนกัดรวมไปถึงอัตราป้อน และความเร็วรอบมีผลต่อความเรียบผิวของวัสดุที่ใช้งานด้วย

ศุกลสิทธิ์ รอดขวัญ [16] ได้วิจัยเรื่องการศึกษาความเป็นไปได้ของการตัดเฉือนชิ้นงานยาง เพื่อให้สามารถนำไปใช้ประยุกต์ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางที่มีความซับซ้อนของรูปร่างค่อนข้างสูง รวมถึงผลิตภัณฑ์ยางดันแบบ ปี 2545 โดยทำการตัดเฉือนชิ้นงานผ่านกระบวนการกัดและการกลึงที่สถานะต่างๆ โดยมีตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงานที่ได้ คือ อุณหภูมิของชิ้นงาน ความเร็วรอบของชิ้นงาน อัตราเร็วในการป้อนชิ้นงาน ลักษณะของเศษขี้จากการตัดเฉือนที่ได้ พบว่าในกระบวนการกัด และการกลึงนั้นที่ความเร็วรอบต่ำจะส่งผลให้ขอบชิ้นงานที่ถูกกัดมีลักษณะเป็นขุย ในทางกลับกันที่ความเร็วรอบสูงจะทำให้ขอบชิ้นงานที่ถูกกัดมีลักษณะเรียบ และเมื่อผ่านเครื่องตรวจสอบความเรียบผิวจะเห็นถึงความแตกต่างของชิ้นงานที่ผ่านการกัด โดยพบว่าผลการวิจัยที่อุณหภูมิของชิ้นงานประมาณ 76 °C ต้องใช้เวลาในการแช่แข็งอย่างน้อย 45 min เพื่อให้ชิ้นงานถูกแช่แข็งอย่างแท้จริง ซึ่งในกระบวนการกัดไม่สามารถหาความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างอัตราการป้อนชิ้นงาน และค่าความเรียบผิวได้แต่สามารถสรุปได้ว่ามีค่าความเรียบผิวแบบ Rz อยู่ในช่วง 0.002-0.001 mm ส่วนในกระบวนการกลึง อัตราการป้อนชิ้นงานมีผลต่อค่าความเรียบผิวอย่างชัดเจน โดยค่าความเรียบผิวแปรผันตรงกับอัตราการป้อนชิ้นงาน นอกจากนี้ช่วงความเร็วรอบที่ให้ ค่าความเรียบดีที่สุดอยู่ระหว่าง 2500-3000 rpm/min

กุศล พร้อมมูล พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์ และสุรพันธ์ สุวรรณภู [3] ได้วิจัยเรื่องการศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อสมรรถภาพของการตัดไม้ (Routing Process) ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราโดยใช้มีดตัดปี 2545 เพราะฉะนั้นจึงได้ศึกษาถึงอิทธิพลความเร็วในการ



ตัด อัตราการป้อนตัด และทิศทางการป้อนตัดเทียบกับทิศทางเสี้ยนไม้ที่ไม่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน นั่นก็คือความเรียบผิวของไม้ที่ได้การเกิดขุยไม้ และรอยไหม้บนเนื้อไม้ ผลจากการวิจัยพบว่าที่ความเร็วรอบ 15,000 rpm และอัตราการป้อนตัด 8 m/min จะทำให้ได้ชิ้นงานที่ปราศจากขุยและมีความเรียบผิวดีที่สุดเทียบเท่ากับผิวชิ้นงานที่ผ่านขั้นตอนการขัดแล้ว

ปวุฒิ เพชรไพรินทร์ [17] ได้วิจัยเรื่องการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิว และความสึกหรอของคมกัดในการกัดทองเหลืองผสม วัสดุที่ใช้ในการทดลองเป็นทองเหลืองผสม และใช้มีดกัด (End Mill) ชนิดเหล็กกล้ารอบสูง (High Speed Steel : HSS) ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยสารหล่อเย็น ความเร็วรอบ ความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกในการป้อนตัด ผลการทดลองพบว่า ปัจจัยที่มีผล คือ สารหล่อเย็นที่มีผลต่อความเรียบผิวงานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยที่สารหล่อเย็นชนิดน้ำมันแบบผสมน้ำให้ค่าความเรียบผิวมากกว่าน้ำมันพืช ส่วนความเร็วตัดมีผลต่อความเรียบผิวงานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 เมื่อเพิ่มความเร็วตัดให้สูงขึ้นมีผลทำให้ค่าความเรียบผิวของชิ้นงานเพิ่มมากขึ้นด้วย อัตราป้อนมีผลต่อคุณภาพผิวงานอย่างมีระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อเพิ่มอัตราป้อนให้สูงจากการใช้น้ำมันแบบผสมน้ำทำให้ค่าความเรียบผิวของชิ้นงานลดลง ตรงข้ามกับการใช้น้ำมันพืชจะให้ค่าความเรียบผิวชิ้นงานที่สูงขึ้น อัตราป้อนมีผลต่อความสึกหรอของคมตัดอย่างมีระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยเมื่อเพิ่มอัตราป้อนให้สูงขึ้นจะให้ค่าความสึกหรอของคมตัดที่ลดลง

มณฑิธร พลศรีลาภ [18] ได้วิจัยเรื่องการศึกษาอิทธิพลที่ส่งผลต่อความเรียบผิวในการกลึงเหล็ก S 50 C ซึ่งมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาอิทธิพลที่ส่งผลต่อความเรียบผิวในการกลึงเหล็ก S 50 C ด้วยมีดเซรามิก ปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วย ความเร็วตัด อัตราป้อน และระยะป้อนลึก โดยกำหนดค่าความเร็วตัด 3 ระดับ คือ 150, 200 และ 250 เมตรต่อนาที อัตราป้อน 3 ระดับคือ 0.06, 0.08 และ 0.10 มิลลิเมตรต่อรอบ และระยะป้อนลึกในการกลึงงาน 3 ระดับ คือ 0.3, 0.4 และ 0.5 มิลลิเมตร เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของตัวแปรที่มีผลต่อความเรียบผิว ผลการทดลองพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวคืออิทธิพลหลัก อัตราป้อน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยที่อัตราป้อนมีระดับสูงจะทำให้ผิวงานกลึงมีความหยาบมากขึ้น

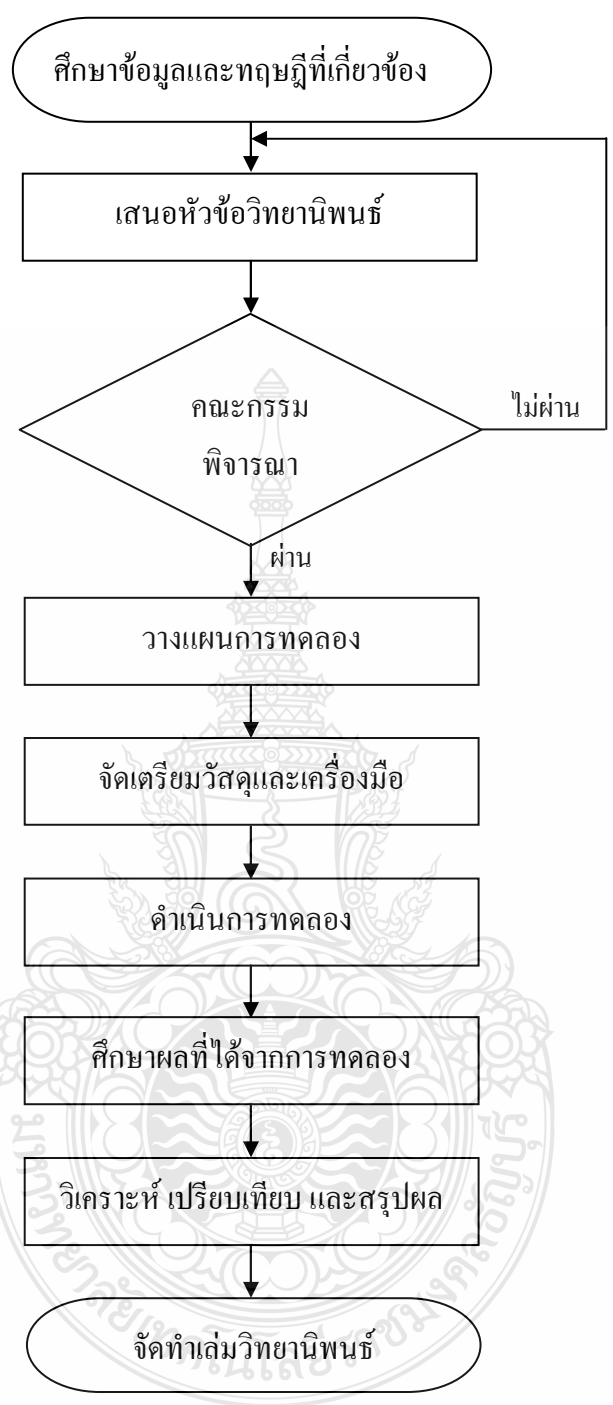
## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

ความหยาบผิวของวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ และชิ้นส่วนเครื่องจักรกลมีผลต่อการขึ้นรูปชิ้นงาน จึงจำเป็นต้องศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกัดผิววัสดุสำหรับการทำแม่พิมพ์ และชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ซึ่งในการศึกษาโดยใช้ชิ้นงานทดลองเป็นเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER-M202 (AISI-P20) และ JIS S50C (AISI-1050) โดยมีตัวชี้วัดคือคุณภาพของผิวชิ้นงาน การทดลองนี้จะกำหนดปัจจัยในการทดลองที่สำคัญๆ ได้แก่ โดยการกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบเป็น ทิศทางการป้อนกัด ความเร็วหมุนกัด อัตราป้อนกัด และความลึกป้อนกัด ในรูปแบบเงื่อนไขการทดลอง 1 รูปแบบ คือ การกัดทวน (Down-Cut) และการสึกหรอของคมตัดของมีดกัดโดยนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อความเรียบผิวของแม่พิมพ์พลาสติก

#### 3.1 แผนการดำเนินงาน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการวิจัยกระบวนการตัดเฉือนวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก DAIDO-NAK80(AISI-P21), AISI- P20 (BOHLER- M202) และ JIS S50C (AISI-1050) ด้วยมีดตัดคาร์ไบด์ชนิด 2 คมตัด เพื่อต้องการศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการกัดผิวงานของวัสดุทดสอบ ซึ่งการทดลองนี้ใช้ระยะเวลาในการดำเนินการทดลองได้อย่างเหมาะสม จึงได้วางแผนงานและดำเนินงานให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ตามกำหนดแผนการดำเนินงาน โดยมีแผนผังการไหลของกระบวนการทดลองที่แสดงดังภาพที่ 3.1 และระยะเวลาในการดำเนินงานดังตารางที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนภาพการไหลกระบวนการ

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานในการทำการศึกษาและจัดทำวิทยานิพนธ์

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงานปี พ.ศ. 2555 - 2556									
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	←→									
2. เสนอหัวข้อวิทยานิพนธ์			←→							
3. คณะกรรมการพิจารณา					←→					
4. วางแผนการทดลอง					←→					
5. จัดเตรียมวัสดุและเครื่องมือ						←→				
6. ดำเนินการทดลอง							←→			
7. ศึกษาผลที่ได้จากการทดลอง								←→		
8. วิเคราะห์ เปรียบเทียบและสรุปผล									←→	
9. จัดทำเล่มวิทยานิพนธ์										←→

### 3.2 การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเรียบผิวของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก

จากการศึกษางานวิจัย และทฤษฎีเกี่ยวกับการตัด พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองการตัดเฉือน จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยหรือหลายองค์ประกอบ ได้แก่

3.2.1 อัตราป้อน (Feed Rate) หน่วย: mm/min

3.2.2 ความเร็วรอบ (Spindle Speed) หน่วย: rpm

3.2.3 ระดับในการกัด (Level of Cut) หน่วย: mm

3.2.4 พื้นที่การตัดเฉือน (%ของดอกกัด) %

3.2.5 ความลึกกัด (Depth of Cut) หน่วย: mm

3.2.6 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ คือ เหล็กแม่พิมพ์พลาสติก DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER-M202 (AISI-P20) และ JIS S50C (AISI-1050) ที่มีค่าความต้านแรงดึงไม่เกิน  $1,000 \text{ N/mm}^2$

ผู้วิจัยจึงประมาณค่าเพื่อกำหนดระดับปัจจัยในการทดลอง โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์และเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง [3, 5, 10] ดังตารางที่ 3.2 - 3.4

**ตารางที่ 3.2** เงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลที่มีต่อความเรียบผิวของเหล็กมาตรฐาน DAIDO – NAK80 (AISI-P21)

<b>Conditions</b>	<b>Conditions parameter</b>		
Spindle Speed (rpm)	510	572	637
Feed Rate (mm/min)	45, 50,55	45, 50,55	45 50 55
Area (%)	100	100	100
Depth of Cut (mm)	1	1	1
Size of Diameter (mm)	Ø 10	Ø 10	Ø 10
Level of Cut (mm)	3, 5, 10	3, 5, 10	3, 5, 10

**ตารางที่ 3.3** เงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลที่มีต่อความเรียบผิวของเหล็กมาตรฐาน BOHLER-M202 (AISI- P20)

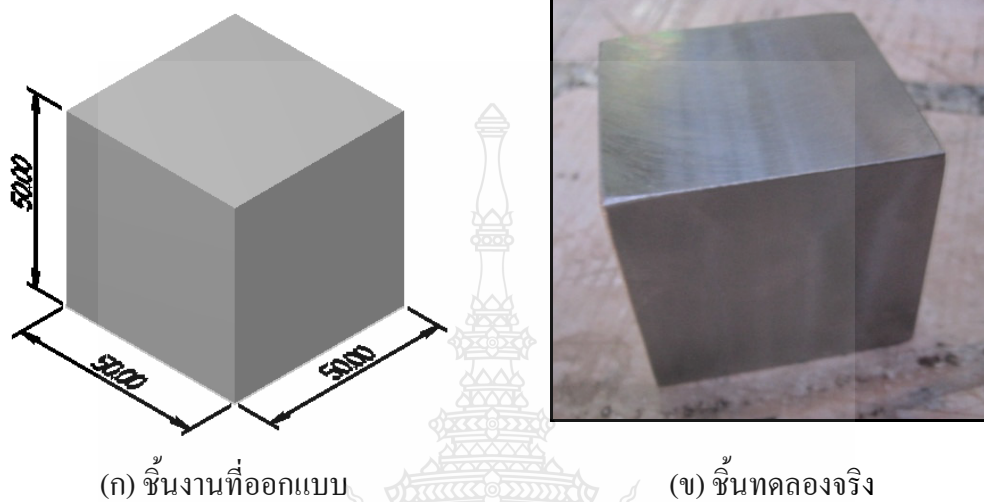
<b>Conditions</b>	<b>Conditions parameter</b>		
Spindle Speed (rpm)	510	572	637
Feed Rate (mm/min)	45, 50,55	45, 50,55	45, 50, 55
Area (%)	100	100	100
Depth of Cut (mm)	1	1	1
Size of Diameter (mm)	Ø 10	Ø 10	Ø 10
Level of Cut (mm)	3, 5, 10	3, 5, 10	3, 5, 10

**ตารางที่ 3.4** เงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลที่มีต่อความเรียบผิวของเหล็กมาตรฐาน JIS S50C (AISI-1050)

<b>Conditions</b>	<b>Conditions parameter</b>		
Spindle Speed (rpm)	510	572	637
Feed Rate (mm/min)	45, 50,55	45, 50,55	45, 50, 55
Area (%)	100	100	100
Depth of Cut (mm)	1	1	1
Size of Diameter (mm)	Ø 10	Ø 10	Ø 10
Level of Cut (mm)	3, 5, 10	3, 5, 10	3, 5, 10

### 3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดมีขนาด กว้าง 50 mm ยาว 50 mm และหนา 50 mm ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ (หน่วย: mm)

3.3.2 เครื่องจักร CNC ที่ใช้ในการทดลอง ยี่ห้อ CHEVALIER รุ่น 2040VMC ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 เครื่องจักร CNC ยี่ห้อ CHEVALIER รุ่น 2040VMC

3.3.3 มีดกัดที่ใช้ในการทดลองเป็นคาร์ไบด์ (End mill) ชนิด 2 คมตัด ขนาด  $\text{Ø}10 \text{ mm}$  [3] ดังภาพที่ 3.4



(ก) มีดกัดคาร์ไบด์ด้านข้าง



(ข) มีดกัดคาร์ไบด์ด้านหน้า

ภาพที่ 3.4 มีดกัดคาร์ไบด์ (End mill) ชนิด 2 คมตัด ขนาด  $\text{Ø} 10 \text{ mm}$

3.3.4 เครื่องวัดความหยาบผิวที่ใช้ในการทดลองยี่ห้อ Mahr MarSurf PS1 ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 เครื่องวัดความเรียบผิวยี่ห้อ Mahr MarSurf PS1



### 3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

#### 3.4.1 กระบวนการกัดผิวงานแม่พิมพ์พลาสติก

1) นำเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER-M202 (AISI-P20) และ JIS S50C(AISI-1050) เตรียมทำการกัดขึ้นรูปให้ได้ตามขนาดด้วยเครื่องจักร CNC ยี่ห้อ CHEVALIER รุ่น 2040VMC เพื่อจะนำไปทดลองตามเงื่อนไขการทดลองในขั้นตอนต่อไป

2) นำชิ้นทดลองเข้าเครื่องพร้อมจับยึดกับปากก้าจับชิ้นงาน และทำการติดตั้งมีดกัด ซึ่งมีดกัดที่ใช้ในการทดลองเป็นมีดกัดคาร์ไบด์ (End Mill) ยี่ห้อ OMER HSS-AL GROUND END MILL DIN844 2F ขนาด  $\varnothing$  10 mm แบบ 2 คมตัด ดังภาพที่ 3.6 และ 3.7



ภาพที่ 3.6 การติดตั้งชิ้นงานและมีดกัด

3) ดำเนินการป้อนคำสั่งให้เครื่องจักรดำเนินการตามแผนการทดลองจากตารางที่ 3.3 – 3.5



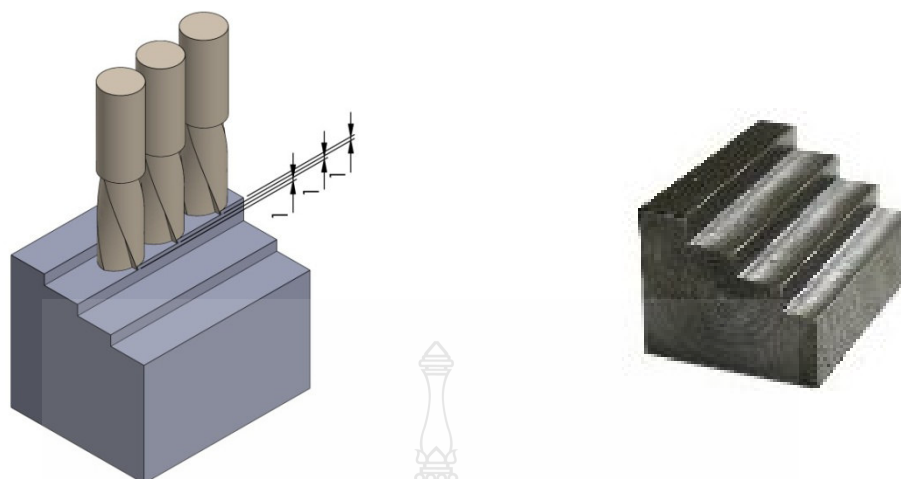
(ก) การป้อนโปรแกรมตามแผนการทดลอง



(ข) เครื่องจักรทำงานตาม โปรแกรมที่ตั้ง

ภาพที่ 3.7 การป้อนคำสั่งเครื่องจักรให้ทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้





(ก) แบบชิ้นงานที่ทำการกัดทดสอบ (หน่วย : mm)      (ข) ชิ้นงานทดสอบที่ทำการกัดเรียบร้อยแล้ว

ภาพที่ 3.8 ลักษณะชิ้นงานทดสอบ

4) นำชิ้นทดลองที่ผ่านกระบวนการกัดตามเงื่อนไขการทดลองไปวัดความหยาบผิวด้วยเครื่องวัดความหยาบผิวยี่ห้อ Mahr MarSurf PS1 เพื่อหาค่าความหยาบผิว ( $R_a$ ) ที่เหมาะสมที่สุดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER-M202 (AISI-P20) และ JIS S50C (AISI-1050) และเปรียบเทียบคุณภาพผิวงานกัด ตามเงื่อนไขการทดลองพร้อมทั้งบันทึกผลลงในตารางการทดลอง ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 การวัดค่าความเรียบผิวโดยใช้เครื่อง Mahr MarSurf PS1

3.4.2 วิเคราะห์ลักษณะเศษผิวงานกัดเพื่อทำการตรวจสอบและเปรียบเทียบลักษณะของเศษกัดที่ได้จากเหล็กแม่พิมพ์แต่ละชนิดที่ใช้ในการทดสอบดังภาพที่ 3.10



(ก) DAIDO-NAK80 (AISI-P21)



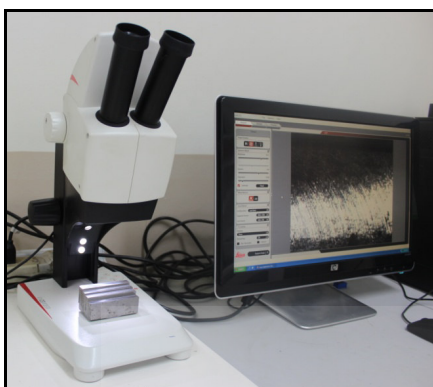
(ข) BOHLER-M202 (AISI-P20)



(ค) JIS S50C (AISI-1050)

ภาพที่ 3.10 ลักษณะเศษกัดที่ได้จากกระบวนการกัด

3.4.3 ตรวจสอบคุณภาพผิวงานกัดด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ ขนาด 20x เพื่อวิเคราะห์ลักษณะผิวงานกัดที่ได้จากกระบวนการกัดเบื้องต้น ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคขั้นสูงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) ต่อไป แสดงดังภาพที่ 3.11 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



(ก) ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ



(ข) ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน  
แบบส่องกาว (SEM)

ภาพที่ 3.11 การตรวจสอบคุณภาพผิวงานกัดด้วยกล้องจุลทรรศน์

3.4.4 วิเคราะห์ผลการสึกหรอของมีดกัด (End Mill) ภายหลังตัดเฉือนเหล็กกล้าเครื่องมือแม่พิมพ์ ชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21), AISI-P20 (BOHLER-M202) และ JIS S50C (AISI-1050) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกาว (SEM) ต่อไป แสดงดังภาพที่ 3.11 (ก) และ (ข) ตามลำดับดังภาพที่ 3.11

3.4.5 วิเคราะห์ เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาด้วยค่าพารามิเตอร์ตามข้อกำหนดที่ใช้ในกระบวนการทดสอบแต่ละเงื่อนไข ทำการเปรียบเทียบและสรุปผลที่ได้จากการทดลองเพื่อนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องต่อไป

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินการวิจัย

การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการกัดผิวงานเหล็กกล้าแม่พิมพ์พลาสติกที่แตกต่างกัน ได้แก่ DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER-M202 (AISI-P20) และ JIS S50C (AISI-1050) ด้วยตัวแปรที่ใช้ในการทดลองคือ อัตราป้อน 45, 50 และ 55 mm/min ความเร็วรอบ 510, 572 และ 637 rpm และเงื่อนไขอื่นๆ ที่ใช้ในการกระบวนการกัด เพื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะและคุณภาพผิวงานกัด ค่าความหยาบผิว และการสึกหรอของคมมีดกัด ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

#### 4.1 ศึกษาลักษณะคุณภาพผิวงานกัด

จากการวิเคราะห์คุณภาพผิวงานกัดแม่พิมพ์พลาสติก ที่ทำการแปรรูปด้วยกระบวนการกัดตามค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด และเงื่อนไขต่างๆ โดยใช้เหล็กแม่พิมพ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายกำลังขยายต่ำขนาด 20 เท่า เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความหยาบผิว (Ra) ในลำดับต่อไป ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ผลเชิงปริมาณของผิวงานงานกัด และได้ผลการทดลองดังนี้

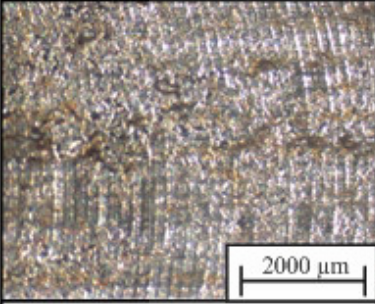
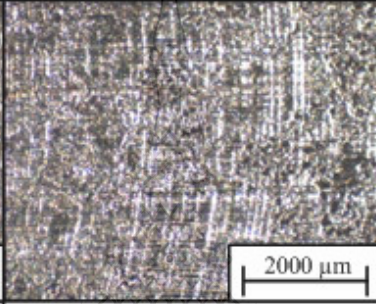
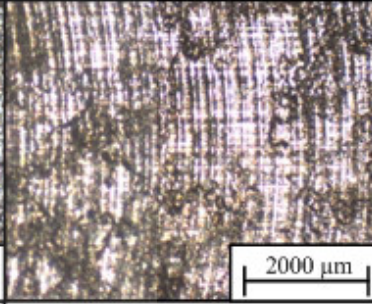
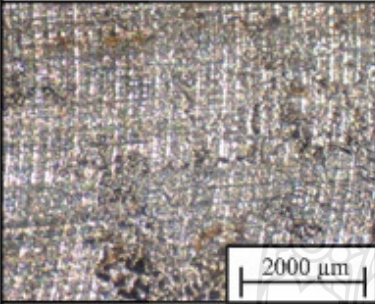
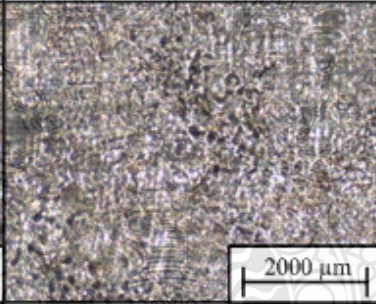
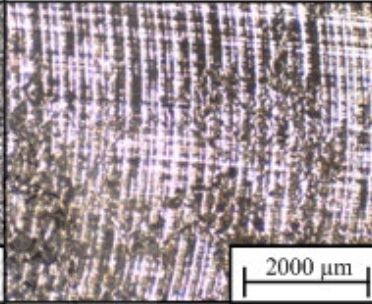
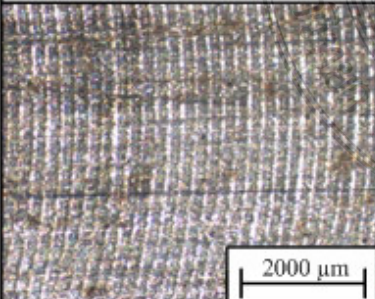
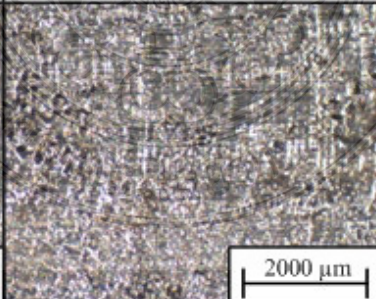
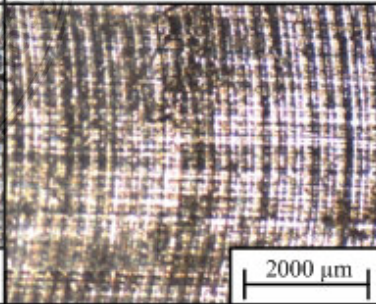
##### 4.1.1 ลักษณะคุณภาพผิวงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21)

###### 1) ทดสอบที่อัตราป้อน 45 mm/min

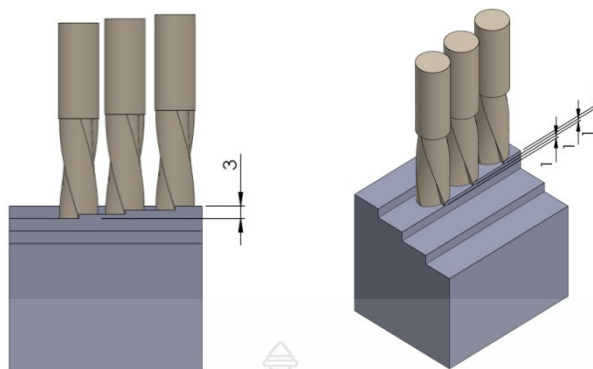
จากภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะคุณภาพผิวงานหลังทำการทดสอบเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) ที่ทำการกัดด้วยมีดกัดคาร์ไบด์ (End mill) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm 2 คมตัด ในทิศทางหมุนทวนเข็มนาฬิกา (Down - Cut) ที่ความเร็วรอบ 510 572 และ 637 rpm อัตราป้อน 45 mm/min ซึ่งทำการกัดที่ความลึก 3 ระดับ ได้แก่ 3 5 และ 10 mm โดยระยะกัดลึกครั้งละ 1 mm พบว่า เมื่อทำการกัดที่ระยะ 3 mm ที่ความเร็วรอบหมุนมีดกัดทั้ง 3 ความเร็ว ดังภาพที่ 4.1 (ก), (ง) และ (ข) พบว่าลักษณะผิวงานกัดเป็นเส้นโค้งตามทิศทางการเดินแนวกัดที่มีความลึกผิวงานที่ค่อนข้างตื้นเมื่อเทียบกับภาพที่ 4.1 (ข), (จ) และ (ช) ตามลำดับ โดยทำการกัดที่ระยะลึก 5 mm ผิวงานมีลักษณะคล้ายกับผิวงานกัดที่ระยะลึก 3 mm แต่มีเศษเนื้อวัสดุที่เป็นเม็ดขนาดเล็กที่เกิดจากการตัดเฉือนออกไปด้านข้างไม่หมดจึงทำให้ผิวงานมีลักษณะที่ไม่สม่ำเสมอมากกว่าระยะ 3 mm และเมื่อเทียบกับผิวงานกัดที่ระยะ 10 mm ดังภาพที่ 4.1 (ค), (ฉ) และ (ฉ) พบว่าระยะห่างระหว่างเส้นโค้งผิวงานมีขนาดความกว้างที่มากกว่าระยะกัดที่ 3 mm และ 5 mm เกิดเนื่องจากปลายคมตัดเกิดจากสึกหรอเมื่อทำการกัดที่ระยะที่มากจึงทำให้ผิวงานกัดที่ได้มีคุณภาพผิวที่ไม่เรียบ ดังนั้นผิวงานกัดที่มีความ



เรียบผิวดีที่สุด เมื่อทำการกัดที่ระดับระยะลึก 3mm อัตราป้อน 45 mm/min และความเร็วรอบที่ 637 rpm และแสดงลักษณะการกัดที่ระยะ 3 mm ดังภาพที่ 4.2 และค่าความหยาบผิว (Ra) ดังตารางที่ 4.1

ระดับในการกัด		
ระยะ 3 mm	ระยะ 5 mm	ระยะ 10 mm
ก) ความเร็วรอบ 510 rpm	ข) ความเร็วรอบ 510 rpm	ค) ความเร็วรอบ 510 rpm
		
ง) ความเร็วรอบ 572 rpm	จ) ความเร็วรอบ 572 rpm	ฉ) ความเร็วรอบ 572 rpm
		
ช) ความเร็วรอบ 637 rpm	ซ) ความเร็วรอบ 637 rpm	ฅ) ความเร็วรอบ 637 rpm
		

ภาพที่ 4.1 ลักษณะคุณภาพผิวงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) ที่อัตราป้อน 45 mm/min



ภาพที่ 4.2 การกัดที่ความลึก 3 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21)

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดที่ความลึก 3 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21)

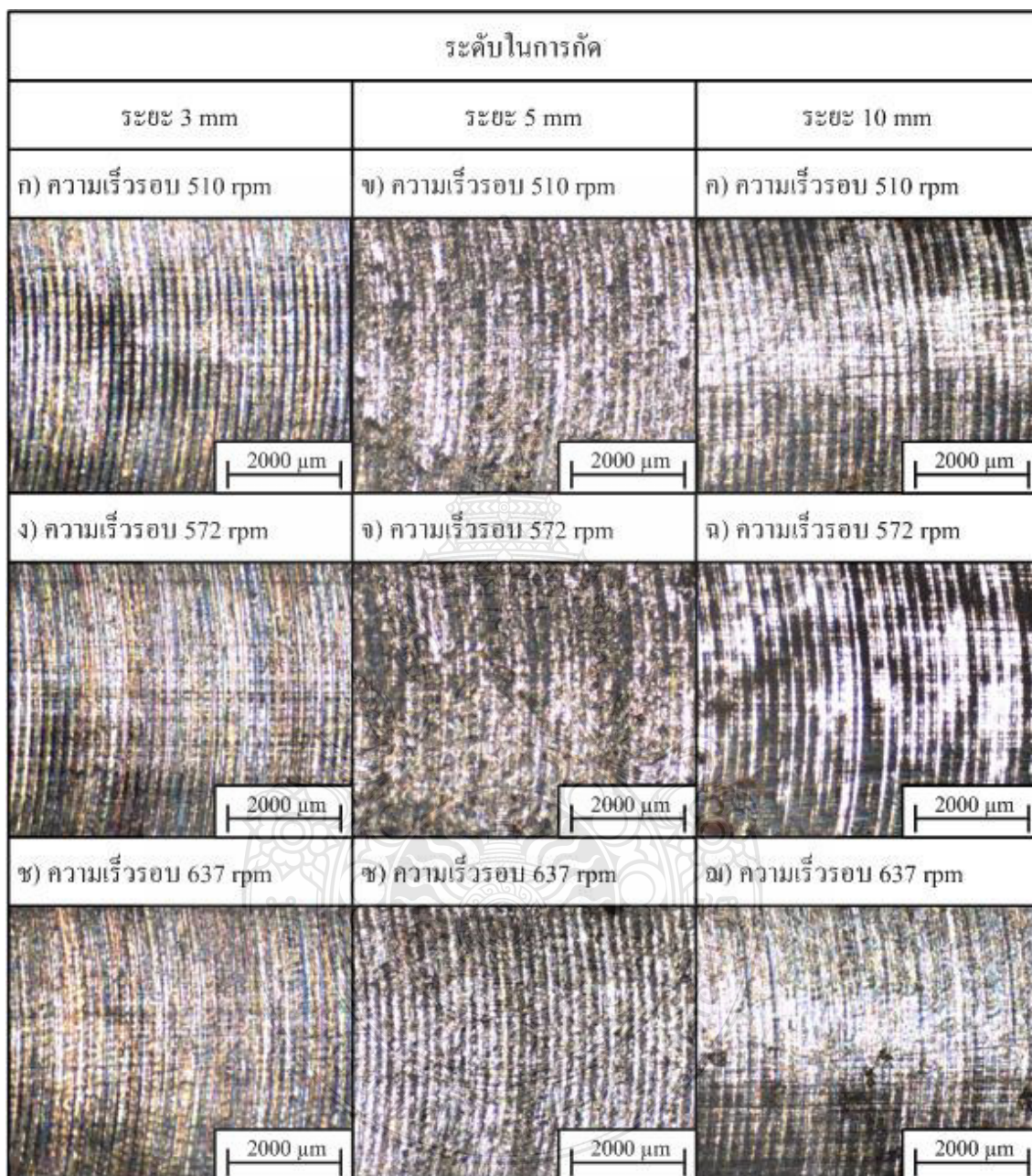
อัตราป้อน (mm/min)	ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะลึก (mm)	ความหยาบผิว Ra ( $\mu\text{m}$ )	ความหยาบผิวเฉลี่ย Ra ( $\mu\text{m}$ )
45	510	3	0.607	0.612
50	510	3	0.610	
55	510	3	0.620	
45	572	3	0.607	0.603
50	572	3	0.603	
55	572	3	0.600	
45	637	3	0.593	0.594
50	637	3	0.593	
55	637	3	0.597	

#### สรุปผล

- จากการทดลองกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) ที่ระยะความลึก 3 mm พบว่า การกัดที่ความเร็วรอบ 637 rpm อัตราป้อนกัด 50 mm/min ให้ค่าความหยาบผิวดีที่สุด คือ 0.593  $\mu\text{m}$
- พบว่า การกัดที่ความเร็วรอบ 637 rpm ให้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยดีที่สุด คือ 0.594  $\mu\text{m}$

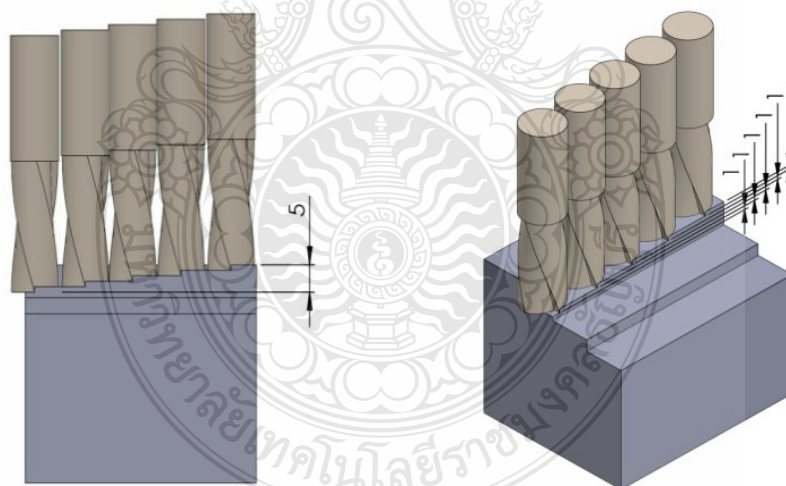


## 2) ทดสอบที่อัตราป้อน 50 mm/min



ภาพที่ 4.3 ลักษณะคุณภาพผิวงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) ที่อัตราป้อน 50 mm/min

คุณภาพผิวงานที่ได้จากกระบวนการกัดโดยทำการทดสอบด้วยอัตราป้อน 50 mm/min ที่ความเร็วรอบ 510, 572 และ 637 rpm เมื่อทำการกัดที่ความลึก 3 ระยะ คือ 3, 5 และ 10 mm ทำการกัดลึกครั้งละ 1 mm พบว่าคุณภาพผิวงานที่ได้มีลักษณะที่แตกต่างกันในแต่ละระยะความลึก ดังภาพที่ 4.2 เมื่อทำการกัดที่ระยะเดียวกันแต่ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นทำให้ลักษณะผิวงานเป็นเส้นโค้งที่มีความถี่มากกว่าความเร็วรอบต่ำ ดังภาพที่ 4.3 (ก), (ง), (ข) และ (ข), (จ), (ช) และ (ค), (ฉ), (ฉ) ตามลำดับ นั้นแสดงว่าคุณภาพผิวงานกัดที่ได้มีลักษณะดีเมื่อความเร็วหมุนในการกัดเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อทำการตรวจสอบผิวงานที่ความเร็วรอบเท่ากัน แต่ระยะในการกัดที่แตกต่างกัน อธิบายดังภาพที่ 4.3 (ก), (ข) และ (ค) หรือ (ง), (จ) และ (ฉ) หรือ (ช), (ช) และ (ฉ) ตามลำดับ พบว่าลักษณะผิวงานมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน กล่าวคือ เมื่อทำการกัดที่ระยะ 3 mm ลักษณะผิวงานที่ได้จะเป็นเส้นโค้งที่มีความถี่ไม่มากและมีความถี่ที่ละเอียดมากกว่าที่ระยะลึก 5 mm ที่มีความถี่ของเส้นโค้งห่างกันมากซึ่งจะมีผิวเนื้อวัสดุที่ถูกตัดเฉือนไม่เป็นเส้นเกิดอยู่ระหว่างเส้นผิวงานกัดโดยเกิดมากบนผิวงานในช่วงความเร็วตัดที่ 510 rpm และลดลงเมื่อเปลี่ยนความเร็วรอบไปเป็น 572 และ 637 rpm ตามลำดับ ดังนั้นคุณภาพผิวงานกัดที่ดีที่สุด เมื่อทำการกัดที่ระดับระยะลึก 3 mm อัตราป้อน 50 mm/min และความเร็วรอบที่ 637 rpm แสดงลักษณะการกัดที่ระยะ 5 mm ดังภาพที่ 4.4 และค่าความหยาบผิว (Ra) ดังตารางที่ 4.2



ภาพที่ 4.4 การกัดที่ความลึก 5 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21)




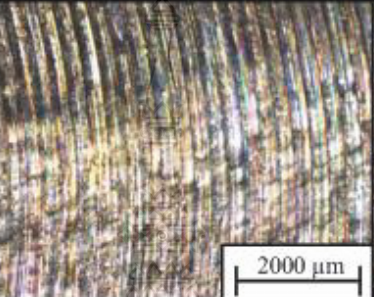
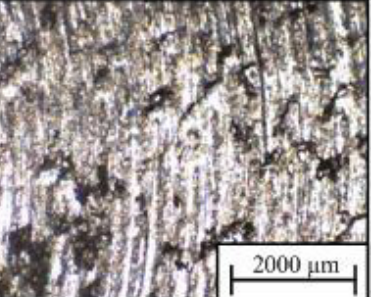

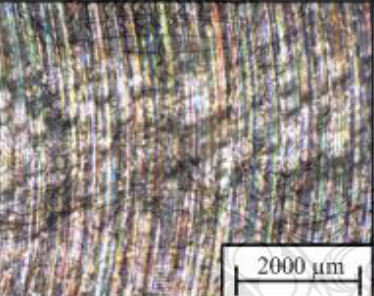
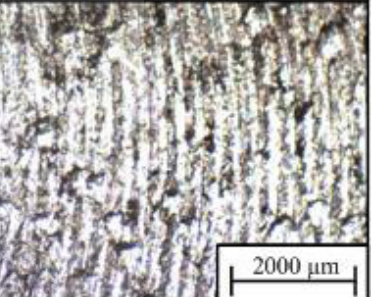
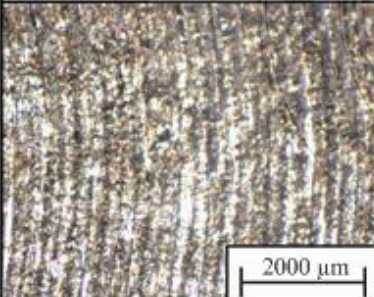
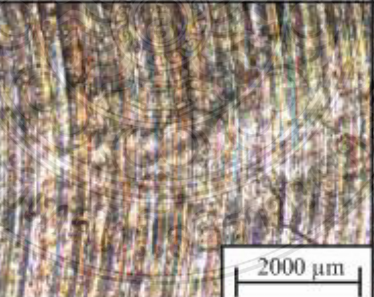
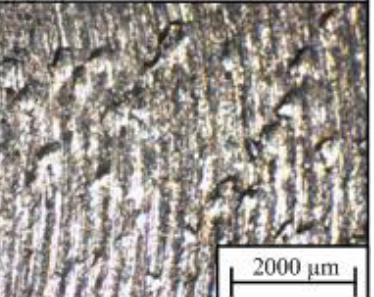
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดที่ความลึก 5 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก ชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21)

อัตราป้อน (mm/min)	ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะลึก (mm)	ความหยาบผิว Ra ( $\mu\text{m}$ )	ความหยาบผิวเฉลี่ย Ra ( $\mu\text{m}$ )
45	510	5	0.617	0.620
50	510	5	0.620	
55	510	5	0.623	
45	572	5	0.613	0.614
50	572	5	0.613	
55	572	5	0.617	
45	637	5	0.610	0.609
50	637	5	0.607	
55	637	5	0.610	

#### สรุปผล

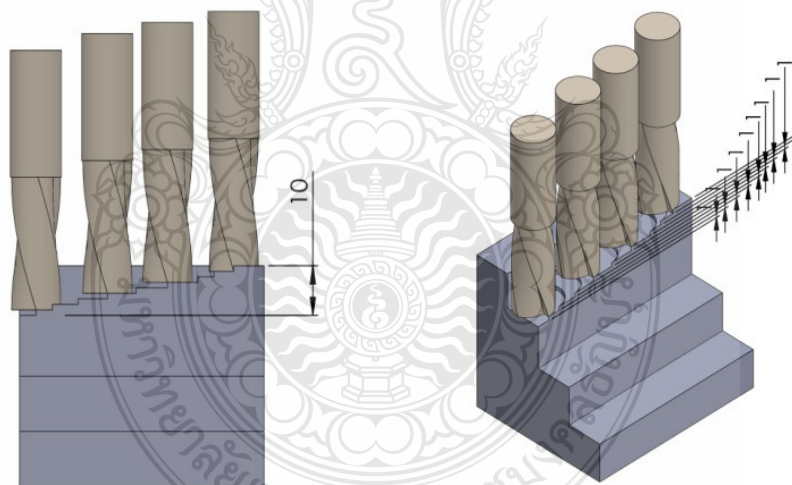
1. จากการทดลองกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) ที่ระยะความลึก 5 mm พบว่า การกัดที่ความเร็วรอบ 637 rpm อัตราป้อนกัด 50 mm/min ให้ค่าความหยาบผิวดีที่สุด คือ 0.607  $\mu\text{m}$
2. พบว่าการกัดที่ความเร็วรอบ 637 rpm ให้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยดีที่สุด คือ 0.609  $\mu\text{m}$

## 3) ทดสอบที่อัตราป้อน 55 mm/min

ระดับในการกัด		
ระยะ 3 mm	ระยะ 5 mm	ระยะ 10 mm
ก) ความเร็วรอบ 510 rpm	ข) ความเร็วรอบ 510 rpm	ค) ความเร็วรอบ 510 rpm
		
ง) ความเร็วรอบ 572 rpm	จ) ความเร็วรอบ 572 rpm	ฉ) ความเร็วรอบ 572 rpm
		
ช) ความเร็วรอบ 637 rpm	ซ) ความเร็วรอบ 637 rpm	ฌ) ความเร็วรอบ 637 rpm
		

ภาพที่ 4.5 ลักษณะคุณภาพผิวงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) ที่อัตราป้อน 55 mm/min

จากการตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพผิวงานกัดวัสดุแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) เมื่อทำการกัดที่อัตราป้อน 45 และ 55 mm/min ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นพบว่าคุณภาพผิวงานมีลักษณะที่เปลี่ยนไปไม่มากนัก เมื่อความเร็วในการหมุนและระยะกัดเพิ่มขึ้น ย่อมส่งผลต่อคุณภาพผิวงานเช่นเดียวกัน ดังนั้นเมื่อทำการเพิ่มอัตราป้อนในการกัดเป็น 55 mm/min ซึ่งทำให้อัตราการตัดเนื้อวัสดุของดอกกัดมีความเร็วเพิ่มขึ้น จึงทำให้ผิวงานกัดมีลักษณะดังภาพที่ 4.5 สามารถอธิบายได้ว่าผิวงานกัดมีลักษณะคล้ายกับผิวงานที่ดังภาพที่ 4.1 และ 4.3 ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบที่ระยะเดียวกัน พบว่าผิวงานที่ทำการกัดด้วยอัตราป้อน 55 mm/min ความเรียบผิวมีความไม่สม่ำเสมอที่เกิดจากเนื้อวัสดุถูกตัดเนื้อออกไปด้านข้างไม่หมดแทรกตัวอยู่ระหว่างผิวงานที่เป็นเส้นโค้งในปริมาณที่มากและมีขนาดใหญ่ ดังภาพที่ 4.5 (ค), (ง) และ (ฉ) ตามลำดับ ซึ่งสามารถมองเห็นได้ชัดเจน เมื่อเทียบกับผิวงานกัดที่ทำการกัดที่ระยะ 3 และ 5 mm ซึ่งมีลักษณะคุณภาพผิวงานที่ดีกว่าตามลำดับ ฉะนั้นคุณภาพผิวงานกัดที่ดีที่สุด เมื่อทำการกัดที่ระดับระยะลึก 3mm อัตราป้อน 55 mm/min และความเร็วรอบที่ 637 rpm แสดงลักษณะการกัดที่ระยะ 10 mm ดังภาพที่ 4.6 และค่าความหยาบผิว (Ra) ดังตารางที่ 4.3



ภาพที่ 4.6 การกัดที่ความลึก 10 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21)

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดที่ความลึก 10 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก ชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21)

อัตราป้อน (mm/min)	ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะลึก (mm)	ความหยาบผิว Ra ( $\mu\text{m}$ )	ความหยาบผิวเฉลี่ย Ra ( $\mu\text{m}$ )
45	510	10	0.623	0.623
50	510	10	0.627	
55	510	10	0.620	
45	572	10	0.620	0.623
50	572	10	0.623	
55	572	10	0.627	
45	637	10	0.613	0.619
50	637	10	0.623	
55	637	10	0.623	

#### สรุปผล

1. จากการทดลองกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) ที่ระยะความลึก 10 mm พบว่า การกัดที่ความเร็วรอบ 637 rpm อัตราป้อนกัด 45 mm/min ให้ค่าความหยาบผิวที่ดีที่สุด คือ 0.613  $\mu\text{m}$

2. พบว่าการกัดที่ความเร็วรอบ 637rpm ให้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยที่ดีที่สุด คือ 0.619  $\mu\text{m}$  ดังนั้น เมื่อทำการกัดวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) ด้วยความเร็วรอบ 637 rpm ที่อัตราป้อน 45 mm/min ระดับในการกัดที่ระยะ 3 mm จะทำให้ลักษณะผิวงานกัดมีคุณภาพผิวงานที่ดี ( $Ra = 0.594 \mu\text{m}$ ) เมื่อเทียบกับลักษณะผิวงานที่ทำกัดด้วยค่าพารามิเตอร์อื่นๆ

#### 4.1.2 ลักษณะคุณภาพผิวงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20)

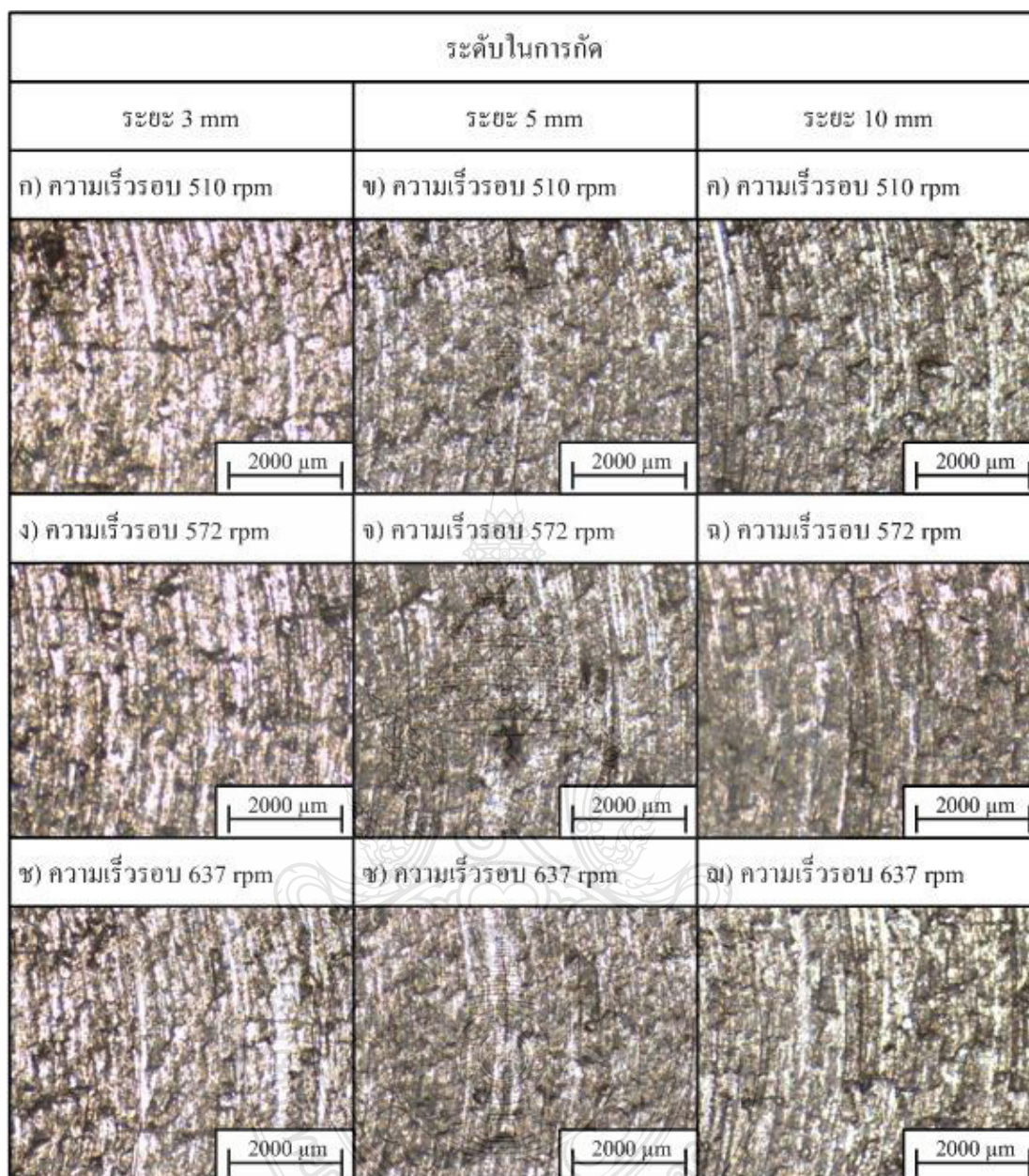
##### 1) ทดสอบที่อัตราป้อน 45 mm/min

คุณภาพผิวงานที่ได้จากการทดสอบด้วยกระบวนการกัดวัสดุแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20) เมื่อทำการกัดที่ความเร็วรอบ 510 572 และ 637 rpm อัตราป้อน 45, 50 และ 55 mm/min ซึ่งทำการกัดที่ระยะ 3, 5 และ 10 mm ระยะกัดลึกครั้งละ 1 mm ซึ่งส่งผลทำให้คุณภาพผิวงานที่ได้จากการศึกษาตามค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดมีลักษณะที่แตกต่างกัน สามารถอธิบายได้ดังภาพที่ 4.4 แสดงถึงลักษณะผิวงานที่เกิดจากการทดสอบด้วยอัตราป้อน 45 mm/min พบว่าผิว

งานกัดที่ได้จากการกัดที่ระยะต่างๆ มีความไม่แตกต่างกันมากเมื่อความเร็วรอบหมุนตัดเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังส่งผลต่อคุณภาพผิวงานที่ที่ดีขึ้น จากภาพที่ 4.7 (ก) แสดงผิวงานกัดที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่ไม่สม่ำเสมอสลับกับผิวขรุขระตลอดแนวผิวกัด เมื่อเปรียบเทียบกับผิวงานกัดภาพที่ 4.7 (ข) มีลักษณะผิวงานเป็นหลุมลึกและสันแทรกอยู่ระหว่างเส้นความลึกส่วนโค้ง และมีความเหมือนกับผิวงานที่ทำการกัดที่ระยะ 10 mm ดังภาพที่ 4.7 (ค) ซึ่งมีพื้นผิวส่วนใหญ่ไม่สม่ำเสมอเกิดเนื่องจากเนื้อวัสดุเกิดการตัดเฉือนด้วยคมตัดที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากตัดของมีดกัดเกิดการสึกหรอเมื่อทำการกัดเป็นเวลานานจึงส่งผลต่อลักษณะผิวงานที่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับผิวงานกัดที่ระยะน้อยลงตามลำดับ และเมื่อทำการกัดวัสดุทดสอบที่ความเร็วรอบหมุนเพิ่มขึ้นเป็น 572 และ 637 rpm ด้วยอัตราป้อน 45 mm/min ที่ระยะตั้งแต่ 3 5 และ 10 mm ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.7 (ง) ถึง (ฉ) ตามลำดับ พบว่าวัสดุผิวงานกัดมีความเรียบขึ้นเมื่อ

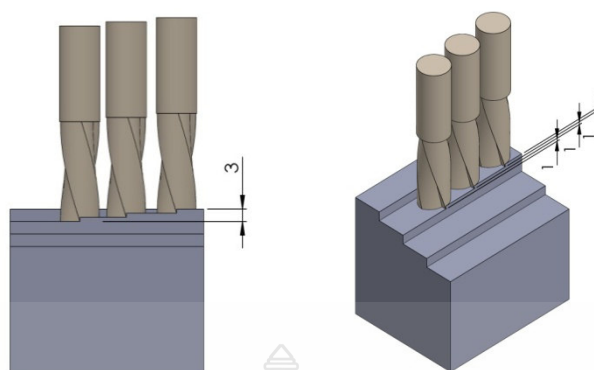






ภาพที่ 4.7 ลักษณะคุณภาพผิวงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20) ที่อัตราป้อน 45 mm/min

ความเร็วรอบหมุนเพิ่มมากขึ้น แต่คุณภาพผิวงานด้อยลงเมื่อทำการกัดที่ระยะเพิ่มเช่นเดียวกัน ฉะนั้นคุณภาพผิวงานกัดที่ดีที่สุดเมื่อทำการกัดที่ระดับระยะลึก 3mm อัตราป้อน 45 mm/min และความเร็วรอบที่ 637 rpm แสดงลักษณะการกัดที่ระยะ 3 mm ดังภาพที่ 4.8 และค่าความหยาบผิว (Ra) ดังตารางที่ 4.4



ภาพที่ 4.8 การกัดที่ความลึก 3 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20)

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าความหยาบผิว ( $R_a$ ) งานกัดที่ความลึก 3 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20)

อัตราป้อน (mm/min)	ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะลึก (mm)	ความหยาบผิว $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	ความหยาบผิวเฉลี่ย $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )
45	510	3	2.880	3.048
50	510	3	3.037	
55	510	3	3.227	
45	572	3	2.857	2.993
50	572	3	3.003	
55	572	3	3.120	
45	637	3	2.627	2.757
50	637	3	2.693	
55	637	3	2.953	

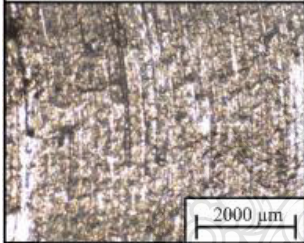
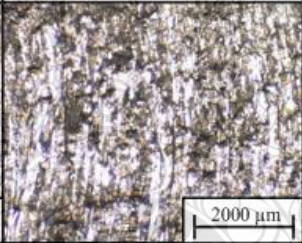
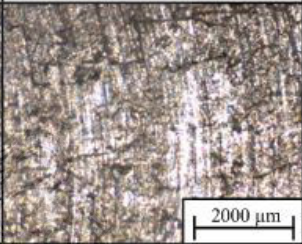
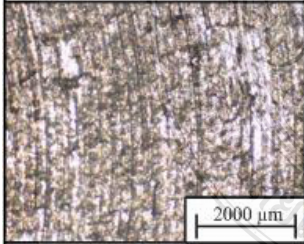
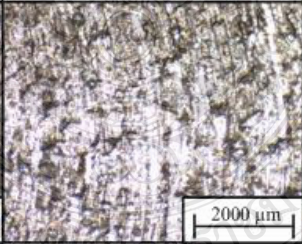
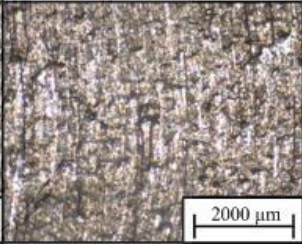
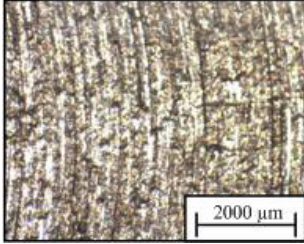
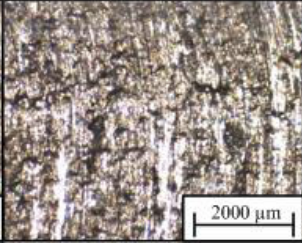
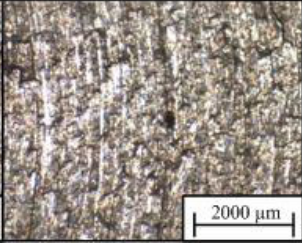
#### สรุปผล

- จากการทดลองกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20) ที่ระยะความลึก 3 mm พบว่า การกัดที่ความเร็วรอบ 637 rpm อัตราป้อนกัด 45 mm/min ให้ค่าความหยาบผิวดีที่สุด คือ 2.627  $\mu\text{m}$
- พบว่า การกัดที่ความเร็วรอบ 637 rpm ให้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยดีที่สุด คือ 2.757  $\mu\text{m}$



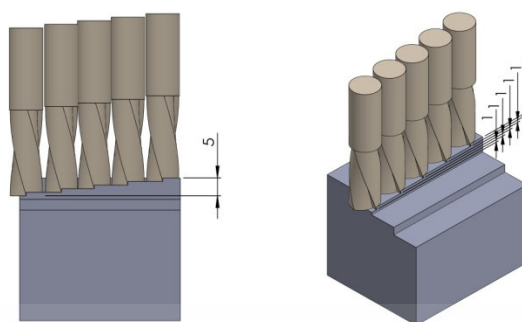
## 2) ทดสอบที่อัตราป้อน 50 mm/min

ภาพที่ 4.9 แสดงลักษณะคุณภาพผิวรอยกัดชิ้นงานทดสอบเมื่อทำการกัดตามเงื่อนไขพบว่าลักษณะผิวงานที่ได้มีลักษณะคล้ายกับผิวงานที่ได้จากการกัดที่อัตราป้อน 45 mm/min ดังภาพที่ 4.7 ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่ผิวงานมีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีความลึกมากกว่า อีกทั้งยังมีหลุมตื้นที่อัตราป้อน 50 mm/min และหลุมในปริมาณที่น้อยและมาก เมื่อทำการกัดที่ระดับในการกัดเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอัตราป้อนเพิ่มขึ้นมีอิทธิพลต่อคุณภาพผิวงานกัด เนื่องจากความเร็วในการตัดเฉือนเนื้อวัสดุที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดคุณภาพผิวงานลดต่ำลง ซึ่งมีความสอดคล้องตามเงื่อนไขและข้อกำหนดการตัดเฉือน ดังนั้นคุณภาพผิวงานกัดที่ดีที่สุด เมื่อทำการกัดที่ระดับระยะลึก 3 mm อัตราป้อน 50 mm/min และความเร็วรอบที่ 637 rpm แสดงลักษณะการกัดที่ระยะ 5 mm ดังภาพที่ 4.10 และค่าความหยาบผิว (Ra) ดังตารางที่ 4.5

ระดับในการกัด		
ระยะ 3 mm	ระยะ 5 mm	ระยะ 10 mm
ก) ความเร็วรอบ 510 rpm	ข) ความเร็วรอบ 510 rpm	ค) ความเร็วรอบ 510 rpm
		
ง) ความเร็วรอบ 572 rpm	จ) ความเร็วรอบ 572 rpm	ฉ) ความเร็วรอบ 572 rpm
		
ช) ความเร็วรอบ 637 rpm	ซ) ความเร็วรอบ 637 rpm	ฌ) ความเร็วรอบ 637 rpm
		

ภาพที่ 4.9 ลักษณะคุณภาพผิวงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20)





ภาพที่ 4.10 การกัดที่ความลึก 5 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20)

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดที่ความลึก 5 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20)

อัตราป้อน (mm/min)	ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะลึก (mm)	ความหยาบผิว Ra ( $\mu\text{m}$ )	ความหยาบผิวเฉลี่ย Ra ( $\mu\text{m}$ )
45	510	5	2.947	3.151
50	510	5	3.087	
55	510	5	3.420	
45	572	5	2.963	3.033
50	572	5	3.023	
55	572	5	3.113	
45	637	5	2.637	2.800
50	637	5	2.693	
55	637	5	3.070	

#### สรุปผล

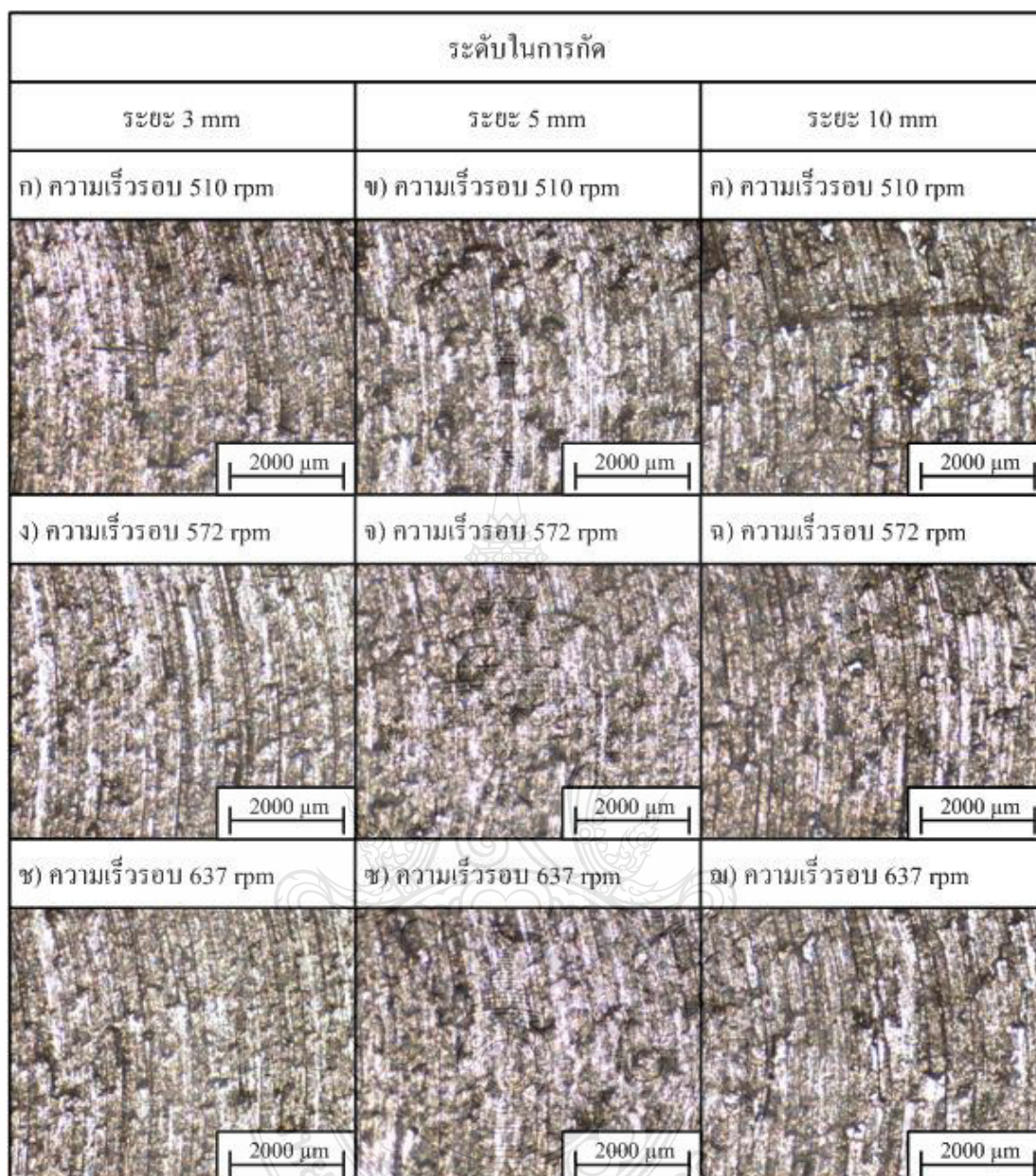
- จากการทดลองกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20) ที่ระยะความลึก 5 mm พบว่า การกัดที่ความเร็วรอบ 637 rpm อัตราป้อนกัด 45 mm/min ให้ค่าความหยาบผิวดีที่สุด คือ 2.637  $\mu\text{m}$
- พบว่า การกัดที่ความเร็วรอบ 637 rpm ให้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยดีที่สุด คือ 2.800  $\mu\text{m}$

### 3) ทดสอบที่อัตราป้อน 55 mm/min

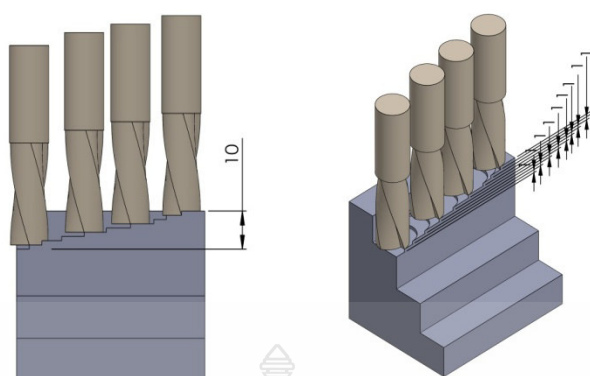
การเพิ่มอัตราป้อนในการทดสอบด้วยกระบวนการกัด มีอิทธิพลและส่งผลต่อคุณภาพผิวงานกัดโดยตรง ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญในกระบวนการตัดเฉือนวัสดุ จากการศึกษาอัตราป้อนและความเร็วรอบในการหมุนตัด พบว่าคุณภาพผิวงานกัดมีความแตกต่างกันไม่มากนัก เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วหมุนในการกัด แต่จะแตกต่างกันอย่างชัดเจนเพิ่มทำการกัดวัสดุที่ระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น หรือระยะการกัดเพิ่มขึ้น สามารถอธิบายได้ดังภาพที่ 4.11 แสดงถึงลักษณะผิวงานกัดที่ทำการกัดด้วยอัตราป้อน 55 mm/min พบว่าผิวงานกัดเป็นเส้นโค้งมีความลึกมากเมื่อเทียบกับการทดสอบที่อัตราป้อน 45 และ 50 mm/min เกิดเนื่องจากระยะเวลาในการตัดเฉือนที่เร็วเกินไปจึงทำให้คมตัดไม่สามารถทำการตัดเฉือนเนื้อวัสดุได้ทัน จึงส่งผลต่อลักษณะคุณภาพผิวงานที่ด้อยกว่า ซึ่งมีลักษณะเหมือนผิวงานกัดดังภาพที่ 4.7 และ 4.9 ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งคุณภาพผิวงานกัดที่ดีที่สุด เมื่อทำการกัดที่อัตราป้อน 55 mm/min ระดับระยะลึก 3mm และความเร็วรอบที่ 637 rpm แสดงถึงลักษณะการกัดที่ระยะ 10 mm ดังภาพที่ 12 และค่าความหยาบผิว (Ra) ดังตารางที่ 4.6

ดังนั้นเมื่อทำการกัดวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20) ด้วยความเร็วรอบ 637 rpm ที่อัตราป้อน 45 mm/min ระดับในการกัดที่ระยะ 3 mm จะทำให้ลักษณะผิวงานกัดมีคุณภาพผิวงานที่ดีที่วัสดุเมื่อเทียบกับลักษณะผิวงานที่ทำกัดด้วยค่าพารามิเตอร์อื่นๆ





ภาพที่ 4.11 ลักษณะคุณภาพผิวงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20)



ภาพที่ 4.12 การกัดที่ความลึก 10 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20)

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดที่ความลึก 10 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20)

อัตราป้อน (mm/min)	ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะลึก (mm)	ความหยาบผิว Ra ( $\mu\text{m}$ )	ความหยาบผิวเฉลี่ย Ra ( $\mu\text{m}$ )
45	510	10	3.017	3.276
50	510	10	3.230	
55	510	10	3.580	
45	572	10	2.967	3.075
50	572	10	3.127	
55	572	10	3.130	
45	637	10	2.650	2.834
50	637	10	2.710	
55	637	10	3.143	

#### สรุปผล

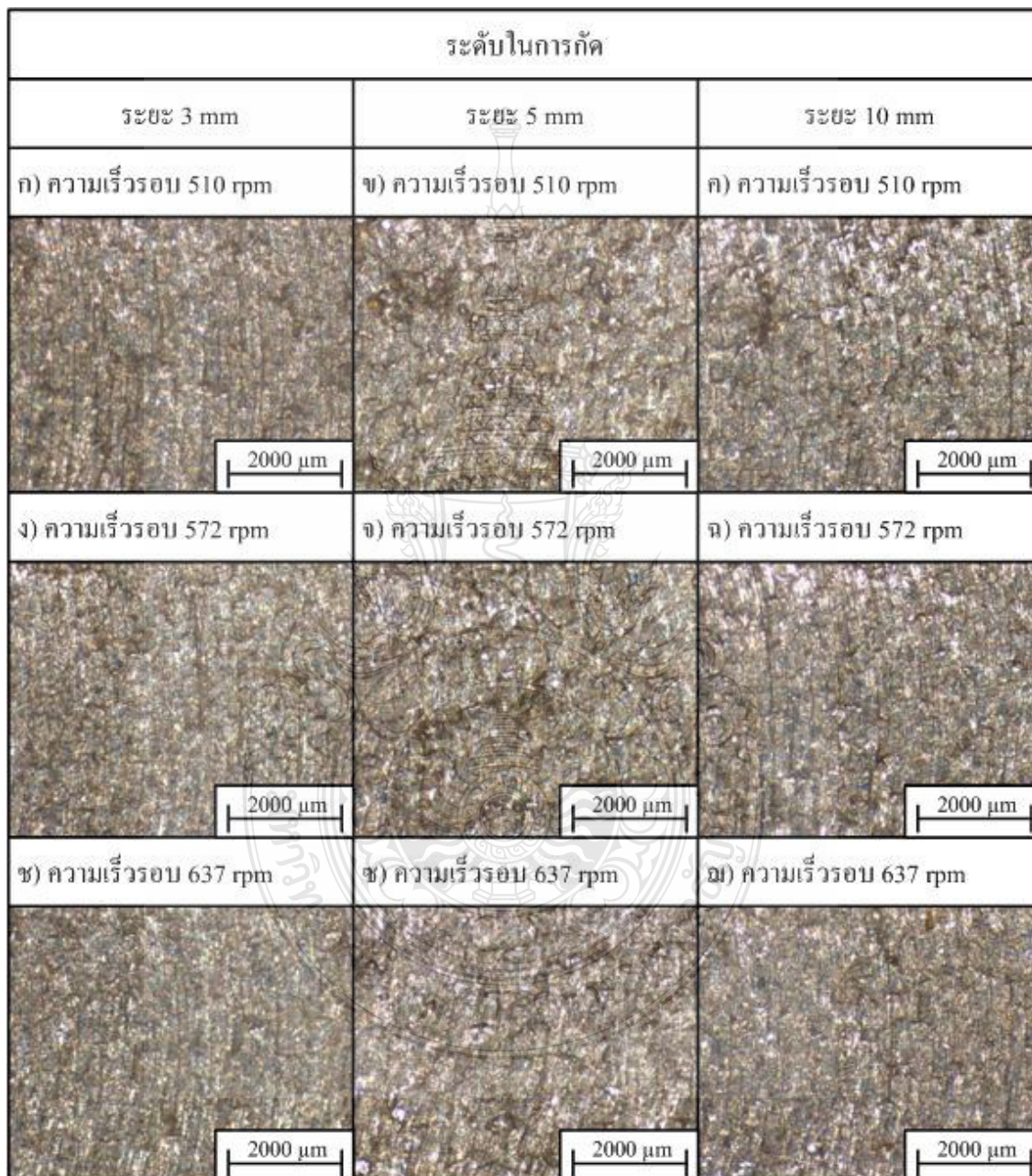
1. จากการทดลองกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20) ที่ระยะความลึก 10 mm พบว่า การกัดที่ความเร็วรอบ 637 rpm อัตราป้อนกัด 45 mm/min ให้ค่าความหยาบผิวดีที่สุด คือ 2.650  $\mu\text{m}$



2. พบว่าการกัดที่ความเร็วรอบ 637 rpm ให้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยดีที่สุด คือ 2.834  $\mu\text{m}$

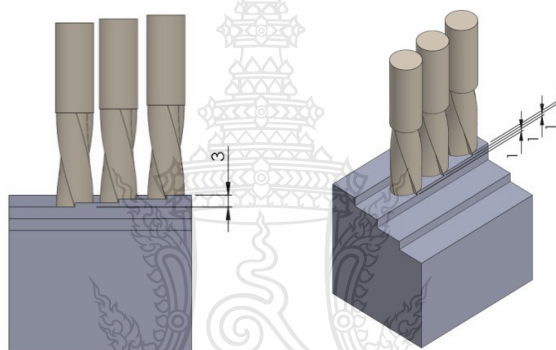
#### 4.1.3 ลักษณะคุณภาพผิวงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050)

1) ทดสอบที่อัตราป้อน 45 mm/min



ภาพที่ 4.13 ลักษณะคุณภาพผิวงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) ที่อัตราป้อน 45 mm/min

การทดสอบเพื่อหาคุณภาพผิวงานกัดวัสดุแม่พิมพ์พลาสติก JIS S50C (AISI-1050) ที่ทำการทดสอบด้วยอัตราป้อน 45 mm/min ความเร็วรอบและระยะระยะการกัดที่แตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 4.13 มีลักษณะคุณภาพผิวงานที่ค่อนข้างเรียบแต่เกิดหลุมตื้นๆ เป็นคลื่นขนาดเล็กบริเวณตรงกลางผิวแนวกัด ดังภาพที่ 4.13 ก) และมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อระยะกัดเพิ่มขึ้นเป็น 5 และ 10 mm ตามลำดับ ถ้าทำการปรับเปลี่ยนหรือเพิ่มความเร็วรอบหมุนกัดลักษณะผิวงานที่ได้จะมีคุณภาพผิวงานที่ดีกว่าความเร็วรอบหมุนที่ต่ำ เนื่องจากความเร็วรอบที่ใช้ในการกัดมากแต่อัตราป้อนกัดเท่ากันจึงทำให้เนื้อวัสดุถูกตัดเฉือนได้ดีกว่า ดังนั้นคุณภาพผิวงานกัดที่ดีที่สุด เมื่อทำการกัดที่ระดับระยะลึก 3mm อัตราป้อน 45 mm/min และความเร็วรอบที่ 637 rpm แสดงลักษณะการกัดที่ระยะ 3 mm ดังภาพที่ 4.14 และค่าความหยาบผิว (Ra) ดังตารางที่ 4.7



ภาพที่ 4.14 การกัดที่ความลึก 3 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก ชนิด JIS S50C (AISI-1050)

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดที่ความลึก 3 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก ชนิด JIS S50C (AISI-1050)

อัตราป้อน (mm/min)	ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะลึก (mm)	ความหยาบผิว Ra ( $\mu\text{m}$ )	ความหยาบผิวเฉลี่ย Ra ( $\mu\text{m}$ )
45	510	3	2.340	2.432
50	510	3	2.470	
55	510	3	2.487	
45	572	3	2.123	2.325
50	572	3	2.417	
55	572	3	2.437	
45	637	3	2.120	2.242
50	637	3	2.360	
55	637	3	2.247	

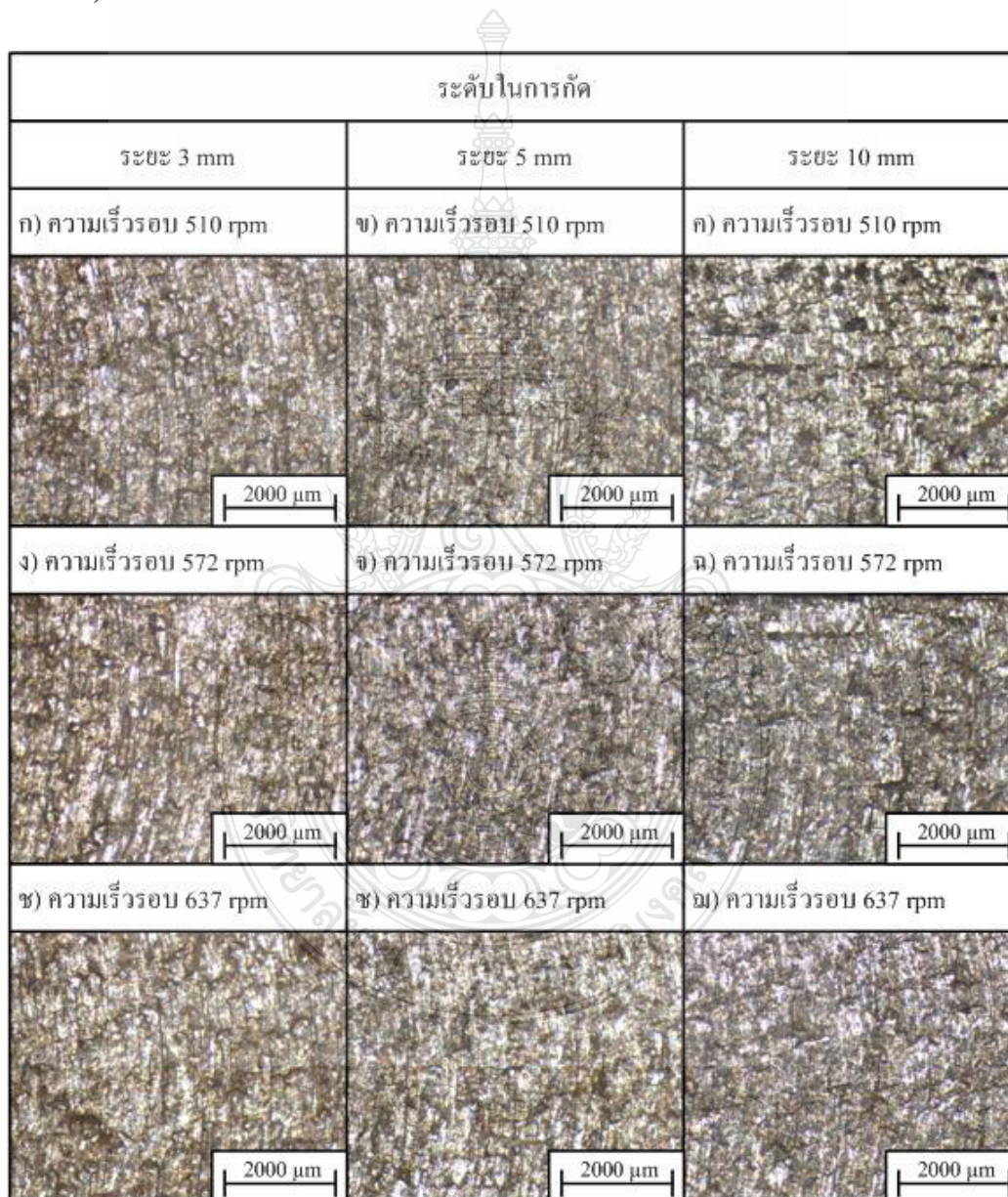


## สรุปผล

1. จากการทดลองกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) ที่ระยะความลึก 3 mm พบว่าการกัดที่ความเร็วรอบ 637 rpm อัตราป้อนกัด 45 mm/min ให้ค่าความหยาบผิวดีที่สุด คือ 2.120  $\mu\text{m}$

2. พบว่าการกัดที่ความเร็วรอบ 637 rpm ให้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยดีที่สุด คือ 2.242  $\mu\text{m}$

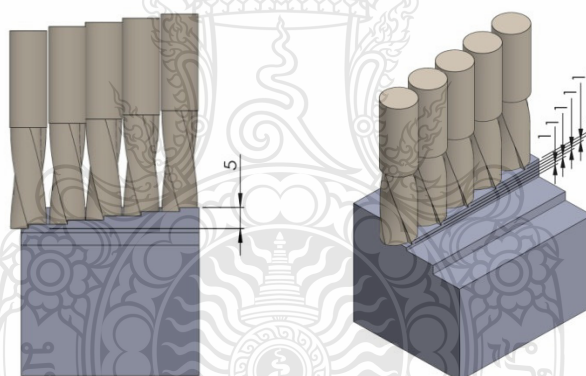
2) ทดสอบที่อัตราป้อน 50 mm/min



ภาพที่ 4.15 ลักษณะคุณภาพผิวงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) ที่อัตราป้อน 50 mm/min



จากภาพที่ 4.15 แสดงลักษณะคุณภาพผิวงานที่ทำการทดสอบที่อัตราป้อน 45 mm/min ด้วยความเร็วรอบ 510 572 และ 637 rpm ระดับในการกัด 3 ระดับ คือ ระยะ 3 5 และ 10 mm ทำการกัดวัสดุพิมพ์พลาสติก S50C เมื่อทำการกัดที่ระยะ 10 mm ที่ความเร็ว 637 572 และ 510 rpm ดังภาพที่ 4.15 ฉ) และ ค) ตามลำดับ พบว่าผิวงานที่กัดมีลักษณะเป็นเส้นโค้งแต่เกิดหลุมในปริมาณที่มาก แต่ไม่ลึกมาก เมื่อเทียบกับความเร็วรอบหมุนกัดที่ต่ำลงตามลำดับจะเกิดหลุมบนผิวงานที่ค่อนข้างลึกและผิวงานขรุขระไม่สม่ำเสมอเมื่อเทียบกับลักษณะผิวงานที่ระยะ 5 และ 3 mm ดังภาพที่ 4.15 ช) และ ข) ตามลำดับ และภาพที่ 4.15 ช) ง) และ ก) ตามลำดับ เมื่อความเร็วรอบหมุนที่ 637 572 และ 510 rpm ตามลำดับ คุณภาพผิวงานมีความเรียบกว่าเมื่อระยะกัดลดลง เนื่องจากความเร็วรอบหมุน อัตราป้อน และระยะกัด ส่งผลต่อคุณภาพผิวงานที่ได้โดยตรง จึงทำให้ลักษณะคุณภาพผิวงานดีขึ้นตามลำดับ ฉะนั้นคุณภาพผิวงานกัดที่ดีที่สุด เมื่อทำการกัดที่ระดับระยะลึก 3 mm อัตราป้อน 50 mm/min และความเร็วรอบที่ 637 rpm แสดงลักษณะการกัดที่ระยะ 5 mm ดังภาพที่ 4.16 และค่าความหยาบผิว (Ra) ดังตารางที่ 4.8



ภาพที่ 4.16 การกัดที่ความลึก 5 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก ชนิด JIS S50C (AISI-1050)

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดที่ความลึก 5 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก ชนิด JIS S50C (AISI-1050)

อัตราป้อน (mm/min)	ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะลึก (mm)	ความหยาบผิว Ra ( $\mu\text{m}$ )	ความหยาบผิวเฉลี่ย Ra ( $\mu\text{m}$ )
45	510	5	2.463	2.495
50	510	5	2.483	
55	510	5	2.540	
45	572	5	2.343	2.447
50	572	5	2.460	
55	572	5	2.540	
45	637	5	2.257	2.385
50	637	5	2.350	
55	637	5	2.547	

#### สรุปผล

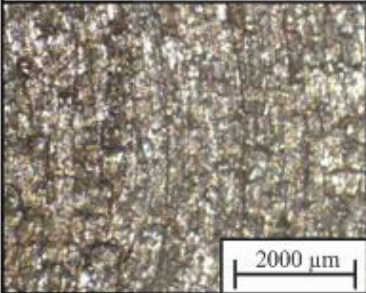
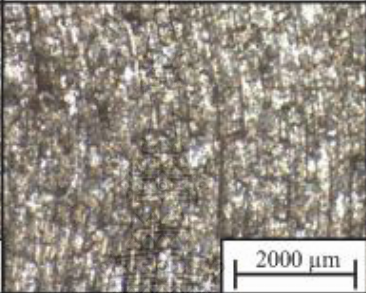
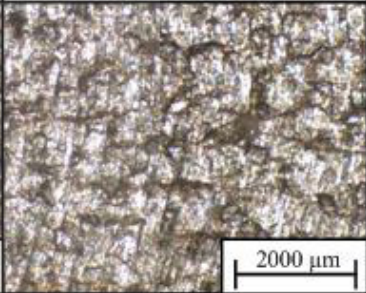
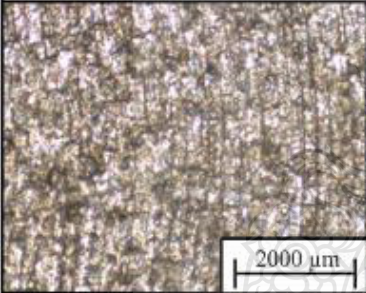
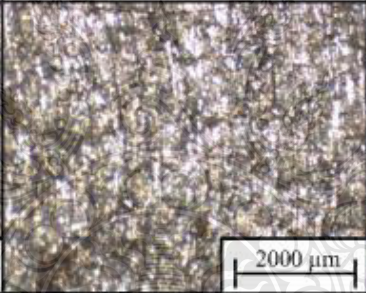
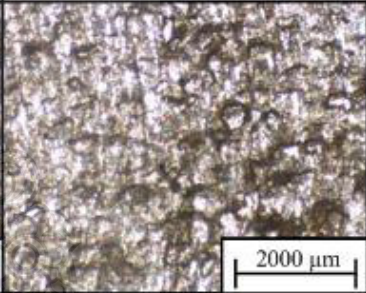
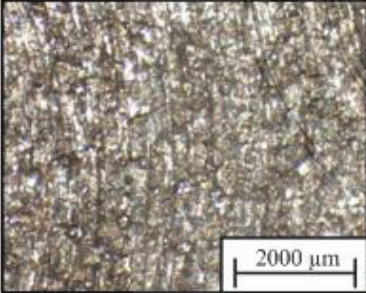
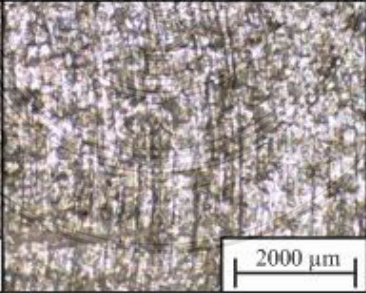
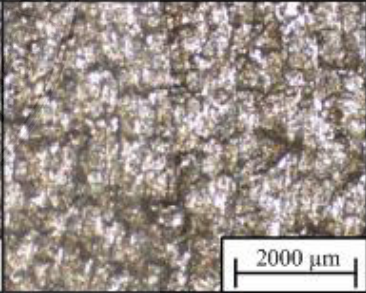
1. จากการทดลองกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) ที่ระยะความลึก 5 mm พบว่าการกัดที่ความเร็วรอบ 637 rpm อัตราป้อนกัด 45 mm/min ให้ค่าความหยาบผิวดีที่สุดคือ 2.257  $\mu\text{m}$

2. พบว่าการกัดที่ความเร็วรอบ 637 rpm ให้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยดีที่สุดคือ 2.385  $\mu\text{m}$

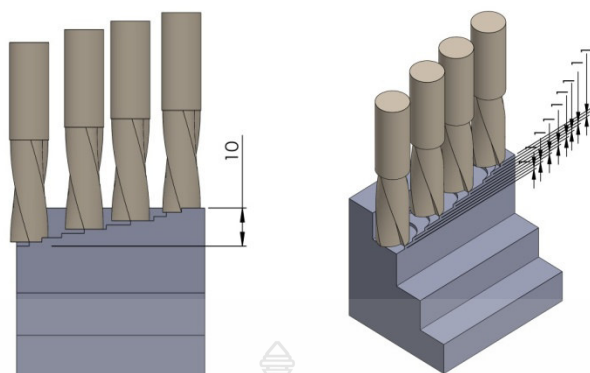
3) ทดสอบที่อัตราป้อน 55 mm/min

จากการวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพผิวงานที่ได้จากการกระบวนการกัดด้วยอัตราป้อน 55 mm/min ดังภาพที่ 4.17 พบว่า ลักษณะผิวงานที่ทำการทดสอบที่อัตราป้อนสูงขึ้นผิวงานกัดที่ได้จะมีความคล้ายกันเมื่อเทียบกับผิวงานที่กัดภาพที่ 4.17 ทำการทดสอบที่ระยะ 3 และ 5 mm แต่ลักษณะที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจนในภาพที่ 4.17 ค) ง) และ ฉ) ตามลำดับนั้น ผิวงานเกิดหลุมลึกและกว้างเป็น ปริมาณมากกระจายอยู่ทั่วบริเวณผิวงานกัดตลอดแนว ทำให้ผิวงานมีลักษณะขรุขระบนเส้นโค้งที่เกิดจากคมตัดเฉือน ที่เกิดจากการสึกหรอของคมตัดที่ไม่สามารถตัดเฉือนเนื้อวัสดุให้เกิดความเรียบได้ เนื่องจากคมตัดถูกทำงานด้วยอัตราป้อนที่เพิ่มมากขึ้น ความเร็วรอบหมุนเพิ่มขึ้นอีกด้วย โดยพบว่าคุณภาพผิวงานกัดที่ดีที่สุด เมื่อทำการกัดที่ระดับระยะลึก 3mm อัตราป้อน 55 mm/min และ

ความเร็วรอบที่ 637 rpm แสดงลักษณะการกัดที่ระยะ 10 mm ดังภาพที่ 4.18 และค่าความหยาบผิว (Ra) ดังตารางที่ 4.9

ระดับในการกัด		
ระยะ 3 mm	ระยะ 5 mm	ระยะ 10 mm
ก) ความเร็วรอบ 510 rpm	ข) ความเร็วรอบ 510 rpm	ค) ความเร็วรอบ 510 rpm
		
ง) ความเร็วรอบ 572 rpm	จ) ความเร็วรอบ 572 rpm	ฉ) ความเร็วรอบ 572 rpm
		
ช) ความเร็วรอบ 637 rpm	ซ) ความเร็วรอบ 637 rpm	ฅ) ความเร็วรอบ 637 rpm
		

ภาพที่ 4.17 ลักษณะคุณภาพผิวงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) ที่อัตราป้อน 55 mm/min



ภาพที่ 4.18 การกัดที่ความลึก 10 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050)

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดที่ความลึก 10 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050)

อัตราป้อน (mm/min)	ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะลึก (mm)	ความหยาบผิว Ra ( $\mu\text{m}$ )	ความหยาบผิวเฉลี่ย Ra ( $\mu\text{m}$ )
45	510	10	2.467	2.512
50	510	10	2.510	
55	510	10	2.560	
45	572	10	2.460	2.501
50	572	10	2.497	
55	572	10	2.547	
45	637	10	2.347	2.401
50	637	10	2.343	
55	637	10	2.513	

#### สรุปผล

- จากการทดลองกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) ที่ระยะความลึก 10 mm พบว่า การกัดที่ความเร็วรอบ 637 rpm อัตราป้อนกัด 50 mm/min ให้ค่าความหยาบผิวดีที่สุด คือ 2.343  $\mu\text{m}$
- พบว่า การกัดที่ความเร็วรอบ 637 rpm ให้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยดีที่สุด คือ 2.401  $\mu\text{m}$



ดังนั้นเมื่อทำการกัดวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) ด้วยความเร็วรอบ 637 rpm ที่อัตราป้อน 45 mm/min ระดับในการกัดที่ระยะ 3 mm จะทำให้ลักษณะผิวงานกัดมีคุณภาพผิวงานที่ดีที่วัสดุเมื่อเทียบกับลักษณะผิวงานที่ทำกัดด้วยค่าพารามิเตอร์อื่นๆ

จากการวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพผิวงานกัดที่ทำกรทดสอบด้วยเหล็กแม่พิมพ์ 3 ชนิด คือ DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER-M202 (AISI-P20), และ JIS S50C (AISI-1050) โดยทำการกัดด้วยมีดกัดเอ็นมิล (End Mill) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm ชนิด 2 คมตัด ที่ค่าพารามิเตอร์และเงื่อนไข ได้แก่ ค่าความเร็วรอบของดอกกัด 510, 572 และ 637 rpm อัตราป้อน 45, 50 และ 55 mm/min ทำการกัดลึกครั้งละ 1 mm ระดับในการกัด 3 ระดับ คือ ระยะ 3, 5 และ 10 mm ความยาวแนวกัด 50 mm ในทิศทางกัดเดียวกัน สามารถสรุปโดยรวมของคุณภาพผิวงานกัดได้ว่า เมื่อทำการกัดที่อัตราป้อนเดียวกันแต่ค่าความเร็วรอบหมุนในการกัดเพิ่มมากขึ้นจะทำให้คุณภาพผิวงานกัดที่ได้มีลักษณะที่ดีขึ้นสม่ำเสมอแต่เมื่ออัตราป้อนกัดเพิ่มขึ้นลักษณะคุณภาพผิวที่ได้ก็มีลักษณะที่ไม่ดีไปกว่าเดิม อีกทั้งการเพิ่มระยะในการกัดที่มากขึ้นก็ยิ่งทำให้คุณภาพผิวงานมีลักษณะที่หยาบไปกว่าเดิมนั้นแสดงว่าอัตราป้อน ความเร็วรอบ และระยะการกัดย่อมมีอิทธิพลและส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคุณภาพผิวงานที่ถูกกำหนดด้วยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกัดในการทดสอบทุกๆ ตัวแปร ทำให้คุณภาพผิวงานกัดที่ได้มีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด จากการเปรียบเทียบคุณภาพผิวงานที่ได้จากการกัดของวัสดุเหล็กแม่พิมพ์ทั้ง 3 ชนิด พบว่าคุณภาพผิวงานวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) มีคุณภาพผิวงานกัดโดยรวมดีที่สุดเมื่อเทียบกับคุณภาพผิวงานกัดของวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) และชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20) ที่มีลักษณะคุณภาพผิวที่ต่ำรองลงมา และต่ำที่สุดตามลำดับ นั้นแสดงว่าวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกที่มีสมบัติในด้านต่างๆ ที่แตกต่างกันนั้นย่อมส่งผลต่อลักษณะคุณภาพผิวงานกัดที่ได้เมื่อทำการทดสอบที่ค่าพารามิเตอร์ และเงื่อนไขต่างๆ เดียวกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนผสมทางเคมีและสมบัติทางกลของวัสดุเหล็กแม่พิมพ์แต่ละชนิดเป็นต้น โดยผลการทดสอบมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของชัยวัฒน์ พรรคพวก และชนะ รัชศิริ [19]

#### 4.2 ศึกษาค่าความหยาบผิว (Ra) ของผิวงานกัด

จากการตรวจสอบลักษณะคุณภาพผิวงานกัดด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ สามารถทำให้ทราบถึงลักษณะผิวงานที่มีแตกต่างกันของวัสดุเหล็กแม่พิมพ์ตัดแต่ละชนิด ที่ได้รับอิทธิพลมาจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการกัด ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการตรวจวัดคุณภาพผิวงานกัด

ด้วยวิธีการศึกษาหาค่าความหยาบผิวงานที่ได้จากการกระบวนการกัดต่างๆ ตัวแปรด้วยเครื่องวัดความหยาบผิวยี่ห้อ TESA-rugosurf10 ได้ผลและรายละเอียด ดังนี้

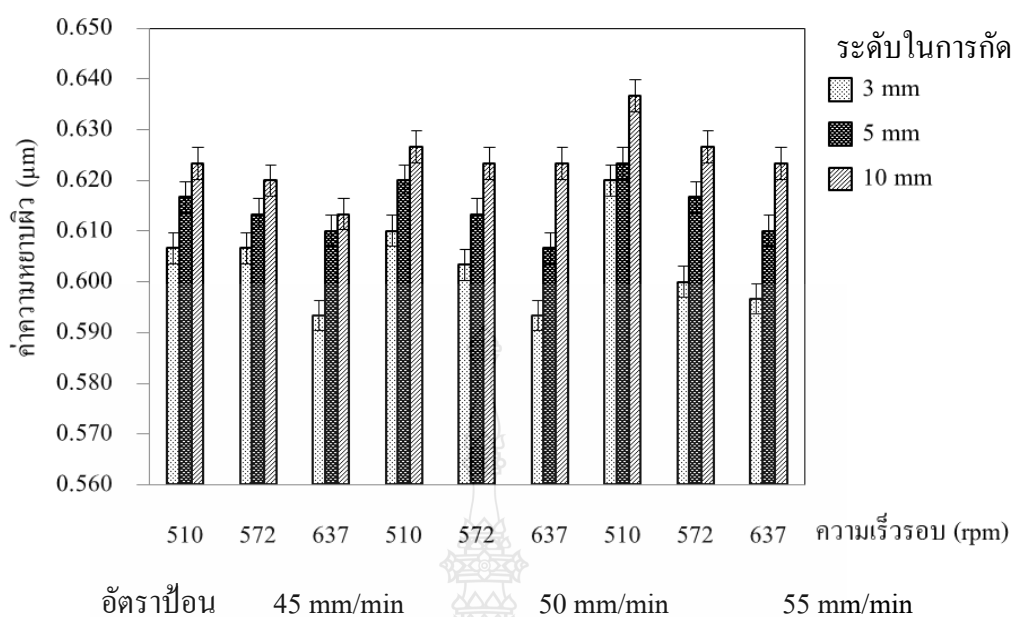
#### 4.2.1 ค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21)

ผลการทดลองหาค่าความหยาบผิวงานกัดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) แสดงรายละเอียดและค่าความหยาบผิวได้ดังตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราป้อน ความเร็วรอบ และระยะลึกผิวงานกัด ที่มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิวที่ได้หลังจากทดสอบที่อัตราป้อน 45, 50 และ 55 mm/min ความเร็วรอบ 510, 572 และ 637 rpm ระยะลึกในการกัดที่ 3, 5 และ 10 mm ดังภาพที่ 4.19 แสดงแนวโน้มของกราฟค่าความหยาบผิวที่ลดลงเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น และค่าความหยาบผิวมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อระดับของระยะลึกของผิวงานเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นค่าความหยาบผิวที่ได้จากการกระบวนการกัดที่อัตราป้อน 45 mm/min ความเร็วรอบ 637 rpm ระดับในการกัดที่ระยะ 3 mm มีค่าความหยาบผิวดีที่สุดคือ 0.593  $\mu\text{m}$  ส่วนค่าความหยาบที่มีค่ามากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.637  $\mu\text{m}$  เมื่อทำการกัดด้วยอัตราป้อนที่ 55 mm/min ความเร็วรอบหมุน 510 rpm และระดับในการกัดที่ระยะ 10 mm แสดงรายละเอียดของค่าความหยาบผิวที่ได้จากการกระบวนการกัดวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) ด้วยค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ดังตารางที่ 4.10 ซึ่งผลที่ได้เป็นผลเชิงปริมาณที่มีความสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพผิวงานที่ได้ศึกษามาแล้วข้างต้น กล่าวคือลักษณะผิวงานที่เรียบจะทำให้ค่าความหยาบผิวที่ได้มีค่าน้อย แต่ถ้าลักษณะคุณภาพผิวงานที่มีผิวขรุขระผิวเป็นหลุมหรือที่เรียกว่าคุณภาพผิวงานกัดไม่ดี จะทำให้ค่าความหยาบผิวที่ได้มีค่ามากตามไปด้วย

ตารางที่ 4.10 ค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21)

อัตราป้อน (mm/min)	ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะลึก (mm)	ความหยาบผิวเฉลี่ย : Ra ( $\mu\text{m}$ )
45	510	3	0.607
		5	0.617
		10	0.623
	572	3	0.607
		5	0.613
		10	0.620
	637	3	0.593
		5	0.610
		10	0.613
50	510	3	0.610
		5	0.620
		10	0.627
	572	3	0.603
		5	0.613
		10	0.623
	637	3	0.593
		5	0.607
		10	0.623
55	510	3	0.620
		5	0.623
		10	0.637
	572	3	0.600
		5	0.617
		10	0.627
	637	3	0.597
		5	0.610
		10	0.623





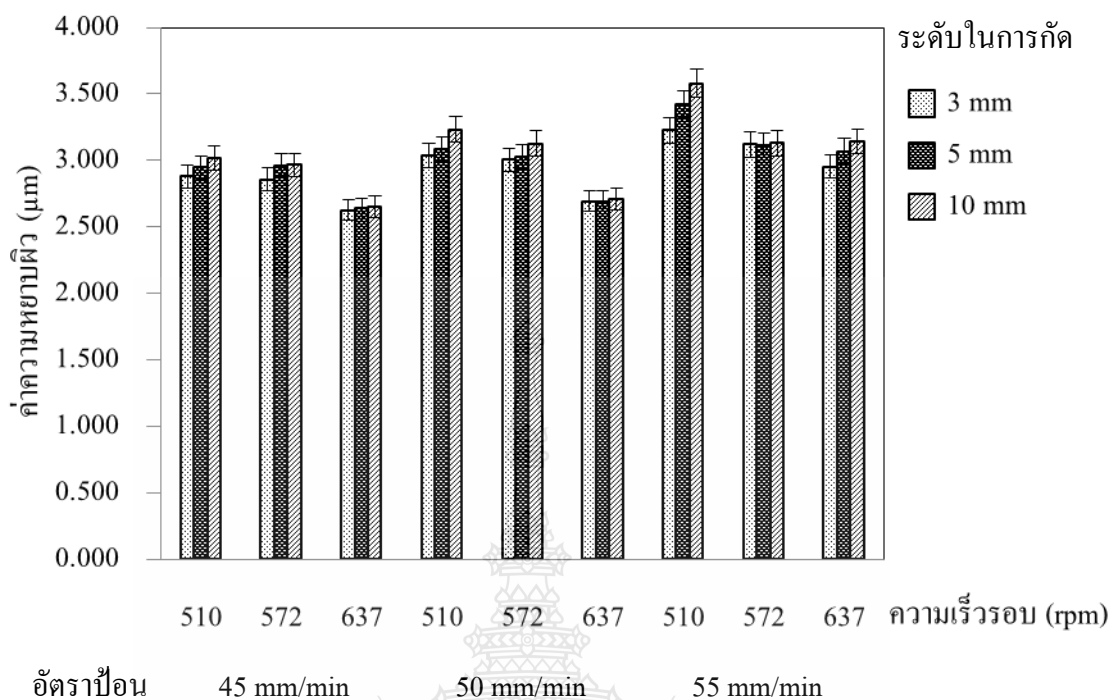
ภาพที่ 4.19 ค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO -NAK80 (AISI-P21)

#### 4.2.2 ค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20)

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20) ที่ได้จากการทดสอบด้วยตัวแปรต่างๆ ซึ่งสามารถอธิบายให้เห็นถึงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและลดลงของค่าความหยาบผิวได้อย่างชัดเจนดังกราฟภาพที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับในการกัดที่ระยะลึกต่างๆ ความเร็วรอบ และอัตราป้อน ที่ส่งผลกับความหยาบผิวเมื่อทำการเพิ่มหรือลดค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดังนี้ ค่าความหยาบผิวมีค่าสูงเมื่อทำการกัดผิวงานที่ระดับ 10 mm และมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อระดับในการกัดลดลงเป็น 5 และ 3 mm และเมื่อทำการกัดที่อัตราป้อนเพิ่มมากขึ้นที่ความเร็วรอบเดียวกันทั้ง 3 ค่า จะทำให้ค่าความหยาบผิวมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน แต่เมื่อทำการปรับความเร็วรอบสูงขึ้นค่าความหยาบผิวที่ได้จะมีแนวโน้มลดลง ดังค่าความหยาบผิวที่ดีที่สุดหรือมีค่าน้อยที่สุด คือ 2.627 μm โดยทำการกัดที่อัตราป้อน 45 mm/min ความเร็วรอบ 637 rpm ที่ระดับในการกัดระยะ 3 mm และตัวแปรที่ให้ค่าความหยาบผิวมากที่สุดเมื่อทำการกัดที่อัตราป้อน 55 mm/min ความเร็วรอบ 510 rpm ระดับในการกัดระยะ 10 mm มีค่าความหยาบผิวเท่ากับ 3.580 μm ซึ่งมีความสอดคล้องกับลักษณะคุณภาพผิวงานดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ตารางที่ 4.11 ค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20)

อัตราป้อน (mm/min)	ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะลึก (mm)	ความหยาบผิวเฉลี่ย : Ra ( $\mu\text{m}$ )
45	510	3	2.880
		5	2.947
		10	3.017
	572	3	2.857
		5	2.963
		10	2.967
	637	3	2.627
		5	2.637
		10	2.650
50	510	3	3.037
		5	3.087
		10	3.230
	572	3	3.003
		5	3.023
		10	3.127
	637	3	2.693
		5	2.693
		10	2.710
55	510	3	3.227
		5	3.420
		10	3.580
	572	3	3.120
		5	3.113
		10	3.130
	637	3	2.953
		5	3.070
		10	3.143



ภาพที่ 4.20 ค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHKER-M22 (AISI-P20)

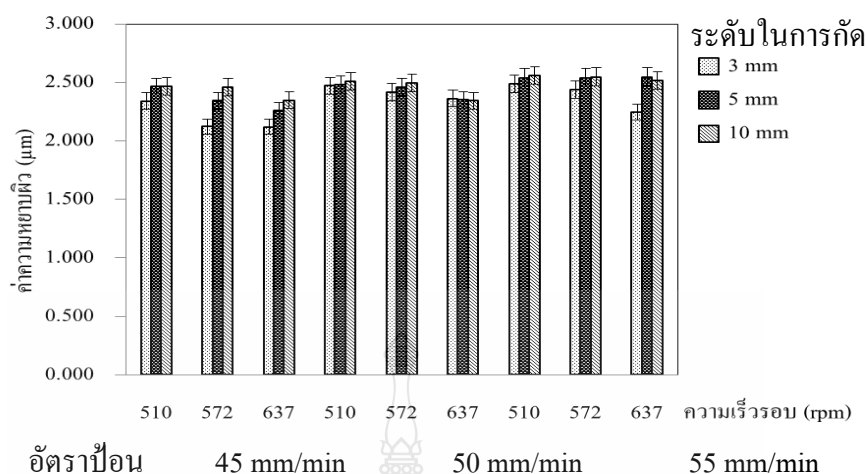
#### 4.2.3 ค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050)

จากการตรวจสอบลักษณะคุณภาพผิวงานกัดที่ทำการกัดด้วยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษาและแสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 4.1 พบว่าลักษณะคุณภาพผิวงานที่ได้มีความสอดคล้องกับค่าความหยาบผิวที่ได้จากการตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัดความหยาบผิว นั่นคือเมื่อคุณภาพผิวงานที่ดีจะให้ค่าความหยาบผิวมีค่าที่น้อย แต่ถ้าคุณภาพผิวงานไม่ดีมีผิวไม่สม่ำเสมอจะทำให้ค่าความเรียบผิวมากขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงรายละเอียดค่าความหยาบผิวได้ดังตารางที่ 4.12 ค่าความหยาบผิวงานกัดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) ที่ได้จากการทดสอบด้วยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามเงื่อนไขและข้อกำหนดของงานวิจัย ผลการทดสอบสามารถแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและลดลงของค่าความหยาบผิวที่ทำการทดสอบด้วยค่าพารามิเตอร์ต่างดังกราฟภาพที่ 4.21 แสดงให้เห็นว่าอิทธิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความหยาบผิวไม่ว่าค่าจากเส้นกราฟจะขึ้นหรือลงย่อมมีผลมาจากความเร็วรอบหมุนในการกัดของดอกกัด อัตราป้อนที่แตกต่างกัน อีกทั้งระดับในการกัดที่ระยะต่างๆ ซึ่งมีลักษณะแนวโน้มของกราฟเหมือนกับค่าความหยาบผิวของวัสดุเหล็กแม่พิมพ์ชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) และ BOHLER-M202 (AISI-P20) ดังนั้นค่าความ

หยาบผิวที่ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ  $2.120 \mu\text{m}$  ที่ระดับในการกัดที่ระยะ 3 mm ความเร็วรอบ 637 rpm และ อัตราป้อน 45 mm/min ส่วนค่าความหยาบผิวที่มากที่สุดแสดงให้เห็นถึงคุณภาพผิวงานที่ไม่ดีเมื่อทำการกัดที่ค่าความเร็ว 510 rpm อัตราป้อน 55 mm/min ระดับในการกัดลึกที่ระยะ 10 mm มีค่าความหยาบผิวเท่ากับ  $2.560 \mu\text{m}$

**ตารางที่ 4.12** ค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050)

อัตราป้อน (mm/min)	ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะลึก (mm)	ความหยาบผิวเฉลี่ย : Ra ( $\mu\text{m}$ )
45	510	3	2.340
		5	2.463
		10	2.467
	572	3	2.123
		5	2.343
		10	2.460
	637	3	2.120
		5	2.257
		10	2.347
50	510	3	2.470
		5	2.483
		10	2.510
	572	3	2.417
		5	2.460
		10	2.497
	637	3	2.360
		5	2.350
		10	2.343
55	510	3	2.487
		5	2.540
		10	2.560
	572	3	2.437
		5	2.540
		10	2.547
	637	3	2.247
		5	2.547
		10	2.513

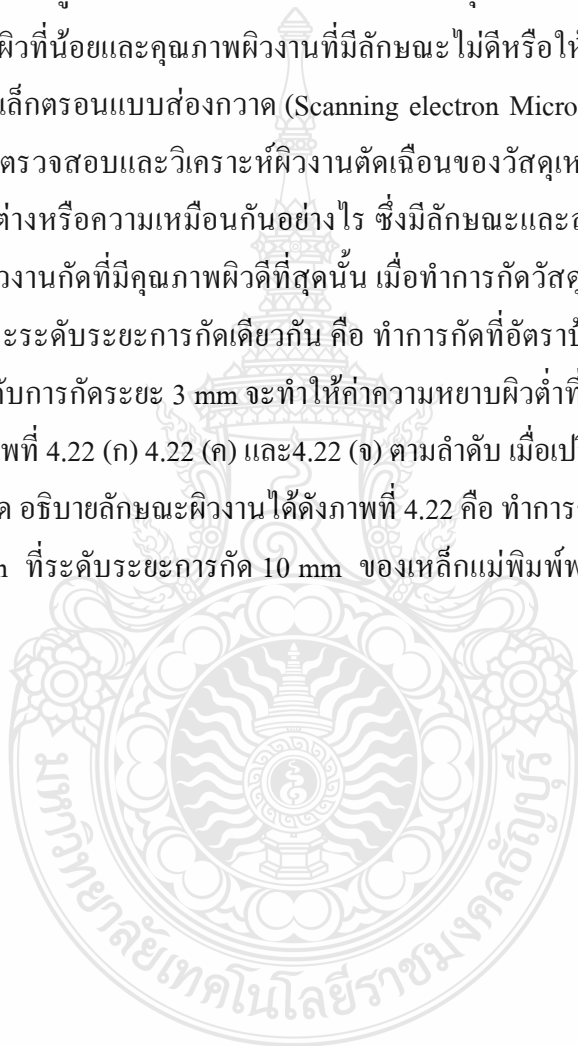


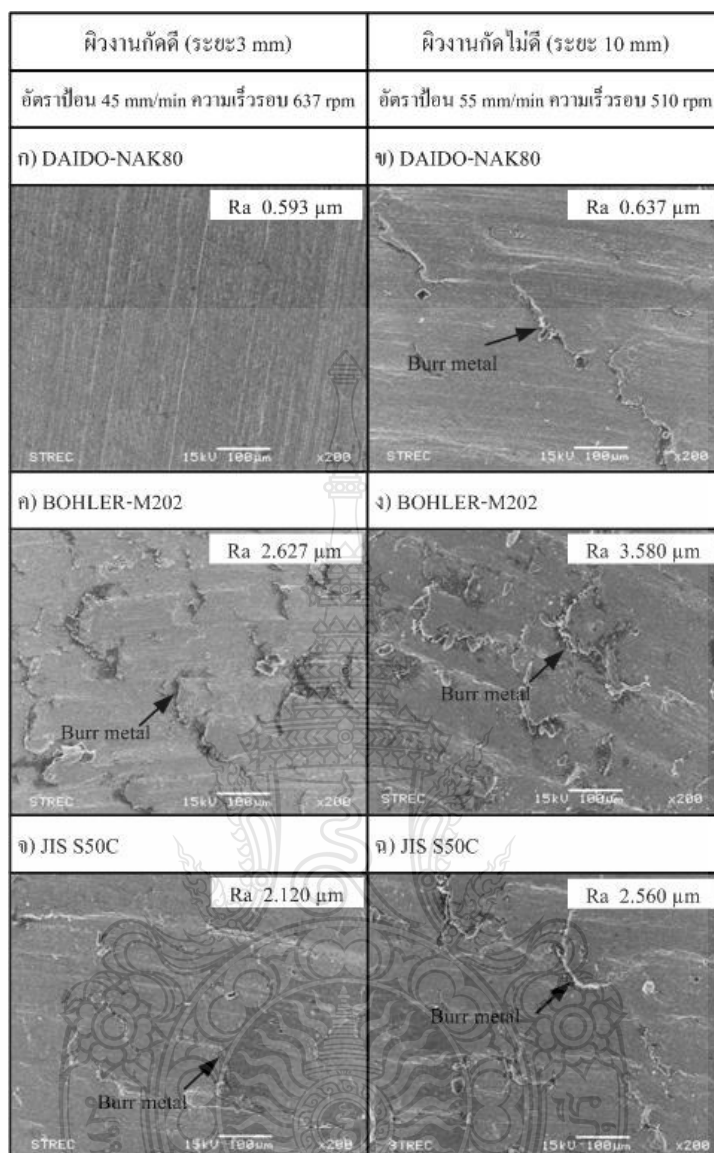
ภาพที่ 4.21 ค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050)

จากการศึกษาค่าความหยาบผิวงานกัดของวัสดุเหล็กแม่พิมพ์ตัดที่ 3 ชนิด ได้แก่ DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER-M202 (AISI-P20), และ JIS S50C (AISI-1050) ตามลำดับ พบว่า เมื่อทำการทดสอบที่ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการกัดเดียวกันทุกๆ สภาวะ ได้แก่ ความเร็วรอบ 510, 572 และ 637 rpm อัตราป้อน 45, 50 และ 55 mm/min และ ระดับในการกัดที่ระยะ 3, 5 และ 10 mm ตามลำดับ และเงื่อนไขต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการกัด ซึ่งงานทดสอบจะทำให้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยที่ได้โดยรวมมีค่าแตกต่างกัน นั่นคือวัสดุที่ให้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยโดยรวมมีค่าน้อยที่สุด คือ เหล็กแม่พิมพ์พลาสติก DAIDO-NAK80 (AISI-P21) แสดงให้เห็นว่าเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิดนี้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่ทำให้ผิวงานกัดโดยรวมมีค่าความหยาบผิวและคุณภาพผิวงานดีที่สุด รองลงมาคือเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) และ BOHLER-M202 (AISI-P20) ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความหยาบผิวงานกัดที่ใกล้เคียงกันตามลำดับ โดยมีค่าที่แตกต่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กแม่พิมพ์ชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) นั้นแสดงให้เห็นว่าเหล็กแม่พิมพ์ทั้งสองชนิดมีสมบัติใกล้เคียงกันจึงทำให้ค่าความหยาบผิวที่ได้มีความแตกต่างจากเหล็กแม่พิมพ์ชนิดแรก อีกทั้งยังได้รับอิทธิพลมาจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบที่เหมาะสมกับวัสดุแต่ละชนิด ผลการทดลองนี้จึงมีความคล้ายกับผลการทดลองของสัญญา คำจริง และคณะ [16, 20]

#### 4.3 วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวงานกัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope : SEM)

คุณภาพผิวงานที่กัดที่ได้จากกระบวนการกัดด้วยความเร็วรอบ อัตราป้อน ระดับการกัด และเงื่อนไขอื่นๆ ส่งผลให้เกิดลักษณะคุณภาพผิวและค่าความหยาบผิวที่แตกต่างกันด้วยซึ่งขึ้นอยู่กับอิทธิพลตัวของแปรต่างๆ ส่วนลักษณะคุณภาพผิวงานที่กัดที่ได้จะมีลักษณะคล้ายๆ กันหรือไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพผิวงานที่มีคุณภาพผิวงานที่ดีหรือให้ค่าความหยาบผิวน้อยและคุณภาพผิวงานที่มีลักษณะไม่ดีหรือให้ค่าความหยาบผิวมากที่สุด ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning electron Microscope : SEM) ที่กำลังขยาย 200 เท่า เพื่อต้องการตรวจสอบและวิเคราะห์ผิวงานตัดเฉือนของวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกแต่ละชนิดว่าเกิดความแตกต่างหรือความเหมือนกันอย่างไร ซึ่งมีลักษณะและสามารถอธิบายได้ดังภาพที่ 4.22 พบว่า ลักษณะผิวงานกัดที่มีคุณภาพผิวดีที่สุดนั้น เมื่อทำการกัดวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราป้อน ความเร็วรอบและระดับระยะการกัดเดียวกัน คือ ทำการกัดที่อัตราป้อน 45 mm/min ความเร็วรอบ 637 rpm และระดับการกัดระยะ 3 mm จะทำให้ค่าความหยาบผิวน้อยที่สุด นั้นแสดงว่าคุณภาพผิวงานดีที่สุด แสดงดังภาพที่ 4.22 (ก) 4.22 (ค) และ 4.22 (จ) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับผิวงานที่ให้ค่าความหยาบผิวมากที่สุด อธิบายลักษณะผิวงานได้ดังภาพที่ 4.22 คือ ทำการกัดที่อัตราป้อน 55 mm/min ความเร็วรอบ 510 rpm ที่ระดับระยะการกัด 10 mm ของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกทั้ง 3 ชนิด จากการเปรียบเทียบ





ภาพที่ 4.22 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 200 เท่า ของผิวงานกัดที่มีคุณภาพผิวงานดีและไม่ดีของวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิดต่างๆ

เหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) ตามภาพที่ 4.22 (ก) ลักษณะผิวงานกัดค่อนข้างเรียบสม่ำเสมอ ไม่พบลักษณะเนื้อวัสดุที่หลุดจากการตัดเฉือนของขอบตัดโดยการเปลี่ยนรูปของวัสดุที่เกิดจากการเสียดสีหรือเรียกว่า Burr Metal ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างจากภาพที่ 4.22 (ข) แสดงลักษณะผิวงานกัดที่ให้ค่าความหยาบผิวมาก ซึ่งมีลักษณะคล้ายกันกับเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) และ BOHLER-M202 (AISI-P20) ตามลำดับ ที่มีลักษณะผิวงานกัดที่เป็นคลื่นตามทิศทางการหมุนของคมตัดและเกิดเนื้อวัสดุเสียดสีจากการตัดเฉือน (Burr Metal) จึงทำให้

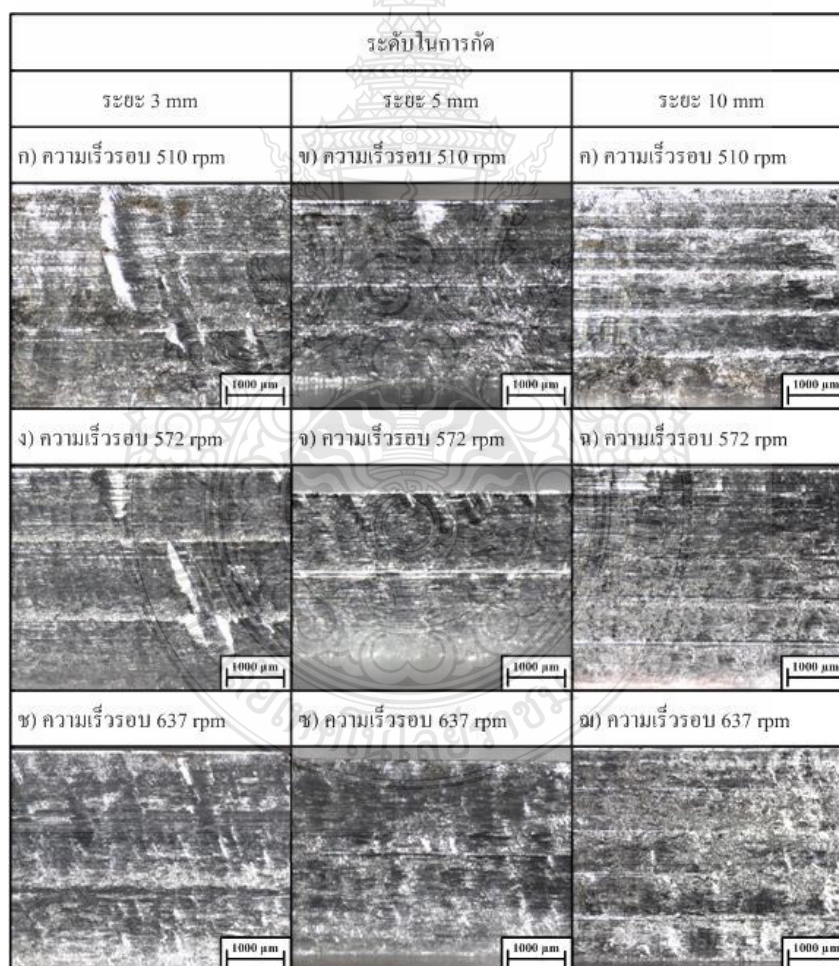


เนื้อวัสดุเกิดการไหลขึ้นเป็นคลื่นขนาดเล็กพบในปริมาณที่มาก ดังภาพที่ 4.22 (ง) และ (ฉ) แต่เมื่อเทียบกับผิวงานกัดตามภาพที่ 4.22 (ค) และ (จ) พบการเกิด Burr Metal ในปริมาณที่น้อยกว่า นั้นแสดงได้ว่าสาเหตุที่ทำให้คุณภาพผิวงานกัดมีค่าความหยาบผิวที่มากน้อยนั้น เกิดจากเนื้อวัสดุที่เสียดสีระหว่างการตัดเฉือน (Burr Metal) และไหลไปกับคมตัด ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเทียบกับผิวงานกัดที่มีค่าความหยาบผิวงานต่ำสุด มีความสอดคล้องกับผลการทดลองของ P. Franco, M. Estrems, F. Faura [21]

#### 4.4 ศึกษาลักษณะพื้นผิวขังงานกัด

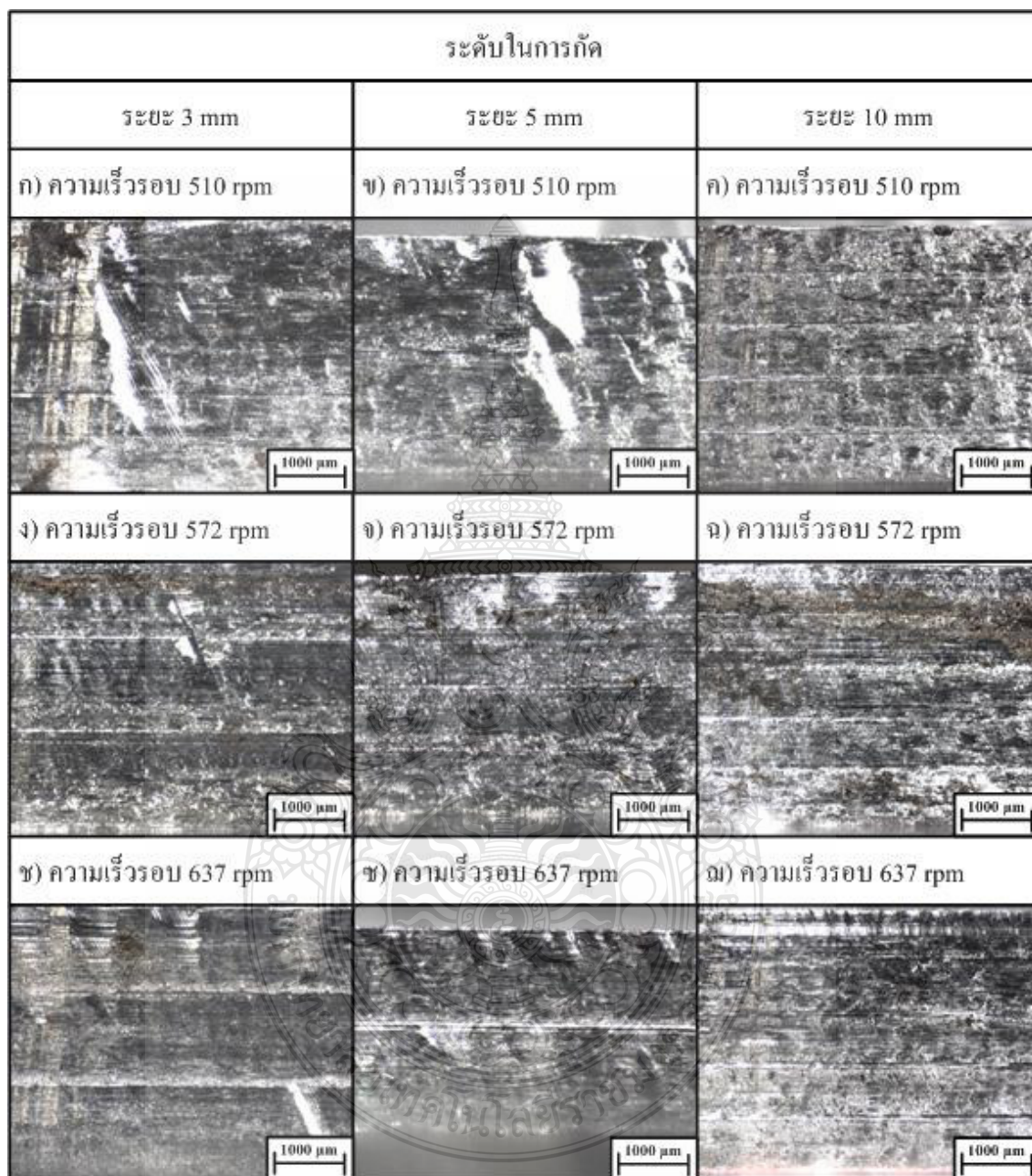
##### 4.4.1 ลักษณะคุณภาพผิวขังงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21)

##### 1) ทดสอบที่อัตราป้อน 45 mm/min



ภาพที่ 4.23 ลักษณะคุณภาพผิวขังงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) ที่อัตราป้อน 45 mm/min

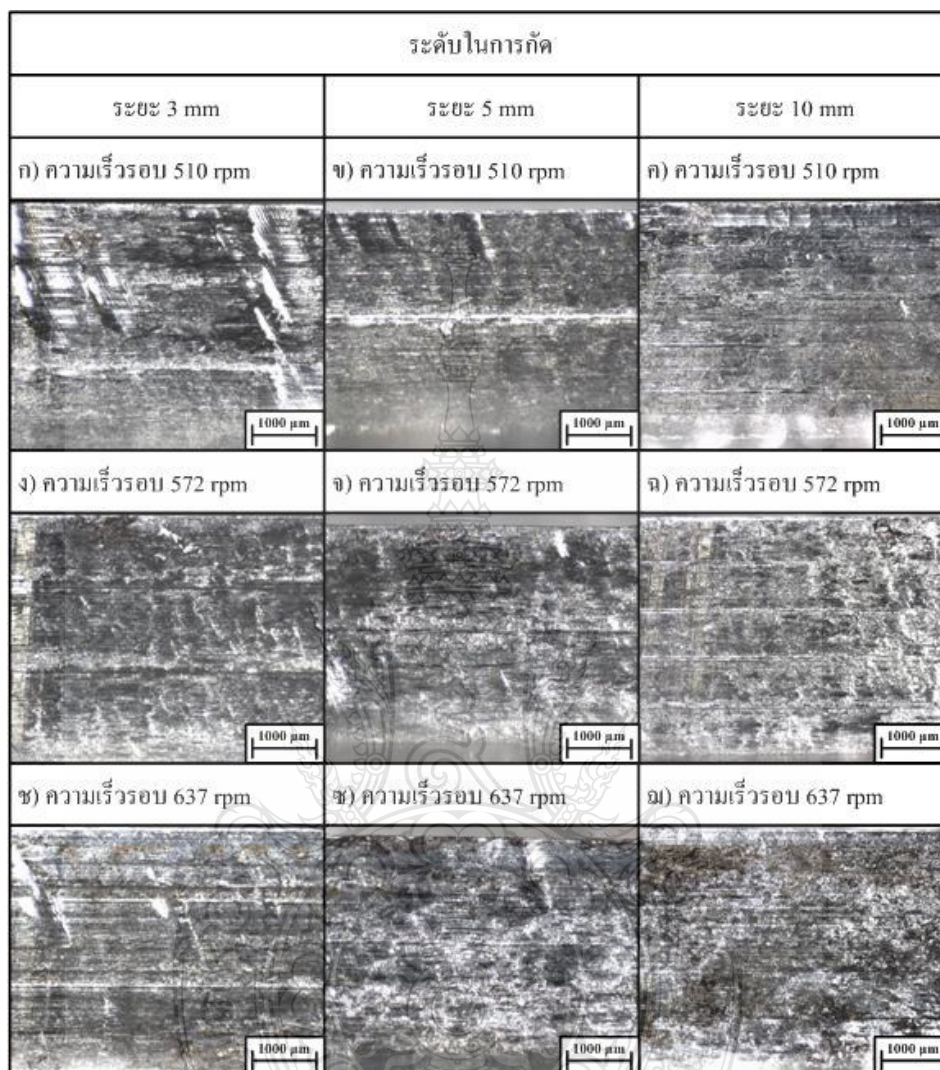
## 2) ทดสอบที่อัตราป้อน 50 mm/min



ภาพที่ 4.24 ลักษณะคุณภาพผิวข้างงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) ที่อัตราป้อน 50 mm/min



## 3) ทดสอบที่อัตราป้อน 55 mm/min



ภาพที่ 4.25 ลักษณะคุณภาพผิวข้างงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) ที่อัตราป้อน 55 mm/min

จากการศึกษาลักษณะผิวข้างของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) ในกระบวนการกัด ซึ่งลักษณะผิวข้างมีความแตกต่างจากผิวหน้าที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น โดยทำการทดสอบที่อัตราป้อน 45 50 และ 55 mm/min ความเร็วรอบ 510, 572 และ 637 rpm ระดับระยะการกัดที่ 3, 5 และ 10 mm ตามลำดับ และข้อกำหนดอื่นๆ ตามเงื่อนไขในกระบวนการกัด อธิบายได้ดังภาพที่ 4.23- 4.25 พบพื้นผิวของการตัดเฉือนของเนื้อวัสดุที่มีความไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อมีการเพิ่มระดับ

ในการกัดจาก 3 – 10 mm เมื่อทำการกัดที่อัตราป้อน 45 mm/min และความเร็วรอบ 510 rpm ดังภาพที่ (ก), (ข) และ (ค) ของภาพที่ 4.23 – 4.25 ตามลำดับ กล่าวคือ ที่ระยะกัดทุกๆ ช่วงเกิดการตัดเนื้อเนื้อวัสดุที่ขอบคมตัดปลายมีด (Cutting Edge) ทำให้เกิดลักษณะผิวงานที่มันวาวกว่าช่วงบน นั้นแสดงว่าเนื้อวัสดุถูกขอบคมตัดด้านข้างของมีดกัดตัดเนื้อได้ดีกว่า ซึ่งมีความแตกต่างจากขอบด้านบนของแต่ละช่วงระดับการกัดในแต่ละระยะกินลึก 1 mm เนื่องจากขอบคมตัดมีลักษณะเป็นเกลียวจึงทำให้ขอบคมตัดด้านข้างสัมผัสกับเนื้อวัสดุช่วงบนได้น้อย ซึ่งทำให้เกิดการตัดเนื้อเนื้อวัสดุได้ไม่ดีพอเท่ากับการตัดเนื้อที่ปลายคมตัด ผิวงานกัดด้านข้างที่ได้จึงมีลักษณะที่ขรุขระไม่สม่ำเสมอในแต่ละระดับการกัด เมื่อทำการการไปที่ระดับที่เพิ่มมากขึ้นคือที่ช่วงระดับ 10 mm พบว่าผิวข้างงานกัดมีคุณภาพผิวงานที่ขรุขระตลอดระยะกินลึก เกิดเนื่องจากขอบคมตัดเกิดการสึกหรอจึงทำให้การตัดเนื้อเนื้อวัสดุมีลักษณะที่เกิดจากการเสียดสีระหว่างขอบมีดตัดละเนื้อวัสดุ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้คุณภาพผิวงานด้านข้างมีความหยาบผิวที่มีความสอดคล้องกับคุณภาพผิวงานด้านหน้าของชิ้นงานทดสอบ

เมื่อทำการเพิ่มความเร็วรอบในการเป็น 572 rpm อัตราป้อนที่ 45, 50 และ 55mm/min ระดับในการกัดที่ระยะ 3, 5 และ 10 mm ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.23 – 4.25 (ง), (จ) และ (ฉ) ตามลำดับ พบว่าคุณภาพผิวงานด้านข้างมีลักษณะคล้ายกันลักษณะผิวที่ความเร็วรอบ 510 rpm ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่ความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นเป็น 572 rpm นั้นแสดงว่าปริมาณการตัดเนื้อเนื้อวัสดุทดสอบลดลงแต่ระยะเวลาในการกัดเพิ่มมากขึ้นทุกๆ อัตราป้อนจึงทำให้คุณภาพผิวงานที่ได้จากการกระบวนการกัดมีลักษณะที่ดีกว่าการกัดที่ความเร็วต่ำ แต่เมื่ออัตราป้อนที่เพิ่มขึ้นนั้นแสดงให้เห็นว่าเกิดการกัดที่เร็วขึ้นผนวกเข้ากับปริมาณการตัดเนื้อที่ลดลง จึงทำให้คุณภาพผิวงานต่ำและไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วรอบเดียวกัน แต่ละความเร็วรอบที่เปลี่ยนไป

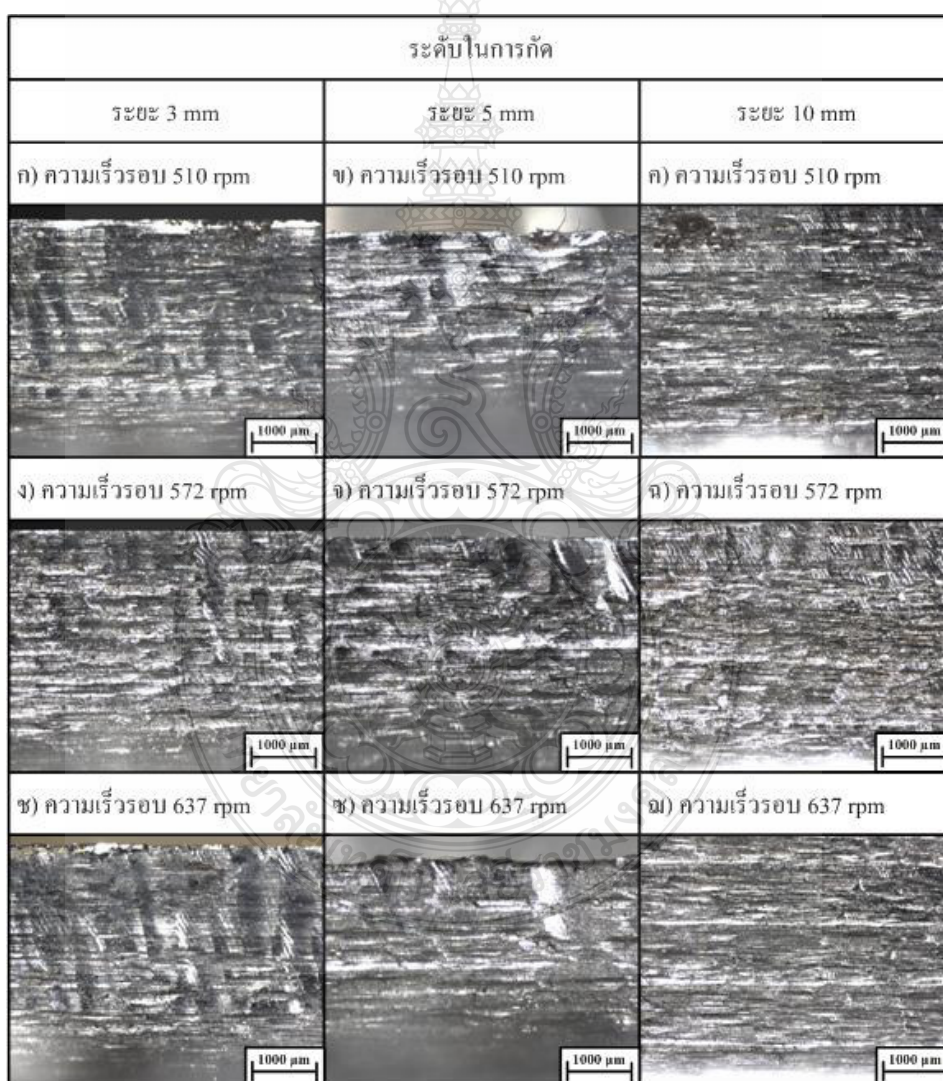
จากการเปรียบเทียบลักษณะคุณภาพผิวข้างที่ความเร็วรอบ 510 และ 572 rpm ที่อัตราป้อน 45, 50 และ 55mm/min และระดับในการกัดที่ระยะ 3, 5 และ 10 mm พบว่าเมื่อระดับในการกัดเพิ่มมากขึ้นทำให้คุณภาพผิวงานกัดด้านข้างมีลักษณะที่ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ทำให้ลักษณะผิวงานที่ระดับเพิ่มขึ้นเกิดผิวขรุขระไม่สม่ำเสมอตลอดระยะกินลึกของขอบคมตัด เมื่อทำการเพิ่มความเร็วเป็น 637 rpm ลักษณะผิวงานที่ได้มีคุณภาพผิวงานที่ดีขึ้นทุกๆ ระดับการกัด แต่เมื่ออัตราป้อนที่เพิ่มขึ้นนั้นย่อมทำให้ลักษณะผิวงานที่ได้มีคุณภาพต่ำกว่าเดิม อธิบายลักษณะได้ดังภาพที่ 4.23 – 4.25 (ซ), (ฅ) และ (ณ) ตามลำดับ พบว่าลักษณะผิวงานดีขึ้นกว่าเดิมเล็กน้อย แต่เมื่ออัตราป้อนที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้คุณภาพผิวงานที่ได้มีลักษณะไม่ดีเกิดผิวงานขรุขระตลอดระยะกินลึก

จากการศึกษาคุณภาพผิวงานด้านข้างในกระบวนการกัดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) ด้วยมีดกัดเอ็นมิล (End Mill) ชนิด 2 คมตัด โดยทำการกำหนด

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามขอบเขตและเงื่อนไขการทดลอง พบว่าผิวชิ้นงานกัดมีลักษณะคุณภาพผิวงานที่ดีที่สุดคือ เมื่อทำการกัดที่ระดับระยะ 3 mm อัตราป้อน 45 mm/min และความเร็วรอบ 637 rpm ส่วนลักษณะคุณภาพผิวงานกัดด้านข้างที่ต่ำที่สุดเมื่อทำการกัดที่ระดับระยะ 10 mm อัตราป้อน 55 mm/min และความเร็วรอบที่ 510 rpm คุณภาพผิวงานกัดด้านข้างนั้นมีความสอดคล้องกับคุณภาพผิวงานและค่าความหยาบผิวงานกัดด้านหน้าซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ไว้แล้วข้างต้น

#### 4.4.2 ลักษณะคุณภาพผิวชิ้นงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20)

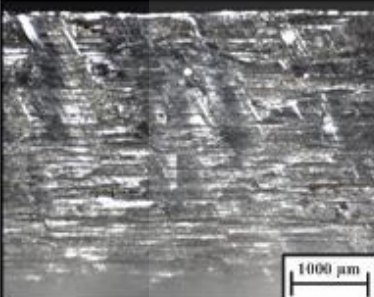
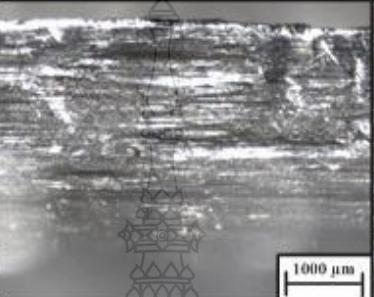
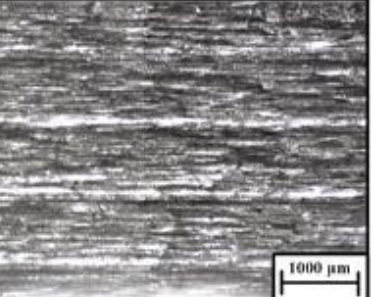
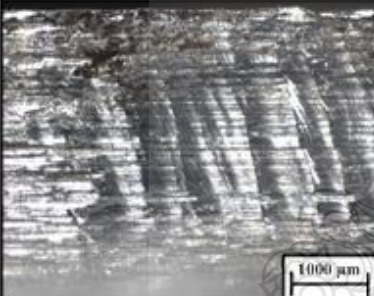
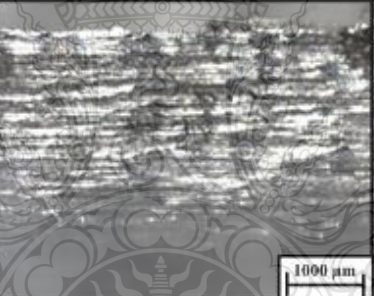
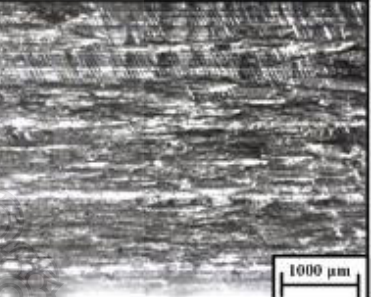
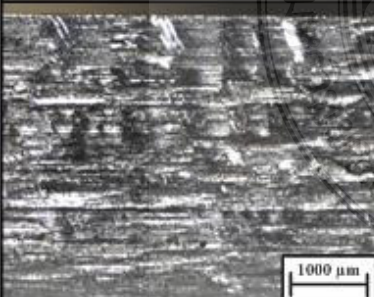
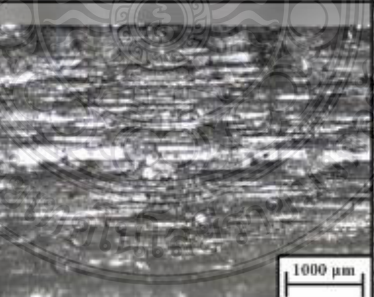
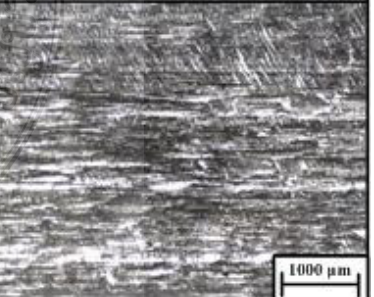
##### 1) ทดสอบที่อัตราป้อน 45 mm/min



ภาพที่ 4.26 ลักษณะคุณภาพผิวชิ้นงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20) ที่อัตราป้อน 45 mm/min



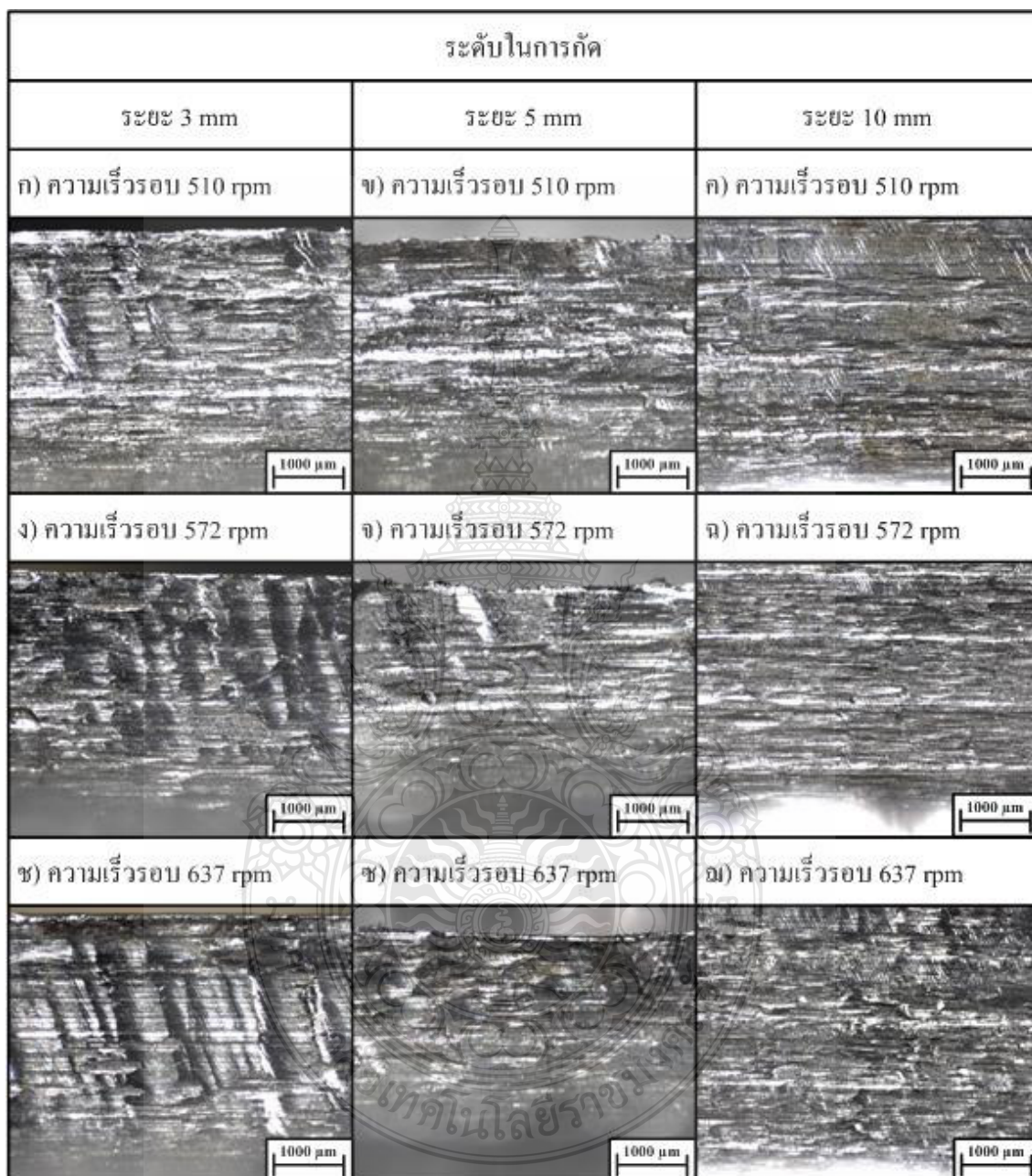
## 2) ทดสอบที่อัตราป้อน 50 mm/min

ระดับในการกัด		
ระยะ 3 mm	ระยะ 5 mm	ระยะ 10 mm
ก) ความเร็วรอบ 510 rpm	ข) ความเร็วรอบ 510 rpm	ค) ความเร็วรอบ 510 rpm
		
ง) ความเร็วรอบ 572 rpm	จ) ความเร็วรอบ 572 rpm	ฉ) ความเร็วรอบ 572 rpm
		
ช) ความเร็วรอบ 637 rpm	ซ) ความเร็วรอบ 637 rpm	ฅ) ความเร็วรอบ 637 rpm
		

ภาพที่ 4.27 ลักษณะคุณภาพผิวข้างงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20) ที่อัตราป้อน 50 mm/min



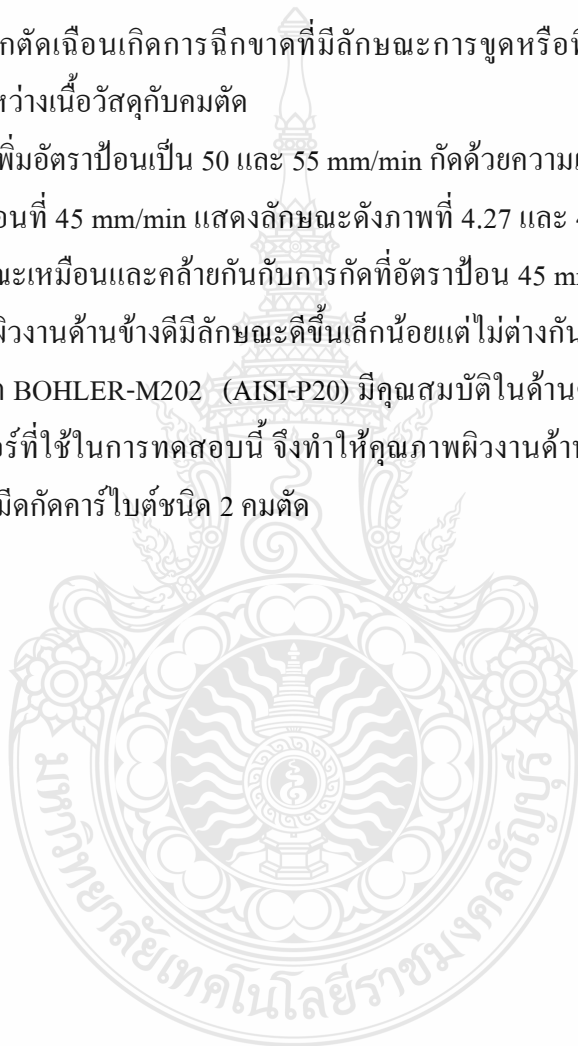
## 3) ทดสอบที่อัตราป้อน 55 mm/min



ภาพที่ 4.28 ลักษณะคุณภาพผิวข้างงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20) ที่อัตราป้อน 55 mm/min

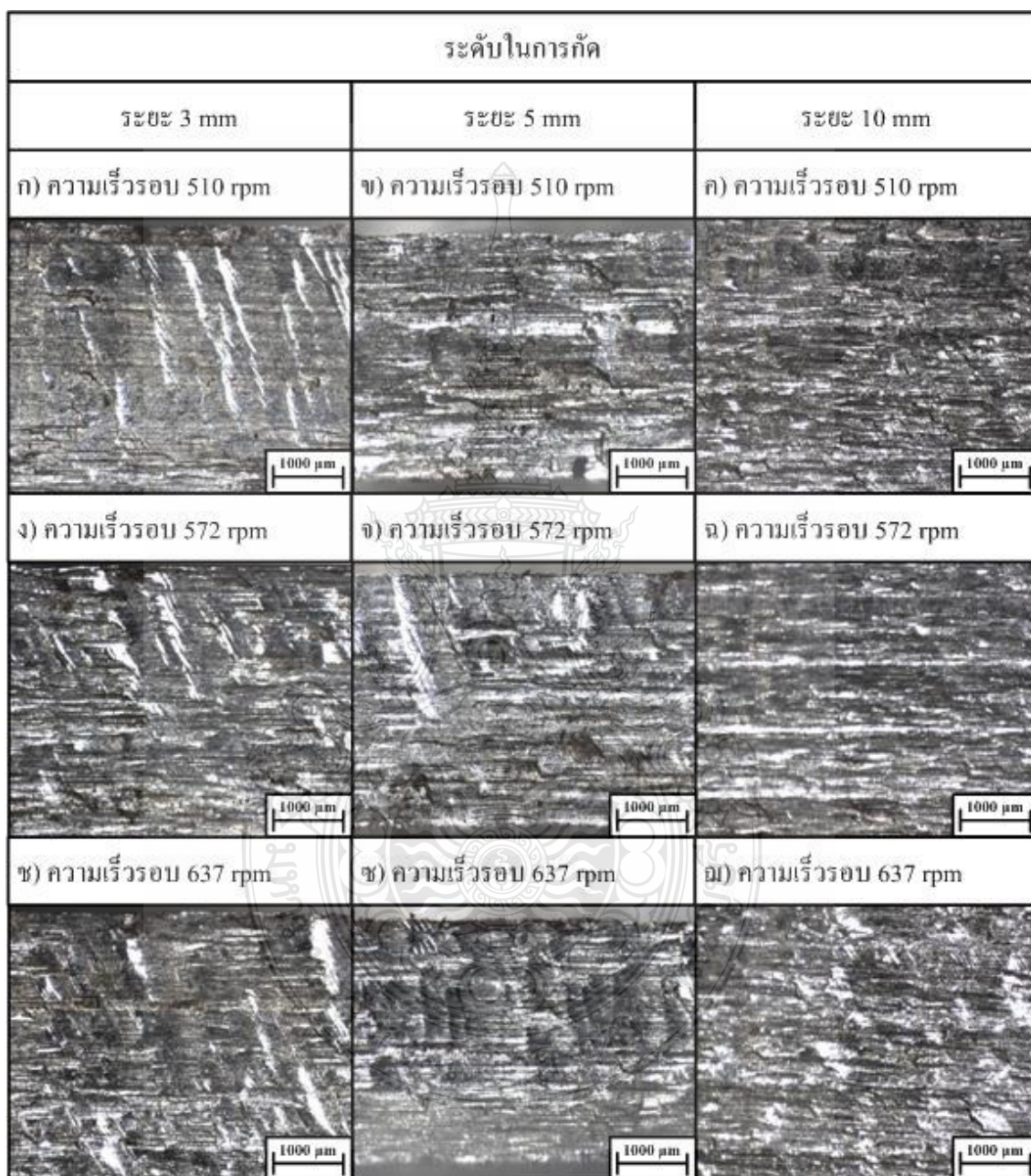
ภาพที่ 4.26 แสดงลักษณะคุณภาพผิวข้างงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHKER-M22 (AISI-P20) ทำการกัดที่อัตราป้อน 45 mm/min ความเร็วรอบ 510, 572 และ 637 mm/min ตามลำดับ พบว่าเมื่อทำการกัดที่ความเร็วรอบเดียวกัน คือ 510 rpm มีลักษณะผิวงานดังภาพที่ 4.17 (ก) (ข) และ (ค) ที่ความเร็วรอบ 572 rpm ดังภาพภาพที่ 4.26 (ง), (จ) และ (ฉ) และความเร็ว 637 rpm ดังภาพที่ 4.27 (ช), (ซ) และ (ฅ) ตามลำดับ พบว่าลักษณะผิวงานกัดด้านข้างมีลักษณะที่ถูกตัดเฉือนเป็นร่องลึกตามทิศทางการเดินของคมตัด ซึ่งมีขนาดลึก ตื้น สั้น และยาวสลับกันอย่างไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากเนื้อวัสดุที่ถูกตัดเฉือนเกิดการฉีกขาดที่มีลักษณะการขูดหรือที่เรียกว่าเกิดการเสียดทาน (Friction Process) ระหว่างเนื้อวัสดุกับคมตัด

เมื่อทำการเพิ่มอัตราป้อนเป็น 50 และ 55 mm/min กัดด้วยความเร็วรอบและระดับระยะการกัดเดียวกันกับอัตราป้อนที่ 45 mm/min แสดงลักษณะดังภาพที่ 4.27 และ 4.28 พบว่าลักษณะคุณภาพผิวงานด้านข้างมีลักษณะเหมือนและคล้ายกันกับการกัดที่อัตราป้อน 45 mm/min แต่เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นทำให้คุณภาพผิวงานด้านข้างดีมีลักษณะดีขึ้นเล็กน้อยแต่ไม่ต่างกันมากนัก เกิดเนื่องจากเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20) มีคุณสมบัติในด้านต่างๆ ที่ไม่เหมาะสมกับตัวแปรและค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบนี้ จึงทำให้คุณภาพผิวงานด้านข้างมีลักษณะที่ไม่ต่างกันมากเมื่อทำการกัดด้วยมีดกัดคาร์ไบด์ชนิด 2 คมตัด



#### 4.4.3 ลักษณะคุณภาพผิวข้างงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050)

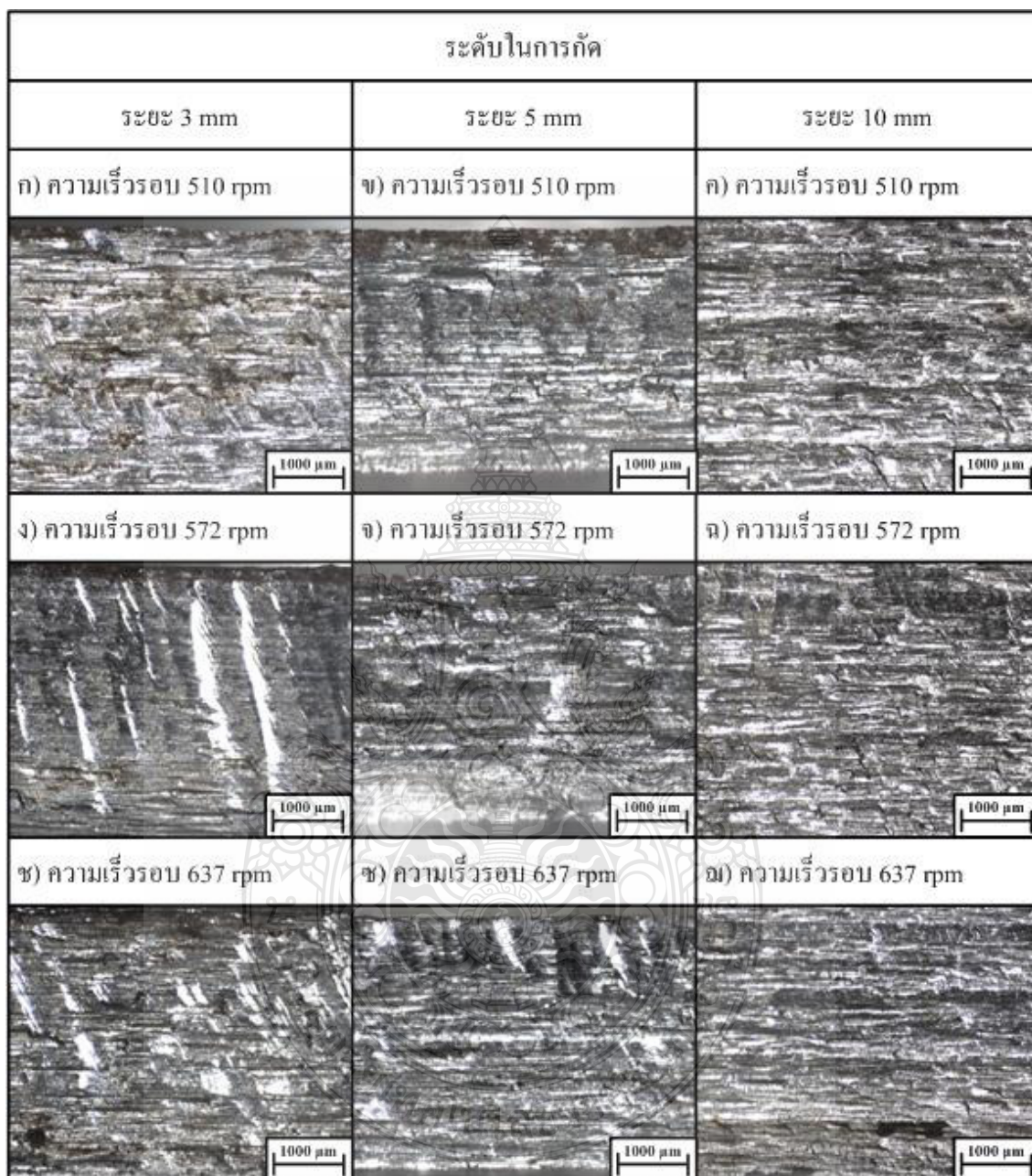
1) ทดสอบที่อัตราป้อน 45 mm/min



ภาพที่ 4.29 ลักษณะคุณภาพผิวข้างงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) ที่อัตราป้อน 45 mm/min

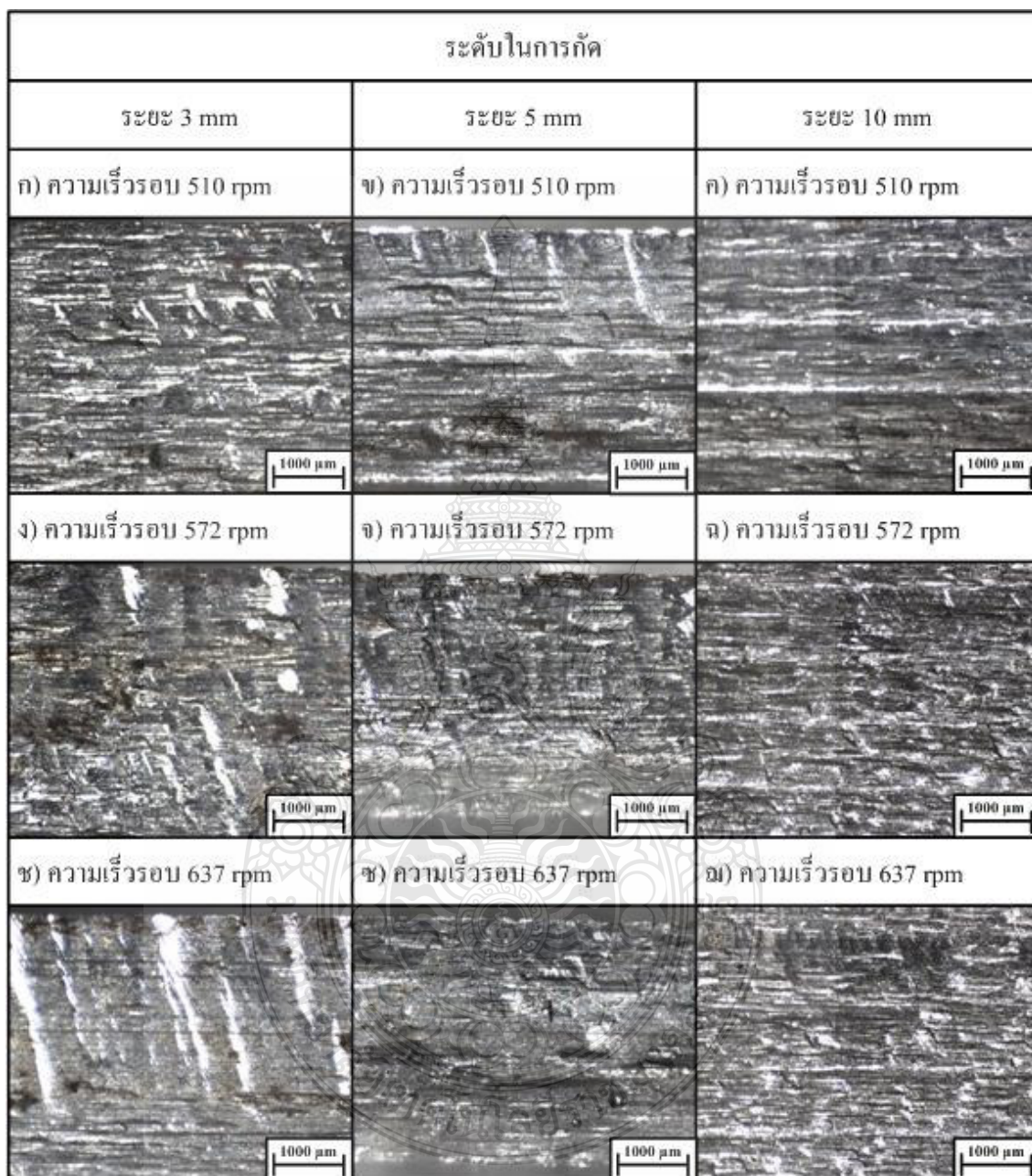


## 2) ทดสอบที่อัตราป้อน 50 mm/min



ภาพที่ 4.30 ลักษณะคุณภาพผิวข้างงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) ที่อัตราป้อน 50 mm/min

## 3) ทดสอบที่อัตราป้อน 55 mm/min



ภาพที่ 4.31 ลักษณะคุณภาพผิวข้างงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) ที่อัตราป้อน 55 mm/min

จากการศึกษาคุณภาพผิวด้านข้างของงานกัดที่ได้ทำการทดสอบด้วยเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) และ BOHLER-M202 (AISI-P20) พบว่าลักษณะคุณภาพผิวงานด้านข้างมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ตามภาพที่ 4.23 – 4.28 ตามลำดับ แต่ลักษณะการนิโคขาดของเนื้อวัสดุหลังการตัดเนื้อด้วยมีดตัดเอ็นมิล (End mill) ที่ทำการทดสอบกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) ที่อัตราป้อน ความเร็วรอบ และระดับระยะในการกัดที่แตกต่างกัน พบลักษณะผิวงานด้านข้างของวัสดุทดสอบแสดงดังภาพที่ 4.29-4.31 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์พบว่าลักษณะคุณภาพผิวงานด้านข้างทุกๆ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้ มีลักษณะผิวงานกัดที่ไม่ได้เกิดจากการตัดเนื้อของขอบคมตัดโดยตรง แต่เป็นลักษณะที่เกิดจากการเสียดถูระหว่างขอบคมตัดกับเนื้อวัสดุ สังเกตได้จากลักษณะของเนื้อวัสดุที่ได้หลังการกัด จึงทำให้ผิวงานที่ได้มีลักษณะคล้ายกับการคล้ายกับการนิโคขาดที่เกิดจากการเสียดทาน ซึ่งเป็นร่องลึกและต้น สันและยาว สลับกันตลอดทิศทางการตัดเนื้อ

เหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) เมื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพผิวงานด้านข้างหลังทำการทดสอบด้วยตัวแปรต่างๆ ดังนี้ ระดับระยะในการกัด 3 5 และ 10 mm อัตราป้อน 45 50 และ 55 mm/min ความเร็วรอบ 510 572 และ 637 rpm พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดคือสามารถทำให้คุณภาพผิวงานด้านข้างดีที่สุดที่สุดเมื่อทำการกัดที่ระดับระยะ 3 mm อัตราป้อน 45 mm/min และความเร็วรอบที่ 637 rpm ส่วนค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการกัดที่ทำให้ลักษณะคุณภาพผิวข้างมีคุณภาพผิวงานที่ต่ำคือ ทำการกัดที่ระดับระยะ 10 mm อัตราป้อน 55 mm/min ความเร็วรอบ 510 rpm

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพผิวด้านข้างของงานกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกที่ได้รับอิทธิพลจากตัวแปรต่างๆ ที่ถูกกำหนดด้วยขอบเขตและข้อกำหนดในงานวิจัยนี้ พบว่าเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในด้านต่างๆ ที่แตกต่างกันที่จะสามารถทำการแปรรูปด้วยกระบวนการกัดให้ได้ผิวงานที่มีคุณภาพทั้งผิวด้านหน้าและด้านข้างมีคุณภาพที่ดีและไม่ได้แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับตัวแปรและค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง ตามผลการทดลองของ J. Vivancos, C.J. Luis et.al. [22] ที่ได้กล่าวไว้ ดังนั้นผลการวิเคราะห์คุณภาพผิวงานด้านข้างของการทดลองนี้จึงมีผลการทดลองที่คล้ายกัน โดยลักษณะคุณภาพผิวที่ดีที่สุดเมื่อทำการเปรียบเทียบทุกๆ ตัวแปรทดสอบพบว่าผิวด้านข้างของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) มีคุณภาพผิวงานด้านข้างดีที่สุด รองลงมาคือเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) และ BOHLER-M202 (AISI-P20) ตามลำดับ ซึ่งมีความสอดคล้องกับคุณภาพผิวงานด้านหน้าและค่าความหยาบผิวที่ได้จากการศึกษาไว้แล้วข้างต้น

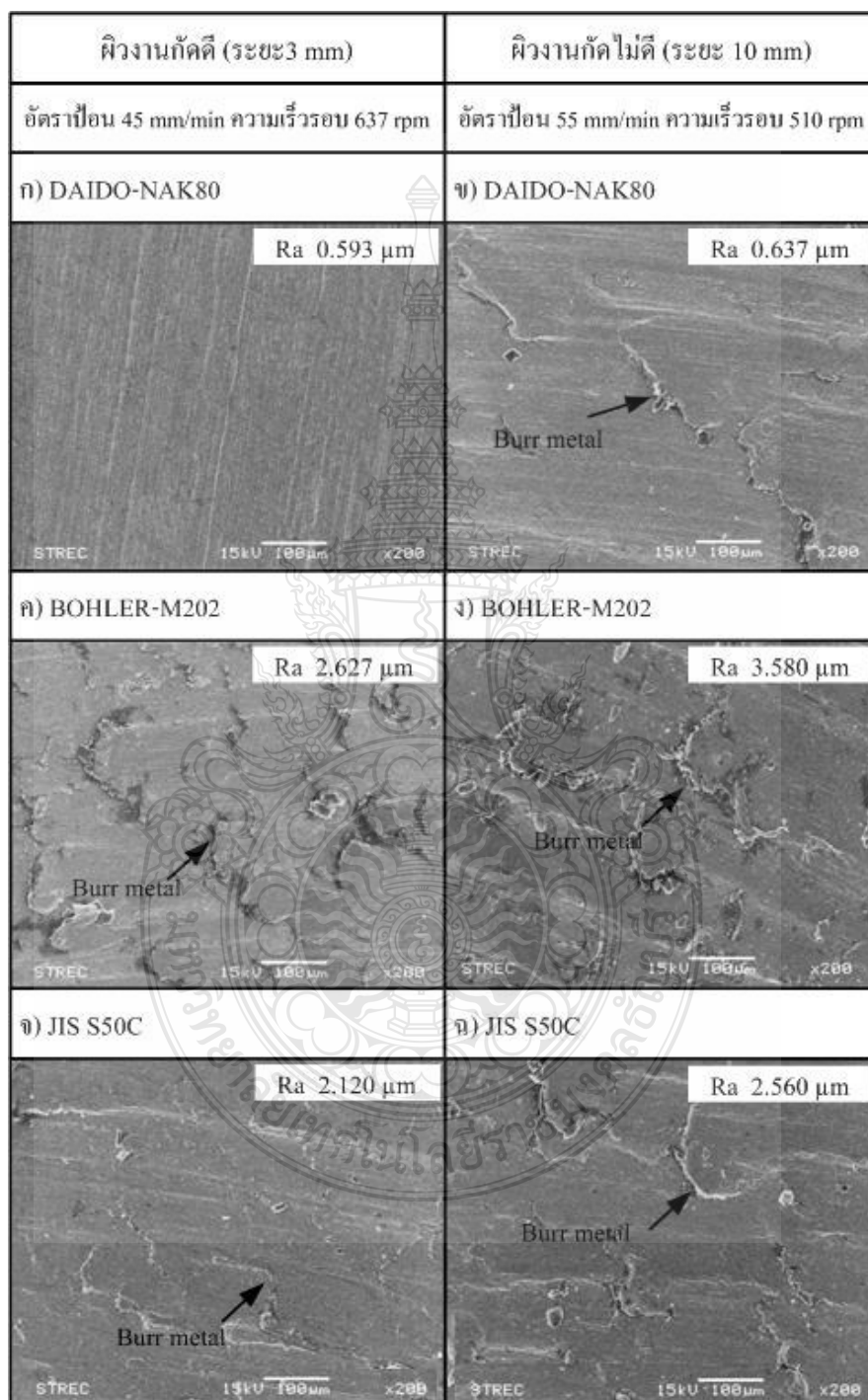


#### 4.5 ศึกษาลักษณะการเกิดเศษเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกที่เกิดจากกระบวนการกัด

การศึกษาลักษณะเศษกัดที่ได้จากกระบวนการกัดของเหล็กแม่พิมพ์แต่ละชนิดพบว่า ลักษณะของเศษกัดที่ได้มีลักษณะที่ไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อทำการทดสอบที่พารามิเตอร์ที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะของเศษกัดที่ได้จากการกัดด้วยตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวของวัสดุทดสอบต่ำที่สุด และมากที่สุด ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลให้คุณภาพผิวงานกัดดีที่สุด หรือมีค่าความหยาบผิวต่ำสุดคือ ทดสอบที่อัตราป้อน 45 mm/min ความเร็วรอบ 637 rpm และระดับในการกัดที่ระยะ 3 mm ส่วนค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลให้คุณภาพผิวงานต่ำที่สุดหรือเกิดค่าความหยาบผิวมากที่สุดคือ ทดสอบที่อัตราป้อน 55 mm/min ความเร็วรอบ 510 rpm และระดับในการกัดที่ระยะ 10 mm สามารถอธิบายลักษณะของเศษกัดที่เกิดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกทั้ง 3 ชนิด หลังทำการทดสอบ ได้ดังนี้

จากภาพที่ 4.32 พบว่าลักษณะของเศษกัดที่ได้จากการกระบวนการกัดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER-M202 (AISI-P20) และ JIS S50C (AISI-1050) ตามลำดับ มีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเมื่อทำการทดสอบในวัสดุชนิดเดียวกัน แต่ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบที่แตกต่างกัน กล่าวคือลักษณะของเศษกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) ดังภาพที่ 4.32 (ก) เมื่อทำการทดสอบที่ระดับในการกัดที่ระยะ 3 mm ที่อัตราป้อน 45 mm/min และความเร็วรอบ 637 rpm พบว่าลักษณะเศษกัดที่ได้มีความกว้างของเศษกัดที่มีขนาดเล็กและเป็นเกลียวมากกว่าเศษกัดที่ได้จากการกัดด้วยระดับในการกัดที่ระยะ 10 mm ที่อัตราป้อน 55 mm/min และความเร็วรอบ 510 rpm ดังภาพที่ 4.32 (ข) ซึ่งเศษกัดเป็นเกลียวม้วนเล็กน้อย และมีขนาดเศษที่สั้นกว่าเศษกัดที่ระดับในการกัดระยะ 3 mm ส่วนที่ปลายของเศษกัดที่ระดับในการกัดระยะ 10 mm มีลักษณะรอยตัดเฉือนที่ตรง ส่วนที่ปลายเศษตัดอีกด้านหนึ่งจะมีลักษณะซิกแซกที่เกิดการขาดของเนื้อวัสดุที่เกิดจากสาเหตุการตัดเฉือนของเนื้อวัสดุอย่างไม่ต่อเนื่อง ซึ่งมีลักษณะที่เหมือนกันกับเศษกัดที่ระดับในการกัดที่ระยะ 3 mm ซึ่งลักษณะของเศษกัดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) มีความแตกต่างจากเศษกัดที่ได้จากเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20) อธิบายลักษณะได้ดังภาพที่ 4.32 (ค) และ (ง) ตามลำดับ พบว่าลักษณะของเศษกัดที่ทำการกัดระดับระยะ 3 mm ที่ปลายทั้งสองด้านของเศษกัดมีลักษณะคล้ายการฉีกขาดที่เป็นแนวยาวเฉียงอย่างไม่สม่ำเสมอ เศษกัดม้วนเป็นเกลียวและม้วนขนาดเล็ก ซึ่งมีความแตกต่างจากเศษกัดที่ระดับระยะ 10 mm คือขนาดของเศษกัดเกิดการม้วนตัวที่หลวมกว่าเศษกัดระดับระยะกัด 3 mm ส่วนที่ปลายจะเกิดการม้วนตัวเข้าเล็กน้อย และขนาดความยาวของเศษกัดของเหล็ก

แม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20) มีขนาดที่ใกล้เคียงกัน แต่ยาวกว่าเศษกั๊ดของเหล็ก  
แม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) ก่อนข้างมากดังภาพที่ได้กล่าวมาแล้ว



ภาพที่ 4.32 ลักษณะเศษกั๊ดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิดต่างๆ

ส่วนลักษณะเศษกัศที่ได้จากการกัดด้วยเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) ดังภาพที่ 4.32 (จ) และ (ฉ) ตามลำดับ พบว่าลักษณะเศษกัศมีความแตกต่างจากเศษกัศของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกทั้ง 2 ชนิด ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นคือ เศษกัศที่ทำการทดสอบที่ระดับในการกัด ระยะ 3 mm อัตราป้อนที่ 45 mm/min ความเร็วรอบในการกัด 637 rpm มีลักษณะม้วนเป็นเกลียวเข้าในปริมาณที่มากและมีขนาดเล็กกว่าเศษกัศชนิดอื่น ที่ปลายเศษกัศทั้งสองด้านจะเกิดการม้วนเข้าที่แตกต่างกัน คือ ด้านหนึ่งจะเกิดการม้วนเป็นเกลียวที่มีขนาดเล็กกว่าอีกด้านหนึ่ง เกิดเนื่องจากด้านที่เกิดการม้วนตัวแน่นเป็นบริเวณที่เกิดการตัดเฉือนของขอบคมตัดก่อนหรือขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุนของดอกกัด ซึ่งมีความแตกต่างจากลักษณะของเศษกัศที่ได้จากการกัดที่ระดับในการกัดที่ระยะ 10 mm ดังภาพที่ 4.32 (ฉ) พบว่าลักษณะของเศษกัศเกิดการม้วนตัวเข้าอย่างหลวมๆ แต่ปลายทั้งสองด้านของเศษกัศมีลักษณะคล้ายกับเศษกัศที่ระดับในการกัดที่ระยะ 3 mm ขนาดของเศษกัศโดยทั่วไปของเศษกัศที่ระดับในการกัดที่ระยะ 10 mm มีขนาดยาวกว่าเศษกัศที่ระยะ 3 mm ที่ค่อนข้างมาก และลักษณะของที่ปลายเศษกัศของวัสดุทดสอบนี้มีลักษณะการฉีกขาดที่เป็นริ้วอย่างไม่สม่ำเสมอเหมือนกับเศษกัศของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด BOHLER-M202 (AISI-P20) ที่ได้ธิบายมาแล้วข้างต้น

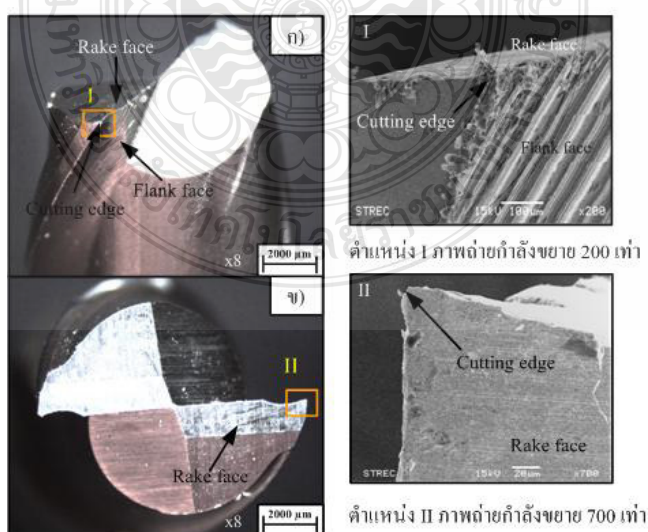
จากการการศึกษาลักษณะของเศษกัศที่ได้จากการทดสอบด้วยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการทดสอบด้วยเหล็กแม่พิมพ์ทั้ง 3 ชนิด พบว่าลักษณะของเศษกัศที่ได้จากตัวแปรทดสอบดังกล่าว มีลักษณะที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ใช้หรือขอบเขตของการทดสอบนี้ ได้แก่ ชนิดของวัสดุทดสอบ อัตราป้อน และความเร็วรอบ อีกทั้งเงื่อนไขอื่นๆ ที่เป็นข้อกำหนดของเครื่องมือและอุปกรณ์ จากลักษณะเศษกัศของวัสดุที่มีความแตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับความเร็วรอบในการหมุนของดอกกัดเอ็นมิล (End mill) เมื่อความเร็วที่สูงขึ้นและอัตราป้อนที่ต่ำจะทำให้คมตัดของมีดกัดสามารถทำการตัดเฉือนเนื้อวัสดุได้ในปริมาณที่มากและใช้เวลานานกว่าดอกกัดที่ทำการตัดเฉือนด้วยความเร็วรอบที่ต่ำ แต่เมื่ออัตราป้อนเพิ่มสูงขึ้นและความเร็วรอบหมุนของดอกกัดช้าลง จะทำให้เกิดการตัดเฉือนของเนื้อวัสดุได้ในปริมาณที่น้อย เนื่องจากมีระยะเวลาในการตัดเฉือนของขอบคมตัดที่น้อยกว่า จึงทำให้ลักษณะของเศษกัศที่ได้จากการกัดมีความแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับสมบัติของเหล็กแม่พิมพ์แต่ละชนิดที่ใช้ในการทดสอบเช่นเดียวกัน ดังนั้นเศษกัศที่ได้จากเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด JIS S50C (AISI-1050) มีความแข็งน้อยที่สุดหรือมีความเหนียวจึงทำให้เศษกัศที่ได้หลังกระบวนการกัดมีลักษณะที่เป็นเกลียวม้วนแน่นหลายรอบ และมีขนาดที่เล็กมากกว่าเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิดอื่นๆ ส่วนเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกชนิด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) มีความแข็งมากจึงเกิดเศษกัศที่มีลักษณะเกลียวม้วนแบบหลวมๆ และมีขนาดสั้น ซึ่งมีความคล้ายกับงานวิจัยของสุกัญญ์ อุจน์ทิ และ

ถวัลย์ ภูนาเงิน [23] ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติทางกลและทางเคมีของวัสดุทดสอบแต่ละชนิดที่ส่งผลต่อลักษณะเศษกัดที่ได้จากกระบวนการทดสอบนี้

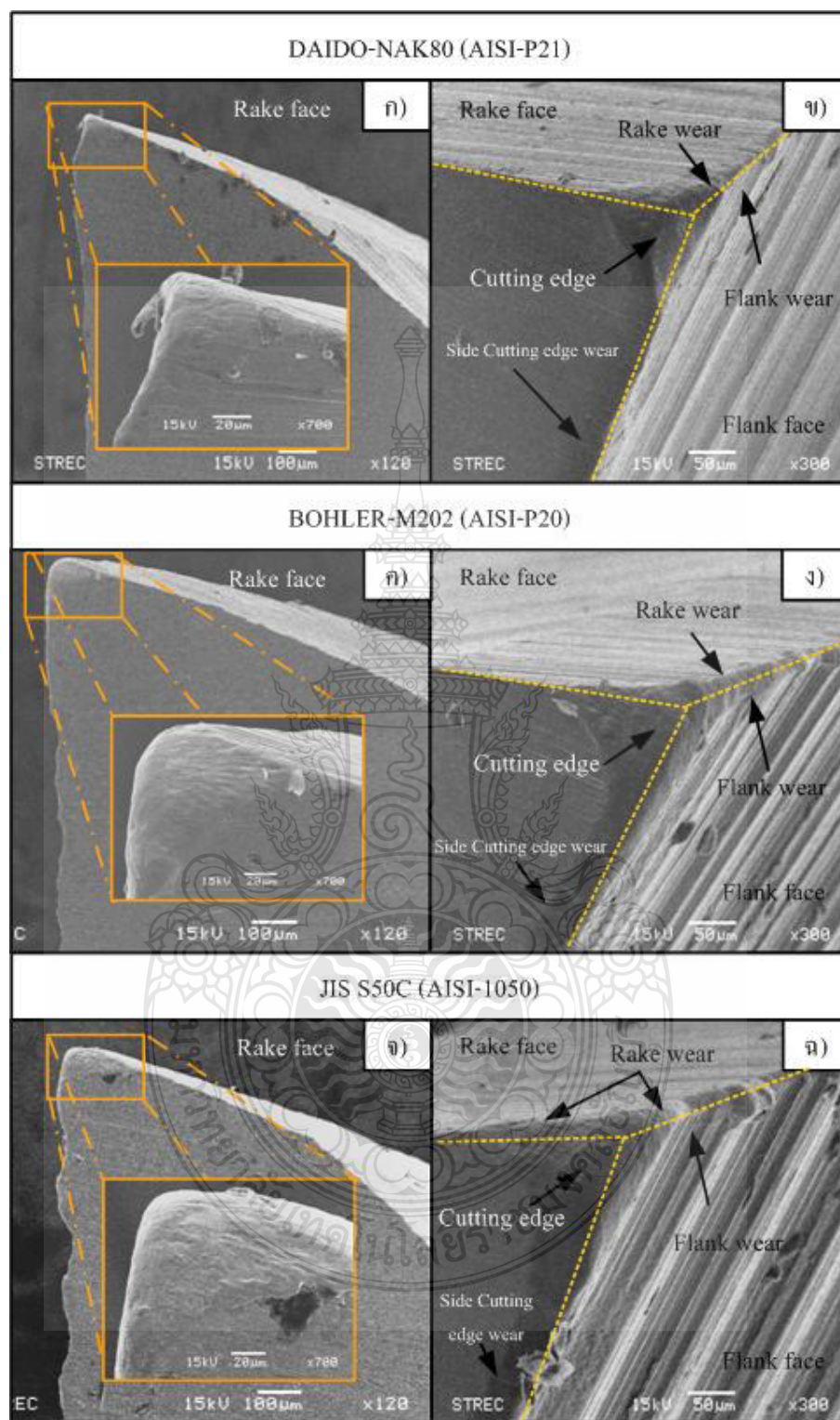
#### 4.6 วิเคราะห์การสึกหรอของคมตัดมีดกัดเอ็นมิล (End mill)

จากการวิเคราะห์ลักษณะผิวงานกัดที่ได้จากกระบวนการกัดด้วยมีดกัด (End Mill) ชนิด 2 คมตัด ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope: SEM) ดังภาพที่ 4.33 แสดงตำแหน่งของมีดกัด (End Mill) ที่ทำการวิเคราะห์การสึกหรอของคมตัด ดังภาพที่ 4.33 (ก) ตำแหน่ง I และ ภาพที่ 4.33 (ข) ตำแหน่ง II แสดงขอบคมตัด (Cutting Edge) ทั้ง 3 ด้านที่ได้รับผลจากการตัดเฉือนของเนื้อวัสดุ และ แสดงขอบคมตัดด้านหน้า (Rake Face) ตามลำดับ

อิทธิพลของค่าพารามิเตอร์ที่มีผลในกระบวนการกัดผิวหน้าวัสดุ คือ อัตราป้อน ความเร็วรอบ และระดับระยะการกัด มีผลต่อค่าความหยาบผิวและการสึกหรอของมีดกัด เมื่อทำการเพิ่มค่าความเร็วรอบตัดและอัตราป้อนที่สูงขึ้น จะส่งผลต่อขอบคมตัด (Cutting Edge) ในลักษณะที่แตกต่างกัน จากการตรวจสอบขอบคมตัดของมีดกัดหลังการทดสอบเบื้องต้น พบว่ามีดกัดที่ทำการกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกทั้ง 3 ชนิด เกิดการสึกหรอที่ขอบคมตัดและมุมตัดของมีดกัดน้อยที่สุด เมื่อทำการกัดวัสดุที่อัตราป้อน 45 mm/min ความเร็วรอบ 637 rpm และระดับการกัดที่ระยะ 3 mm มีลักษณะการสึกหรอดังภาพที่ 4.34 แสดงลักษณะของการสึกหรอมีดกัดที่ทำการกัดเหล็กแม่พิมพ์ DAIDO-NAK80 (AISI-P21), BOHLER-M202 (AISI-P20) ละ JIS S50C (AISI-1050) ตามลำดับ ซึ่งเกิดการสึกหรอที่ขอบคมตัด (Cutting edge Wear) น้อยที่สุดของการกัดวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิด จากการวิเคราะห์ด้วยกล้อง

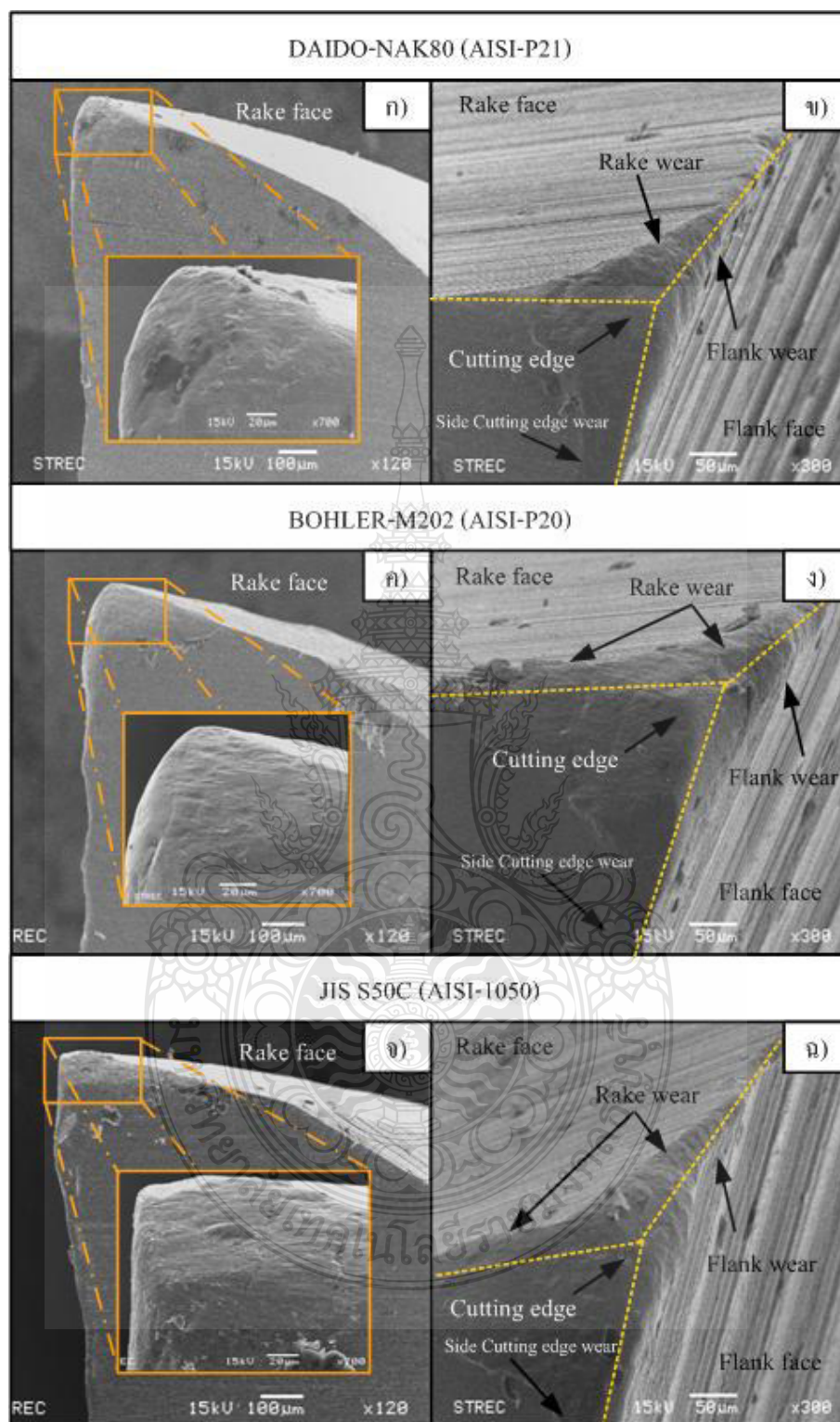


ภาพที่ 4.33 ตำแหน่งการตรวจสอบการสึกหรอของมีดกัด (End Mill)



ภาพที่ 4.34 ลักษณะการสึกหรอ (Wear) น้อยที่สุดของมีดกัด ที่ทำการกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก ทั้ง 3 ชนิด





ภาพที่ 4.35 ลักษณะการสึกหรอ (Wear) มากที่สุดของมิดก๊ัด ที่ทำการกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกทั้ง 3 ชนิด

จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) ที่กำลังขยาย 300 เท่า บริเวณขอบตัด (Cutting edge) พบว่า เกิดการสึกหรอทุกด้านของขอบคมตัดได้แก่ ด้านหน้า (Rake face) ด้านหลัง (Flank face) และขอบคมตัดด้านข้าง (Side Cutting Edge) โดยส่วนใหญ่จะเกิดการสึกหรอที่บริเวณขอบคมตัดหรือเรียกว่า Cutting edge wear และเกิดลึกเข้าไปที่พื้นผิวด้านข้าง (Side Cutting Edge) ด้านหน้า (Rake Face) และด้านหลัง (Flank Face) หรือเรียกว่าการสึกหรอแบบ Side Cutting Edge Wear, Rake Wear และ Flank wear ตามลำดับ แสดงได้ดังภาพที่ 4.34 (ข), (ง) และ (ฉ) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับภาพที่ 4.34 (ก), (ค) และ (จ) ตามลำดับ มีลักษณะผิวด้าน Side Cutting Edge ซึ่งทำการขยาย 120 เท่า พบว่า บริเวณ Cutting Edge เกิดการสึกหรอที่น้อยมาก เมื่อทำการขยายที่กำลัง 700 เท่า พบว่ามีดกัดที่ทำการกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก DAIDO-NAK80 (AISI-P21) (ภาพที่ 4.34 (ก)) เกิดการหักที่ปลาย Cutting Edge ซึ่งมีลักษณะเว้าเข้าไปด้านในเล็กน้อย จึงความแตกต่างจากมีดกัดที่ทำการทดสอบด้วยเหล็ก BOHLER-M202 (AISI-P20) และ JIS S50C (AISI-1050) ตามลำดับซึ่งมีลักษณะการสึกหรอแบบโค้งมนและมีขนาดใกล้เคียงกัน

ภาพที่ 4.35 แสดงลักษณะการสึกหรอของมีดกัดหลังทำการทดสอบกัดวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก DAIDO-NAK80 (AISI-P21) BOHLER-M202 (AISI-P20) และ JIS S50C (AISI-1050) ตามลำดับ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกแต่ละชนิด ซึ่งพบว่าวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิด ให้ค่าความหยาบผิวมากที่สุดเมื่อทำการกัดที่อัตราป้อน 55 mm/min ความเร็วรอบ 510 rpm และระดับการกัดระยะ 10 mm แสดงดังภาพที่ 4.35 (ก), (ค) และ (จ) พบว่าลักษณะการสึกหรอด้านหน้ามีดกัด (Rake Face) มีลักษณะเป็นส่วนโค้งมนที่ขอบคมตัด (Cutting Edge) เป็นปริมาณมาก เมื่อทำการตรวจสอบที่บริเวณ Cutting edge ทุกๆ ด้านที่ได้รับอิทธิพลจากการตัดเฉือน แสดงดังภาพที่ 4.35 (ข), (ง) และ (ฉ) ตามลำดับ ของทั้ง 3 วัสดุทดสอบ พบว่าเกิดการสึกหรอที่ขอบคมตัดด้านหน้า (Rake Wear) และด้านหลัง (Flank Wear) เล็กน้อย แต่เกิดการสึกหรอปริมาณมากที่บริเวณขอบคมตัด (Cutting Edge Wear) และกินลึกเข้ามาผิวข้าง (Side Cutting Edge Wear) ฉะนั้นการสึกหรอโดยรวมของมีดกัดที่ทำการกัดวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิด เกิดที่บริเวณขอบคมตัด ซึ่งเรียกว่า Cutting Edge Wear นั้นแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีดกัดทำการตัดเฉือนเนื้อวัสดุอัตราป้อนที่เร็ว และความเร็วรอบหมุนที่ช้าและทำการกัดที่ระดับระยะ 10 mm ซึ่งถือว่าใช้ระยะเวลาในการตัดเฉือนมากที่สุด จึงส่งผลทำให้เกิดการสึกหรอที่บริเวณขอบคมตัดที่มีลักษณะโค้งมนเป็นบริเวณกว้างและกินลึกเข้าไปยังผิวหน้าและข้างของแต่ละขอบคมตัด (Cutting Edge) ในปริมาณที่มากและลดลงเรื่อยๆ ตามระยะพื้นที่สัมผัสของคมตัดและเนื้อวัสดุ อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับสมบัติ

ของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบเช่นเดียวกัน ผลการทดลองดังกล่าวมีความเหมือนและสอดคล้องกับงานวิจัย W.Y.H. Liew, X. Ding [24] and A. Aramcharoen, P.T. Mativenga et.al. [25]

ดังนั้นจากการศึกษาและวิเคราะห์ความสึกหรอของมิดกัตเอ็นมิล (End Mill) ที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการกัดขึ้นรูปเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกทั้ง 3 ชนิด สามารถสรุปได้ดังนี้

1) มิดกัตเอ็นมิล (End Mill) ที่เกิดการสึกหรอน้อยที่สุด เมื่อทำการกัดขึ้นรูปเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก DAIDO-NAK80 (AISI-P21) BOHLER-M202 (AISI-P20) ละ JIS S50C (AISI-1050) ตามลำดับ ด้วยอัตราป้อน 45 mm/min ความเร็วรอบ 637 rpm และระดับการกัดที่ระยะ 3 mm

2) มิดกัตเอ็นมิล (End Mill) ที่เกิดการสึกหรอมากที่สุด เมื่อทำการกัดขึ้นรูปเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก DAIDO-NAK80 (AISI-P21) BOHLER-M202 (AISI-P20) ละ JIS S50C (AISI-1050) ตามลำดับ ด้วยอัตราป้อน 55 mm/min ความเร็วรอบ 510 rpm และระดับการกัดระยะ 10 mm

ทั้งนี้เกิดเนื่องจากอัตราการตัดเฉือนหรืออัตราการกินเนื้อวัสดุของขอบคมตัด (Cutting Edge) และระยะเวลาในการทำงานของมิดกัตที่มากน้อยแตกต่างกันซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการทดลองนี้



## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูปวัสดุด้วยวิธีการตัดเฉือน โดยทำการทดสอบตามข้อกำหนดและเงื่อนไขที่ใช้ในการกัดผิวงาน ได้ผลการศึกษาและวิเคราะห์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 ดังนั้นงานวิจัยนี้สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

#### 5.1 สรุปผล

5.1.1 คุณภาพผิวงานด้านหน้างานกัด คุณภาพผิวงานวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกเกรด DAIDO - NAK80 (AISI – P21) มีคุณภาพผิวงานกัดโดยรวมดีที่สุดโดยมีค่า Ra 0.593  $\mu\text{m}$  เมื่อเปรียบเทียบกับคุณภาพผิวงานกัดของวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกเกรด JIS S50C (AISI –1050) ที่มีค่า Ra 2.120  $\mu\text{m}$  และเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกเกรด BOHLER-M202 (AISI – P20) มีค่า Ra 2.627  $\mu\text{m}$  ที่มีลักษณะคุณภาพผิวที่ต่ำรองลงมานั้นแสดงว่าคุณภาพผิวเหล็กแม่พิมพ์ พลาสติกภายหลังการกัดขึ้นรูปแล้วจะขึ้นกับอยู่คุณสมบัติด้านความแข็งและความแข็งแรงของเหล็กแต่ละชนิด ที่มีแตกต่างกันซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพผิวของแต่่วัสดุแต่ละชนิดภายหลังผ่านกระบวนการกัดขึ้นรูป

5.1.2 ลักษณะการเกิดเศษกัดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก ลักษณะของเศษกัดเหล็กแม่พิมพ์ พลาสติกเกรด JIS S50C (AISI –1050) จะมีรูปร่างลักษณะเป็นเกลียวม้วนหลายรอบและมีขนาดเล็ก ส่วนเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกเกรด BOHLER-M202 (AISI-P20) และเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกเกรด DAIDO-NAK80 (AISI-P21) จะเกิดเศษกัดเป็นเกลียวม้วนขนาดใหญ่กว่าและเป็นเศษสั้นๆ สาเหตุที่เศษกัดของวัสดุทั้ง 3 ชนิด มีรูปร่างดังกล่าวเนื่องจากมีคุณสมบัติแข็ง ซึ่งแสดงให้เห็นเหล็กแม่พิมพ์ที่นำมาทดลองกัดขึ้นรูปมีความแข็งที่แตกต่างกันถึงแม้ใช้พารามิเตอร์ที่เหมือนกันแต่การเกิดเศษกัดก็จะมีรูปร่างที่แตกต่างกันออกไป

5.1.3 การสึกหรอของคมตัดมีดกัด ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM พบว่าภายหลังการกัดงานเสร็จแล้วพบว่า เมื่อทำการกัดที่ความเร็วรอบ 637 rpm อัตราป้อนกัด 45 mm/min ระดับในการกัดที่ระยะลึก 3 mm จะเกิดการสึกหรอที่ขอบคมตัด (Cutting Edge) น้อยที่สุด ส่วนที่สึกหรอที่ขอบคมตัด (Cutting Edge) มากที่สุดคือเมื่อทำการกัดที่ความเร็วรอบ 510 rpm อัตราป้อนกัด 55 mm/min ระดับในการกัดที่ระยะลึก 10 mm ผลการสึกหรอมีดกัดที่มีลักษณะการสึกหรอที่เหมือนกันหรือใกล้เคียงกัน ภายหลังการกัดขึ้นรูปวัสดุเหล็กแม่พิมพ์ทั้ง 3 ชนิด ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมตามจำนวนการผลิตแม่พิมพ์ (Mold)

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาค่าพารามิเตอร์อื่นที่ใช้ในกระบวนการกัดขึ้นรูป เช่น ระยะกินลึก อัตราป้อน และความเร็วยกที่มีค่ามากหรือน้อยกว่างานวิจัยนี้ในกระบวนการกัดซึ่งอาจส่งผลต่อค่าความหยาบผิวและลักษณะการสึกหรอของมีดกัด

5.2.2 ศึกษาชนิดของมีดกัดที่ใช้ในกระบวนการกัด ได้แก่ มีดกัด 4 คมตัด มีดกัด 6 คมตัด มีดกัดเกลียวคู่ และ มีดกัดปลายมน เป็นต้น

5.2.3 ศึกษาลักษณะคุณภาพผิวงานกัดที่ได้จากกระบวนการกัดที่ไม่ใช้สารหล่อเย็นหรือใช้สารหล่อเย็นชนิดต่างๆ ได้แก่ Straight Oils, Semi-Synthetic Fluids และ Synthetic Fluids เป็นต้น





## รายการอ้างอิง

- [1] ชีรยุทธ เปรินกุล นเรศ สุ่มเงิน และสมโภชน์ บุญล้อม. 2553, “การศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการกัดผิวงานแม่พิมพ์พลาสติกต่างชนิด”. การประชุมวิชาการ ข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม 2553 จ.ชลบุรี. 13-15 ตุลาคม 2553.
- [2] กุศล พร้อมมูล, 2545, “การหาเงื่อนไขการตัดไม้ที่เหมาะสมของใบมีด PCD”. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ปีการศึกษา 25545.
- [3] บรรณเลข ศรีนิต และประเสริฐ ก้วยสมบูรณ์, 2524, “ตารางงานโลหะ”. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [4] Abbas Fadhel Ibraheem, Saad Kareem Shather, Kasim A. Khalaf, 2008, “**Prediction of cutting forces by using machine parameters in end milling process**”. Engineering and Technology. Vol.26.No.11.
- [5] K.A. Abou-El-Hossein, K. Kadirgama, M. Hamdi, K.Y. Benyounis. 2007, “**Prediction of cutting force in end-milling operation of modified AISI P20 tool steel**”. Journal of Materials Processing Technology.182, 241–247.
- [6] ชาลี ตระดาร์กุล. 2554, “เทคโนโลยีซีเอ็นซี”. สำนักพิมพ์ สสท. กรุงเทพฯ. พิมพ์ครั้งที่ 22.
- [7] แผนกช่างกลโรงงาน วิทยาลัยเทคนิคสมุทรสาคร อ. เมือง จ.สมุทรสาคร.ปี 2555.
- [8] เหล็กกล้าเครื่องมือ (Tool Steels). สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย. <http://www2.isit.or.th> [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก (23 มกราคม 2556).
- [9] Prehardened Plastic Mould Steel.บริษัท กรุงเทพเหล็กกล้า จำกัด. <http://www.bssteel.co.th> [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก (15 ธันวาคม 2555).
- [10] มาตรฐานเกรดเหล็ก. หน่วยบริการทางเทคนิคสำหรับอุตสาหกรรมโลหะศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. <http://www.sunetr.iepathumwan.com>. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก (23 มกราคม 2556).
- [11] เกร์ลิงก์ ไสน์รัช. 2518, “ทฤษฎีเครื่องมือกล”. แปลโดย ศ.บุญศักดิ์ ใจจงกิจ, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตพระนครเหนือ.
- [12] เทคโนโลยีการตัดเนื้อวัสดุ. <http://www.viboon.org> [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก (10 พฤศจิกายน 2554).
- [13] JIS B 0031 and JIS B 0061.

- [14] คู่มือกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอซูม. 2555, Wuzhou Optical Instrument Factory.
- [15] วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง. <http://www.nano.kmitl.ac.th>. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก (3 กุมภาพันธ์ 2556).
- [16] ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ และจักรกฤษณ์ มนต์เสวี. 2555, “การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความหยาบผิวชิ้นงานยางด้วยกรรมวิธีการตัดเฉือนด้วยความร้อน”. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50. สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ, หน้า 34-43 (343 หน้า).
- [17] ประวุฒิ เพชรไพรินทร์. 2552, “การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวและความสึกหรอของคมตัดในการกัดทองเหลืองผสม”. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ปีการศึกษา 2552.
- [18] มณเฑียร พลศรีลาภ. 2554, “การศึกษาอิทธิพลที่ส่งผลต่อความเรียบผิวในการกลึงเหล็ก S 50 C”. ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ปีการศึกษา 2554.
- [19] ชัยวัฒน์ พรรคพวก และชนะ รักษ์ศิริ. 2550, “การศึกษาค่าความหยาบผิวชิ้นงานที่มีผลมาจากการเดินขึ้นรูปชิ้นงานแบบไซโคลอยด์ด้วยมิตัดเฉือน Insert”. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ. ปี พ. ศ. 2550.
- [20] สัญญา คำจริง เถлим ขุนเอียด และสินมหัต ฝ้ายลุย. 2548, “การศึกษาคุณสมบัติของมิตัดด้วยหลักการวิศวกรรมย้อนรอย”. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ. ปี พ. ศ. 2548.
- [21] P. Franco , M. Estrems, F. Faura. 2004, “**Influence of radial and axial runouts on surface roughness in face milling with round insert cutting tools**”. International Journal of Machine Tools & Manufacture 44 (2004) 1555–1565.
- [22] J. Vivancos , C.J. Luis, J.A. Ortiz, H.A. Gonz’alez . 2005, “**Analysis of factors affecting the high-speed side milling of hardened die steels**”. Journal of Materials Processing Technology 162–163 (2005) 696–701.

- [23] สุขชัย อุ่นจันที และถวัลย์ ภูนาเงิน. 2550, “การวิเคราะห์การสึกหรอและอายุการใช้งานของดอกกัดเหล็กกล้าความเร็วรอบสูง”. ปรินญาณีพนธ์ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. 2550
- [24] W.Y.H. Liew, X. Ding. 2008, “**Wear progression of carbide tool in low-speed end milling of stainless steel**”. *Wear* 265 (2008) 155–166.
- [25] A.Aramcharoen, P.T. Mativenga, S. Yang, K.E. Cooke, D.G. Teer. 2008, “**Evaluation and selection of hard coatings for micro milling of hardened tool steel**”. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 48 (2008) 1578-1584.





ภาคผนวก





ตารางที่ ก. 1 ค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก DAIDO-NAK80 (AISI-P21)

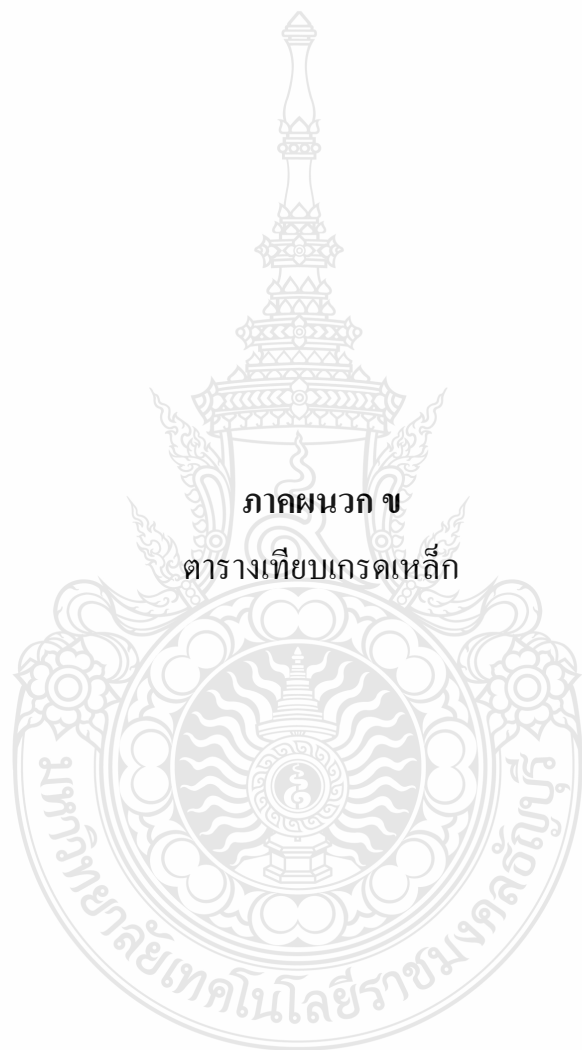
อัตราป้อน (mm/min)	ความเร็วรอบ (rpm)	ระดับในการกัด (mm)	ค่าความหยาบผิว : Ra ( $\mu\text{m}$ )			เฉลี่ย : Ra ( $\mu\text{m}$ )
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
45	510	3	0.62	0.61	0.59	0.607
		5	0.64	0.59	0.62	0.617
		10	0.58	0.67	0.62	0.623
	572	3	0.62	0.59	0.61	0.607
		5	0.59	0.65	0.6	0.613
		10	0.63	0.64	0.59	0.620
	637	3	0.57	0.61	0.6	0.593
		5	0.61	0.64	0.58	0.610
		10	0.62	0.66	0.56	0.613
50	510	3	0.59	0.63	0.61	0.610
		5	0.62	0.64	0.6	0.620
		10	0.63	0.67	0.58	0.627
	572	3	0.57	0.62	0.62	0.603
		5	0.61	0.66	0.57	0.613
		10	0.62	0.65	0.6	0.623
	637	3	0.58	0.61	0.59	0.593
		5	0.61	0.64	0.57	0.607
		10	0.58	0.66	0.63	0.623
55	510	3	0.58	0.65	0.63	0.620
		5	0.63	0.65	0.59	0.623
		10	0.6	0.69	0.62	0.637
	572	3	0.62	0.64	0.54	0.600
		5	0.59	0.66	0.6	0.617
		10	0.59	0.66	0.63	0.627
	637	3	0.61	0.63	0.55	0.597
		5	0.61	0.65	0.57	0.610
		10	0.59	0.66	0.62	0.623

ตารางที่ ก. 2 ค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก BOHLER-M202 (AISI-P20)

อัตราป้อน (mm/min)	ความเร็วรอบ (rpm)	ระดับในการกัด (mm)	ค่าความหยาบผิว : Ra ( $\mu\text{m}$ )			เฉลี่ย : Ra ( $\mu\text{m}$ )
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
45	510	3	3.02	2.75	2.87	2.880
		5	2.89	2.98	2.97	2.947
		10	2.98	3.06	3.01	3.017
	572	3	2.77	2.91	2.89	2.857
		5	2.96	2.98	2.95	2.963
		10	3.01	2.95	2.94	2.967
	637	3	2.52	2.65	2.71	2.627
		5	2.46	2.71	2.74	2.637
		10	2.63	2.7	2.62	2.650
50	510	3	3.03	3.12	2.96	3.037
		5	3.08	3.23	2.95	3.087
		10	3.22	3.38	3.09	3.230
	572	3	2.96	3.21	2.84	3.003
		5	2.98	3.14	2.95	3.023
		10	2.98	3.42	2.98	3.127
	637	3	2.65	2.84	2.59	2.693
		5	2.65	2.84	2.59	2.693
		10	2.71	2.76	2.66	2.710
55	510	3	3.45	3.22	3.01	3.227
		5	3.52	3.66	3.08	3.420
		10	3.51	3.75	3.48	3.580
	572	3	3.17	3.09	3.1	3.120
		5	2.95	3.15	3.24	3.113
		10	3.11	3.22	3.06	3.130
	637	3	2.98	3.01	2.87	2.953
		5	3.19	2.88	3.14	3.070
		10	2.87	3.27	3.29	3.143

ตารางที่ ก. 3 ค่าความหยาบผิว (Ra) งานกัดของเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก JIS S50C (AISI-1050)

อัตราป้อน (mm/min)	ความเร็วรอบ (rpm)	ระดับในการกัด (mm)	ค่าความหยาบผิว : Ra ( $\mu\text{m}$ )			เฉลี่ย : Ra ( $\mu\text{m}$ )
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
45	510	3	2.21	2.35	2.46	2.340
		5	2.49	2.56	2.34	2.463
		10	2.56	2.51	2.33	2.467
	572	3	2.06	2.25	2.06	2.123
		5	2.36	2.66	2.01	2.343
		10	2.42	2.56	2.4	2.460
	637	3	2.01	2.22	2.13	2.120
		5	2.26	2.35	2.16	2.257
		10	2.26	2.41	2.37	2.347
50	510	3	2.57	2.48	2.36	2.470
		5	2.31	2.53	2.61	2.483
		10	2.59	2.46	2.48	2.510
	572	3	2.64	2.59	2.02	2.417
		5	2.39	2.49	2.5	2.460
		10	2.43	2.55	2.51	2.497
	637	3	2.39	2.54	2.15	2.360
		5	2.22	2.47	2.36	2.350
		10	2.36	2.48	2.19	2.343
55	510	3	2.39	2.56	2.51	2.487
		5	2.56	2.64	2.42	2.540
		10	2.39	2.68	2.61	2.560
	572	3	2.33	2.51	2.47	2.437
		5	2.55	2.46	2.61	2.540
		10	2.42	2.53	2.69	2.547
	637	3	2.26	2.35	2.13	2.247
		5	2.55	2.67	2.42	2.547
		10	2.49	2.57	2.48	2.513



**ภาคผนวก ข**  
**ตารางเทียบเกรดหลักสูตร**

ตารางที่ ข. 1 เที่ยบเกรดมาตรฐานและส่วนผสมทางเคมี

ประเภทเหล็ก (Type)	เทียบเกรดมาตรฐาน Standard Comparison			ส่วนผสม (%) Chemical Composition							ค่าความแข็ง (Hardness) สภา พหุหน่วย (HB)
	JIS	AISI	DIN	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	
เหล็กกล้างานเย็น Cold Work Tool Steel	DKD11 (modified)	-	-	1.1	0.95	0.6 max.	0.1	10	1.5	0.05	225
	SKD11	D2	1.237 9	1.4-1.6	มากกว่า เท่ากับ 0.4	มากกว่า เท่ากับ 0.6	-	11.00- 13.00	0.8-1.2	0.2-0.5	220
	SKS3	O1	1.251	0.9	0.3	1.2	-	0.5	0.13	-	217
เหล็กชุบแข็งด้วย เปลวไฟ Flame Hardening Steel	-	-	-	0.75- 0.90	0.9-1.10	0.7-1.00	-	1.00- 1.20	0.15- 0.30	0.07-0.10	220
เหล็กกล้างานร้อน Hot Work Tool Steel	SKD61	H13	1.234 4	0.32- 0.42	0.80- 1.20	0.50- max.	-	4.50- 5.50	1.00- 1.50	0.80-1.20	229
Includes free cutting Component Hot Work Steel เหล็กกล้างานร้อน	SKD61 (modified)	-	-	0.50- 0.60	0.4	0.60- 0.90	1.50- 1.80	0.80- 1.20	0.35- 0.55	0.05-0.15	35-36
เหล็กแม่พิมพ์ พลาสติก Prehardening Plastic Mould Steel group	-	P20	1.231 1	0.4	-	1.5	-	1.9	0.2	-	30-33
	-	P21	-	Patent Pending							37-43
เหล็กกล้าคาร์บอน Carbon Steel	S45C	C104 5	CK45	0.42- 0.48	0.15- 0.35	0.60- 0.90	-	-	-	-	167-229
	S50C	C104 9	CK50	0.47- 0.53	0.15- 0.35	0.60- 0.90	-	-	-	-	179-235
เหล็กกล้าผสม นิกเกิล-โครเมียม- โมลิบดีนัม Low-alloy Steel	SCM440	4140	1.725 5	0.38- 0.43	0.15- 0.35	0.60- 0.85	-	0.90- 1.20	0.15- 0.30	-	255
	SCM415	4118	1.721 8	0.13- 0.18	0.15- 0.35	0.60- 0.85	-	0.90- 1.20	0.15- 0.30	-	207
	SNCM4 39	4340	1.658 2	0.36- 0.43	0.15- 0.35	0.60- 0.90	0.50- 2.00	0.60- 1.00	0.15- 0.30	-	255
เหล็กแผ่นสปริง Spring Steel Sheet	SK-85 (SK5)	W1-8	1.162 5	0.80- 0.90	0.35 max.	0.50- max.	0.25 mzx.	0.30 max.	-	-	207
เหล็กเหนียว Mild Steel	SS400 (SS41)			0.13 0.18	0.15 0.35	0.5 0.7	-	-	-	-	116-152
เหล็กทนแรง ดึงสูง High Tensile Steel	SM490 A	A441	17100- 1980 ST52- 3U	0.22 max.	0.6 max.	1.6 max.	-	-	-	-	180

ตารางที่ ข. 2 เทียบเกรดมาตรฐาน

ประเภทเหล็ก	JIS	AISI	DIN	AICHI	DAIDO	HITACHI	NIPPON KOSHUHA	ASSAB	BOHLER	THYSSEN
เหล็กใช้งานเย็น	SKD11	D2	1.2379	AUD11	DC53	SLD2	SKD11V	XW41	K110	2379
	SKS3	O1	1.2510	SKS3	GOA	SGT	KS3	DF2	K460	2510
เหล็กใช้งานร้อน	SKD61	H13	1.2344	AUD61	DHA1	DAC	KDA1	8407	W302	2344
	SKT4	L6	1.2714	SKT4A	GFA	DM	KTV	SOMDIE	W500	2714
เหล็กชุบแข็งด้วยเปลวไฟ	-	-	-	SX105V	GO5	HMD5	FH-5	-	-	-
เหล็กทำแม่พิมพ์พลาสติก	-	P20	1.2311	-	PX4	-	PLASMOLD20	718	W330	2311
	-	P20+5	1.2312	-	NAK80	-	-	HOLDAX	M200	2312
เหล็กอะไหล่	S45C	1045	1.1191	S45C	S45C	S45C	S45C	-	-	CK45
	S50C	1050	1.1206	S50C	S50C	S50C	S50C	760	CM50	1730
	SCM440	4140	1.7225	SCM440	SCM440	SCM440	SCM440	709	V320	7225
	SNCM439	4340	1.6582	SNCM439	SNCM439	SNCM439	SNCM439	705	V155	6582
เหล็กชุบผิวแข็งโดยเติมคาร์บอน	SCM415	5115	1.7262	SCM415	SCM415	SCM415	SCM415	-	-	-
เหล็กเครื่องมือคาร์บอนสูง	SK5	W1	1.1625	SK5	SK5	-	-	K100	K980	1545
เหล็กเหนียว	SS400	-	-	SS400	SS400	SS400	SS400	-	MS	-

ตารางที่ ข. 3 เทียบความแข็งเหล็ก

HB Brinell Hardness 10mm load 3000kg Standard ball	HRC Rockwell Hardness C Scale load 150kgf Diamond Penetrator	HV Vickers Hardness	HS Shore Hardness	Tensile Strength N/mm2 (kgf/mm2) Approximate value
-	52.5	553	-	1912 (195)
-	52.1	547	70	1893 (193)
495	51.6	539	-	1853 (189)
-	51.1	530	-	1824 (186)
-	51.0	528	68	1824 (186)
477	50.3	516	-	1775 (181)
-	49.6	508	66	1736 (177)
461	48.8	495	-	1687 (172)
-	48.5	491	65	1667 (170)



ตารางที่ ข. 3 เทียบความแข็งเหล็ก (ต่อ)

<b>HB</b> <b>Brinell Hardness</b> 10mm load 3000kg Standard ball	<b>HRC</b> <b>Rockwell Hardness</b> C Scale load 150kgf Diamond Penetrator	<b>HV</b> <b>Vickers Hardness</b>	<b>HS</b> <b>Shore Hardness</b>	<b>Tensile Strength</b> N/mm2 (kgf/mm2) Approximate value
444	47.2	474	-	1589 (162)
-	47.1	472	63	1589 (162)
429	45.7	455	61	1510 (154)
415	44.5	440	59	1461 (149)
401	43.1	425	58	1393 (142)
388	41.8	410	56	1334 (136)
375	40.4	396	54	1265 (129)
363	39.1	383	52	1216 (124)
352	37.9	372	51	1177 (120)
341	36.6	360	50	1128 (115)
331	35.5	350	48	1098 (112)
321	34.3	339	47	1059 (108)
311	33.1	328	46	1030 (105)
302	32.1	319	45	1010 (103)
293	30.9	309	43	971 (99)
285	29.9	301	-	951 (97)
277	28.8	292	41	922 (94)
269	27.6	284	40	892 (91)
262	26.6	276	39	873 (89)
255	25.4	269	38	843 (86)
248	24.2	261	37	824 (84)
241	22.8	253	36	804 (82)
235	21.7	247	35	785 (80)
229	20.5	241	34	765 (78)
223	(18.8)	234	-	-
217	(17.5)	228	33	726 (74)
212	(16.0)	222	-	706 (72)
207	(15.2)	218	32	686 (70)
201	(13.8)	212	31	677 (69)

ตารางที่ ข. 3 เทียบความแข็งเหล็ก (ต่อ)

HB Brinell Hardness 10mm load 3000kg Standard ball	HRC Rockwell Hardness C Scale load 150kgf Diamond Penetrator	HV Vickers Hardness	HS Shore Hardness	Tensile Strength N/mm2 (kgf/mm2) Approximate value
197	(12.7)	207	30	657 (67)
192	(11.5)	202	29	637 (65)
187	(10.0)	196	-	618 (63)
183	(9.0)	192	28	618 (63)
179	(8.0)	188	27	598 (61)
174	(6.4)	182	-	588 (60)
170	(5.4)	178	26	569 (58)
167	(4.4)	175	-	559 (57)
163	(3.3)	171	25	549 (56)
156	(0.9)	163	-	520 (53)
149	-	156	23	500 (51)
143	-	150	22	490 (50)
137	-	143	21	461 (47)
131	-	137	-	451 (46)
126	-	132	20	431 (44)
121	-	127	19	412 (42)
116	-	122	18	402 (41)
111	-	117	15	382 (39)

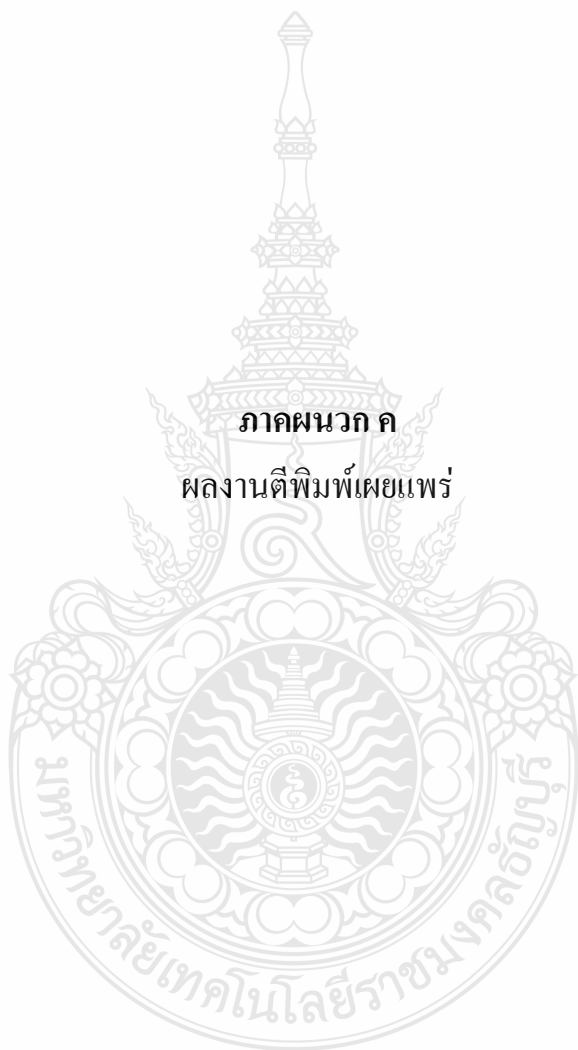
ตารางที่ ข. 4 เปรียบเทียบราคาเฉพาะวัสดุทดสอบ

ประเภทเหล็ก	ราคา (บาท/กิโลกรัม)
เหล็กแม่พิมพ์พลาสติก AISI-P20	400
Prehardening Plastic Mould Steel group AISI-P20	250
Carbon Steel JIS-S50C	150

อ้างอิงจาก : บริษัท กรุงเทพเหล็กกล้า จำกัด (Bangkok Special Steel Co., LTD.) สาขาพระราม 3 : 74/10

ตรอกนอกเขต ถนนพระราม 3 แขวงช่องนนทรี เขตยานนาวา กรุงเทพฯ 10120

ภาคผนวก ค  
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่










**รวมบทความ**  
**การประชุมวิชาการข่ายงาน**  
**วิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2554**  
**IE NETWORK CONFERENCE 2011**

**20 - 21 ตุลาคม 2554**  
**โรงแรมแอมบาสเตอร์ซีที จอมเทียน พัทยา จังหวัดชลบุรี**

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ  
การประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2554

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รศ.ดร.จิตรา รุ่งกิจการพานิช  
ผศ.ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย  
ผศ.ดร.ประมวล สุธีจาร์วัฒน

รศ.ดร.ปารเมศ ชูติมา  
ผศ.ดร.ดาริชา สุธีวงศ์  
ผศ.ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดร.ปฎิภาณ จุ้ยเจิม  
ดร.สุदारัตน์ วงศ์กীরเกียรติ

ดร.ปุณณมี สัจจกมล  
ดร.สุวิษกรณ์ วิชกุล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

ดร.ชัยวัฒน์ นุ่มทอง  
ดร.ศิริรัตน์ หมั่นนวนิชกุล  
อ.จันจิรา คงชื่นใจ

ดร.เพ็ญสุตา พันฤทธิธำ  
ดร.สิรางค์ กลั่นคำสอน

มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

ผศ.ชานนท์ มุลวรรณ  
อ.ประภาพรณ เกษราพงศ์

ดร.ศักดิ์ชาย รักการ  
อ.จักรินทร์ กลั่นเงิน

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รศ.ดร.พรเทพ ขอบฉายเกียรติ  
ผศ.ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว  
ผศ.ดร.วิรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์  
ดร.ปาพจน์ เจริญอภิบาล

รศ.ดร.ศุภชัย ปทุมนากุล  
ผศ.ดร.दनัยพงศ์ เชษฐโชติศักดิ์  
ดร.ธนา ราษฎร์ภักดิ์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รศ.ดร.วิชัย ฉัตรทินวัฒน์  
ผศ.ดร.คมกฤต เล็กสกุล  
ผศ.ดร.สรรรฐติชัย ชิวสุทิตศิลป์  
ผศ.ดร.อรรถพล สมุทรคุปต์  
ดร.ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์  
ดร.อนิรุท ไชยจาร์วณิช

รศ.ดร.วิมลทิน เหล่าศิริถาวร  
ผศ.ดร.วิศสนัย วรรณจรรย์ยา  
ผศ.ดร.อภิชาติ โสภามาแดง  
ดร.กรกฎ ไยบัวเทศ ทิพย์าวงศ์  
ดร.วสวัชร นาคเขียว



## มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รศ.คมสัน จิระภัทรศิลป์

รศ.ดร.สิทธิชัย แก้วเกื้อกุล

ผศ.ดร. เจริญชัย โขมพิตรภรณ์

ผศ.พจมาน เตยวัฒนรัฐติกาล

ดร.วิศิษฐ์ศรี วิยะรัตน์

อ.ปรัชญา เพ็ญสุระ

รศ.ดร.บวรโชค ผู้พัฒนา

รศ.สันติรัฐ นันสะอาจ

ผศ.ดร.เตือนใจ สมบูรณ์วิวัฒน์

ดร.ช่อแก้ว จตุรานนท์

ดร.อิศรทัต พึ่งอัน

## มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

รศ.วันชัย แผลมหลักสกุล

ดร.กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์

## สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ

ผศ.ดร. สกนธ์ คล่องบุญจิต

ดร. อุดม จันทร์จรัสสุข

ดร.ชุมพล ยวงใย

รศ.ดร. ฤดี มาสุจันทร์

ผศ.ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล

ดร.พิชญ์วดี กิตติปัญญางาม

## มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผศ.พิชัย จันทร์มณี

ผศ.วิชาญ ช่วยพันธ์

## มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

ผศ.ณัฐศักดิ์ พรพุดศิริ

## มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ดร.นเรศ อินตะวงศ์

ดร.ภาคภูมิ จารุภูมิ

ดร.บรรเจิด แสงจันทร์

ผศ.มนวิภา อารีพันธ์

## มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

รศ.สุชาติ เย็นวิเศษ

ผศ.สุรสิทธิ์ ระวีวงศ์

ผศ.เดช เหมือนขาว

## มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผศ.ดร.พรศิริ จงกล

ดร.ปภากร สุนานนท์

อ.นรา สมัตถภาพงศ์

ดร.พงษ์ชัย จิตตะมัย

ดร.ปวีร์ ศิริรักษ์



**มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์**

รศ.ดร.จิรรัตน์ ชีระวราพฤกษ์  
 ผศ.ดร.วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กร  
 ผศ.ดร.สวัสดี ภาวระราช

รศ.ดร.จิรศิริพงษ์ เจริญถนันทารักษ์

ผศ.ดร.วรารัตน์ กังสัณฤทธิ์

ผศ.ดร.เสมอจิตร หอมรสสุนันท์

**มหาวิทยาลัยนเรศวร**

ผศ.ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ  
 ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง  
 ดร.ภาณุ บุรณจารุกร  
 อ.ศรีสัจจา วิทยศักดิ์

ผศ.ศิษญา สิมารักษ์

ดร.สมลักษณ์ วรณฤมล

อ.ธนิกันต์ ธงชัย

**มหาวิทยาลัยปทุมธานี**

ดร. ภาสพิรุฬห์ ศรีสำเร็จ

**มหาวิทยาลัยมหาสารคาม**

ผศ.ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป  
 ผศ.ดร.บพิช บุบผโชติ  
 ดร.นิตา ชัยมูล

ผศ.ดร.สุดสาคร อินธิเดช

ดร.อรอุมา ลาสุนนท์

**มหาวิทยาลัยมหิดล**

รศ.ดร.ดวงพรรณณ ศฤงคารินทร์  
 ดร.จิรพรรณ เลี้ยงโรคาพาธ

ผศ.ดร.วเรศรา วีระวัฒน์

ผศ.ศุภชัย นาทะพันธ์

**มหาวิทยาลัยรังสิต**

ผศ.ดร.ธนวรรณ อัครไพบูลย์  
 ผศ.สินี สุขกรมใส  
 อ.ศิลปชัย วัฒนเสย  
 อ.พรรคพงษ์ แก่นมรงค์

ผศ.ดร.เพ็ญจันทร์ จริงจิตร

ดร.พิษณุ มั่นสปีติ

อ.ต่อศักดิ์ อุทัยไขฟ้า

อ.สายสุนีย์ พงษ์พัฒนศึกษา

**มหาวิทยาลัยรามคำแหง**

ผศ.ดร. กฤษดา พิศลยบุตร  
 อ.นุกูล อุบลบาน

ดร.เลิศเลขา ณะชัยขันธุ์

อ.นันทวรรณ อ้าเอี่ยม

**มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**

รศ.ธนรัตน์ แต้ววัฒนา  
 ผศ.ดร.นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์  
 ดร.สิริเดช ขาตินิยม

ผศ.ดร.ทศพล เกียรติเจริญผล

ดร.ณัฐพงษ์ คงประเสริฐ

ดร.พงษ์เพ็ญ จันทนะ

**มหาวิทยาลัยศรีปทุม**

ผศ.พัฒน์พงศ์ อริยสิทธิ์

อ.จักรพันธ์ กัณหา

อ.ธนนัน ศรีวระรัมย์

อ.วราพจน์ พันธุ์คง

ดร.จริณี มณีศรี

อ.ชวลิต มณีศรี

อ.พิสุทธิ์ รัตนแสนวงษ์

อ.สุพัฒตรา เกษราพงศ์

**มหาวิทยาลัยศิลปากร**

ผศ.ดร.ประจวบ กล่อมจิตร

ผศ.ปฏิพัทธ์ หงษ์สุวรรณ

ผศ.สุขุม โฆษิตชัยมงคล

ดร.กัญจนา ทองสนิท

ดร.สิทธิชัย แซ่แหล่ม

ผศ.จันทร์เพ็ญ อนุรัตนานนท์

ผศ.วันชัย ถิลากรวิวงศ์

ผศ.สุวัฒน์ เณรโต

ดร.ณัฐพล ศิริสว่าง

**มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**

รศ.ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล

รศ.สมชาย ชูโฉม

ผศ.ดร.เจษฎา วรรณสินธุ์

ผศ.ดร.นภิสพร มีมงคล

ผศ.ดร.รัฐชนา สันธวาลัย

ผศ.ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์

ผศ.เจริญ เจตวิจิตร

ผศ.ยอดดวง พันธุ์นรา

รศ.วนิดา รัตนมณี

ผศ.ดร.กลางเดือน โพนนา

ผศ.ดร.ธเนศ รัตนวิไล

ผศ.ดร.ประภาส เมืองจันทร์บุรี

ผศ.ดร.สุภาพรณ ไชยประพัทธ์

ผศ.ดร.องุ่น สังข์พงศ์

ผศ.พีเชษฐ ตรีการชัยศิริ

ผศ.สงวน ตั้งโพธิธรรม

**มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย**

อ.จิตลดา ชิมเจริญ

อ.วรลักษณ์ เสถียรรังสฤษฏ์

อ.อรอุมา กอสนาน

อ.นิศากร สมสุข

อ.อัญชลี สุพิทักษ์

**มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี**

ผศ.ดร.คณิต ภูนิคม

ผศ.ดร.นุชสรา เกรียงกรกฎ

ผศ.ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส

ผศ.ดร.สุขอังกณา ลี

ดร.จริยาภรณ์ อุ่นวงษ์

ผศ.ดร.นลิน เพียรทอง

ผศ.ดร.ปรีชา เกรียงกรกฎ

ผศ.ดร.สมบัติ สิ้นธุเชาวน์

ดร.ธารชуда พันธุ์นิกุล

ดร.สันต์ โอฬาพิริยะกุล

**สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น**

ดร.กรกฎ เหมสถาปัตย์

ดร.ดำรงเกียรติ รัตนอมรินทร์

สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน  
 ผศ.ชัยพฤกษ์ อากาศเวท  
 อ.เจษฎา วงศ์อ่อน

ผศ.ประยูร สุรินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รศ.ดร.ชัยยุทธ ช่างสาร  
 ผศ.ดร.กิตติพงษ์ วิมะพงศ์  
 ผศ.ดร.ณฐา คุปต์ชัยชูชัย  
 ผศ.ดร.ศิวกร อ่างทอง  
 ผศ.ดร.สมหมาย ผิวสะอาด  
 ดร.กฤษชาติ จุลเพ็ญ  
 ดร.ณรงค์ชัย โอเจริญ  
 ดร.สรพงษ์ ภาวสุปรีย์  
 ผศ.สุรัตน์ ตรัยวนพงศ์

รศ.มานพ ต้นตระกูลบัณฑิตย์  
 ผศ.ดร.จตุรงค์ ลังกาพินธุ์  
 ผศ.ดร.วารุณี อริยวิริยะนันท์  
 ผศ.ดร.ศิริชัย ต่อสกุล  
 ผศ.ชวลิต แสงสวัสดิ์  
 ดร.ชัยยะ ปราณีตพลกรัง  
 ดร.ระพี กาญจนะ  
 ดร.สุนนมาลย์ เนียมกลาง



## สารบัญ (ต่อ)

MPM99	นวัตกรรม SMART SENSOR เพื่อใช้ในบรรจุภัณฑ์นมสำหรับโครงการนม อัญญา วุฒิสภา อัญญา วุฒิสภา อัญญา วุฒิสภา อัญญา วุฒิสภา	222
MPM100	การออกแบบเครื่องกัดไฟมอดโนมิติแบบ 6 แกนขนาดใหญ่สำหรับแม่พิมพ์ปั๊ม อุตสาหกรรมยานยนต์ เกรียงไกร ไวยกาญจน์ บรรเจิด แสงจันทร์ สุชาติ นาชัยสิทธิ์ วฑัญญู เนตรสง่า	223
MPM101	การศึกษาสมบัติเชิงกลและความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางพ ขนาดนาโนกับพอลิพรอพิลีน เจษฎา วงษ์อ่อน สุภาพร ทุมสอน ประวีตร วีระเกียรติกิจ	224
MPM102	การพัฒนาโลหะแม่ Al-10%Mn-1%Sr สำหรับการปรับสภาพเฟสเบต้าและยู เทคติคซิลิคอนในงานหล่อโลหะผสมอะลูมิเนียม-7%ซิลิคอน-1%เหล็ก พิสิทธิ์ เมื่อน้อย <sup>1</sup> กฤตธี เอียดเหตุ	225
MPM103	ผลกระทบของอัตราการเย็นตัวของพอลิเมอร์ต่อการแข็งตัวของโลหะผสมอะลูมิเนียม - 7% ซิลิคอน - 2.5% ทองแดง - 0.8% Fe พิสิทธิ์ เมื่อน้อย วาฑิต คุณากรสกุล จิรภัทร อรุณจรัส เจนณรงค์ จันทสร กฤตธี เอียดเหตุ	226
MPM105	ผลกระทบของกระบวนการอัดเอนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็งผิวงานเหล็กกล้า AISI P20 กมลพงศ์ แจ่มกมล พิชัย จันทรมณี อภิวัฒน์ มุตตามระ	227
MPM106	พลาสติกแอนไอโซทรอปิกโลหะแผ่นต่อการเกิดรอยตึงในการขึ้นรูปทรงกระบอก ดลธรรม เอฬกานนท์ พิชัย จันทรมณี กมลพงศ์ แจ่มกมล อภิวัฒน์ มุตตามระ รัตติกรณ์ เสาร์แดน	228
MPM108	คุณภาพความเรียบพื้นผิววัสดุเหล็กกล้าแม่พิมพ์ NAK 80 จากกรรมวิธีการกัดขึ้นรูป บรรจุ ฟ็องฟู สมศักดิ์ อธิธิโสภณกุล	229
MPM109	การเจาะรูระดับเมสโซสโคปเหล็กกล้าแม่พิมพ์ SKD11 ด้วยเครื่องเจาะโลหะด้วย ไฟฟ้า ศุภวัฒน์ ชูวาริ อภิวัฒน์ มุตตามระ พิชัย จันทรมณี กมลพงศ์ แจ่มกมล	230

คุณภาพความเรียบพื้นผิววัสดุเหล็กกล้าแม่พิมพ์ NAK 80 จากกรรมวิธีการกัดขึ้นรูป  
Quality Surface of Tool Steel Material NAK 80 on Milling Process

บรรจง เพ็ญฟู<sup>1\*</sup> สมศักดิ์ อธิธิโสภณกุล<sup>2</sup>

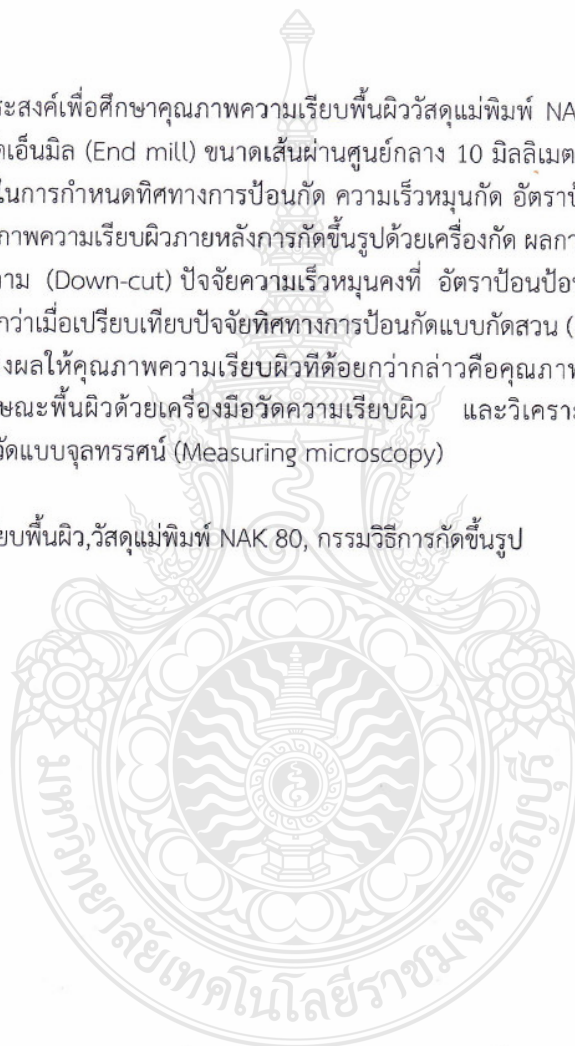
<sup>1,2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110

E-mail: banjong@hotmail.com\*

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพความเรียบพื้นผิววัสดุแม่พิมพ์ NAK 80 จากกรรมวิธีการกัดขึ้นรูป ด้วยมีดกัดเอ็นดมิล (End mill) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร โดยพิจารณาผลกระทบของพารามิเตอร์ในการกำหนดทิศทางการป้อนกัด ความเร็วหมุนกัด อัตราป้อนกัด และความลึกป้อนกัด ที่มีผลต่อคุณภาพความเรียบผิวภายหลังการกัดขึ้นรูปด้วยเครื่องกัด ผลการทดลองพบว่าทิศทางการป้อนตัดแบบกัดตาม (Down-cut) ปัจจัยความเร็วหมุนคงที่ อัตราป้อนป้อนกัดค่าน้อยให้ผลคุณภาพความเรียบผิวที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยทิศทางการป้อนกัดแบบกัดสวน (Up-cut) และพารามิเตอร์ในทางตรงข้ามส่งผลให้คุณภาพความเรียบผิวที่ด้อยกว่ากล่าวคือคุณภาพผิวมีค่าความหยาบมาก โดยพิจารณาลักษณะพื้นผิวด้วยเครื่องมือวัดความเรียบผิว และวิเคราะห์ผลผ่านการตรวจสอบด้วยชุดเครื่องมือวัดแบบจุลทรรศน์ (Measuring microscopy)

**คำหลัก** ความเรียบพื้นผิว, วัสดุแม่พิมพ์ NAK 80, กรรมวิธีการกัดขึ้นรูป







## คุณภาพความเรียบพื้นผิววัสดุเหล็กกล้าแม่พิมพ์ NAK 80 จากกรรมวิธีการกัดขึ้นรูป Quality Surface of Tool Steel Material NAK 80 on Milling Process

บรรจง เพ็ญฟู<sup>1\*</sup> สมศักดิ์ อิทธิโสภณกุล<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110

E-mail: banjong@hotmail.com\*

### บทคัดย่อ

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพความเรียบพื้นผิววัสดุแม่พิมพ์ NAK 80 จากกรรมวิธีการกัดขึ้นรูป ด้วยมีดกัดเอ็นมิล (End mill) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร โดยพิจารณาผลกระทบของพารามิเตอร์ในการกำหนดทิศทางการป้อนกัด ความเร็วหมุนกัด อัตราป้อนกัด และความลึกป้อนกัด ที่มีผลต่อคุณภาพความเรียบผิวภายหลังการกัดขึ้นรูปด้วยเครื่องกัด ผลการทดลองพบว่าทิศทางการป้อนตัดแบบกัดตาม (Down-cut) ปล่อยให้ความเร็วหมุนกัด อัตราป้อนกัดค่าต่ำทำให้ผลคุณภาพความเรียบผิวที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยทิศทางการป้อนกัดแบบกัดสวน (Up-cut) และพารามิเตอร์ในทางตรงข้ามส่งผลให้คุณภาพความเรียบผิวที่ต่ำกว่ากล่าวคือคุณภาพผิวมีค่าความหยาบมาก โดยพิจารณาลักษณะพื้นผิวด้วยเครื่องมือวัดความเรียบผิว และวิเคราะห์ผลผ่านการตรวจสอบด้วยชุดเครื่องมือวัดแบบจุลทรรศน์ (Measuring microscopy)

**คำหลัก** ความเรียบพื้นผิว, วัสดุแม่พิมพ์ NAK 80, กรรมวิธีการกัดขึ้นรูป

### 1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตภายในประเทศมีการพัฒนาเจริญก้าวหน้าอย่างต่อเนื่อง และรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมทางด้านแม่พิมพ์ซึ่งอุตสาหกรรมแม่พิมพ์พลาสติกที่เรียกว่า "โมลด์" (Mold) ได้ถูกนำมาใช้ในการผลิตชิ้นงานในปริมาณที่มาก (Mass production) [4,7] ทั้งนี้การพิจารณาชนิดวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตโมลด์จะต้องมีคุณสมบัติที่ดีพอ เพื่อลดความบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นในชิ้นงานสำเร็จ ตลอดจนสามารถยืดอายุการใช้งานของชุดแม่พิมพ์ได้ [1] ซึ่งวัสดุที่ใช้งานมีความแตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสมของงานแต่ละประเภท ของการขึ้นรูปชิ้นส่วนชนิดต่างๆ เพราะฉะนั้นโมลด์ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการผลิตชิ้นงานเพื่อเพิ่มปริมาณ และคุณภาพของผลผลิตให้สูงยิ่งขึ้น ตลอดจนสามารถแข่งขันได้ ทั้งนี้สิ่งที่มิผลกระทบต่อการผลิตชุดโมลด์ในปัจจุบันคือ การที่ไม่ทราบถึงคุณภาพของผิวที่แท้จริงวัสดุที่ใช้ในการสร้างโมลด์ ซึ่งสิ่งจำเป็นสำหรับการผลิตชิ้นงานด้วยโมลด์พลาสติก ผิวงาน จึงเป็นปัจจัย

สำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ และสวยงามอย่างมีคุณภาพ ดังนั้นตามสภาวะการใช้งานจริงของวัสดุที่ใช้ทำโมลด์ ผิวของโมลด์ที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับหลายองค์ประกอบ [2] เช่น ความเร็วรอบ (Spindle speed) อัตราป้อน (Feed rate) ความเร็วตัด (Cutting speed) ที่เกิดขึ้นรวมไปถึงชนิดของมีดกัด (Tools) ที่ใช้ด้วย เป็นต้น [3] เพราะเนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้เป็นส่วนที่ทำให้ผิวที่ได้มีคุณภาพมากน้อยเพียงใดโดยวัสดุที่นิยมนำมาใช้ผลิตโมลด์ คือ AISI P20 และ DAIDO NAK80 [5-6] ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญอย่างยิ่งต่องานวิจัยนี้ จึงได้ทำการศึกษาคุณภาพผิวชิ้นงานที่พารามิเตอร์การกัด ที่ให้ผลต่อความเรียบผิวของวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือเกรด NAK80 โดยปรับเปลี่ยนวิธีการป้อนกัดและอัตราป้อน เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในงานอุตสาหกรรมการผลิตชุดโมลด์ที่เกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไป

### 2. วิธีการวิจัย

#### 2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

การทดลองการกัดวัสดุเหล็กกล้าแม่พิมพ์ด้วยเครื่องกัดแบบ CNC ยี่ห้อ Emco Tronics รุ่น VMC-200 เป็นเทคโนโลยีจากประเทศออสเตรเลีย สำหรับการวัดค่าความเรียบผิวทดสอบด้วยเครื่องวัดความเรียบผิว ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น Surfetest 301 เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ได้จากชิ้นงานทดลอง

#### 2.2 วัสดุชิ้นงาน

วัสดุชิ้นงานทดลองเป็นเหล็กกล้าเครื่องมือแม่พิมพ์พลาสติกที่ใช้มีค่าความแข็งสูงชนิด DAIDO-NAK80 ซึ่งเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมโมลด์พลาสติก ที่สั่งซื้อจากบริษัทกรุงเทพเหล็กกล้าจำกัดซึ่งมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 1 โดยใช้วัสดุมีดกัดเป็นเหล็กกล้ารอบสูงชนิด High Speed Steel แบบ End Mill ชนิด 2 คมตัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร หล่อลิ้นด้วยสารหล่อลิ้นชนิดโซลูเบิลออยล์ (Soluble Oil)

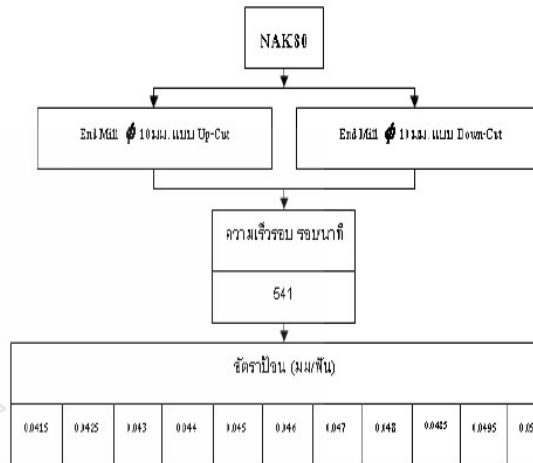
#### 2.3 วิธีดำเนินการทดลอง

การกำหนดขนาดของชิ้นงานในการทดลองนี้ เพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับเครื่องวัดความเรียบผิว จึงได้กำหนดให้มีขนาดความกว้าง  $30 \pm 0.5$  มม. ความยาว  $30 \pm 0.5$  มม. และความสูง  $12 \pm 0.5$  มิลลิเมตร จำนวน 33 ชิ้น โดยแบ่งออกเป็น 22 กรณีจะ 3





ผิวงาน โดยการนำชิ้นงานไปผ่านกระบวนการกัดด้านข้างและลึกข้างละ 10 มิลลิเมตร ก่อนนำไปกัดจริงตามขนาดที่ตั้งแสดงในภาพที่ 2 จากนั้นนำค่าที่ได้มาเฉลี่ยเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ผิวเฉลี่ย (Surface Roughness : Ra ) สำหรับวิธีการกัดจะกัดแบบกัดสวน (Up - Cut) และกัดตาม (Down-Cut) โดยจะกัดเป็นร่องที่มีความลึกครั้งละ 1 มิลลิเมตร จนได้ความลึก 10 มิลลิเมตร ซึ่งจะต้องใช้อัตราป้อน(Feed rate) ที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2



ตารางที่ 1 คุณสมบัติวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือเกรด NAK80

คุณสมบัติ	หน่วยวัด	ระดับค่า
Tensile Strength	Psi	183,400
Yield Strength	Psi	147,600
Reduction of Area	%	41.9
Elongation in 2" (longitudinal) %		16.1
Modulus of Elasticity	9.00	30.0 x 10 <sup>6</sup>
Hardness	HRC	40.0

รูปที่ 2 แผนผังวิธีการทดลอง

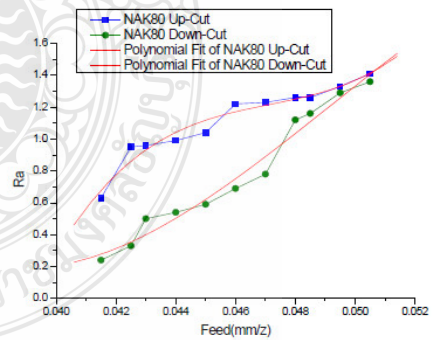
ตารางที่ 2 พารามิเตอร์และเงื่อนไขการทดลอง

พารามิเตอร์	หน่วยวัด	ระดับค่า
ความเร็วรอบ	Rpm	541
ทิศทางป้อนกัด	-	Up-cut
	-	Down-cut
อัตราป้อน	mm/z	0.0415-0.0505
ขนาดมีดกัด	mm	10.0
จำนวนคมตัด	z	2.0
เครื่องกัด	Emco tronics	VMC-200
สารหล่อเย็น	-	Soluble oil
ความลึกการกัด	mm	10.0
ระยะการกัด	mm	1.0
ขนาดชิ้นงาน	mm	30x30x12

3.ผลการทดลอง(Results)

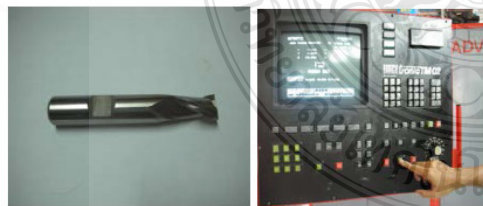
3.1 ผลอัตราป้อน(Feed rate)

การทดลองการกัดวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือแม่พิมพ์พลาสติก NAK80 ด้วยมีดกัด End mill ชนิด 2 คมตัด(ฟัน)ด้วยการกัดด้วยคมตัดปลายมีดกัด และด้านข้างมีดกัด โดยวิธีการกัดแบบ Up-cut และ Down-cut ที่ระดับอัตราป้อนกัด 0.0415 มม/ฟัน ถึง 0.0505 มม/ฟัน ดังแสดงรายละเอียดความสัมพันธ์ดังรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบผลความเรียบผิวการกัดด้วยด้านข้างมีดกัด ของเหล็กกล้าเครื่องมือ NAK80

จากที่ทำการทดสอบเหล็กกล้าเครื่องมือเกรด NAK80 กัดด้วยด้านข้างมีดกัดได้ผลค่าความเรียบผิวเฉลี่ย (Ra) ดังรูปที่ 3 เป็นการเปรียบเทียบผลการกัดด้วยด้านข้างมีดกัด วัสดุของเหล็กกล้าเครื่องมือ NAK80 ที่ระดับอัตราป้อนต่างๆ พบว่ากรณีที่ให้ค่าความเรียบผิวเรียบที่สุดคือ กรณีที่ 12 (อัตราป้อน 0.0415 มม/ฟัน) โดยวิธีการกัดแบบ Down-cut และมีค่าความเรียบผิวมากที่สุด



ก) ชนิดมีดกัด End mill

ข) ชุดเครื่องกัด CNC



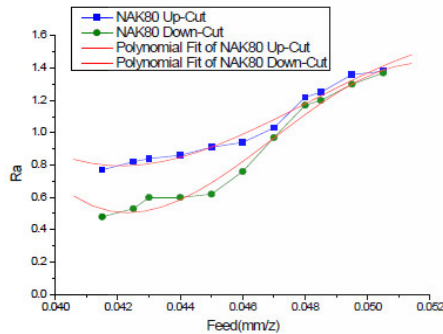
ค) เครื่องวัดความเรียบ

ง) การวัดความเรียบผิว

รูปที่ 1 ลักษณะรูปแบบการทดลอง



มีค่าเท่ากับ  $0.24 \mu\text{m}$  ทั้งนี้ผลการทดลองพบว่าความสัมพันธ์แปรผกผันกล่าวคือค่าความหยาบผิวงานจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราป้อนสูงขึ้นตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าอัตราป้อนมีผลต่อความเรียบผิว (Ra) ของชิ้นงาน

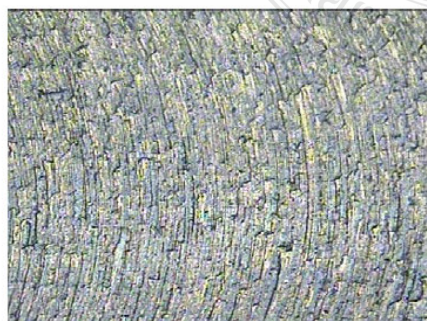


รูปที่ 4 การเปรียบเทียบความเรียบผิวการกัดด้วยปลายมีดกัดของเหล็กกล้าเครื่องมือ NAK80

จากที่ทำการทดสอบเหล็กกล้าเครื่องมือเกรด NAK80 กัดด้วยด้านข้างมีดกัดได้ผลค่าความเรียบผิวเฉลี่ย (Ra) ดังรูปที่ 4 เป็นการเปรียบเทียบผลการกัดด้วยด้านข้าง ของมีดกัดวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ NAK80 ที่ค่าระดับอัตราป้อนต่างๆ พบว่ากรณีที่ให้ค่าความเรียบผิวเรียบที่สุดคือ กรณีที่ 12 (อัตราป้อน  $0.0415 \text{ มม./ฟีน}$ ) โดยวิธีการกัดแบบ Down-Cut และมีค่าความเรียบผิวมากที่สุดมีค่าเท่ากับ  $0.48 \mu\text{m}$  ทั้งนี้ผลการทดลองพบว่าอัตราป้อนให้ความสัมพันธ์แปรผกผันกล่าวคือ ค่าความหยาบผิวงานจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราป้อนสูงขึ้น ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าอัตราป้อนมีผลต่อความเรียบผิว (Ra) ของชิ้นงาน

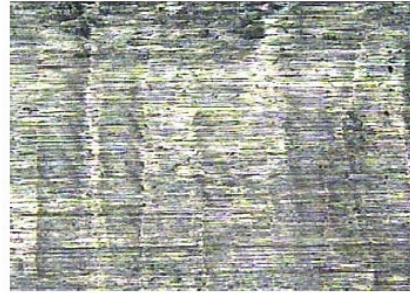
**3.2 ผลความเรียบผิวเฉลี่ย(Surface roughness)**

1) ค่าความเรียบผิว(Ra)เฉลี่ยชิ้นงานทดลองที่ผ่านกระบวนการกัดด้วยปลายมีดกัด โดยวิธีการกัดแบบ Up-cut มีค่าความเรียบผิว  $0.77 \mu\text{m}$  ที่อัตราป้อน  $0.0415 \text{ มม./ฟีน}$  ดังแสดงรูปที่ 5



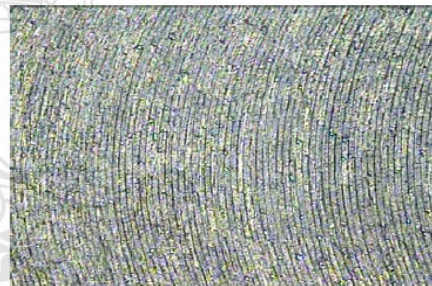
รูปที่ 5 ความเรียบผิวกัดด้วยปลายมีดกัดแบบ Up-cut

2) ค่าความเรียบผิว (Ra) เฉลี่ย ชิ้นงานทดลองที่ผ่านการกัดด้วยด้านข้างของมีดกัด โดยวิธีการกัดแบบ Up-cut มีค่าความหยาบผิว  $0.63 \mu\text{m}$  ที่อัตราป้อน  $0.0415 \text{ มม./ฟีน}$  ดังแสดงภาพที่ 6



รูปที่ 6 ความเรียบผิวกัดด้านข้างมีดกัดแบบ Up-cut

3) ค่าความเรียบผิว (Ra) เฉลี่ย ของชิ้นงานทดลองที่ผ่านกระบวนการกัดด้วยปลายของมีดกัด โดยวิธีการกัดแบบ Down-cut มีค่าความหยาบผิว  $0.48 \mu\text{m}$  ที่อัตราป้อน  $0.0415 \text{ มม./ฟีน}$  ดังแสดงภาพที่ 7



รูปที่ 7 ความเรียบผิวกัดด้วยปลายมีดกัดแบบ Down -cut

4) ค่าความเรียบผิว (Ra) เฉลี่ย ของชิ้นงานทดลองที่ผ่านกระบวนการกัดด้วยด้านข้างของมีดกัด โดยวิธีการกัดแบบ Down-cut มีค่าความหยาบผิว  $0.24 \mu\text{m}$  ที่อัตราป้อน  $0.0415 \text{ มม./ฟีน}$  ดังแสดงรูปที่ 8



รูปที่ 8 ความเรียบผิวกัดด้านข้างแบบ Down -cut





#### 4. อภิปรายผล

วัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือเกรดNAK80 เป็นวัสดุที่ใช้ผลิตโมลด์พลาสติก จากการทดสอบภายใต้เงื่อนไขที่ความเร็วรอบคงที่ 541 รอบ/นาที ด้วยมีดกัด End Mill ชนิด 2 คมตัด ขนาด  $\phi$  10 มม. ที่อัตราป้อนกัด 0.0415 - 0.0505 มม./ฟัน

1) วิธีการป้อนกัด แบบ Up-cut เมื่อผ่านการทดสอบภายใต้เงื่อนไขดังกล่าว พบว่าจะได้ผิวเรียบผิวที่หยาบกว่าการกัดแบบ Down-cut เพราะความหนาของเศษ และความดันในการตัดเฉือนจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆที่พื้นมีดกัด ซึ่งทำให้ผิวที่ได้จะมีความหยาบสูง และความหยาบผิวจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออัตราป้อนกัดเพิ่มขึ้นด้วย แต่วิธีการป้อนกัด แบบ Up-cut มีข้อดีสำหรับ งานที่ไม่ต้องการความเรียบผิวที่สูงมาก ซึ่งเหมาะกับการกัดหยาบในขั้นตอนแรกของกระบวนการ

2) วิธีการป้อนกัด แบบ Down-cut เมื่อผ่านการทดสอบภายใต้เงื่อนไขดังกล่าวจะได้คุณภาพผิวที่เรียบและดีว่าการกัดแบบ Up-cut เพราะวาลักษณะการเกิดเศษจะตรงกันข้ามกับแบบ Up-cut เนื่องจากเศษจะมีขนาดบางกว่าและความดันตัดเฉือนมีน้อยกว่าแบบ Up-Cut จึงทำให้ผิวที่ได้จากการกัดแบบ Down- Cut มีความเรียบผิวที่ดีกว่า

3)จากการทดสอบให้ผลการทดลองเป็นที่น่าสนใจว่า เหล็กกล้าเครื่องมือเกรด NAK80 ให้ค่าความเรียบผิวที่ดีที่สุดโดยผ่านวิธีการกัดแบบ Down-Cut ทั้งสิ้น แต่ค่าความหยาบผิวจะเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราป้อน(Feed rate)เพิ่มมากขึ้น ซึ่งนั่นหมายถึงองค์ประกอบหลายปัจจัยมีผลต่อความเรียบผิวด้วย เช่น วิธีที่ใช้ในการป้อนกัด อัตราป้อนกัด วัสดุที่ใช้ทดสอบ ความลึกในการกัด เป็นต้น และผลการทดสอบที่ได้จะเป็นตัวช่วยในการใช้งานจริงต่อไป

#### 5. สรุปผล

การทดสอบคุณภาพความเรียบผิว ของวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือเกรด NAK80 เป็นการศึกษาด้านพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการกัดผิวชิ้นงานที่ใช้ในการทำโมลด์ และเพื่อศึกษาเปรียบเทียบวิธีการป้อนกัดที่ให้ผลกับพื้นผิวสำเร็จ ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) ค่าความเรียบผิวเฉลี่ย 0.48  $\mu m$  ได้จากการกัดด้วยปลายมีดกัด ที่อัตราป้อน 0.0415 มม./ฟัน ความเร็วรอบคงที่ 541 รอบ/นาที โดยวิธีการกัดแบบ Down-Cut มีผลให้กรณีนี้ 12 ของเหล็กกล้าเครื่องมือ NAK80 มีค่าความเรียบผิวเรียบที่สุด

2) ค่าความเรียบผิวเฉลี่ย 0.24  $\mu m$  ได้จากการกัดด้วยด้านข้างมีดกัด ที่อัตราป้อน 0.0415 มม./ฟัน ความเร็วรอบคงที่ 541 รอบ/นาที โดยวิธีการกัดแบบ Down-cut มีผลให้กรณีนี้ 12 ของเหล็กกล้าเครื่องมือ NAK80 มีค่าความเรียบผิวเรียบที่สุด

#### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชัย จันทร์มณี ที่ให้คำแนะนำ ปรีกษา และขอขอบคุณ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัยในครั้งนี้

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] กุศล พร้อมมูล, 2545. การหาเงื่อนไขการตัดไม้ที่เหมาะสมของใบมีดPCD.ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [2] บรรเลง ตรนิล, ประเสริฐ กิวยสมบูรณ์, 2524. ตารางงานโลหะ. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [3] Abbas Fadhel Ibraheem, Saad Kareem Shather,Kasim A. Khalaf,2008. Prediction of cutting forces by using machine parameters in end milling process. Engineering and Technology. Vol.26.No.11.
- [4] K. Kadirgama, K. A. Abou-El-Hossein, B. Mohammad, M. M. Noor and S. M. Sapuan. 2008.Prediction of tool life by statistic method in end-milling operation. Scientific Research and Essay. Vol. 3 (5), pp. 180-186.
- [5] K.A. Abou-El-Hossein, K. Kadirgama, M. Hamdi, K.Y. Benyounis. 2007.Prediction of cutting force in end-milling operation of modified AISI P20 tool steel. Journal of Materials Processing Technology.182 ,241-247.
- [6] P. Koshy, R.C. Dewes, D.K. Aspinwall. 2002. High speed end milling of hardened AISI D2 tool steel (58 HRC). Journal of Materials Processing Technology. 127, 266-273

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายบรรจง เฟื่องฟู
วัน เดือน ปีเกิด	11 ธันวาคม พ.ศ. 2496
ที่อยู่	263/119 หมู่ 3 ต.หนองผึ้ง อ.สารภี จ.เชียงใหม่
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
ประสบการณ์การทำงาน	อาจารย์ประจำแผนกช่างเชื่อมโลหะ วิทยาลัยเทคนิคลำพูน อาจารย์ประจำแผนกช่างเชื่อมโลหะ วิทยาลัยเทคนิคสมุทรสาคร
พ.ศ. 2536	
พ.ศ. 2539 - 2541	
พ.ศ. 2542 - ปัจจุบัน	

