

การศึกษาอิทธิพลของไนโตรเจนเหลวที่มีผลต่อสมบัติงานกลึง  
เหล็กกล้าไร้สนิม SUS420

STUDY ON THE INFLUENCE OF LIQUID NITROGEN ON  
MACHINABILITY IN TURNING PROCESS OF SUS420 STAINLESS  
STEEL

ธีรศักดิ์ โทณสังข์อินทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ปีการศึกษา 2562  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



การศึกษาอิทธิพลของไนโตรเจนเหลวที่มีผลต่อสมบัติงานกลึง

เหล็กกล้าไร้สนิม SUS420

ธีรศักดิ์ โทนสังข์อินทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี


ปีการศึกษา 2562

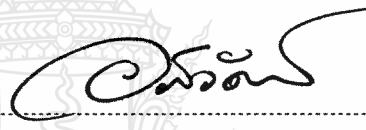
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาอิทธิพลของไนโตรเจนเหลวที่มีผลต่อสมบัติงานกลึงเหล็กกล้าไร้  
สนิม SUS420  
Study on the Influence of Liquid Nitrogen on Machinability in  
Turning Process of SUS420 Stainless Steel


ชื่อ - นามสกุล นายธีรศักดิ์ โทณสังข์อินทร์  
สาขาวิชา วิศวกรรมการผลิต  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยยะ ปราณีตพลกรัง, D.Eng.  
ปีการศึกษา 2562

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ศิริชัย ต่อสกุล, Dr.-Ing.)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อภิวัฒน์ มุฑามาระ, D.Eng.)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยยะ ปราณีตพลกรัง, D.Eng.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)  
วันที่ 4 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2563

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาอิทธิพลของไนโตรเจนเหลวที่มีผลต่อสมบัติงานกลึง เหล็กกล้าไร้สนิม SUS420
ชื่อ - นามสกุล	นายธีรศักดิ์ โทณสังข์อินทร์
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยยะ ปราณีตพลกรัง, D.Eng.
ปีการศึกษา	2562

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของการหล่อเย็นและหล่อเย็นด้วยไนโตรเจนเหลวในกระบวนการตัดเฉือนวัสดุประเภทงานกลึง ซึ่งมุ่งเน้นในการลดอุณหภูมิในการตัดเฉือนเนื่องจากเป็นสาเหตุหลักของกลไกการสึกหรอของเครื่องมือตัดและเพื่อช่วยลดความเป็นพิษของสารหล่อเย็นต่อสิ่งแวดล้อม โดยทำการฉีดพ่นไนโตรเจนเหลวไปที่ปลายคมตัดของเครื่องมือตัดด้วยแรงดันขนาด 2 บาร์ ในกระบวนการตัดเฉือนเหล็กกล้าไร้สนิม SUS420 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร

ในการทดลองความเร็วตัดและอัตราป้อนตัดถูกกำหนดปัจจัยละ 3 สภาวะ ที่ 60, 120, และ 180 เมตรต่อนาที และ 0.07, 0.14, และ 0.21 มิลลิเมตรต่อรอบ ตามลำดับ ความลึกป้อนตัดและระยะทางในการตัดเฉือนถูกกำหนดที่ 1 มิลลิเมตร และ 1,500 มิลลิเมตร ตามลำดับ งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อตรวจสอบการสึกหรอของเครื่องมือตัด ความหยาบผิวของชิ้นงาน แรงในการตัดเฉือน และอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการตัดเฉือนแบบไม่ใช้สารหล่อเย็น แบบใช้สารหล่อเย็น และแบบใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นสารหล่อเย็นในกระบวนการตัดเฉือน

จากผลการทดลองพบว่า การหล่อเย็นด้วยไนโตรเจนเหลวให้ค่าเฉลี่ยความหยาบผิวของชิ้นงานและการสึกหรอของเครื่องมือตัดมีค่าน้อยที่สุดที่ 1.56 และ 40.65 ไมโครเมตร ตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการตัดเฉือนของสารหล่อเย็นแบบไนโตรเจนมีค่าต่ำที่สุด จึงส่งผลให้ความหยาบผิวของชิ้นงานและการสึกหรอของเครื่องมือตัดลดต่ำตามไปด้วย นอกจากนี้ผลการทดลองในเรื่องการวัดแรงในการตัดเฉือน พบว่า กระบวนการตัดเฉือนที่ใช้สารหล่อเย็นแบบไนโตรเจนมีแรงในการตัดเฉือนมากกว่าแบบใช้สารหล่อเย็นแต่น้อยกว่าแบบไม่ใช้สารหล่อเย็น ทั้งนี้เนื่องจากไนโตรเจนลดอุณหภูมิวัสดุชิ้นงานจนต่ำกว่าจุดเยือกแข็งจึงทำให้วัสดุมีความเหนียวลดลงแต่มีความเปราะสูงซึ่งส่งผลให้แรงในการตัดเฉือนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสารหล่อเย็นแบบอื่น

**คำสำคัญ:** ไนโตรเจนเหลว ความหยาบผิว การสึกหรอของเครื่องมือตัด แรงในการตัดเฉือน

<b>Thesis Title</b>	Study on the Influence of Liquid Nitrogen on Machinability in Turning Process of SUS420 Stainless Steel
<b>Name – Surname</b>	Mr. Thirasak Tonsangin
<b>Program</b>	Manufacturing Engineering
<b>Thesis Advisor</b>	Assistant Professor Chaiya Praneetpong, D.Eng.
<b>Academic Year</b>	2019

## ABSTRACT

The research aims were: 1) to study the influence of liquid nitrogen in terms of cutting fluids for the metal cutting processes applied in order to reduce a cutting temperature that is a key factor in wear mechanism of the cutting tools, and 2) to minimize toxin on environment created by the cutting fluids. The liquid nitrogen was applied in the turning processes of the SUS420 stainless steels, which is available with the diameter of 25 mm, with a pressure of 2 bars.

The experiments were conducted using three levels of the cutting speed and feed rate at 60, 120, and 180 m/min, and 0.07, 0.14, and 0.21 mm/rev, respectively. Moreover, the depth of cut and cutting range were set at 1 mm and 1,500 mm. The output parameters were the wear of the cutting tools, surface roughness of the work piece, cutting force and cutting temperature of the cutting processes with and without cutting fluids, and with liquid nitrogen as the cutting fluids in the cutting processes.

The experimental findings indicated that using liquid nitrogen as cutting fluid provided the lowest surface roughness and wear of the cutting tools in average at 1.56 and 40.65 micron, respectively. Since the cutting temperature in the cutting processes using liquid nitrogen as the cutting fluid was the lowest, this would also decrease the surface roughness and wear of the cutting tools. Moreover, using the liquid nitrogen resulted in a higher cutting force in comparison to a normal cutting fluid, but lower than the dry cutting processes. The liquid nitrogen could lower the temperature of the work piece materials to below the freezing point which resulted in decrease of toughness but increase of hardness in work piece materials. According to this, a higher

cutting force was required in order to accomplish the cutting processes in comparison to other cutting fluids.

**Keywords:** liquid nitrogen, surface roughness, wear of the cutting tools, cutting force



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความอนุเคราะห์เป็นอย่างดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัย ยะ ปราณิตพลกรัง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล ประธาน กรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงษ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำชี้แจง ตลอดจนช่วยเหลือและแก้ไข ข้อบกพร่อง เพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้ มีความสมบูรณ์ทางผู้จัดทำวิทยานิพนธ์จึง ขอกราบขอบพระคุณเป็น อย่างสูงมาไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้แก่ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ใน สาขา วิศวกรรมการผลิต ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มทร.ธัญบุรีที่อนุเคราะห์เครื่องมือใน การทดสอบ ทางด้านเครื่องมือเครื่องจักรสำหรับศึกษางานวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา ผู้ที่ให้ความรักและเป็นกำลังใจในการเรียน การศึกษาใน ระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลธัญบุรี จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ธีรศักดิ์ โทณสังข์อินทร์



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(7)
สารบัญตาราง.....	(9)
สารบัญภาพ.....	(10)
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 งานกลึง.....	5
2.2 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel).....	8
2.3 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420.....	11
2.4 สมบัติของวัสดุเครื่องมือตัด.....	12
2.5 ประเภทการสึกหรอของเครื่องมือตัด.....	14
2.6 ลักษณะการคายเศษตัด.....	17
2.7 ไนโตรเจนเหลว.....	20
2.8 ความหยาบของผิว.....	22
2.9 ไดนาโมมิเตอร์.....	26
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
2.11 สรุปแนวคิดของงานวิจัยนี้.....	32
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	34
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	35

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 วัสดุเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง.....	36
3.3 การออกแบบการทดลอง.....	42
3.4 วิธีการทดลอง .....	42
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	51
4.1 ผลการทดลอง.....	51
4.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบการหล่อเย็นทั้ง 3 แบบ .....	58
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....	66
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	66
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	66
บรรณานุกรม.....	67
ภาคผนวก.....	71
ภาคผนวก ก .....	72
ภาคผนวก ข .....	101
ประวัติผู้เขียน .....	110



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความหยาบทางคณิต.....	23
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ที่ใช้ในการทดลอง.....	36
ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติจำเพาะน้ำมันหล่อเย็นในการตัดเปียก.....	37
ตารางที่ 3.3 แสดงค่าตัวแปรใช้ในการทดลอง.....	42
ตารางที่ 3.4 แสดงค่าความเร็วรอบ ความเร็วตัดที่ใช้งาน.....	45
ตารางที่ 3.5 ตารางแสดงบันทึกค่าความหยาบผิวเฉลี่ยที่อัตราป้อน 3 ระดับ .....	46
ตารางที่ 3.6 ตารางแสดงบันทึกค่าความหยาบผิวเฉลี่ยที่อัตราป้อน 3 ระดับ.....	48
ตารางที่ 3.7 ตารางแสดงบันทึกค่าความหยาบผิวเฉลี่ยที่ปริมาณไนโตรเจน.....	48
ตารางที่ 3.8 ตารางแสดงบันทึกค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเปรียบเทียบวิธีหล่อเย็น 3 แบบ.....	49
ตารางที่ 3.9 ตารางแสดงบันทึกค่าการสึกหรอของมีดตัดเปรียบเทียบวิธีหล่อเย็น 3 แบบ.....	50



## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงการทำงานด้วยวิธีหล่อเย็นแบบไนโตรเจนเหลว.....	2
รูปที่ 1.2 ส่วนประกอบของถังบรรจุไนโตรเจนเหลว.....	2
รูปที่ 2.1 กระบวนการของการกลึงปาดหน้า .....	5
รูปที่ 2.2 กระบวนการของการกลึงปอก .....	6
ภาพที่ 2.3 ปัจจัยที่สำคัญทั้งหมดที่ใช้งานกลึงปอกด้วยมีดกลึงอินเสิร์ต.....	7
รูปที่ 2.4 ลักษณะของการคายเศษกลึง .....	8
รูปที่ 2.5 ขนาดโครงสร้างทางโลหะวิทยาของเครื่องมือคมตัดชนิดคาร์ไบด์.....	13
รูปที่ 2.6 อิทธิพลของ WC และ CO ที่มีต่อสมบัติทางกลของซีเมนต์คาร์ไบด์.....	13
รูปที่ 2.7 อิทธิพลของขนาดเกรนต่อความแข็งและความเหนียวของซีเมนต์คาร์ไบด์.....	14
รูปที่ 2.8 แสดงบริเวณของการเกิดการสึกหรอของคมตัด .....	15
รูปที่ 2.9 ประเภทการสึกหรอของเครื่องมือคมตัด.....	15
รูปที่ 2.10 รูปแบบการสึกหรอตามของเครื่องมือคาร์ไบด์ตามมาตรฐาน ISO 3685-1977 .....	17
รูปที่ 2.11 ลักษณะต่างๆของการเกิดเศษตัด 3 แบบ.....	18
รูปที่ 2.12 การจำแนกประเภทของรูปแบบเศษตัดตามมาตรฐาน ISO 3685-1977 .....	19
รูปที่ 2.13 การจำแนกประเภทของประเภทเศษตัด .....	20
รูปที่ 2.14 กระบวนการผลิตไนโตรเจนเหลว.....	22
รูปที่ 2.15 การติดตั้งการหล่อเย็นแบบใช้คาร์บอนไดออกไซด์.....	22
รูปที่ 2.16 การวัดความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต (Roughness average: Ra).....	24
รูปที่ 2.17 ความหยาบผิวที่เกิดจากส่วนของรัศมีของปลายคมตัด.....	25
รูปที่ 2.18 ภาพแสดงสมการของอัตราป้อนที่มีอิทธิพลต่อความหยาบผิว .....	25
รูปที่ 2.19 องค์ประกอบความไม่ราบเรียบบนพื้นผิว.....	25
รูปที่ 2.20 ไดนาโมมิเตอร์แบบวัดแรงตัดชนิด Piezoelectric 3 แกน.....	26
รูปที่ 2.21 การกำหนดค่าของแรงที่ใช้ในการทดสอบ .....	27
รูปที่ 2.22 การกำหนดช่วงเวลาของการทดสอบ .....	28
รูปที่ 2.23 การกำหนดสภาวะเงื่อนไขในการตัดเฉือน.....	28

## สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.24 การกำหนดจำนวนของแรงที่จะแสดงผล.....	29
รูปที่ 2.25 แสดงการเริ่มทำการตัดเฉือน โดยการกดปุ่ม GO.....	29
รูปที่ 2.26 แสดงแรงที่ได้จากการตัดเฉือน.....	30
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลอง.....	35
รูปที่ 3.2 แสดงชิ้นงานทดลอง เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420.....	36
รูปที่ 3.3 ชนิดของเม็ดมีดที่ใช้ในการทดลอง.....	37
รูปที่ 3.4 แสดงน้ำยาหล่อเย็นที่ใช้ในการทดลอง.....	38
รูปที่ 3.5 ชุดไดนาโมมิเตอร์แบบวัดแรง 3 แกน.....	38
รูปที่ 3.6 แสดงเครื่องกลึงซีเอ็นซี (CNC Lath) ที่ใช้ในการทดลอง.....	39
รูปที่ 3.7 แสดงด้ามจับเม็ดมีดกลึงที่ใช้จับเม็ดมีด.....	39
รูปที่ 3.8 แสดงเครื่องวัดความหยาบผิว.....	40
รูปที่ 3.9 แสดงกล้องจุลทรรศน์.....	40
รูปที่ 3.10 แสดงภาพเครื่องวัดอุณหภูมิ.....	41
รูปที่ 3.11 การติดตั้งถังแรงดันสำหรับไนโตรเจนเหลว.....	41
รูปที่ 3.12 แสดงการจับยึดชิ้นงานก่อนทำการกลึง.....	43
รูปที่ 3.13 แสดงการติดตั้งชุดอุปกรณ์หล่อเย็นแบบไนโตรเจน.....	43
รูปที่ 3.14 แสดงการจับยึดมีดกลึงและท่อส่งไนโตรเจน.....	44
รูปที่ 3.15 แสดงการทดลองด้วยวิธีหล่อเย็นแบบไนโตรเจนเหลว.....	45
รูปที่ 3.16 แสดงการวัดค่าความหยาบผิวชิ้นงาน ด้วย Mitutoyo Surf test SJ – 310.....	46
รูปที่ 3.17 แสดงการวัดค่าสึกหรอ Tool ด้วย กล้อง Microscope.....	47
รูปที่ 3.18 แสดงการวัดแรงในขณะการตัดเฉือน.....	48
รูปที่ 3.19 แสดงการทดลองด้วยวิธีหล่อเย็นแบบเปียก.....	49
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีด และความหยาบผิวชิ้นงานของการหล่อเย็นแบบ โครโยจีนิก.....	52
รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีด และความหยาบผิวชิ้นงานของการหล่อเย็นแบบแห้ง ...	52

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีด และความหยาบผิวชิ้นงานของการหล่อเย็นแบบเปียก .....	53
รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีด และแรงตัดเฉือนของการหล่อเย็นแบบโครโยจินิก.....	55
รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีด และแรงตัดเฉือนของการหล่อเย็นแบบแห้ง.....	56
รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีด และแรงตัดเฉือนของการหล่อเย็นแบบเปียก.....	57
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีด และความหยาบผิวชิ้นงานของการหล่อเย็นทั้ง 3 แบบ ที่ความเร็วตัด 60 มิลลิเมตร/นาที .....	59
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีด และแรงตัดเฉือนของการหล่อเย็นทั้ง 3 แบบ ที่ความเร็วตัด 60 มิลลิเมตร/นาที .....	60
รูปที่ 4.9 แสดงการสึกหรอการกลึงแบบไม่ใช้สารหล่อเย็น.....	60
รูปที่ 4.10 แสดงการสึกหรอการกลึงแบบใช้สารหล่อเย็น.....	61
รูปที่ 4.11 แสดงการสึกหรอการกลึงแบบใช้โครโยจินิกทำการหล่อเย็น.....	62
รูปที่ 4.12 แสดงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นของการหล่อเย็นทั้ง 3 สาร.....	62
รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะเศษตัดในการตัดแบบไม่ใช้สารหล่อเย็น.....	64
รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะเศษตัดในการตัดแบบใช้สารหล่อเย็น .....	64
รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะเศษตัดในการตัดแบบการหล่อเย็นแบบโครโยจินิก.....	65

# บทที่ 1

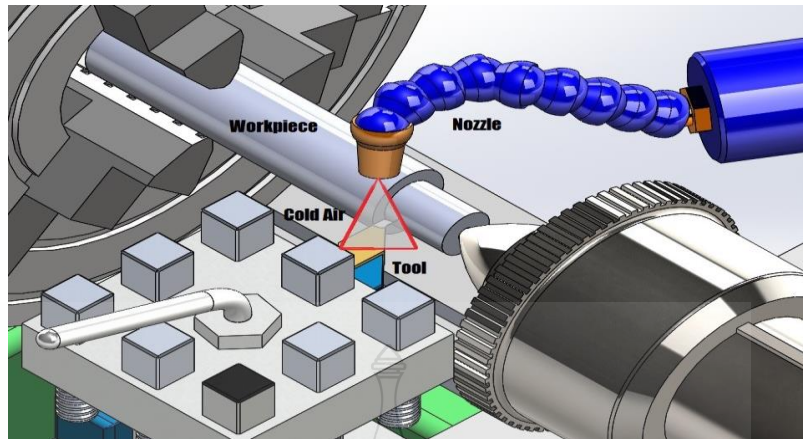
## บทนำ

### 1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตทั้งในไทยและต่างประเทศได้มีการขยายการผลิตไปอย่างกว้างขวางเพื่อตอบสนองความต้องการของตลาด จึงมีการแข่งขันในด้านการตลาดกันอย่างมาก แต่ยังมีทางเลือกในการซื้อเข้ามา ทำให้สินค้าส่งออกลดน้อยลง จึงมีการแข่งขันด้านราคาสินค้า เพื่อรักษาสมดุลขององค์กรเพื่อไม่ให้ปิดตัวลง ทำให้แต่ละองค์กรคิดกลยุทธ์ต่างๆ ที่จะลดราคาสินค้าลงมา ทั้งที่ต้นทุนการผลิตยังคงสูง ต้นทุนการผลิตจึงเป็นปัญหาต่อมาที่ทีมวิศวกรต้องคิด วิเคราะห์ ให้ได้ผลผลิตเท่าเดิม แต่ต้นทุนลดลงเช่น งานตัดเฉือนในการผลิตชิ้นส่วนที่มีจำนวนมาก ที่มีทั้งความแข็ง เหนียว ทำให้ยากต่อการตัดเฉือน ทำให้เกิดปัญหาตามมาเช่น การสึกหรอของเครื่องมือตัด ความเรียบของผิวชิ้นงาน โครงสร้างทางจุลภาคและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ล้วนเป็นปัญหาทั้งสิ้น ทำให้ต้องตรวจเช็คบ่อยขึ้น ทำให้อัตราการผลิตลดลง ชิ้นงานที่ผลิตออกมามีค่าความเที่ยงตรงต่ำ จึงต้องคิดหาวิธีลดปัญหาต่างๆ เช่น การใช้สารหล่อเย็นให้เหมาะสมกับวัสดุหรือเลือกเครื่องมือตัดให้เหมาะสมกับวัสดุชิ้นๆ แต่สารหล่อเย็นชนิดต่างๆ ใช้แล้วไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ทำได้เพียงบำบัดแล้วทิ้งลงแม่น้ำลำคลอง จึงทำให้น้ำเน่าเสีย นอกจากนี้ยังเป็นมลพิษทางอากาศอีกด้วย

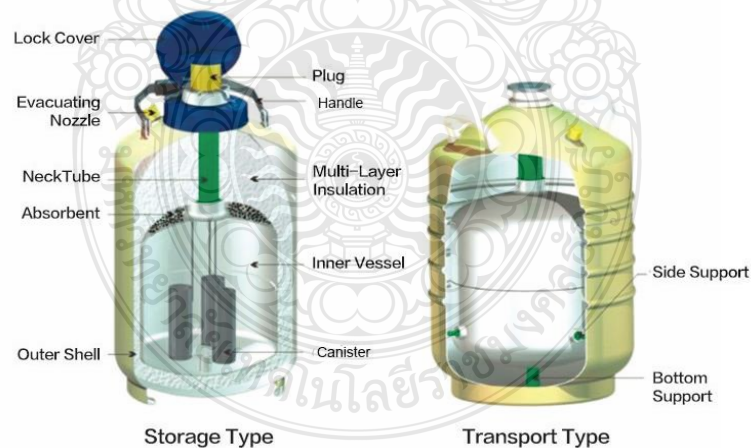
การหล่อเย็นการตัดเฉือนด้วยวิธีไครโอเจนิค (Cryogenic cooling) เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในงานตัดเฉือนวัสดุต่างๆ เพราะอุณหภูมิที่ติดลบถึง 196 องศาเซลเซียส โดยเป็นการฉีดพ่นไปที่ปลายของเครื่องมือตัด สามารถช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้นขณะทำการตัดเฉือนของเครื่องมือตัดที่เกิดจากการเสียดสี การหล่อเย็นด้วยวิธีนี้ไม่เป็นพิษต่อผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อม เพราะใช้หล่อเย็นแล้วจะระเหยไปในชั้นบรรยากาศ วัสดุที่สามารถทนต่อการกัดกร่อนทางเคมีได้นั้น แน่นนอนว่าวัสดุชิ้นๆ ย่อมมีต้นทุนการผลิตสูงกว่าวัสดุทั่วไป หากไม่มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการตัดเฉือน สารหล่อเย็นไม่เหมาะสมกับวัสดุชิ้นๆ แน่นนอนว่าต้นทุนการผลิตย่อมสูงแน่นอน

อุตสาหกรรมการผลิตในปัจจุบันจึงหันมาใส่ใจเรื่องสิ่งแวดล้อมมากขึ้น (Green manufacturing) เนื่องจากเป็นข้อกำหนดของมาตรฐานการผลิต (ISO 14001) ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดการพัฒนาารูปแบบการหล่อเย็นแบบใหม่เพื่อลดต้นทุนและรักษาสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เช่นการหล่อเย็นแบบการใช้สารหล่อเย็นปริมาณน้อย (Minimum quantity Lubrication, MQL) การหล่อเย็นแบบไม่ใช้สารหล่อเย็น (Dry machining) การหล่อเย็นแบบไครโอเจนิค (Cryogenic cooling) [1,2] และการหล่อเย็นด้วยสารหล่อเย็น (Coolant) แสดงในภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 แสดงการทำงานด้วยวิธีหล่อเย็นแบบไนโตรเจนเหลว

การหล่อเย็นแบบไม่ใช้สารหล่อเย็นมีข้อดีคือวัสดุที่เป็นคมตัดจะต้องมีคุณสมบัติทนทานต่อการสึกหรอในการตัดเฉือนวัสดุที่แข็งมากๆ ได้ ซึ่งการพัฒนาวัสดุให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการต้องใช้ต้นทุนสูงและทำให้ราคามัดตัดมีราคาสูงตามไปด้วย ส่วนการหล่อเย็นแบบการใช้สารหล่อเย็นทำให้เกิดมลพิษทางน้ำ ดังนั้นการหล่อเย็นแบบใช้ไนโตรเจน จึงน่าจะเป็นทางเลือกในการหล่อเย็นงานตัดเฉือนโลหะในอนาคตอันใกล้



ภาพที่ 1.2 ส่วนประกอบของถังบรรจุไครโอเจนิก (ไนโตรเจนเหลว) [3]

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อภารกิจเหล็กกล้าไร้สนิม 420 ซึ่งมีส่วนผสมของโครเมียม 11 – 20% และมีโมลิบดีนัมเป็นส่วนผสมอยู่ประมาณ 0.2 - 1% ไม่มีนิกเกิล เหล็กกล้าไร้สนิม



ในกลุ่มนี้มีสมบัติพิเศษคือ มีความแข็งและทนการกัดกร่อนที่ดีมาก ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนและโครเมียมที่ผสมอยู่ว่ามีจำนวนมากหรือน้อย เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้มีอยู่หลายมาตรฐาน แต่ในที่นี้จะใช้มาตรฐาน AISI โดยปกติเหล็กกล้าไร้สนิมในกลุ่มนี้จะมีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.10 - 1.20% ในบางครั้งจำนวนโครเมียมที่มากเพียงพอและมีคาร์บอนเพียง 0.10% สามารถทำให้ได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์ 100% ความสามารถของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ทำให้มีความแข็งแรงสูงและทนการกัดกร่อนได้ดีหลังการชุบแข็ง แต่มีข้อเสียคือเชื่อมได้ยากและมักมีการแตกร้าวภายหลังการเชื่อมได้ โดยทั่วไปมักขึ้นรูปชิ้นงานกัดแต่งและแปรรูปเย็นก่อนการอบชุบแข็ง

ในที่นี้จะกล่าวถึงเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 โดยมีส่วนผสมของคาร์บอนไม่เกิน 0.15% โครเมียม 12.00 -14.00% เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้ จะใช้กับงานที่ต้องการความแข็งแรงของมาร์เทนไซต์เช่น สลักเกลียว แป้นเกลียว วาล์ว ไบมีด ตลับลูกปืน เครื่องมือแพทย์ ไบมีดตัดทางกล เป็นต้น เนื่องจากสามารถป้องกันการเกิดสนิมและทนการกัดกร่อนจากสิ่งต่างๆ ได้ดี และราคาไม่สูงใช้งานได้ทั่วไป จึงเป็นเกรดที่นิยมใช้กัน ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องกลึงซีเอ็นซีในการตัดเฉือนวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ในการทดลองนี้จะทำการพิจารณาวิธีการหล่อเย็น 3 วิธีได้แก่ การกลึงแบบแห้ง (Dry), แบบเปียก (Coolant) และ แบบโครโยจีนิก (ไนโตรเจนเหลว) องค์ประกอบในการตัดเฉือนประกอบไปด้วย อัตราป้อน แรงตัดและความเร็วตัด โดยแต่ละตัวแปรจะมี 3 ระดับโดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการตัดเฉือนที่มีผลกระทบต่อความหยาบผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 420 และการสึกหรอของมีดกลึง (Insert tool)

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาตัวแปรในการตัดเฉือนได้แก่ อัตราป้อน และความเร็วตัดที่แตกต่างกัน ที่มีผลต่อการสึกหรอของเครื่องมือตัด ความหยาบผิวของชิ้นงาน แรงในการตัดเฉือน และอุณหภูมิเกิดขึ้น

1.2.2 เพื่อศึกษาการสึกหรอของเครื่องมือตัด ความหยาบผิวของชิ้นงาน แรงในการตัดเฉือน และอุณหภูมิเกิดขึ้น โดยใช้วิธีการหล่อเย็นที่แตกต่างกันได้แก่ แบบไม่ใช้สารหล่อลื่น แบบใช้สารหล่อลื่น และแบบใช้โครโยจีนิก (ไนโตรเจนเหลว) เป็นสารหล่อลื่นในกระบวนการตัดเฉือน

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 วิธีการหล่อเย็น ได้แก่
  - 1.3.1.1 การหล่อเย็นแบบโครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว)
  - 1.3.1.2 การหล่อเย็นแบบเปียก
  - 1.3.1.3 การตัดแบบแห้ง
- 1.3.3 ตัวแปรในการตัดเฉือน ได้แก่
  - 1.3.2.1 วัสดุในการตัดเฉือน เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420
  - 1.3.2.2 อัตราป้อน 3 ระดับ คือ 0.07 0.14 และ 0.21 มิลลิเมตรต่อรอบ [1,4]
  - 1.3.2.3 ความเร็วตัด 3 ระดับ คือ 60, 120 และ 180 เมตรต่อนาที [1,4]
  - 1.3.2.4 ความลึกตัด 1 ระดับ คือ 1.0 มิลลิเมตร [1]
  - 1.3.2.5 มีดกลึงที่ใช้ Tungaloy รุ่น CNMG120408 - TM T9125
  - 1.3.2.6 เครื่องกลึง CNC รุ่น TURN450 EMCO
  - 1.3.2.7 เครื่องวัดความหยาบผิว Mitutoyo รุ่น Surf test SJ - 310
  - 1.3.2.8 กล้องติดตอไมโครสโคป Dino - Lite รุ่น DNC 2.0
  - 1.3.2.9 ไดนาโมมิเตอร์วัดแรงตัด KISTLER SN. 4464621 รุ่น 9257B
  - 1.3.2.10 ด้ามมีด ARNO รุ่น PCLN R/L 2525 M12
  - 1.3.2.11 น้ำยาหล่อเย็นยี่ห้อ ZERECL รุ่น BIO CUT No.4 BB
  - 1.3.2.12 Thermometer รุ่น NI CompactDAQ 9174
- 1.3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง
  - 1.3.3.1 ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย
  - 1.3.3.2 การสึกหรอของมีดกลึง
  - 1.3.3.3 แรงที่ใช้ในการตัดเฉือน

### 1.4 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทำให้ทราบถึงอิทธิพลของโครโยจินิก มีผลต่อคุณภาพผิวชิ้นงานและการสึกหรอของมีดกลึง
- 1.4.2 เป็นแนวทางในการเลือกใช้เงื่อนไขในการตัดเฉือน ได้แก่ อัตราป้อน ความเร็วตัดและความลึกในการตัดที่เหมาะสม
- 1.4.3 เป็นแนวทางในการประยุกต์นำวิธีการหล่อเย็นแบบโครโยจินิก ที่เป็นมิตรสิ่งแวดล้อมมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตในประเทศไทย

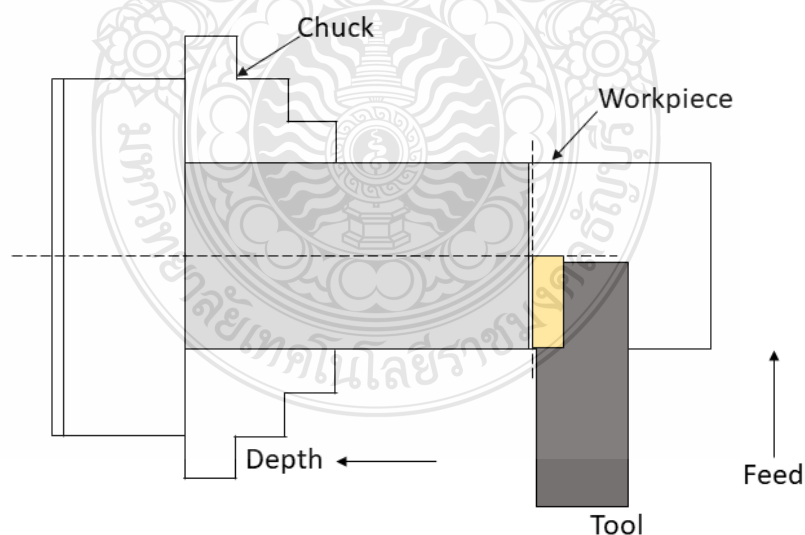
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ได้ศึกษาวิจัยเรื่องการศึกษารองงานกลึงโดยการหล่อเย็นแบบโครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว) ที่มีความสามารถในการหล่อเย็นได้ดีกว่าหรือใกล้เคียงกับการหล่อเย็นแบบทั่วไป ซึ่งในศึกษาอิทธิพลตัวแปรของไนโตรเจนที่มีผลต่อคุณภาพผิวชิ้นงานและการสึกหรอของมีดกลึง ในการกลึงเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ศึกษาค้นคว้าตำรา และงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการทำวิจัย อาทิเช่น เทคโนโลยีการตัดเฉือนโลหะ เครื่องมือ ความหยาบผิว งานวิจัยต่างๆ เพื่อให้เนื้อหาในบทสอดคล้องสัมพันธ์กับการทดลองซึ่งทฤษฎีต่างๆ เหล่านี้จะเป็นพื้นฐานที่ช่วยในการวิจัยนี้ให้สำเร็จไปได้

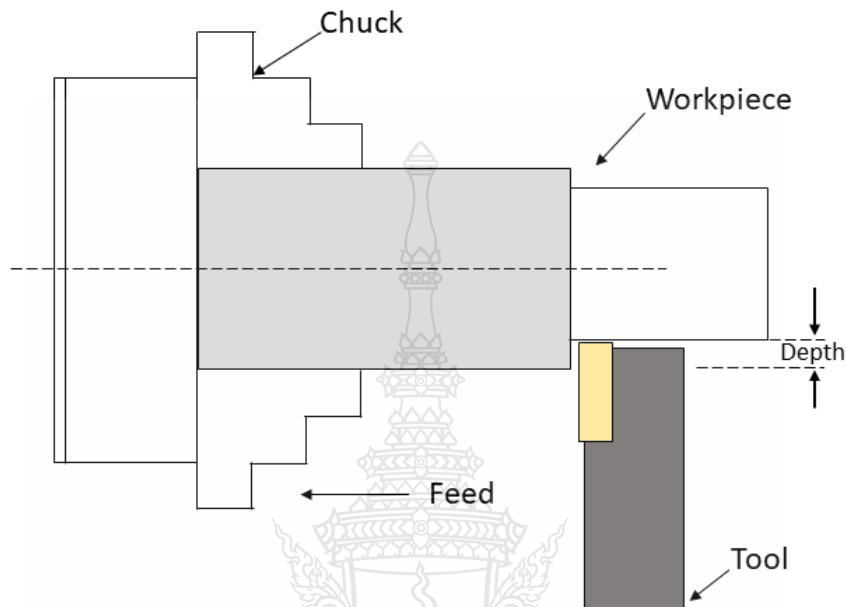
#### 2.1 งานกลึง [5]

งานกลึง คือ การตัดโลหะโดยให้ชิ้นงาน (work piece) หมุนรอบตัวเอง โดยมีมีดกลึงเคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงาน การกลึงสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือการกลึงปาดหน้าคือการตัดโลหะโดยให้มีดตัดชิ้นงานไปตามแนวขวางดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 กระบวนการของการกลึงปาดหน้า [4]

กระบวนการกลึงปอกคือการตัดโลหะโดยให้มีดตัดเคลื่อนที่ตัดชิ้นงานไปตามแนวขนานกับแนวแกนของชิ้นงาน ดังภาพที่ 2.2

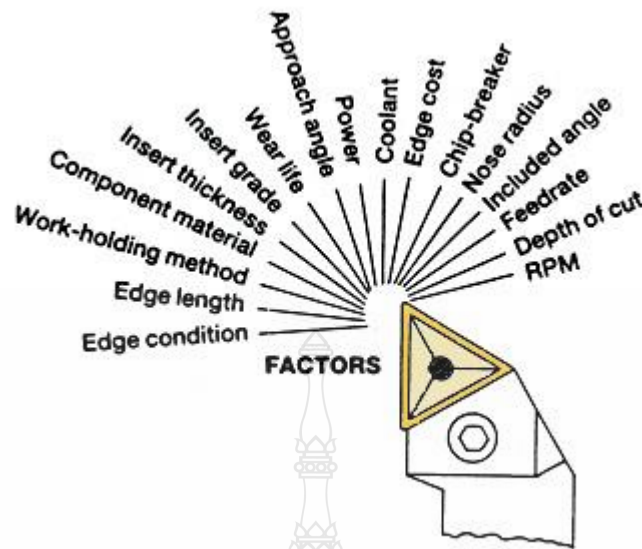


ภาพที่ 2.2 กระบวนการของการกลึงปอก [5]

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดกระบวนการของการกลึงปอก คือ อัตราป้อน (Feed Rate) ความเร็วตัด (Cutting speed) ระยะเวลาป้อนตัด (Depth of cut) มีดกลึง (Cutting tool) และชิ้นงานที่ต้องการทำการตัดเฉือน (Work piece) และเมื่อมีกระบวนการในการกลึงปอกเกิดขึ้น ผลที่จะเกิดขึ้นตามมาก็คือขนาดของชิ้นงาน (Work piece dimension) ความเรียบผิวของชิ้นงาน (Surface roughness) เศษกลึง (Chip) การสึกหรอของมีดกลึง (Tool wear)

#### 2.1.1 ปัจจัยที่สำคัญของงานกลึงปอกด้วยมีดอินเสิร์ต

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้เกิดกระบวนการของการกลึงปอก คือ อัตราป้อน (Feed rate) ความเร็วตัด (Cutting speed) ระยะเวลาป้อนลึก (Depth of cut) มีดกลึง (Cutting tool) และชิ้นงานที่ต้องการทำการตัดเฉือนในการกลึงด้วยมีดกลึงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ปัจจัยที่สำคัญทั้งหมดที่ใช้ในงานกลึงปอกด้วยมีดกลึงอินเสิร์ต [6]

### 2.1.2 ความเร็วตัด อัตราป้อน และระยะป้อนลึก

2.1.2.1 ความเร็วตัด (Cutting speed) คือ ความเร็วที่คมมีดกลึงตัด หรือปาดโลหะ ออกเมื่อโลหะหมุนครบ 1 รอบ คมมีดกลึงก็จะตัดโลหะเป็นแนวตัดยาวเท่าเส้นรอบวงพอดี ความเร็วตัด มีหน่วยเป็น เมตร/นาทีดังภาพที่ 2.4 หลักเกณฑ์การเลือกใช้ความเร็วตัดมีดังนี้ คือ

1) วัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือตัด (Cutting tool) ที่ทำมาจากเหล็กโรบสูง (High speed steel) สามารถใช้ความเร็วตัดเป็น 2 เท่า ของความเร็วตัดของมีดที่ทำมาจากวัสดุเหล็กคาร์บอน โดยส่วนวัสดุของคมตัดจะมีส่วนผสมพิเศษออกไป สามารถใช้ความเร็วตัดได้มากกว่าเหล็กโรบสูง

2) ชนิดของวัสดุ (Material) ที่จะนำมาทำการตัดเฉือน โดยทั่วไปวัสดุที่แข็งมากจะใช้ความเร็วตัดช้ากว่าวัสดุที่อ่อนกว่า

3) รูปร่างของความตัด (Form cutting Tool) มีผลต่อการทำงานมาก เช่น มีดตัดงานขาด จะใช้ความเร็วรอบต่ำกว่ามีดกลึงปอกผิว

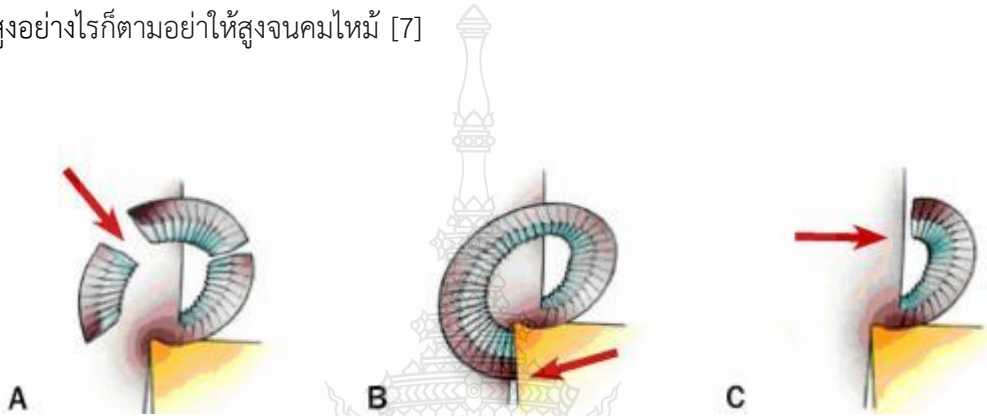
4) ความลึกป้อน (Depth of cut) ถ้าป้อนตัดลึกจะใช้ความเร็วรอบน้อยกว่า ป้อนตื้น

5) อัตราป้อน (Rate of feed) ในการป้อนตัดงานหยาบ เช่น อัตราป้อน 3 มิลลิเมตร ความเร็วที่ใช้ในการตัดจะต่ำกว่าการป้อนตื้นขั้นสุดท้าย เช่น อัตราป้อนตัด 0.13 มิลลิเมตร เป็นต้น จะใช้ความเร็วรอบได้สูง

6) การระบายความร้อน (Cutting lubricant) ความเร็วตัดของวัสดุบางชนิด อาจเพิ่มให้สูงขึ้น ได้เมื่อมีการระบายความร้อนที่ถูกต้อง ซึ่งสารระบายความร้อนนี้ จะช่วยรักษาอุณหภูมิ ของคมตัดไม่ให้ร้อนสูงเกินไปขณะทำงาน

7) การจับชิ้นงานให้มั่นคงแข็งแรง (Rigidity of the work) ในกรณีงานที่ถูก จับด้วยหัวจับ โผล่ออกมาสั้นๆจะใช้ความเร็วได้สูงกว่างานที่ถูกจับโผล่ออกมายาวๆ

8) ความสามารถของเครื่อง คือ เครื่องแข็งแรงมีกำลังสูงสามารถใช้ความเร็ว ตัดได้สูงอย่างไรก็ตามอย่าให้สูงจนคมใหม่ [7]



ภาพที่ 2.4 ลักษณะของการคายเศษกลึง [7]

2.1.2.2 อัตราการป้อน (Feed) หมายถึงระยะทางการเดินป้อนของมีดไปตามความ ยาว ของชิ้นงานในแต่ละรอบของการหมุนของเพลา (Spindle) ของเครื่อง หรืออัตราการป้อนอาจ พิจารณาจากความหนาของเศษตัด (Chips) อัตราการป้อน 5 มิลลิเมตร หมายถึงมีดตัด (Cutting tool) มีการเคลื่อนที่เป็นระยะทาง 5 มิลลิเมตร ตามความยาวของชิ้นงานภายใน 1 นาที จะได้ Feed = 5 มิลลิเมตรต่อนาที

2.1.2.3 ความลึกป้อน (Depth of cut) ทำให้เศษโลหะไหลออกมา ความลึกในการตัด 3 มิลลิเมตร บนชิ้นงานขนาดของชิ้นงานจะลดลง 6 มิลลิเมตร ทุกครั้งที่ทำการกลึงหยาบ ในการตั้ง ความ ลึกของการตัด (Depth of cut) และอัตราป้อนตัด (Feed) จะต้องคำนึงถึงความสามารถของมีด ตัด และเครื่องที่จะทนได้ด้วย [8]

## 2.2 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) [8]

เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steels) มีสมบัติทนต่อการเกิดสนิมเนื่องมาจากการเติมธาตุ โครเมียม (Chromium) ลงไประหว่างกระบวนการหลอมเหล็ก ในปริมาณที่เหมาะสม (ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก) โครเมียมที่เติมลงไปจะทำให้เกิดฟิล์มโครเมียม ออกไซด์ที่หนาพอ ปกคลุมผิวเหล็กไว้ ทำให้

เนื้อเหล็กไม่สามารถทำปฏิกิริยากับอากาศเกิด เป็นสนิมได้ เหล็กกล้าไร้สนิมแบ่งออกเป็น 5 ประเภทหลัก ตามลักษณะของโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) ได้แก่

2.2.1 เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก (Ferritic grade) เป็นกลุ่มเหล็กกล้าไร้สนิมที่เป็นพื้นฐานของ เหล็กกล้าไร้สนิมทั้งหมด ได้แก่ AISI430, AISI446, AISI409 เป็นต้น เป็นเหล็กกล้าที่ผสม โครเมียมในปริมาณร้อยละ 12-27 ขึ้นอยู่กับแต่ละเกรด โดยความต้านทานต่อการกัดกร่อน จะขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุโครเมียมเป็นสำคัญ โดยเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้มีโครงสร้างจุลภาคเป็น เฟอร์ไรต์ (ferrite) ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานของเหล็กกล้าทั่วไป ไม่สามารถทำการชุบแข็ง (hardening) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงได้ และยังคง สมบัติที่แม่เหล็กสามารถดูดติดได้ Metals World

2.2.2 เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (Austenitic grade) เป็นกลุ่มเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีการใช้งานอย่าง แพร่หลาย เกรดที่รู้จักกันมาก เช่น AISI304, 304L, 316 และ 316L เป็นต้น เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้มี โครงสร้างจุลภาคเป็นออสเทนไนต์ (austenite) ซึ่งเป็นผลจากการเติมธาตุนิเกิล (nickel) หรือธาตุ แมงกานีส (manganese) ขึ้นอยู่กับแต่ละเกรด โครงสร้างจุลภาคแบบออสเทนไนต์ จะมีสมบัติโดดเด่นด้านการยึดตัวสูงกว่าโครงสร้างแบบเฟอร์ไรต์ ทำให้สามารถขึ้นรูปเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้ได้โดยไม่เสี่ยงต่อการแตกร้าว นอกจากนี้โครงสร้างออสเทนไนต์ยังเป็นโครงสร้างที่แม่เหล็กไม่สามารถดูดติดได้ (แต่ถ้าหากทำการขึ้นรูปมาแล้วจะทำให้แม่เหล็กดูดติดบริเวณที่ทำการขึ้นรูปได้ เนื่องจากโครงสร้างบริเวณที่ถูกขึ้นรูปจะเปลี่ยนแปลงไปจาก โครงสร้างออสเทนไนต์แล้ว)

2.2.3 เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก (Martensitic grade) เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับ เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก แต่มีปริมาณธาตุคาร์บอน ที่สูงกว่า เพื่อให้เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้สามารถ ทำการชุบแข็ง (hardening) เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ได้ โดยเกรดที่รู้จักกันอย่าง แพร่หลาย เช่น AISI403, 420 เป็นต้น โครงสร้างจุลภาคภายหลังการชุบ แข็งจะได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์ (martensite) การ ใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก ส่วนใหญ่คำนึง ถึงความแข็งแรงและความ ทนทานต่อการเกิดสนิมใน ระดับปานกลางเท่านั้น เนื่องจากปริมาณคาร์บอนที่ สูงจะทำให้ความ ต้านทานต่อการกัดกร่อนลดลง แต่ก็ ยังคงไม่เป็นสนิมในสารละลายที่มีการกัดกร่อนไม่สูง มากนักหรือใน สารละลายที่เป็นกลางได้ ตัวอย่างการ ใช้งาน เช่น ลูกปืน เพลา เฟือง สปริง เป็นต้น

2.2.4 เหล็กกล้าไร้สนิมสองเฟส (Duplex grade) เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีลักษณะร่วมทาง โครงสร้างจุลภาคระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก กับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก แต่มีความ แข็งแรง สูงกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมทั้ง 2 ชนิด โดยลักษณะ โครงสร้างจุลภาคที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้เกิดจาก การมี ปริมาณของธาตุนิเกิลไม่ถึงร้อยละ 8 และมีปริมาณของธาตุโครเมียมสูงมากกว่าร้อยละ 20 ซึ่ง ทำให้ได้ โครงสร้างผสมระหว่างเฟอร์ไรต์และออสเทนไนต์ ตัวอย่างของกลุ่มนี้ เช่น AISI 329 เป็นต้น

เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้มีราคาค่อนข้างแพง เนื่องจาก มีความแข็งแรงและความทนทานต่อการกัดกร่อนสูง (เนื่องจากปริมาณโครเมียมสูง)

2.2.5 เหล็กกล้าไร้สนิมแบบตกผลึกแข็ง (Precipitation-hardening grade, PH grade) เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีการใช้งานน้อยใน ประเทศไทย โดยเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดนี้มีความแข็งแรงสูง เนื่องจากเกิดการตกผลึกของเฟสต่างๆ เช่น  $Ni_3Al$ ,  $Ni_3Ti$  และ  $Ni_3Cu$  ภายในเนื้อวัสดุที่มีโครงสร้าง มาร์เทนไซต์ (เกรด AISI 17-4 PH), โครงสร้างกิ่งอสเทนไนต์ (เกรด AISI 17-7 PH) หรือโครงสร้างอสเทนไนต์ (เกรด AISI 600) ซึ่งจุดเด่นที่สำคัญของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้คือ ชิ้นงานภายหลังจากการอบชุบมีโอกาสบิดเบี้ยวน้อย

เหล็กกล้าไร้สนิมทั้ง 5 ประเภทที่กล่าวถึงข้างต้น ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้งานใน 2 ลักษณะ คือ งานสำหรับทนการกัดกร่อน และงานสำหรับทน ความร้อน โดยปริมาณของธาตุคาร์บอน (carbon content) ในเนื้อเหล็กมีส่วนสำคัญอย่างมากในการ จำแนกลักษณะของการใช้งาน กล่าวคือ เหล็กกล้าไร้สนิมสำหรับงานทนการกัดกร่อน จะถูกจำกัดให้มี ปริมาณของธาตุคาร์บอน (carbon) ในเนื้อเหล็กต่ำ (ยกเว้นเกรดมาร์เทนซิติก) เนื่องจากธาตุคาร์บอน สามารถรวมตัวกับธาตุโครเมียมในเนื้อเหล็กได้ดี จึงทำให้ปริมาณของธาตุโครเมียมอิสระในเนื้อเหล็กลด ลง เป็นผลให้เหล็กกล้าไร้สนิมเกิดเป็นสนิมขึ้นมาได้ ขณะที่เหล็กกล้าไร้สนิมสำหรับงานทนความร้อน จำเป็นต้องมีปริมาณธาตุคาร์บอนที่เพิ่มมากขึ้น เพื่อให้เหล็กเกิดความแข็งแรงในขณะที่ยุณหภูมิสูง ด้วยเหตุดังกล่าวตามมาตรฐานญี่ปุ่น (JIS standard) จึงได้แบ่งแยกเหล็กกล้าไร้สนิมทั้ง 2 ลักษณะ แยกออกจากกันอย่างชัดเจน คือ รหัส SUS สำหรับ เหล็กกล้าไร้สนิมเพื่อทนการกัดกร่อน และรหัส SUH สำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมเพื่อทนความร้อน รหัส SUH จะใช้คำอธิบายโดยรวมว่า heat resisting steels ในขณะที่รหัส SUS จะใช้คำ อธิบายว่า stainless steels ซึ่งด้วยเหตุดังกล่าวนี จึงทำให้เมื่อเอ่ยถึงเหล็กกล้าไร้สนิม จึงมุ่งเน้นไปที่ เหล็กกล้าไร้สนิมสำหรับงานทนการกัดกร่อนเป็นส่วน ใหญ่ หรืออาจจะเป็นด้วยเหตุที่ว่า เหล็กกล้าไร้สนิม สำหรับงานทนความร้อนมีโอกาสเกิดเป็นสนิมได้มากกว่า เนื่องจากมีปริมาณธาตุคาร์บอนในเนื้อเหล็กสูง ทำให้มาตรฐานจึงใช้เพียงคำว่า steels ไม่ใช่คำว่า stainless steels ก็เป็นไปได้ แต่ถ้าพิจารณาส่วน ผสมของมาตรฐานรหัส SUS และ SUH ก็จะพบว่า มีลักษณะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แต่แตกต่างกันที่ ปริมาณของธาตุคาร์บอนเท่านั้น

การใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิมสำหรับงานทนการ กัดกร่อน มีวัตถุประสงค์เพื่อความสะอาดของพื้นผิว เป็นสำคัญ แต่เนื่องจากเหล็กกล้าไร้สนิมนี้มีส่วนผสม ของธาตุโครเมียม (และนิกเกิล) เป็นจำนวนมาก ดังนั้นเหล็กกล้าไร้สนิมสำหรับงานทนการกัดกร่อน จึงสามารถทนต่ออุณหภูมิได้ในระดับสูงตามไปด้วย ยกตัวอย่างเช่น การใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS 304 หรือ 304H สำหรับงาน ท่อไอน้ำ (boiler tube) ที่มีอุณหภูมิสูงถึง 800 °C ด้วยเหตุดังกล่าวนีจึงพบเห็นการนำเหล็กกล้าไร้สนิม



สำหรับงานทนการกัดกร่อนไปใช้กับงานทน ความร้อน แต่จุดด้อยประการสำคัญของเหล็กกล้า ไร้สนิมทนการกัดกร่อนเมื่อถูกนำไปใช้งานที่อุณหภูมิ สูงคือ การมีความแข็งแรง (Strength) และความ แข็ง (Hardness) ที่ต่ำกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมสำหรับ งานทนความร้อนโดยตรง สำหรับกรณีของความ แข็ง แรง อาจจะเผื่อขนาดความหนาของชิ้นงานเพื่อชดเชย ได้ แต่กรณีความแข็งแรงของเนื้อเหล็กเป็นเรื่องยากที่จะชดเชยได้ ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างที่น่าสนใจเกี่ยวกับ การใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิมสำหรับงานทนการ กัดกร่อนและงานทนความร้อน นั่นคือ การผลิตชิ้น ส่วนวาล์วไอเสียในเครื่องยนต์เบนซินจากเหล็กกล้าไร้สนิมรหัส SUS และ SUH ดังนี้ ในอดีตชิ้นส่วนวาล์วไอเสียของเครื่องยนต์ เบนซิน (ไอเสียมีอุณหภูมิสูงกว่า 800 °C) จะผลิต จากเหล็กกล้าไร้สนิมสำหรับงานทนความร้อนยกตัวอย่างเช่น เกรด SUH 31 ซึ่งชิ้นส่วนดังกล่าว สามารถทนความร้อนและการสึกกร่อนจากไอเสียได้ สูง จนทำให้เมื่อเครื่องยนต์ถูกปรับแต่งเปลี่ยนไปใช้ แก๊สธรรมชาติที่มีความร้อนสูงขึ้น จึงไม่เป็นปัญหา กับชิ้นส่วนดังกล่าว แต่ในปัจจุบัน เครื่องยนต์บางยี่ห้อได้เปลี่ยนไป ใช้วาล์วไอเสีย ที่ผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิมสำหรับ งานทนการกัดกร่อน เช่น เกรด SUS 304 ซึ่งทน ความร้อนและการเสียดสีได้ต่ำกว่าเกรด SUH 31 จึงทำให้เมื่อเครื่องยนต์ถูกปรับเปลี่ยนไปใช้แก๊ส ธรรมชาติจึงเกิดปัญหาวาล์วสึกหรือวาล์วทะลุได้โดย ง่าย (เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกสามารถทนต่อ อุณหภูมิได้สูงกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งมีโครงสร้าง แบบอื่น)

### 2.3 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 [9]

เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มมาร์เทนซิติก (Martensitic) โครงสร้างจุลภาค แบบมาร์เทนไซต์ แม่เหล็กดูดติด โดยทั่วไปจะมีโครเมียมผสมอยู่ 11 - 20% และมีส่วนผสมของคาร์บอนในระดับปานกลาง โดยจะมีส่วนผสมทางเคมี Cr 11 - 20% C > 0.1% และ Ni 0% (ไม่มีนิกเกิลผสมอยู่) มีค่าความแข็งแรงสูงมากในสภาพที่ผ่านกระบวนการอบชุบ แต่จะมีค่าการยืดตัว (Elongation : EL%) ต่ำ

เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ถือว่าเป็นเกรดต่ำ มีความแข็งค่อนข้างสูง สาเหตุที่เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 มีความแข็งสูงกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดอื่นๆ เพราะมีส่วนผสมของธาตุคาร์บอนอยู่มากกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดอื่นๆ และเมื่อมีธาตุคาร์บอนผสมอยู่มาก จึงถูกจัดให้เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดต่ำไปโดยปริยาย อย่างไรก็ตามแต่ถึงจะเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดต่ำแต่ก็ไม่ได้แปลว่าจะเป็นสนิมได้โดยง่าย หากเราใช้ให้เหมาะกับงานและดูแลรักษาอย่างถูกต้องก็สามารถใช้ได้ยาวนานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420, สามารถนำไปชุบแข็งได้อีก ซึ่งหลังจากชุบแข็งแล้วจะมีความแข็งขึ้นประมาณ 58 HRC มักนำมาใช้ในการผลิตใบมีด, ใบเลื่อย, ส้อม, ใบมีดโกน, เครื่องมือแพทย์ และเครื่องมือวิศวกร [9]

## 2.4 สมบัติของวัสดุเครื่องมือตัด [10]

2.4.1 สมบัติของวัสดุเครื่องมือตัดที่ประกอบด้วยกลุ่มพิเศษของวัสดุเครื่องมือเพราะต้องทนกับสถานะที่รุนแรงของกระบวนการที่ใช้สำหรับการตัดคือ อุณหภูมิสูง ความเครียดสูง แรงเสียดทานบนพื้นผิวชิ้นงานโดยที่เศษตัดเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว ดังนั้นการตัดวัสดุเครื่องมือต้องมีคุณสมบัติบางอย่างขึ้นอยู่กับชนิดของการดำเนินงานการตัดเฉือนวัสดุชิ้นงานที่ถูกกระทำโดยเครื่องจักรโดยรวมสภาพกระบวนการวิศวกรรมคือ

2.4.1.1 ความแข็งสูงที่อุณหภูมิสูง (ความแข็งร้อน) ที่จะต้านทานการสึก

2.4.1.2 ต้านทานการเปลี่ยนรูปสูงเพื่อป้องกันคมตัดจากการเปลี่ยนรูปพลาสติกภายใต้ความเครียดสูงและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในระหว่างการก่อตัวของเศษตัด

2.4.1.3 ต้านทานการแตกหักสูงต่อคมตัดที่เกิดการบิ่นขนาดเล็กและแตกหักโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการตัดไม่ต่อเนื่อง

2.4.1.4 สมบัติความเฉื่อยทางเคมี (ความสัมพันธ์กับเสถียรภาพทางเคมีต่ำหรือเสถียรภาพทางเคมีสูง) ที่เกี่ยวข้องกับวัสดุชิ้นงานเพื่อป้องกันความร้อนของชนิดการสึกหรอที่ได้รับผลกระทบเช่น การแพร่กระจายของสารเคมีและการสึกหรอจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

2.4.1.5 การนำความร้อนสูงเพื่อลดอุณหภูมิบริเวณคมตัด

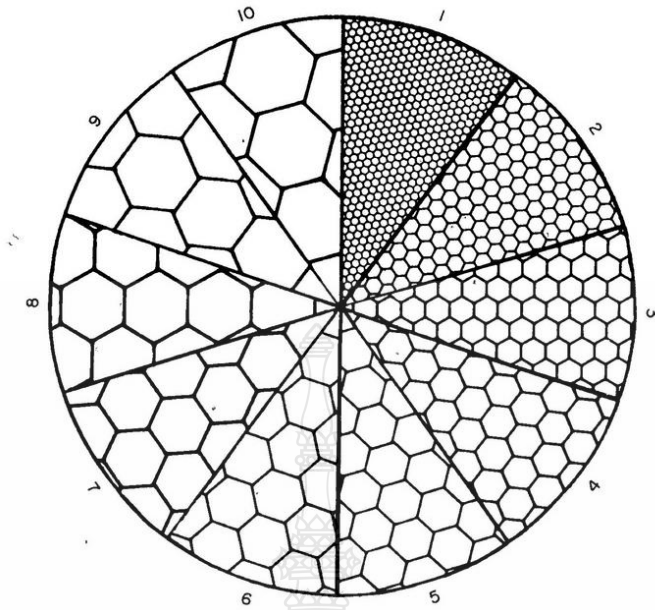
2.4.1.6 ต้านทานความล้าสูงสำหรับปลายคมตัดของเครื่องมือตัดที่ทนจากแรงของเครื่องจักร

2.4.1.7 ต้านทานความร้อนสูงที่เป็นธรรมชาติจากการกระทำของเครื่องจักร

2.4.1.8 ความมั่นคงสูงที่จำเป็นในการทำงานอย่างแม่นยำ

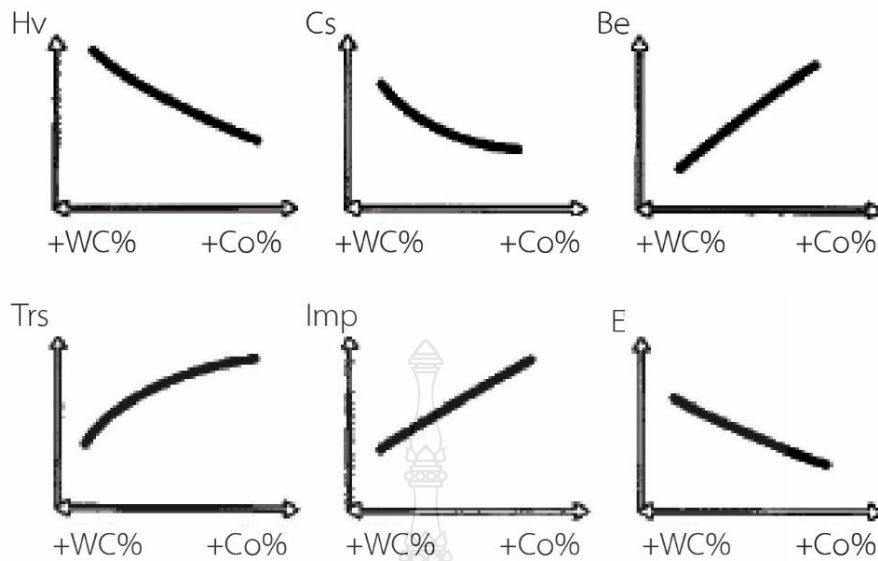
2.4.1.9 การหล่อลื่นเพียงพอ (แรงเสียดทานต่ำ) เพื่อเพิ่มความต้านทานการประสานและเพื่อป้องกันไม่ให้ยึด (การก่อตัวของคมตัด)

2.4.2 วัสดุเครื่องมือตัด [10] ทั้งสแตนคาร์ไบด์หรือซีเมนต์คาร์ไบด์ที่พบมากที่สุดที่สุดในวัสดุเครื่องมือตัดที่ใช้ในปัจจุบันและตอนนี้เป็นวัสดุของทางเลือกมากกว่าครึ่งหนึ่งของเครื่องมือตัดทั้งหมดที่ผลิตทั่วโลก คิดเป็นสัดส่วนเหล็กไฮสปีดประมาณ 40% ส่วนที่เหลืออีก 10% หรือมากกว่านั้นจะเพิ่มขึ้นจากวัสดุอื่นๆ ทั้งหมดซีเมนต์คาร์ไบด์จะทำโดยวิธีการซินเตอร์ริงสารประกอบคาร์ไบด์ของธาตุ 9 ชนิดคือ W, Mo, Cr, Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta ด้วยโลหะในตระกูล Fe (Fe, Co, Ni) โดยทั่วไปจะหมายถึงโลหะผสม WC-Co อย่างไรก็ตามนอกจากนี้คาร์ไบด์ยังละลายได้ในสารประกอบอื่น ๆ และสามารถขึ้นรูปซีเมนต์คาร์ไบด์โดยไม่ต้องใช้สารยึดเกาะโลหะ



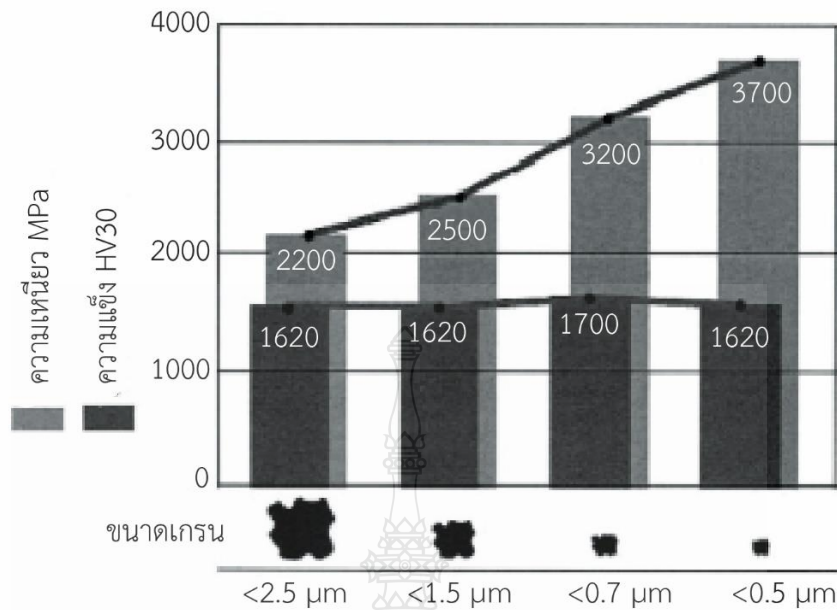
ภาพที่ 2.5 ขนาดโครงสร้างทางโลหะวิทยาของเครื่องมือคมตัดชนิดคาร์ไบด์ [10]

อัตราส่วนของอนุภาคในวัสดุเครื่องมือคาร์ไบด์จะแตกต่างจากประมาณ 60 ถึง 90% โดยการปรับประเภทขนาดและความเข้มข้นของอนุภาคผลิตสามารถปรับแต่งคุณสมบัติของวัสดุเครื่องมือเหล่านี้ เพื่อตอบสนองความต้องการที่หลากหลายของความต้องการใช้ระบบ ISO ของการจำแนกประเภทใช้สัญลักษณ์ P (สีฟ้า), M (สีเหลือง) และ K (สีแดง) เพื่อแสดงถึงกลุ่ม การประยุกต์ใช้สำหรับความยาวของเศษตัดวัสดุส่วนมากเช่น เหล็กและโลหะผสม, เหล็กสแตนเลส, โลหะผสมทนความร้อน และความยาวของเศษตัดวัสดุเช่น เหล็กหล่อ โลหะที่ไม่ใช่เหล็กและวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ จะกำหนดตัวอักษรกับตัวเลข



ภาพที่ 2.6 อิทธิพลของ WC และ CO ที่มีต่อสมบัติทางกลของซีเมนต์คาร์ไบด์ [10]

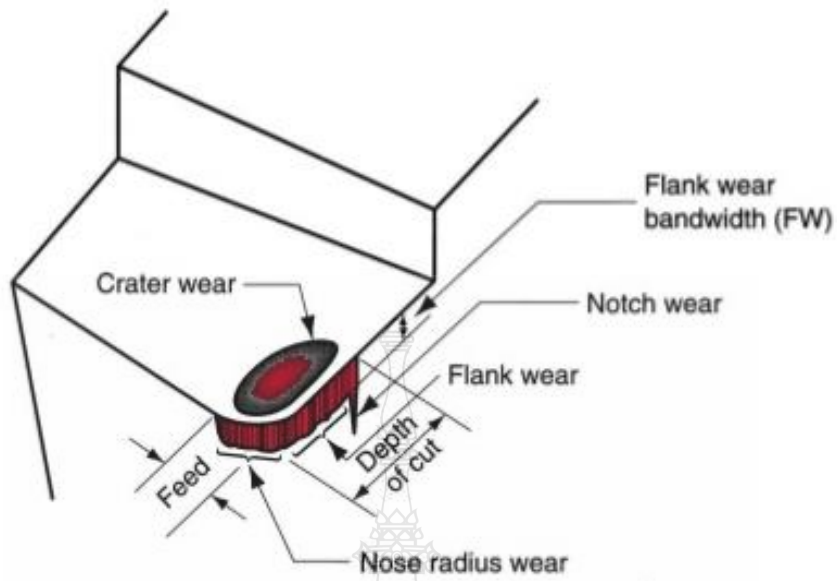
โดยทั่วไปขนาดของเม็ดผงคาร์ไบด์ได้หดจาก 10  $\mu\text{m}$  ถึง 1  $\mu\text{m}$  ในขณะที่ P/M ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กกว่าเม็ดผงในคาร์ไบด์ส่งผลให้เกิดช่องว่างขนาดเล็กและเป็นวัสดุที่บ่มสำเร็จรูป ความเป็นไปได้ อย่างมีนัยสำคัญมากที่สุดใน การเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานในกรณีของคาร์ไบด์ WC - Co เป็น โครงสร้างเล็กกว่าไมครอนและพิเศษปรับ (นาโนเฟส) ที่มีขนาดเม็ดเล็ก WC 0.5-0.8  $\mu\text{m}$  และ 0.2 (0.1) - 0.5  $\mu\text{m}$  ดังแสดงในภาพที่ 2.7 ที่มีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องของ 6-16% โดยมวลระยะทางระหว่างอนุภาคในคาร์ไบด์นาโนเฟสมีขนาดเล็กเพื่อให้อนุกรมการเผาสามารถลดลงไปยังยับยั้งการเจริญเติบโตของเม็ดผงที่อาจเกิดขึ้นที่อุณหภูมิในการประมวลผลที่สูงขึ้น คาร์ไบด์นาโนเฟสจะได้รับการตรวจสอบเรียบร้อยแล้วเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในรอบสำหรับวัสดุที่แปลกใหม่ เช่นคาร์ไบด์วานาเดียมและโครเมียม คาร์ไบด์มีแนวโน้มที่จะยับยั้งการเจริญเติบโตของเม็ดผงที่เล็กกว่าไมครอนระหว่างการประมวลผลและการเผา



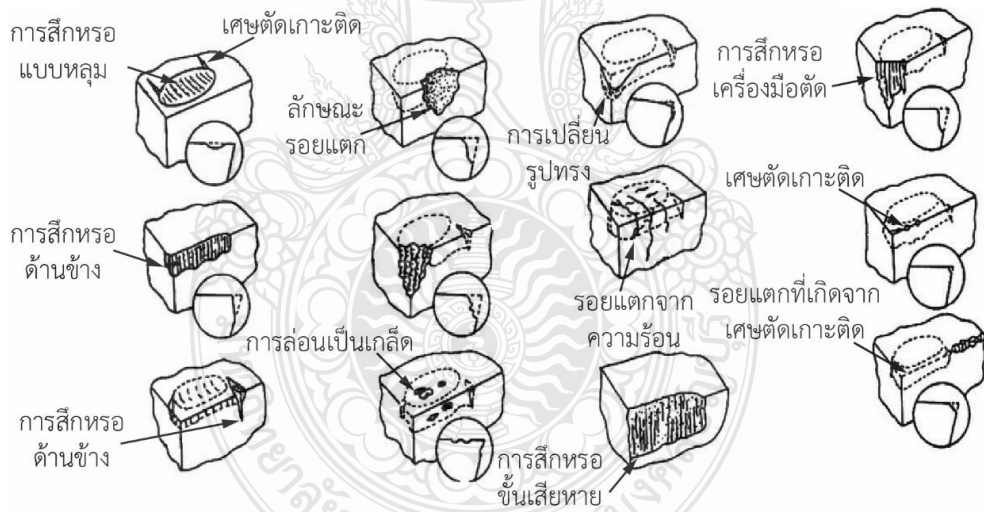
ภาพที่ 2.7 อิทธิพลของขนาดเกรนต่อความแข็งแรงและความเหนียวของซีเมนต์คาร์ไบด์ [10]

## 2.5 ประเภทการสึกหรอของเครื่องมือตัด [10]

ความเสียหายของเครื่องมือตัดได้รับอิทธิพลจากสภาวะความเครียดและอุณหภูมิที่พื้นผิวเครื่องมือตัดซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบการตัดตัวอย่างเช่น งานกลึง งานกัดหรืองานเจาะ เงื่อนไขการตัดและการมีหรือไม่มีของเหลวช่วยในการตัด ในการตัดเฉือนรูปแบบของเครื่องมือทำให้เกิดความเสียหายและอัตราของความเสียหายที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงในการดำเนินงานตัดและเงื่อนไขการตัดเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการตัดเฉือนมันเป็นสิ่งจำเป็น ไม่เพียงแต่จะหาเครื่องมือที่เหมาะสมที่สุดและวัสดุผสมการทำงานของเครื่องจักรกลสำหรับการดำเนินงานที่กำหนดแต่ยังเชื่อถือได้ทำนายอายุการใช้งานความเสียหายเครื่องมือสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ การสึกหรอและการแตกหัก (ภาพที่ 2.8 และ 2.9) แต่น่าเสียดายที่ในทางปฏิบัติทั้งสองกลุ่มของความเสียหายของเครื่องมือตัดจะไม่ได้โดดเด่นอย่างเห็นได้ชัด การสึกหรอคือการสูญเสียของวัสดุซึ่งมักจะดำเนินไปอย่างต่อเนื่องเกี่ยวกับความรุนแรงต่ออนุภาคที่มีขนาดเล็กอย่างต่อเนื่องหรือขนาดเล็กลงไปกลไกการจัดโมเลกุลหรืออะตอมสำหรับการแตกหักในมืออื่นๆ ที่มีคลื่นความถี่อย่างต่อเนื่องของเครื่องวัดความเสียหายจากการสึกหรอจุลภาค ในการแตกหักขั้นต้น ดังแสดงในภาพที่ 2.8 และ 2.9 ความก้าวหน้าของการสึกหรอของเครื่องมือตัดที่จะเกิดขึ้นส่วนใหญ่ใน 2 วิธีที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 2.8 แสดงบริเวณของการเกิดการสึกหรอของคมตัด [11]



ภาพที่ 2.9 ประเภทการสึกหรอของเครื่องมือคมตัด [11]

โดยปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างการสึกหรอผิวหน้าด้านข้างของเครื่องมือตัดและความร้อนของเศษตัดในหลายๆครั้งเกิดจากความร้อนเช่น การยึดเกาะที่แพร่กระจายหรือการสลายตัวมีส่วนร่วมในกระบวนการการสึกหรอดังแสดงในภาพที่ 2.8 เป็นที่สังเกตบนด้านข้างหรือช่องว่างด้านข้างเป็นผลมา

จากการขัดสีโดยอย่างรุนแรงของวัสดุชิ้นงาน ความสึกหรอของกลไกนี้จะสังเกตทั่วไประหว่างเครื่องจักรกลของเหล็กและเหล็กหล่อที่อุณหภูมิเป็นซีเมนไต์ส่วนใหญ่เป็น  $Fe_3C$  และไม่ใช้โลหะผสม

การก่อตัวของขอบคมตัด (BUE) ที่แสดงในรูป 2.8 ก็จะเรียกเมื่อเกิดการหลอมรวมของเศษตัด มักจะเกิดขึ้นเมื่อเหล็กคาร์บอนต่ำหรือสแตนเลสที่มีความเหนียวและวัสดุโลหะ (ส่วนใหญ่ อลูมิเนียม นิกเกิล โคบอลต์ และไททาเนียมอัลลอยด์) ถูกตัดเฉือนด้วยความเร็วต่ำและอัตราการป้อนที่น้อยซึ่งส่งผลในการสึกหรอการขัดสีที่รุนแรงหากชิ้นส่วนเล็กๆ ของวัสดุเครื่องมือที่มีการดำเนินการไปเป็นวงจรการก่อตัวของขอบคมตัด (BUE)

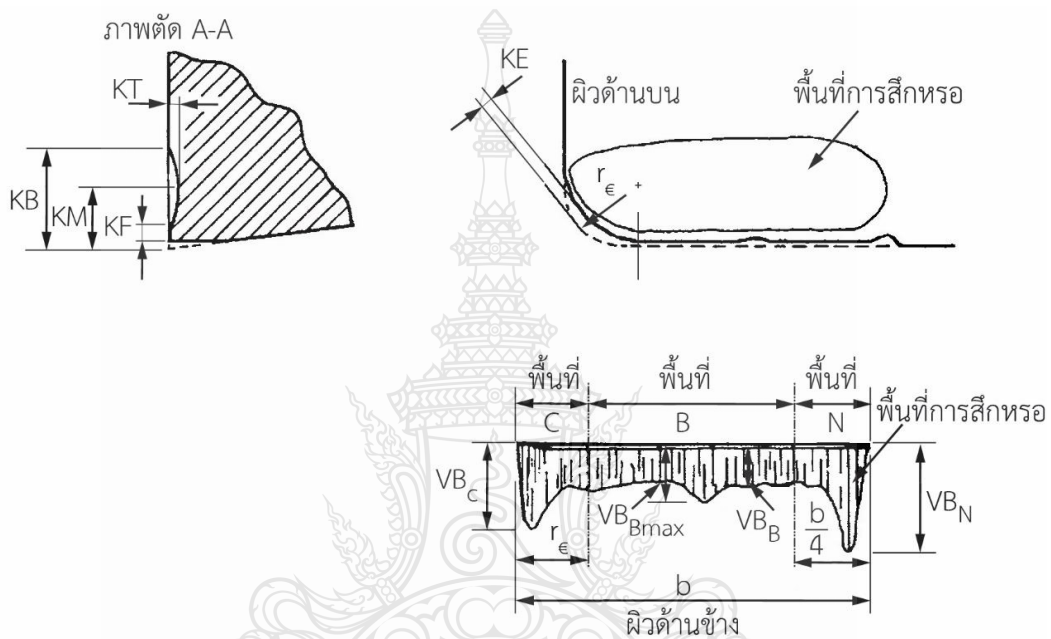
รอยการสึกหรอ (ความลึกของการตัดเฉือน) ที่แสดงในรูป 2.8 มักจะมีสาเหตุมาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของวัสดุเครื่องมือจากด้านข้างของขอบตัดทั้งเล็กและใหญ่หรือการเสียดสีอย่างรุนแรงโดยเสียดสีขอบด้านนอกของเศษตัด (ตัวอย่างเช่น ในเครื่องจักรกลหนัก) รอยบากเป็นปัญหาร้ายแรงกับเทคโนโลยีวัสดุชิ้นงานที่มีแนวโน้มสูงที่จะมีเคลือบการทำงานที่แข็งและสร้างอุณหภูมิสูงเช่น เหล็กสแตนเลส ออสเทนเนติก และ นิกเกิลซูเปอร์อัลลอย รอยการสึกหรอที่เห็นได้ชัดสามารถนำไปสู่การแตกหักของเครื่องมือตัด สามารถลดลงได้โดยการใช้เครื่องมือที่มีขอบมุมโค้งมนเพื่อหลีกเลี่ยงความลึกของรอยการตัดขนาดเล็ก

การสึกหรอปลายคมตัดดังภาพที่ 2.8 มีเคลือบที่ทำให้เครื่องมือตัดเกิดการต้านทานการเปลี่ยนรูปของวัสดุเครื่องมือตัดในการดำเนินงานเครื่องจักรกลที่กำหนด

รอยแตกด้วยความร้อนดังภาพที่ 2.8 พัฒนาเมื่อความร้อนเกิดขึ้นและการระบายความร้อนที่เกี่ยวข้องกับการตัดไม่ต่อเนื่อง เช่น การกัดสร้างระดับอุณหภูมิสูงในคมตัด ด้วยเวลาที่นานรอยแตกด้านข้างอาจปรากฏนานไปกับคมตัด รอยแตกด้วยความร้อนและด้านข้างอาจรวมด้วยกันและทำให้เกิดชิ้นส่วนเล็กๆ ของวัสดุเครื่องมือในการทำละลายออกไป

โหมดที่ต้องการการสึกหรอเป็นเครื่องมือที่สึกหรอเพราะมันดำเนินไปและค่อยๆสามารถตรวจสอบได้อย่างง่ายดายสำหรับโปรโตคอลเครื่องมือที่เปลี่ยนแปลงในโปรแกรม NC ในทางปฏิบัติบางวัดได้โดยตรงลักษณะมิติของรูปแบบการสึกหรอทั่วไปเช่น การสึกหรอแบบหลุม การสึกหรอด้านข้างและการสึกหรอแบบรอยลึกของการตัดสำหรับเครื่องมือตัดเช่น เหล็กไฮสปีด คาร์ไบด์และเซรามิก, มีมาตรฐานใน ISO 3685-1977 ดังแสดงในภาพที่ 2.9 การสึกหรอแบบหลุมที่เติบโตขึ้นทั้งในเชิงลึก (KT) และความกว้าง (KF-KB) ดังแสดงในรูป 2.9 เป็นหลักในการอธิบายลักษณะของความคืบหน้าของหลุมที่ KT ลึกของหลุมเป็นวัดที่ลึกที่สุดของหลุม (ส่วน A-A) ระยะทางกึ่งกลางของหลุมถึงขอบตัด KM จะเห็นได้ว่าการสึกหรอด้านข้างมักจะเสียหายมากที่สุด (มุมเครื่องมือและจุดที่สอดคล้องกับความลึกสูงสุดของการตัด) ของคมตัดตามที่ระบุไว้ในภาพที่ 2.9 การใช้งานตัดขอบที่สำคัญของความยาว  $b$  แบ่งออกเป็นสามโซนสำหรับวัตถุประสงค์ของการวัดการสึกหรอ (1) โซน C ของความยาว  $r \sim$  ซึ่งรวมถึง

ส่วนที่โค้งมนของคมตัดที่มุม (2) โซน N ของความยาว  $b/4$  ในอีกฟากหนึ่งของคมตัดที่ใช้งานอยู่ที่ร่องหรือรอยการสึกหรอจะเกิดขึ้นนั้น และ (3) โซน B ศูนย์รวมทั้งส่วนที่เหลือของคมตัดระหว่างโซน A และโซน N ในเขตศูนย์กลาง B, บริเวณการสึกหรอมักจะค่อนข้างสม่ำเสมอและบริเวณการสึกหรอเฉลี่ยที่เกี่ยวข้องจะกำหนด  $VB_B$  อย่างไรก็ตามเพื่อให้การเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้น, ความกว้างบริเวณการสึกหรอสูงสุดจะแสดงโดย  $VB_{Bmax}$



ภาพที่ 2.10 รูปแบบการสึกหรอตามของเครื่องมือคาร์ไบด์ตามมาตรฐาน ISO 3685-1977 [11]

## 2.6 ลักษณะการคายเศษตัด [12]

การจำแนกประเภทของเศษตัดในการใช้เครื่องจักรตัดปาดผิวระนาบด้วยเครื่องมือตัด การก่อตัวของเศษตัดสามารถแบ่งออกได้ 3 รูปแบบ ดังแสดงในภาพที่ 2.11

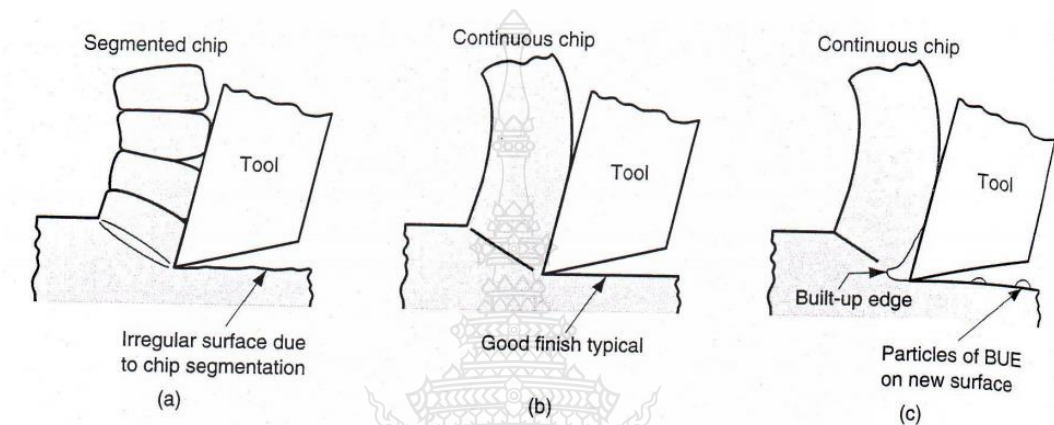
2.5.1 รูปแบบเส้นตรงบนผิวหน้าเครื่องมือตัดแสดงทิศทางมุมเอียงการไหลของเศษตัด มีลักษณะเศษที่ไม่ต่อเนื่อง (ภาพที่ 2.11)

2.5.2 รูปแบบโค้งบนผิวหน้าเครื่องมือตัด ลักษณะเศษตัดต่อเนื่อง เรียกว่าแบบโค้งด้านข้าง (ภาพที่ 2.11)

2.5.3 รูปแบบโค้งบนระนาบตั้งฉากกับผิวหน้าเครื่องมือตัด ลักษณะเศษตัดต่อเนื่องเป็นระยะ เรียกว่าแบบโค้งด้านบน (ภาพที่ 2.16)




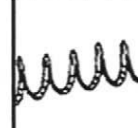



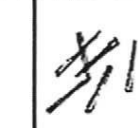
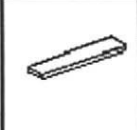


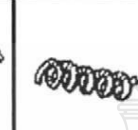


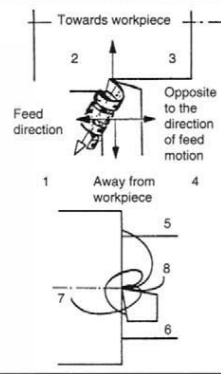
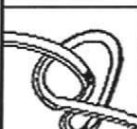
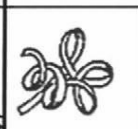

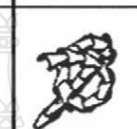


ลักษณะรูปร่างของเศษตัดที่เกิดขึ้นได้โดยต่อเนื่องสามารถถูกสร้างขึ้นโดยการรวมกันของทั้งสามมุม ปัจจัยทั้งสามของรูปทรงที่มีอิทธิพลต่อรูปร่างของเศษตัดทั้งหมดคือ มุมของเศษตัดไหลด้าน, เศษตัดโค้งด้านข้าง เศษตัดโค้งด้านบน ที่ขึ้นอยู่กับขนาดของการตัดรูปทรงของเครื่องมือตัด ลักษณะการทำงานและวัสดุของเครื่องมือ ในทางปฏิบัติรูปร่างเศษตัดจะถูกควบคุมบนผิวหน้าเครื่องมือตัด ซึ่งขั้นตอนเศษตัดหรือรูปร่างเศษตัดที่เกิดขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 ลักษณะต่างๆของการเกิดเศษตัด 3 แบบ [12]

มาตรฐาน ISO 3685-1977 จะช่วยให้การจัดหมวดหมู่ที่ครอบคลุมของรูปแบบของเศษตัดที่มีการผลิตโดยทั่วไปในการทำงานขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของเครื่องจักรกล ระบบการจำแนกนี้แสดงในภาพที่ 2.12 ประกอบด้วยรูปร่าง 8 กลุ่มแต่ละกลุ่มเหล่านี้จะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยอีก 1-4 กลุ่มย่อย การกำหนดขนาด (เช่น ยาว สั้น เป็นต้น) และสภาพทางกายภาพ (เช่น ความต่อเนื่อง เป็นต้น) นอกจากนี้ยังรวมถึงรหัสตัวเลข 3 ตัวสำหรับรูปร่างเศษตัดบางอย่างที่จะอธิบายลักษณะทิศทางการไหลของเศษตัด (ตัวเลข 1-4) และรูปแบบการแตกหักที่ (ตัวเลข 5-8)

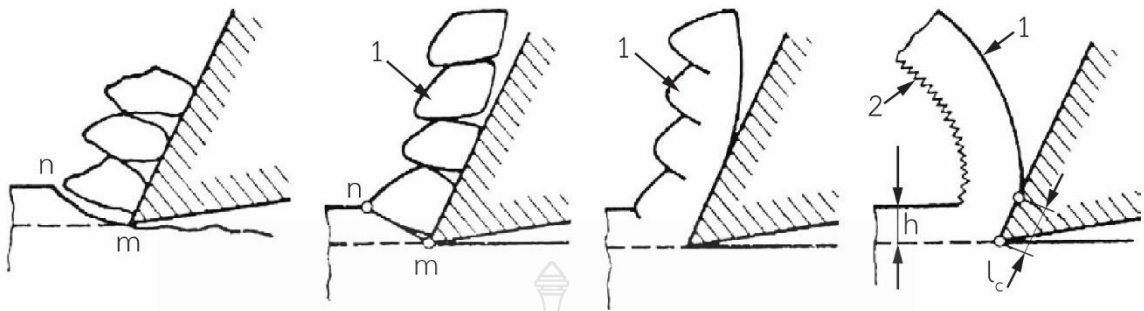
1. RIBBON CHIPS	2. TUBULAR CHIPS	3. SPIRAL CHIPS	4. WASHER-TYPE HELICAL CHIPS	5. CONICAL HELICAL CHIPS	6. ARC CHIPS	7. ELEMENTAL CHIPS	8. NEEDLE CHIPS
							
1.1. Long	2.1. Long	3.1. Flat	4.1. Long	5.1. Long	6.1. Connected		
							
1.2. Short	2.2. Short	3.2. Conical	4.2. Short	5.2. Short	6.2. Loose		
							
1.3. Snarled	2.3. Snarled		4.3. Snarled	5.3. Snarled			

ภาพที่ 2.12 การจำแนกประเภทของรูปแบบเศษตัดตามมาตรฐาน ISO 3685-1977 [12]

การจำแนกประเภทความเป็นไปได้ของเศษตัดได้สามรูปแบบดังแสดงในภาพที่ 2.12 จะขึ้นอยู่กับกลไกของการเสียดสีของวัสดุและการแตกหักที่เกิดจากคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้งานและเงื่อนไขการทำงาน การจำแนกประเภทนี้มักจะเกี่ยวข้องกับการ หักหรือฉีกขาดออก โดยจะเรียกว่าเศษตัดไม่ต่อเนื่องและประเภทการตัดเฉือนของเศษตัดที่แสดงในภาพที่ 2.12 กลุ่มสุดท้ายของเศษตัดสามารถแบ่งออกเป็นสาม (ที่เรียกว่ารอยหยักหรือประเภทเลื่อยฟัน) และความต่อเนื่องเศษตัดซึ่งบ่งบอกถึงระดับที่แตกต่างของความต่อเนื่องวัสดุที่นำมาใช้

เศษตัดแบบไม่ต่อเนื่องแสดงในภาพที่ 2.12 โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นเมื่อการตัดเฉือนวัสดุเปราะหรือวัสดุที่มีจุดของระดับความเครียดสูงเช่นเกล็ดกราไฟท์เหล็กหล่อหรือการรวมซิลไฟต์ แมงกานีสเหล็กเครื่องจักรกล นอกจากนี้ยังอาจจะมีการผลิตเมื่อตัดเฉือนวัสดุเหนียวที่ความเร็วต่ำมากและอัตราป้อนสูง การแตกหักเกิดขึ้นเมื่อเศษตัดไม่ได้รับการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกและแตกแพร่กระจายจากการตัดขอบ (จุด m) เพื่อผิวหน้าฟรี (จุด n) เป็นผลให้เศษแบ่งออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ในลักษณะซ้ำๆ

ก) เศษตัดแบบไม่ต่อเนื่อง ข) เศษตัดแบบเป็นชั้น ค) เศษตัดแบบเป็นชั้นใหญ่ ง) เศษตัดแบบต่อเนื่อง



ภาพที่ 2.13 การจำแนกประเภทของประเภทเศษตัด [12]

เศษตัดต่อเนื่องแสดงในภาพที่ 2.13 เป็นเรื่องธรรมดาเมื่อวัสดุที่เหนียวมากเช่นเหล็กตัด เหล็กอ่อน ทองแดงและอลูมิเนียมเครื่องจักรจะตัดที่ความเร็วค่อนข้างสูงเหตุผลก็คือโลหะและโลหะผสมเหนียวไม่การแตกหักกระนาบที่ตัดเฉือน เป็นที่น่าสังเกตว่าการตัดภายใต้เงื่อนไขเหล่านี้เป็นสภาวะที่คงของกระบวนการการก่อตัวของเศษอย่างต่อเนื่องจะเกิดขึ้นในโซนขยาย การก่อตัวชิปอย่างต่อเนื่องในวัสดุเหนียวมีความเกี่ยวข้องกับแรงตัดที่ลดลงและผลโดยทั่วไปจะได้ผิวที่ดี เศษตัดต่อเนื่องอาจนำมาใช้หลายรูปทรงตรงหรือโค้งเคี้ยวกับชนิดของที่เป็นมักจะมี ความแข็งแรงมากเนื่องจากการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกอย่างสูงและการควบคุมของรูปร่างเศษตัดเป็นหนึ่งในปัญหาในทางปฏิบัติที่ทำหายในการควบคุมเครื่องจักรและการออกแบบเครื่องมือ

## 2.7 ไนโตรเจนเหลว [13]

ไนโตรเจนเหลว คือ ก๊าซไนโตรเจนที่ผ่านกระบวนการเพิ่มแรงดัน ขจัดก๊าซอื่นๆ ออกและผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิจนก๊าซไนโตรเจน จนกลายเป็นของเหลว ภายในระบบปิด ซึ่งมันจะมีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ -196 องศาเซลเซียส ถูกนำมาใช้อย่างหลากหลาย เช่น เป็นตัวทำความเย็นให้กับคอมพิวเตอร์ ใช้ในทางการแพทย์ ขจัดผิวหนังที่ไม่เป็นที่ต้องการ กำจัดหูด หรือเซลล์มะเร็งในระยะเริ่มแรก รวมทั้งใช้ในสภาวะที่ต้องการความเย็นอย่างมาก เพราะในทางวิทยาศาสตร์พบว่าไนโตรเจนเหลวช่วยให้วัตถุมีอุณหภูมิที่เย็นลงได้ในเวลาอันรวดเร็ว

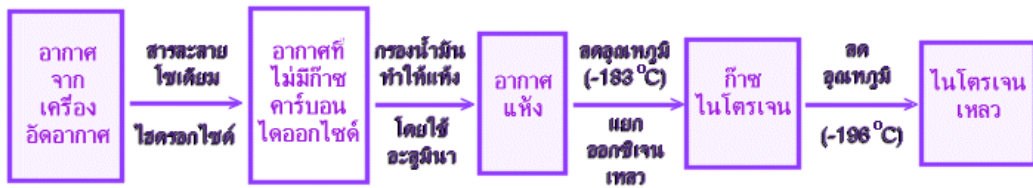
ประโยชน์ของไนโตรเจนเหลว คือ การลดอุณหภูมิของสิ่งต่างๆ ให้มีอุณหภูมิลดลง ซึ่งมันมีประโยชน์เป็นอย่างมากโดยเฉพาะในการใช้งานในแวดวงการผลิตและอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นการแช่แข็งอาหาร การเก็บรักษาเนื้อสัตว์และผลไม้ การขึ้นรูปวัสดุประเภทยางหรือพลาสติก ที่มีการใช้ความร้อนในการผลิตและต้องลดอุณหภูมิลงเพื่อให้วัสดุเหล่านั้นเป็นรูปทรง หรือใช้ในวิทยาศาสตร์และ

การแพทย์ในเรื่องการเก็บรักษาเนื้อเยื่อ หรือตัวอย่างชีวภาพทั้งหลาย ที่ต้องใช้ความเย็นจัดในการเก็บรักษา

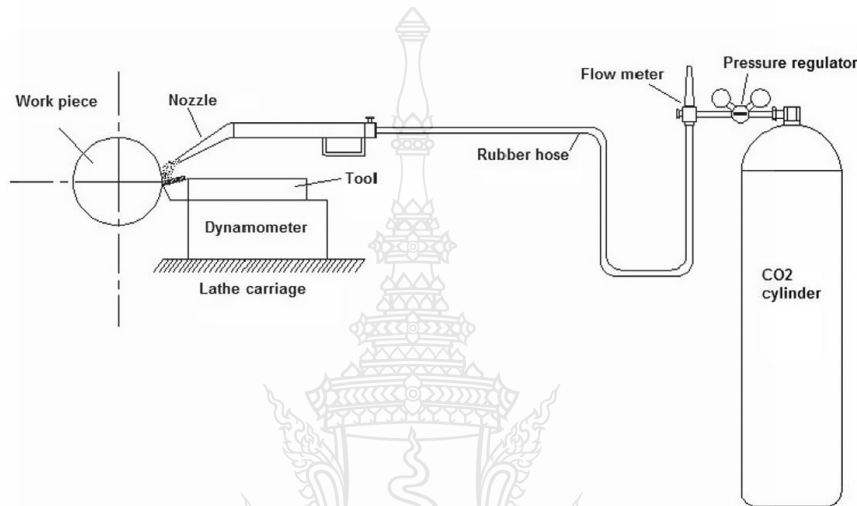
ไนโตรเจนเหลว เป็นก๊าซที่ไม่ติดไฟ แต่มันอาจเกิดการระเบิดได้เมื่อภาชนะบรรจุได้รับความร้อนสูง เนื่องจากมีความดันเกิดขึ้นในการเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นไอ ตัวสารไนโตรเจนเหลวไม่ใช่ก๊าซพิษ ซึ่งก็อย่างที่บอกไปแล้วว่ามันคือสิ่งที่เป็นส่วนประกอบหลักที่มีปริมาณมากที่สุดในอากาศ แต่อย่างไรก็ตามด้วยความที่มันเย็นจัด หากเปลือยสัมผัสผิวหนังอาจเกิดรอยไหม้จากความเย็นและทำให้เกิดอาการชาต้ออกซิเจนได้ เนื่องจากในช่วงที่มันระเหยอย่างรวดเร็วจะเข้าไปแทนที่ออกซิเจน ทำให้เป็นอันตรายได้

ไนโตรเจน เป็นก๊าซที่มีปริมาณมากที่สุดในอากาศที่หายใจเข้าไป แต่นอกเหนือจากการที่มันเป็นส่วนประกอบสำคัญในอากาศแล้ว ยังสามารถนำมาทำให้กลายสภาพจากก๊าซกลายเป็นของเหลว และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเรื่องการผลิต อุตสาหกรรม การแพทย์ และวิทยาศาสตร์ได้หลายอย่าง ปัจจุบัน การใช้ ไนโตรเจนเหลว มีความต้องการและเป็นที่นิยมมากขึ้น

การผลิตไนโตรเจนเหลว เริ่มต้นจากการอัดอากาศให้มีความหนาแน่นสูงด้วยการใช้เครื่องดูดอากาศเข้าไปในระบบ จากนั้นอัดให้อากาศไหลผ่าน สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อทำการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการทางเคมีได้ว่า  $CO_2 + 2NaOH = NaCO_3 + H_2O$  จากนั้นอากาศที่ถูกแยกเอาคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปแล้วจะนำมารองด้วยน้ำมัน เพื่อแยกน้ำ ออกก่อนแล้วตามด้วยการนำเอาความชื้นออกไป ทำให้แห้งสนิทด้วยการใช้สารดูดความชื้น อะลูมินา (AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ซึ่งหลังจากผ่านขั้นตอนนี้อากาศที่เราอัดเข้าไปในระบบก็จะเหลือแค่ ไนโตรเจน กับออกซิเจนเท่านั้น จากนั้นก็มาถึงกระบวนการสำคัญที่จะต้องทำการแยกเอาก๊าซออกซิเจนที่เหลือกับไนโตรเจนออกจากกัน ซึ่งเราสามารถทำได้ด้วยการทำให้มันกลายเป็นของเหลวก่อน ซึ่งออกซิเจนสามารถกลายสภาพจากก๊าซไปเป็นของเหลวได้ด้วยการลดอุณหภูมิให้ต่ำลง จะใช้วิธีนี้ในการแยกก๊าซออกจากกัน ซึ่งอาศัยหลักการของการกลายสภาพเป็นของเหลวของก๊าซต่างชนิดที่มีอุณหภูมิไม่เท่ากัน ออกซิเจนจะกลายเป็นของเหลวก่อน ในระดับอุณหภูมิประมาณ -183 องศาเซลเซียส ซึ่งจะสามารถแยกเอาออกซิเจนออกจากไนโตรเจนได้ทั้งหมด จากนั้นก็ยังคงลดอุณหภูมิต่อไปเพื่อให้ไนโตรเจนเปลี่ยนสภาพจากก๊าซไปเป็น ไนโตรเจนเหลว ซึ่งจะกลายสภาพในระดับอุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 2.14 กระบวนการผลิตไนโตรเจนเหลว [13]



ภาพที่ 2.15 การติดตั้งการหล่อเย็นแบบใช้คาร์บอนไดออกไซด์

## 2.8 ความหยาบของผิว [14]

ความหยาบผิวแปลมาจากคำว่า “Surface Roughness” ในภาษาอังกฤษ หมายถึงขนาดความขรุขระของผิว หากมีความขรุขระมากแสดงว่ามีความหยาบมาก หากมีความขรุขระน้อยก็แสดงว่ามีความหยาบน้อย ความขรุขระหรือความหยาบจะใช้กับผิวของวัสดุ แต่บางที่อาจใช้คำว่าความเรียบ (Flat) ซึ่งเป็นคำที่อาจทำให้สับสน เพราะความเรียบมักใช้กับแผ่นสแตนเลสแผ่นเรียบ หมายถึงแผ่นไม่ค่อยเป็นคลื่น (wave) ด้วยเหตุนี้ในบทความนี้จะใช้คำว่าความหยาบผิวแทนคำว่า “Roughness” ในภาษาอังกฤษ เหตุผลดังกล่าวความหยาบผิวจึงจัดเป็นสมบัติทางโลหะวิทยาอย่างหนึ่ง ในการวัดความหยาบผิวจะใช้เครื่องวัดความหยาบผิว ซึ่งปัจจุบันมีหลายแบบหลายยี่ห้อให้เลือก แบ่งตามการวัดค่าความหยาบผิวตามเนื้อของวัสดุ

### 2.8.1 ความหลากหลายของดัชนีแสดงค่าความหยาบของผิว

ได้มีการกำหนดคำนิยามและการระบุพารามิเตอร์แสดงความหยาบของพื้นผิว (สำหรับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม) ไว้ ซึ่งได้แก่

- Ra = ความหยาบสูงสุด  
 Ry = ค่าเฉลี่ยความหยาบของพื้นผิวแบบสิบจุด  
 Rz = ค่าเฉลี่ยระยะระหว่างช่วงเส้นกราฟไม่สม่ำเสมอ  
 Sm = ค่าเฉลี่ยระยะระหว่างยอดเส้นกราฟ  
 Tp = ความหยาบของพื้นผิวเป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิตของพื้นที่ที่ได้รับการสุ่มเลือก

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความหยาบทางคณิต [15]

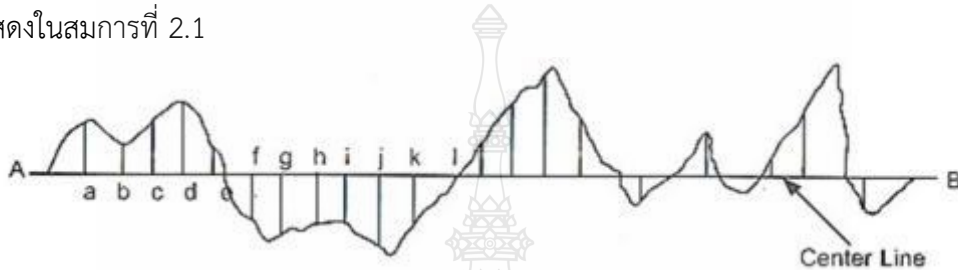
ค่าเฉลี่ยความหยาบทางคณิต Ra		ความสูงสูงสุด Ry	ค่าเฉลี่ยความหยาบ 10 จุด Rz	ความยาวสุ่ม Ry . Rz l (Mm)	สัญลักษณ์แบบเดิม
ชุดมาตรฐาน	ค่าตัดออฟ λ c (mm)	ชุดมาตรฐาน			
0.012 a	0.08	0.05 s	0.05 z	0.08	▽▽▽▽
0.025 a	0.25	0.1 s	0.1 z	0.25	
0.05 a		0.2 s	0.2 z		
0.1 a	0.8	0.4 s	0.4 z	0.8	▽▽▽
0.2 a		0.8 s	0.8 z		
0.4 a		1.6 s	1.6 z		
0.8 a		3.2 s	3.2 z		
1.6 a		6.3 s	6.3 z		
3.2 a	2.5	12.5 s	12.5 z	2.5	▽▽
6.3 a	8	25 s	25 z	8	▽
12.5 a		50 s	50 z		
25 a		100 s	100 z		
50 a		200 s	200 z		
100 a	-	400 s	400 z	-	~

\* ค่าตัวเลขทั้งสามไม่ใช่ค่าสมบูรณ์แต่ทำการปิดเพื่อให้ดูง่ายขึ้น

\* ค่า Ra คำนวณจากความยาว Ry และ Rz ได้จากการรวมค่าตัดออฟและความยาวสุ่ม แล้วหารด้วย 5

## 2.8.2 ความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต (Roughness average: Ra)

เป็นการแสดงความหยาบพื้นผิวด้วยค่าเฉลี่ยทางเลขคณิตของผิวที่วัด ซึ่งเป็นค่าที่นิยมใช้กันมากที่สุด และหลายมาตรฐานมักอ้างอิงค่านี้ในการกำหนดมาตรฐานความหยาบผิว การหาค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิตได้จากการรวมพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นเหนือเส้นกึ่งกลาง (Center-Line) กับพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นใต้เส้นกึ่งกลาง ทหารด้วยความยาวเฉลี่ย ( $L_m$ ) โดยที่ค่าของ Ra มีหน่วยวัดเป็นไมโครเมตร ดังแสดงในภาพที่ 2.16 และสามารถนำมาคำนวณหาค่าของความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ดังแสดงในสมการที่ 2.1



ภาพที่ 2.16 การวัดความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต (Roughness average: Ra) [16]

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |y| dx = \frac{a+b+c+d+\dots}{n} \quad (2.1)$$

เมื่อ

Ra = ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย ( $\mu\text{m}$ )

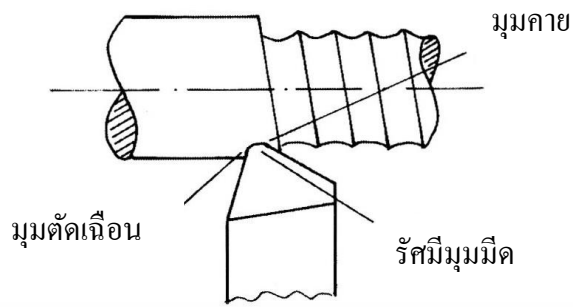
L = ความยาวอ้างอิงการวัดผิว ( $\mu\text{m}$ )

y = ความลึกของผิว ( $\mu\text{m}$ )

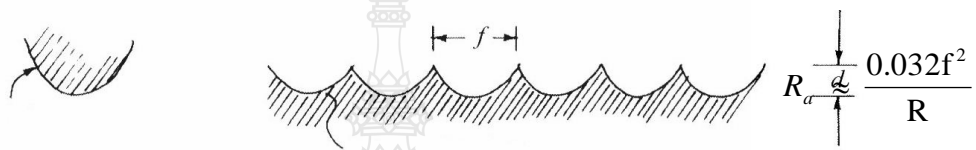
dx = อนุพันธ์ของความหยาบผิว

## 2.8.3 องค์ประกอบของความไม่ราบเรียบบนพื้นผิว

2.7.3.1 Roughness เกิดจากกรรมวิธีการผลิต เช่น รัศมีของมีดกลึง มีดกัด (Machining) หรือรอยขีดจากผงขัด (Polishing, Grinding) ดังภาพที่ 2.18 และ 2.19



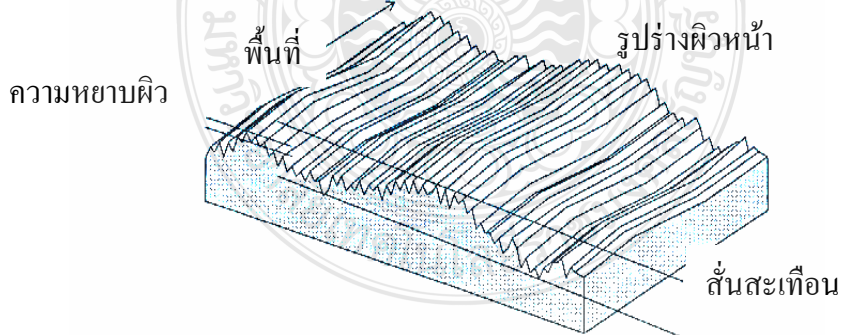
ภาพที่ 2.17 ความหยابผิวที่เกิดจากส่วนของรัศมีของปลายคมตัด [16]



ภาพที่ 2.18 ภาพแสดงสมการของอัตราบ่อนที่มีอิทธิพลต่อความหยابผิว [16]

2.8.3.2 Waviness เกิดจากการผลิตที่ไม่เที่ยงตรงเช่นความสั่นสะเทือนของชิ้นงาน หรือความสั่นสะเทือนของ Cutting Tool

2.8.3.3 Errors of Form เกิดจากความผิดพลาดในการผลิตเช่น Errors จาก Slideways, การหมุนของเครื่องจักรหรือ Thermal Distortion



ภาพที่ 2.19 องค์ประกอบความไม่ราบเรียบบนพื้นผิว [16]



## 2.9 ไตนาโมมิเตอร์ [15-17]

ไตนาโมมิเตอร์แบบวัดแรงตัดชนิด Piezoelectric 3 แกน (x,y,z) เป็นเครื่องมือวัดที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้วัดแรงตัดเฉือนในกระบวนการการตัดเฉือนโลหะโดยเฉพาะซึ่งสามารถวัดแรงได้ทั้ง 3 แกน ได้แก่  $F_x$ ,  $F_y$  และ  $F_z$  รวมถึงโมเมนต์รอบแกนที่เกิดขึ้นด้วยอันได้แก่  $M_x$ ,  $M_y$  และ  $M_z$  โดย ไตนาโมมิเตอร์แบบวัดแรงตัดชนิด Piezoelectric 3 แกน (x,y,z) ประกอบด้วยหัววัดแรงชนิด 3 แกน (3-Axis Force Sensor) ที่ทำจาก Piezoelectric จำนวน 4 หัว โดยหัววัดแรงจะถูกประกอบด้วยฐานและแผ่นด้านบนที่ทำจากโลหะ โดยภายในแทนวัดจะทำการเดินสายสัญญาณมายังหัวเชื่อมต่อเพื่อทำการเชื่อมต่อสายสัญญาณเพื่อนำไปขยายสัญญาณและประมวลผล ดังแสดงในภาพที่ 2.20

ไตนาโมมิเตอร์ Kistler Type 9257B ที่สามารถวัดแรงได้ 3 แนวแกน นั้นคือใช้สำหรับวัดแรงในการตัดเฉือนด้วยงานกลึงงานกัด และงานเจียรระโน ซึ่งค่าของแรงที่วัดได้จะต้องผ่านชุดแปลงสัญญาณ หลังจากนั้นจึงจะไปผ่านชุดประมวลผลที่เครื่องพีซีคอมพิวเตอร์ด้วยซอฟต์แวร์ Dyno Ware ซึ่งภายในเครื่องพีซีจะต้องมีแผงวงจรที่เป็นตัวรับสัญญาณจากชุดแปลงสัญญาณมาทำการประมวลผล



ภาพที่ 2.20 ไตนาโมมิเตอร์แบบวัดแรงตัดชนิด Piezoelectric 3 แกน [17]

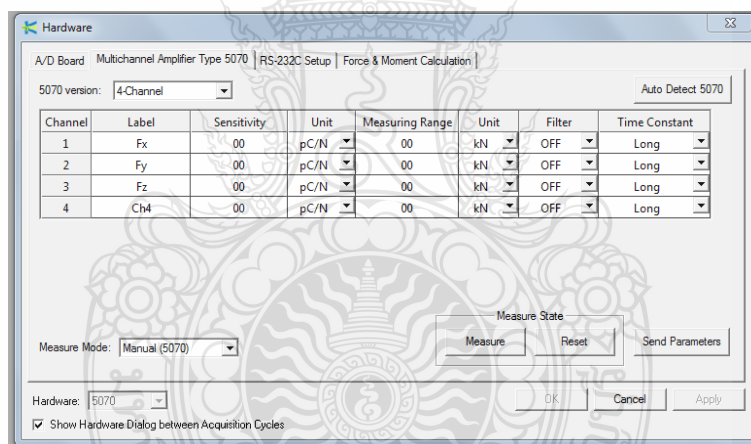
ชุดไตนาโมมิเตอร์สำหรับงานกลึง จากรูปจะเห็นได้ว่าชุดไตนาโมมิเตอร์จะทำการติดตั้งอยู่บนชุดป้อมมีดของเครื่องกลึง โดยที่จะต้องทำการถอดชุดป้อมมีดนั้นออกก่อน แล้วจึงทำการติดตั้งไตนาโมมิเตอร์ Kistler Type 9257B เข้าไปแทนที่ การใช้งานร่วมกันเครื่องกลึงนั้น สำหรับไตนาโมมิเตอร์รุ่นนี้จะมีข้อจำกัดอยู่บ้างก็คือ ไม่สามารถใช้ทดสอบร่วมกับเครื่องกลึงที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งนอกจากนี้แล้วชุดไตนาโมมิเตอร์ดังกล่าวยังสามารถใช้งานร่วมกับเครื่องเจาะ และเครื่องกัดที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ได้

### 2.9.1 การใช้งานซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผล Dynoware

Dynoware เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกออกแบบเพื่อการจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลการวัดแรงในการตัดเฉือน โดยตัวโปรแกรมจะรองรับการทำงานของอุปกรณ์ของ Kistler และถูก

ออกแบบให้ใช้งานง่าย ทั้งในการติดตั้งและใช้ทดสอบไดนามิเตอร์เครื่องมือตัดเข้ากับเครื่องกลึงที่จะทำการทดสอบ พร้อมทั้งทำการต่อสายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างชุดแปลงสัญญาณกับไดนาโมมิเตอร์เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปจึงเข้าสู่การกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ สำหรับใช้ในการทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาค่าของแรงในการตัดเฉือน ที่กระทำกับเครื่องมือตัดแต่ละชนิดได้ ซึ่งสามารถอธิบายได้ตามขั้นตอนดังนี้

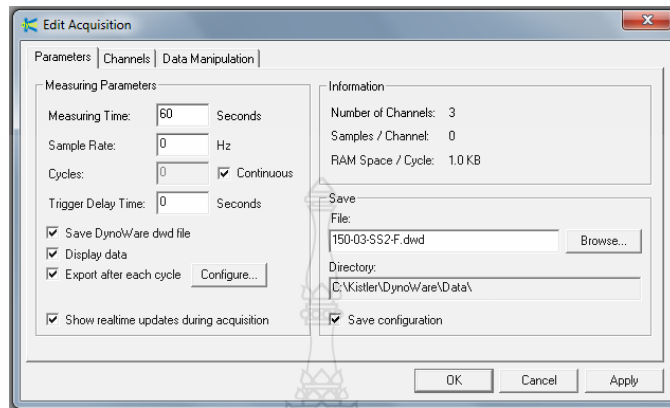
ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดค่าของแรงที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของการกำหนดค่าตัวแปรหรือเงื่อนไขในการตัดเฉือนและวัสดุเครื่องมือตัด สำหรับซอฟต์แวร์ที่ใช้ร่วมกับไดนาโมมิเตอร์ชุดนี้ จะสามารถกำหนดหรือตั้งค่าของแรงได้ 3 แนวแรง (Fx, Fy, Fz) นั่นก็คือ แรงในแนวแกน X (Feed Force) แรงในแนวแกน Y (Radial Force) แรงในแนวแกน Z (Cutting Force) สำหรับการทดสอบด้วยงานกลึงจะเลือกใช้ค่าของแรงเพียง 3 ค่าเท่านั้น คือ Fx, Fy, และ Fz เมื่อได้ทำการกำหนดค่าของช่วงแรงที่ใช้ในการวัดเสร็จแล้ว จึงทำการส่งพารามิเตอร์นี้ไปยังชุด Charge Amplifier โดยการกด Send Parameter แล้วจึงทำการตอบตกลงเพื่อทำการตั้งค่าตัวแปรอื่นๆ ต่อไป



ภาพที่ 2.21 การกำหนดค่าของแรงที่ใช้ในการทดสอบ

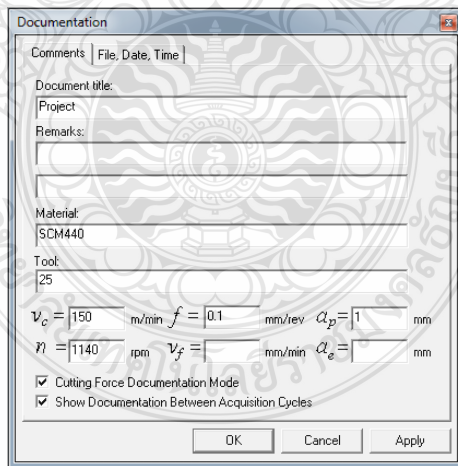
ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดช่วงเวลาของการทดสอบ สำหรับซอฟต์แวร์ Dynoware นี้จะกำหนดช่วงเวลาของการทดสอบเป็นวินาที เวลาที่กำหนดให้กับการทดสอบนี้ ส่วนใหญ่แล้วจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของการตัดเฉือน เช่น อัตราป้อนและค่าความเร็วตัด จะต้องสัมพันธ์กันกับการกำหนดช่วงเวลาของการทดสอบ เวลาที่กำหนดในซอฟต์แวร์ควรจะกำหนดให้มีค่ามากกว่าเวลาที่ใช้ในการทดสอบจริง เพื่อป้องกันปัญหาที่อาจเกิดจากการตัดเฉือนที่ยังไม่สมบูรณ์ นอกจากการกำหนดเวลาในการทดสอบ

แล้ว ยังสามารถกำหนดชื่อไฟล์ที่จะทำการบันทึกและตำแหน่งที่จะทำการจัดเก็บไฟล์ เมื่อทำการทดสอบเสร็จแล้วผลที่ได้จากการทดสอบจะนำไปเก็บไว้ยังไฟล์ดังกล่าว



ภาพที่ 2.22 การกำหนดช่วงเวลาของการทดสอบ

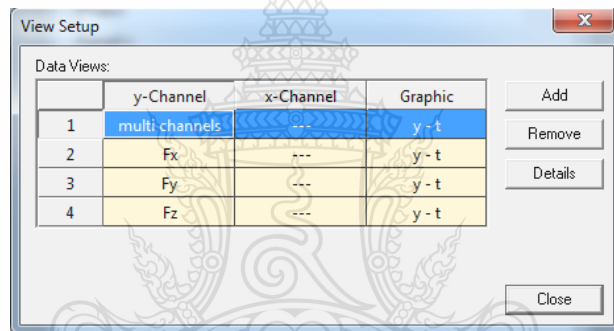
ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดสภาวะเงื่อนไขในการตัดเฉือนการกำหนดค่าสภาวะเงื่อนไขในการตัดเฉือน ประกอบด้วย ชื่อที่ใช้ในการทดสอบ วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ วัสดุเครื่องมือตัด ความเร็วตัด อัตราป้อน ความเร็วรอบ และความลึกในการป้อนตัด เป็นต้น



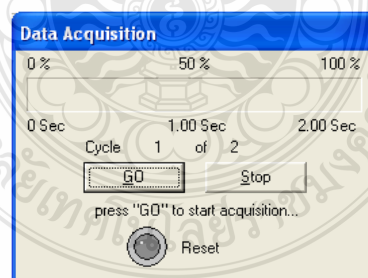
ภาพที่ 2.23 การกำหนดสภาวะเงื่อนไขในการตัดเฉือน

ขั้นตอนที่ 4 การกำหนดจำนวนของแรงที่จะแสดงผล สามารถจะเพิ่มและลดจำนวนได้ เมื่อทำการกำหนดค่าต่างๆ ที่จะใช้สำหรับการตัดเฉือน ดังภาพที่ 2.25 พร้อมทั้งทำการจับยึดชิ้นงาน

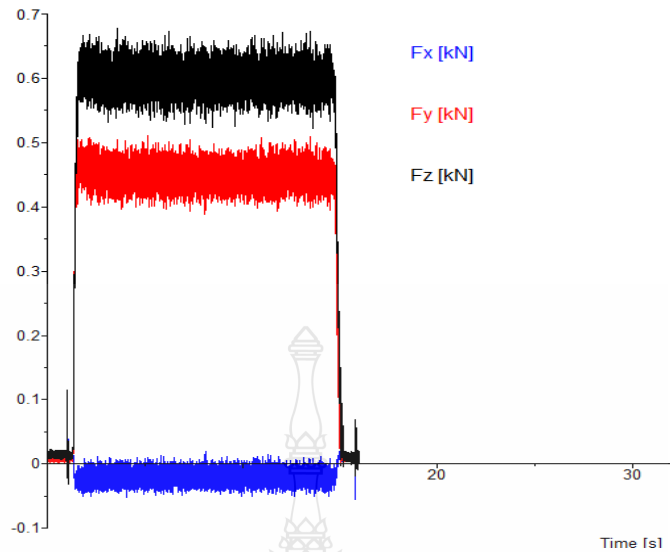
และกำหนดค่าสภาวะเงื่อนไขในการตัดเงื่อนไขเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปจึงเริ่มทำการตัดเงื่อนไข โดยการกดปุ่ม “GO” ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ แล้วจึงเริ่มทำการตัดเงื่อนไข โดยที่หน้าต่างของ Data Acquisition ดังภาพที่ 2.26 จะขึ้นเป็นแถบสีเขียวที่แสดงเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์ ตามที่ได้ตั้งค่าของเวลาที่ใช้ในการทดสอบไว้ตั้งแต่ต้น หลังจากนั้นจะเป็นขั้นตอนของการรับค่าสัญญาณจากไดนาโมมิเตอร์ ผ่าน Charge Amplifier และประมวลผลออกมาในรูปของแรงที่ได้จากการตัดเงื่อนไข ดังแสดงในภาพที่ 2.27 สามารถแสดงผลกราฟของแรงแต่ละแนวแรง และกราฟที่แสดงค่าของแรงรวมกันทั้ง 3 แรง จากกราฟของแรงที่ได้ยังสามารถเลือกแสดงผลได้ที่ละค่า พร้อมทั้งหาค่าของแรงสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยได้ โดยการเข้าไปปรับแก้ที่ซอฟต์แวร์ Dynoware ได้ตลอดเวลา เพราะว่าตัวซอฟต์แวร์เองได้ทำการบันทึกไฟล์ที่ใช้ในการทดสอบไว้แล้วตั้งแต่ตอนเริ่มต้นกำหนดค่าต่างๆ ค่าของแรงสูงสุด ต่ำสุด และค่าแรงโดยเฉลี่ย เราสามารถกำหนดช่วงของแรงที่ต้องการทราบค่า หรือทำการปรับแต่งกราฟให้มีความเหมาะสมได้



ภาพที่ 2.24 การกำหนดจำนวนของแรงที่จะแสดงผล



ภาพที่ 2.25 แสดงการเริ่มทำการตัดเงื่อนไข โดยการกดปุ่ม GO



ภาพที่ 2.26 แสดงแรงที่ได้จากการตัดเฉือน

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.10.1 D. Kramar, P. Krajnik J. Kopac. 2009 [18] ได้ทำการศึกษาระบายความร้อนในกระบวนการกลึงเหล็กชุบแข็ง HARDENED STEEL CK45 ด้วยเทคนิคหล่อเย็น HIGH PRESSURE COOLING (HPC) ด้วยอัตราการไหล 1.4 ลิตรต่อนาที ความเร็วตัด 90 – 160 เมตรต่อนาที พบว่าความเร็วตัดเพิ่มขึ้นได้ 45% อัตราป้อน feed เพิ่มขึ้นได้ 25% อายุการใช้งานของมีดกลึงเพิ่มขึ้นห้า เท่า และการทดลองแบบ HPC หนึ่งครั้งเท่ากับการใช้แบบการทดลองแบบหล่อเย็นแบบเปียก (Coolant) ได้ถึงสี่ครั้ง

2.10.2 Y. R. Ginting, B. Boswell\*, W. Biswas, M.N. Islam. 2015 [2] ได้ศึกษาวิจัยสารหล่อเย็นการปรับปรุงเครื่องจักรที่ใส่ใจต่อสิ่งแวดล้อมดำเนินการเพื่อช่วยกำจัดของเหลวขยะที่เกิดขึ้นที่บริษัทผลิตสกรู (Bolt) ในประเทศออสเตรเลีย ด้วยงานกลึง แบบเปียก, แบบ MQL+AIR พบว่า ความเรียบผิวแบบ MQL+AIR ดีกว่าแบบเปียก, อัตราการสึกหรอมีดกลึงน้อยกว่าแบบเปียก, ธรรมชาติสิ่งแวดล้อมบริเวณทำงานดีกว่าแบบกลึงเปียก และค่าใช้จ่ายประหยัดลดลงกว่าการหล่อเย็นแบบเปียก (Coolant)

2.10.3 Y. R. Ginting, B. Boswell\*, W. Biswas, M.N. Islam. 2015 [19] การตรวจสอบวิธีการทำความเย็นแบบอื่นเพื่อให้ได้กระบวนการเครื่องจักรที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่บริษัท Don had ผลิตสกรูมีปัญหาเกี่ยวกับสารเคมีและน้ำยาหล่อลื่นรั่วไหลและต้องใช้งบประมาณในการทำความสะอาด 40,000 US ทำการทดลองด้วยเทคนิคหล่อเย็นที่แตกต่างกันงานกลึงผิวโลหะเงินไน

พารามิเตอร์ การตัดด้วย อัตราป้อน ความเร็วตัด ความลึกตัด หยาดผิว ด้วยเทคนิคการหล่อเย็น Dry and MQL+ COLD COMPRESSED AIR เพื่อการวิเคราะห์ผลพบว่า การใช้กระแสไฟฟ้าลดลง การสึกหรอของมีดกลึงน้อยกว่าใช้แบบ coolant ร่องรอยคราบเขม่าสกปรกแบบ MQL+ COLD COMPRESSED AIR น้อยกว่าแบบCOOLANT 45% ค่าใช้จ่ายลดลงได้ 4%

2.10.4 J.L. Pay, S. Ainusyafiqah ,C.S.Nor Azwadi, Y. Jiwang, 2017 [20] ได้ศึกษาพารามิเตอร์ เทคนิคการหล่อเย็น งานกลึงเหล็กชุบแข็งสูงกว่า45HRC พบว่าการหล่อเย็นด้วยของเหลวแบบ Cryogenic cooling อายุการใช้งานของมีดกลึง,การสึกหรอ,ความเรียบผิว เป็นสิ่งสำคัญของแต่ละขั้นตอนการทำ Machining ความลึกตัดและความเร็วตัดเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดสำหรับการสึกหรอ ด้านข้างของมีดกลึง ปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อความเรียบผิวคือแรงตัด ความเร็วตัดตามด้วยอัตราป้อน การหล่อเย็นแบบ Cryogenic การเพิ่มแรงดันสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการหล่อเย็นได้และเพิ่มอายุการใช้งานของมีดกลึงได้มากกว่า แบบแห้งและ MQL

2.10.5 A. Altin, M. Nalbant, and A. Taskesen, 2007.[21] ได้ทำการศึกษา ผลกระทบของความเร็วในการตัดที่มีต่อการสึกหรอของเครื่องมือและอายุการใช้งานของเครื่องมือเมื่อตัดเฉือนวัสดุInconel 718 ด้วยเครื่องมือเซรามิกพบว่าค่าการสึกหรอของเม็ดมีดและความหยาดผิวมีทิศทางไปในลักษณะเดียวกัน จากผลการทดลองความเร็วตัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการสึกหรอเพิ่มขึ้นตาม การสึกหรอเกิดขึ้นเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างเม็ดมีดกับชิ้นงาน เมื่อความเร็วตัดเพิ่มขึ้นทำให้เม็ดมีดได้รับแรงเสียดทานเท่าเดิมได้เร็วขึ้นดังนั้นเม็ดมีดจึงเกิดการสึกหรอได้เร็วขึ้น

2.10.6 M. Yasir, T. L. Ginta, B. Ariwahjoedi, 2016. [24] ได้ทำการศึกษาค่าพารามิเตอร์ในการตัดที่มีต่อความหยาดผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316Lด้วยเครื่องมือคาร์ไบด์ทั้งสเตนโดยใช้วิธีการกลึงที่ อัตราการป้อนมีตั้งแต่ 0.10 มม. / รอบถึง 0.14mm / rev ในขณะที่ความเร็วในการตัดมีตั้งแต่ 80 m / min ถึง 120 m / min ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (SEM) และเครื่องวัดพื้นผิว Mitutoyo ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับความหยาดผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L พบว่าความเร็วตัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ชิ้นงานมีความร้อนสูงขึ้นดังนั้นจึงทำให้ง่ายต่อการตัดเฉือนชิ้นงานจึงมีความเรียบมากกว่าความเร็วตัดที่ต่ำกว่า ในส่วนของความหยาดผิวที่เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอัตราป้อน

2.10.7 T. C. YAP, 2015. [28] ศึกษาผลของไนโตรเจนเหลวอุณหภูมิต่อความหยาดผิวแรงตัดและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพื้นผิวกลึงเมื่อทำการกลึงเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ในสภาวะเปียกแห้งและเย็น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการตัดเฉือนด้วยไนโตรเจนเหลวจะเพิ่มแรงตัดลดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน นอกเหนือจากนี้การกลึงทั่วไปกับน้ำมันตัดยังคงเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตพื้นผิวที่ดีในการตัดความเร็วสูงของเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ในขณะที่การตัดเฉือนแบบแห้งนั้นให้

ความหยาบผิวที่ดีที่สุดในการตัดความเร็วต่ำ เครื่องจักรกล Cryogenic ไม่สามารถแทนที่น้ำมันตัดแบบธรรมดาในการกลึงเหล็กกล้าคาร์บอน

2.10.8 Ç. V. Yildirim, 2019 [30] ศึกษาผลกระทบของสภาวะการทำความเย็นที่มีต่อความสามารถในการแปรรูปซึ่งอาจเป็นทางเลือกในการระบายความร้อนแบบเดิม ทำการทดลองหล่อลื่นแบบแห้งปริมาณขั้นต่ำ nanofluids การระบายความร้อนด้วยอนุภาคนาโนและการผสมกับวิธีการทำความเย็นเป็นวิธีที่ต้องการ สำหรับนาโนฟลูอิดจะใช้ HBN และ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> เป็นสารเติมแต่งในขณะที่ LN<sub>2</sub> นั้นเหมาะสำหรับการทำให้เย็นด้วยอนุภาคนาโน การสึกหรอของเครื่องมืออนุภาคนาโนของส่วนต่อประสานชิ้นส่วนของเครื่องมือและความขรุขระของพื้นผิวถูกเลือกเป็นคุณลักษณะการประเมิน ผลการทดลองพบว่าวิธีการระบายความร้อน 0.5% HBN ที่ใช้ร่วมกับไนโตรเจนเหลวให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในเรื่องประสิทธิภาพการตัดเฉือน

## 2.11 สรุปแนวคิดของงานวิจัยนี้

จากการการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถนำมาสรุปเพื่อเป็นแนวทางในงานวิจัย โดยนำเทคนิคการใช้การหล่อเย็นด้วยไครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว) มาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยว่าการหล่อเย็นนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น เงื่อนไขในการตัด อัตราป้อน ความเร็วตัด ความลึกตัด และการเลือกใช้วัสดุชิ้นงาน วัสดุมีดตัด แรงดันไนโตรเจนที่ใช้หล่อเย็น เป็นต้น

ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นได้หลายอย่างเช่น การสึกหรอมีดตัด ความเรียบผิวชิ้นงาน แรงตัดที่เกิดขึ้น อนุภาคนาโนที่เกิดขึ้น เป็นต้น

นำเทคนิคการหล่อเย็นด้วยไนโตรเจนเหลวมาประยุกต์ใช้กับการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมเพื่อลดการสึกหรอของเครื่องมือตัดและยังช่วยลดมลพิษในสิ่งแวดล้อมทำให้สุขภาพของพนักงานดีขึ้นเมื่อพนักงานมีสุขภาพดีก็ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตเพิ่มขึ้น ไนโตรเจนเหลวจึงเป็นอีกทางเลือกในการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต

## บทที่ 3

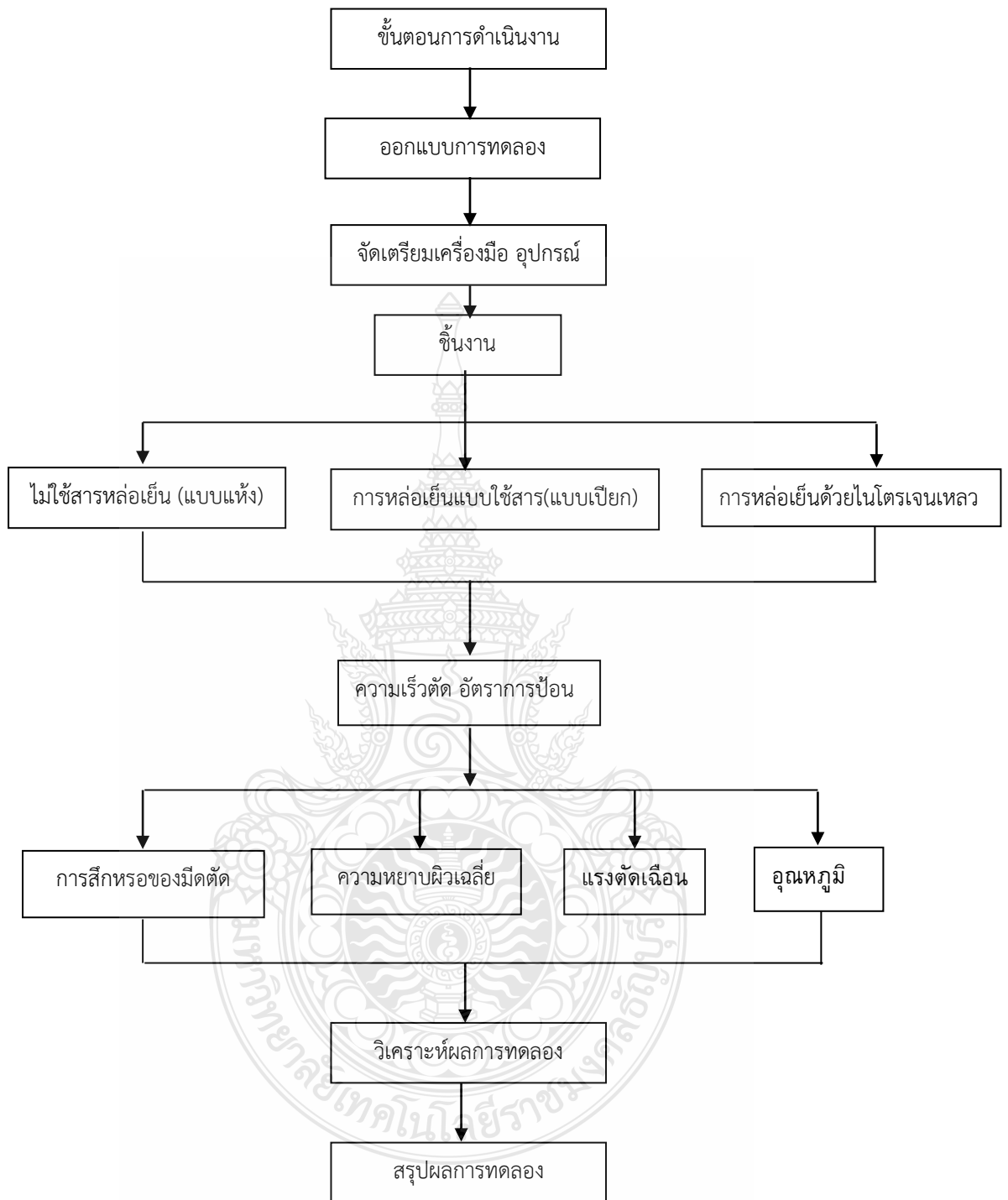
### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นศึกษาอิทธิพลของการหล่อเย็นและหล่อเย็นด้วยไนโตรเจนเหลวในกระบวนการตัดเฉือนวัสดุประเภทงานกลึงซึ่งมุ่งเน้นในการลดอุณหภูมิในการตัดเฉือนเนื่องจากเป็นสาเหตุหลักของกลไกการสึกหรอของเครื่องมือตัดและเพื่อช่วยลดความเป็นพิษของสารหล่อลื่นๆ ต่อสิ่งแวดล้อมโดยทำการฉีดพ่นไครโยเจนิค (ไนโตรเจนเหลว) ไปที่ปลายคมตัดของเครื่องมือ โดยกลึงเปรียบเทียบกับการหล่อเย็นแบบเปียกและแบบแห้ง ที่มีผลต่อ คุณภาพผิวชิ้นงานและการสึกหรอของมีด ในงานตัดเฉือนโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ขึ้นรูปด้วยเครื่องกลึง CNC lathe จากการศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องซึ่งสภาวะการตัดเฉือนที่ประกอบไปด้วย ความเร็วตัด อัตราป้อน ความลึกในการตัดเฉือน ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังแสดงในภาพที่ 3.1







ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลอง

### 3.2 วัสดุเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

3.2.1 วัสดุทดลอง เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ตามมาตรฐาน AISI อยู่ในกลุ่มอสเทนนิติก เป็นกลุ่มที่นิยมใช้กันมากที่สุด โดยมีโครเมียมกับโมลิบดีนัมจะทำให้สแตนเลสมีคุณสมบัติทนต่อสนิมและการกัดกร่อนได้ดี หรือเป็นเกรดที่ปฏิกิริยากับกรดน้อย สามารถเพิ่มความแข็งด้วยการรีดเย็นหรือชุบแข็งได้ แม่เหล็กดูดติด ขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.40 มิลลิเมตร ยาว 220 มิลลิเมตร

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 ที่ใช้ในการทดลอง

Composition	Chemical composition (%)
	AISI 420
C	0.28
Si	1.0
Mn	1.5
Ni	0.5
S	0.03
Cr	10.5
Mo	0.5



ภาพที่ 3.2 แสดงชิ้นงานทดลอง เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420

3.2.2 วัสดุเม็ดมีดกลึงเกรดเม็ดมีดที่ทำมาทำการทดสอบ มีดกลึงที่ใช้แบบ Tungaloy รุ่น CNMG120408 - TM T9125 รัศมีมุม 0.4 มิลลิเมตร เม็ดมีดรูปทรงขนมเปียกปูน เม็ดมีดที่นำมาใช้ในการทดสอบเป็นเม็ดมีดกลึงหยาบ



ภาพที่ 3.3 ชนิดของเม็ดมีดที่ใช้ในการทดลอง

3.2.3 น้ำมันหล่อเย็นในการตัดแบบเปียก (Coolant) ยี่ห้อเย็น BIO CUT No.4BB เป็นน้ำมันที่มีสารเจือปนชนิดน้ำนมชนิดไม่มีสารไนเตรท โดยทั่วไปสามารถใช้กับเหล็กหล่อเหล็ก อลูมิเนียมและทองเหลือง น้ำมันหล่อเย็นมีอายุการใช้งานยาวนานป้องกันการกัดกร่อนที่ดีในชิ้นงานและเครื่องจักร เหมาะสำหรับการใช้งานทั่วไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้งานด้านงานกลึง, กัด, เจาะ, ตีแปดเกลียว, ทำเฟืองและงานเจียรระไน โดยใช้อัตราส่วนผสม 6 – 8% ในงานวิจัยนี้ใช้อัตราส่วนผสมที่ 5% มีคุณสมบัติจำเพาะดังนี้

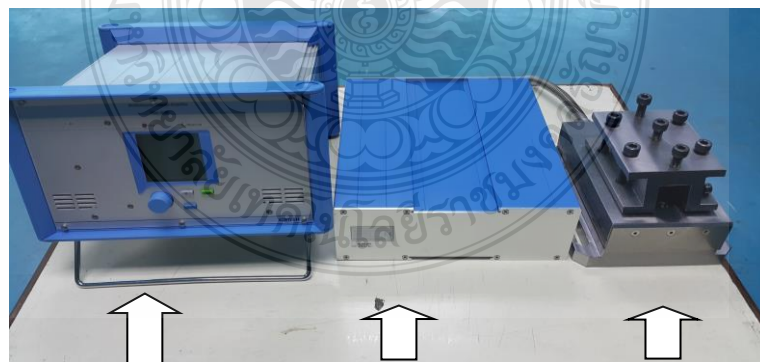
ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติจำเพาะน้ำมันหล่อเย็นในการตัดแบบเปียก

รายการ	ค่ากำหนด
Appearance (Concentrate)	Yellow- brown liquid
Appearance (@ 5% Emulsion)	Milky emulsion
Density @ 30oC, g./cm <sup>3</sup>	0.880
PH (@ 5%)	8.5 - 9.5
Corrosion Test (@ 5%, IP 125)	Pass
Thermal Stability	Clear & Stable
Emulsion Stability	Clear & Stable



ภาพที่ 3.4 แสดงน้ำยาหล่อเย็นที่ใช้ในการทดลอง

3.2.4 ชุดวัดแรงแบบ 3 แกน ใช้ชุดไดนาโมมิเตอร์วัดแรงตัด รุ่น 9257B ยี่ห้อ KISTLER SN. 4464621 แบบวัดแรงตัดเซนเซอร์ชนิด Piezoelectric 3 แกน (X,Y,Z) (Dynamometer) เป็นเครื่องมือวัดที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้วัดแรงตัดเฉือนโลหะโดยเฉพาะซึ่งสามารถวัดแรงได้ทั้ง 3 แกน ได้แก่  $F_x, F_y$  และ  $F_z$  รวมถึงโมเมนต์รอบแกนที่เกิดขึ้นด้วยอันได้แก่  $M_x, M_y$  และ  $M_z$  โดยไดนาโมมิเตอร์แบบวัดแรงตัดชนิด Piezoelectric 3 แกน (x,y,z) ประกอบด้วยหัวแรงชนิด 3 แกน (3-Axis Force) ที่ทำจาก Piezoelectric จำนวน 4 หัว หัววัดแรงจะถูกประกบด้วยฐานและแผ่นด้านบนที่ทำจากโลหะ โดยภายในแทนวัดจะทำการเดินสายสัญญาณมายังหัวเชื่อมต่อเพื่อทำการเชื่อมต่อสัญญาณเพื่อนำไปขยายสัญญาณเพื่อนำไปขยายสัญญาณและประมวลผลเพื่อบันทึกผลการทดลอง ทำกราฟต่อไป ดังรูปด้านล่าง



อุปกรณ์ขยายสัญญาณวัดค่าแรงตัด  
(Multi – Channel Charge Amplifier)

แทนวัดแรงชนิด 3 แกน (X, Y, Z)  
(Dynamometer)

ภาพที่ 3.5 ชุดไดนาโมมิเตอร์แบบวัดแรง 3 แกน

### 3.2.6 เครื่องจักรสำหรับการทดลอง เครื่องกลึง CNC ที่ใช้รุ่น TURN450 ยี่ห้อ EMCO



ภาพที่ 3.6 แสดงเครื่องกลึงซีเอ็นซี (CNC Lathe) ที่ใช้ในการทดลอง

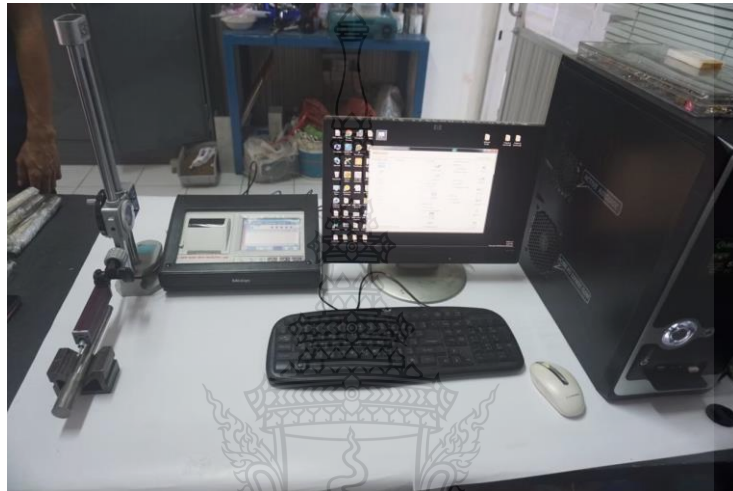
### 3.2.7 ด้ามจับเม็ดมีดกลึงชนิดกลึงปอกนอกที่ใช้ในการทดลอง



นำด้ามจับเม็ดมีดกลึงทำการเจาะรูเพื่อใส่สายวัดค่าอุณหภูมิบริเวณตัดมีดกลึงขณะทำการตัดเฉือน โดยใช้วิธีการ Super drill ให้ทะลุจากแผ่นรองมีดจนถึงด้ามมีด

ภาพที่ 3.7 แสดงด้ามจับเม็ดมีดกลึงที่ใช้จับเม็ดมีด

3.2.8 เครื่องวัดความหยาบผิว (Surface roughness machine) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความหยาบผิวของชิ้นงานทดสอบคือ เครื่อง SURFTEST : 301 ของ บริษัท Mitutoyo ซึ่งจะทำการวัดชิ้นงานที่ผ่านการกลึงมาเรียบร้อยแล้ว ซึ่งความหยาบผิวของชิ้นงานที่ทำการวัดต้องไม่เกิน 3.2 ไมโครเมตร หากเกิน 3.2 ไมโครเมตร ถือว่าเม็ดเม็ดที่ใช้ในการตัดเฉือนหมดอายุการใช้งาน โดยในการวัดค่าความหยาบผิวจะใช้ค่าคัทออฟ 2.5 มิลลิเมตร และค่าความยาวสุ่มที่ 2.5 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3.8 แสดงเครื่องวัดความหยาบผิว

3.2.9 กล้องจุลทรรศน์ใช้กล้องจุลทรรศน์ (Dino-Lite รุ่น AM-4113)

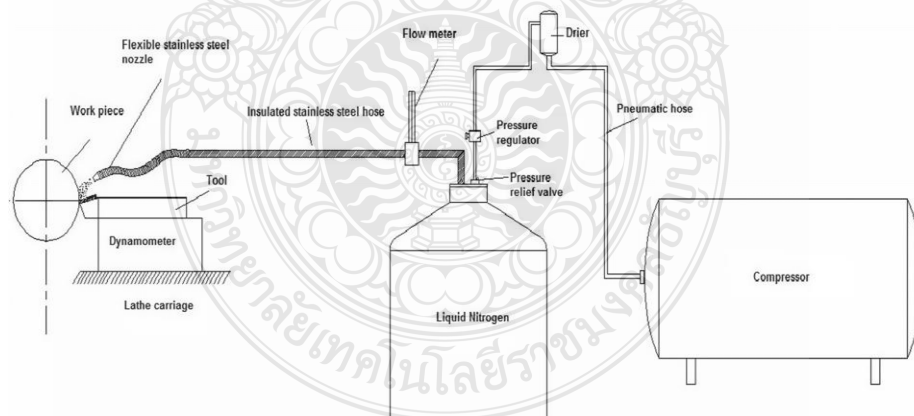


ภาพที่ 3.9 แสดงกล้องจุลทรรศน์

3.2.10 Thermometer รุ่น NI CompactDAQ 9174 เป็นเครื่องมือวัดระบบ NI CompactDAQ จะสามารถเชื่อมต่อและรับส่งสัญญาณร่วมกับเครื่องมือต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยระดับความต่างศักย์ของสัญญาณไฟฟ้า อุณหภูมิ แรงกด เสียง และความสั่นสะเทือน รวมถึงสามารถสลับวงจรและการรับส่งสัญญาณดิจิทัลได้ โดยโมดูลของระบบทุกส่วนสามารถถูกสลับเปลี่ยนและถูกค้นพบโดยตัวระบบได้ง่าย



ภาพที่ 3.10 แสดงภาพเครื่องวัดอุณหภูมิ



ภาพที่ 3.11 การติดตั้งถังแรงดันสำหรับไนโตรเจนเหลว

### 3.3 การออกแบบการทดลอง

จากการศึกษาพบว่าข้อกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการทดลองที่มีผลกระทบต่อความหยาบผิวชิ้นงานและสีกรหของมีดตัด สามารถจำแนกเงื่อนไขพารามิเตอร์ได้ดังต่อไปนี้ แรงดัน อัตราป้อน

ความเร็วตัดและความลึกตัด กำหนดระดับ (Level) ของตัวแปร จะกำหนดตามเงื่อนไขของผู้ผลิต เครื่องมือตัดวัสดุที่กำหนดจากคู่มือแนะนำการใช้งาน

3.3.1 ปริมาณแรงดันไนโตรเจน 2 บาร์

3.3.2 อัตราป้อน 3 ระดับ คือ 0.007 0.14 0.21 มิลลิเมตรต่อรอบ

3.3.3 ความเร็วตัด 3 ระดับ คือ 60 120 180 เมตรต่อนาที

3.3.4 ความลึกตัด 1 ระดับ คือ 1 มิลลิเมตร

3.3.5 วิธีการหล่อเย็น 3 แบบ คือ ไนโตรเจนเหลวแรงดัน 2 บาร์ แบบเปียกอัตรา การไหล 7 ลิตร/นาที และแบบแห้ง

ค่าการตัดเฉือนจะเลือกจากค่าเหมาะสมจากเงื่อนไขของผู้ผลิตเครื่องมือตัด

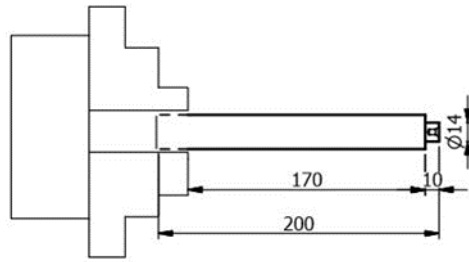
### ตารางที่ 3.3 แสดงค่าตัวแปรใช้ในการทดลอง

ระดับตัวแปรการทดลอง	
ปริมาณแรงดันไนโตรเจน	2 บาร์
อัตราป้อน , $f_n$ (มิลลิเมตรต่อรอบ)	0.007 0.14 0.21
ความเร็วตัด , $V_c$ (เมตรต่อนาที)	60 120 180
ความลึกตัด , $D_c$ (มิลลิเมตร)	1
วิธีการหล่อเย็น	ไนโตรเจนเหลว แบบเปียก แบบแห้ง

### 3.4 วิธีการทดลอง

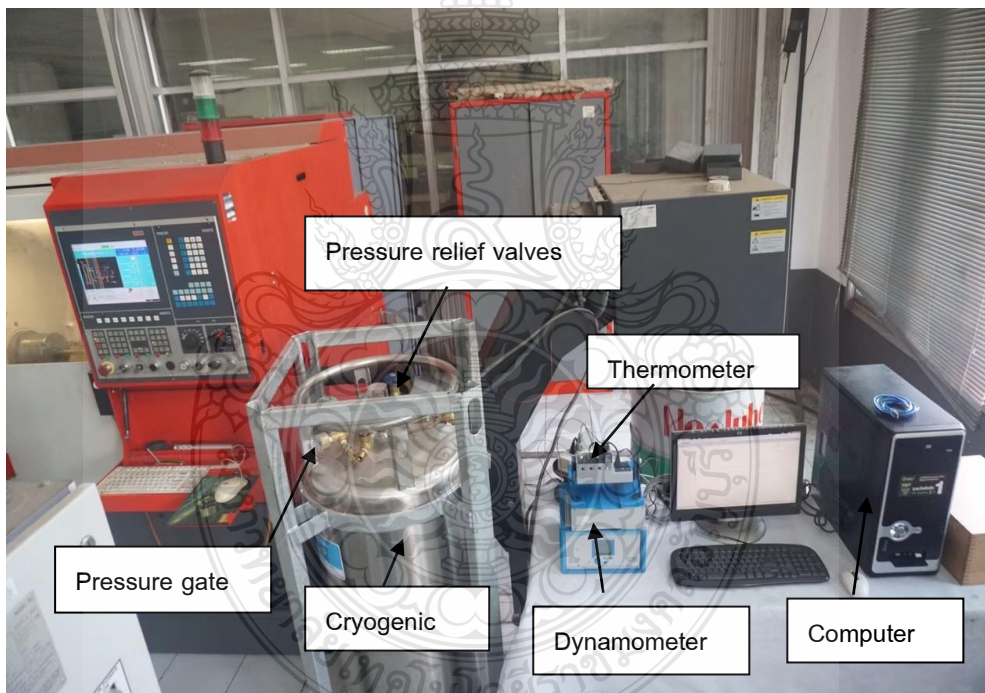
3.4.1 การทดลองเริ่มจากนำเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 มาตัดด้วยเครื่องเลื่อยสายพานให้มีความยาว 200 มิลลิเมตร นำไปทำการปาดหน้าเจาะยูนิตท้าย ทำการกลึงลดขนาดชิ้นงานให้เหลือความโตเท่ากับ 14 มิลลิเมตร ลึก 10 มิลลิเมตร เพื่อหลบหลังมีดกลึง นำชิ้นงานที่ทำการเจาะยูนิตเรียบร้อยแล้วไปจับยึดกับหัวจับของเครื่องกลึง ใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์วัดให้มีความยาว 170 มิลลิเมตร จากฟันจับถึงท้ายชิ้นงานแล้วทำการลึงชิ้นงาน เพื่อให้จับชิ้นงานยาวเท่ากันทุกชิ้น ทำการยูนิตท้ายชิ้นงานดังภาพที่ 3.1.3





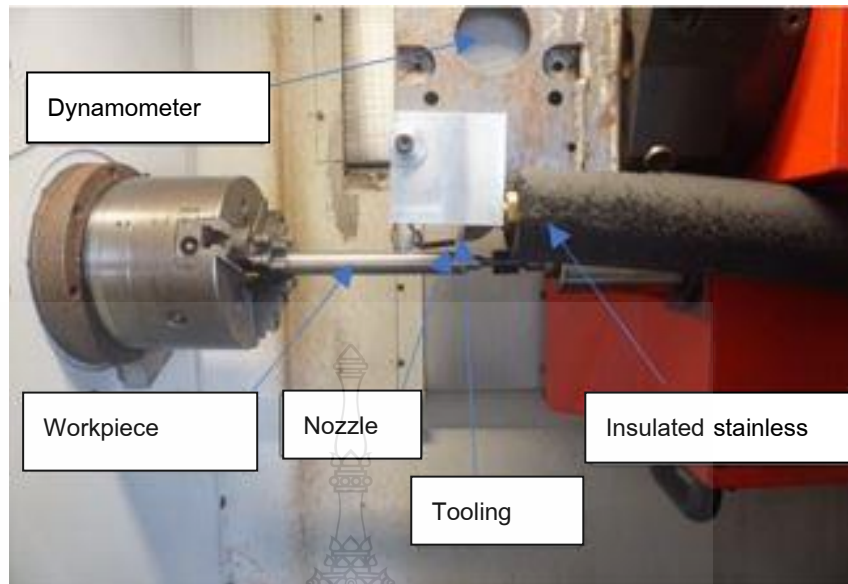
ภาพที่ 3.12 แสดงการจับยึดชิ้นงานก่อนทำการกลึง

3.4.2 ทำการติดตั้งระบบวัดอุณหภูมิ วัดแรงตัด เข้ากับคอมพิวเตอร์และต่อระบบการไหลของโครโยจีนิก (ไนโตรเจนเหลว) ไปที่ปั๊มมีด



ภาพที่ 3.13 แสดงการติดตั้งชุดอุปกรณ์หล่อเย็นแบบโครโยจีนิก (ไนโตรเจนเหลว)

3.4.3. ติดตั้งเครื่องมือตัดเข้ากับปั๊มมีด ทำการยึดท่อส่งโครโยจีนิก (ไนโตรเจนเหลว) เข้ากับจิ๊กที่เตรียมไว้



ภาพที่ 3.14 แสดงการจับยึดมีดกลึงและท่อส่งโครโยจีนิค(ไนโตรเจนเหลว)

3.4.4 ทำการเขียนโปรแกรม CNC สร้างเส้นทางเดินมีดแบบตัดไปทิศทางเดียว (One-way) โดยมีการคำนวณพารามิเตอร์ที่สำคัญดังนี้

หาความเร็วรอบ (Spindle speed) สามารถหาได้จากสมการที่ 3.1

$$n = \frac{Vc1000}{\pi D} \quad (3.1)$$

- เมื่อ n = ความเร็วรอบ, Spindle speed (รอบต่อนาที)  
 VC = ความเร็วตัด, Cutting speed (เมตรต่อนาที)  
 D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมีดตัด (มิลลิเมตร)

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าความเร็วรอบ ความเร็วตัดที่ใช้งาน

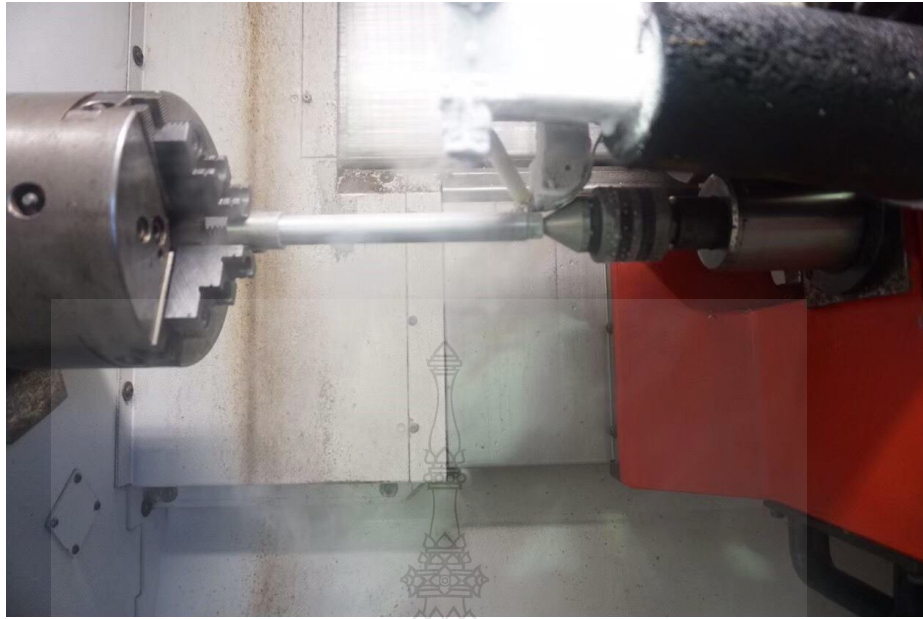
อัตราป้อนต่อรอบ (มิลลิเมตรต่อรอบ)	ความเร็วตัด (เมตรต่อนาที)
0.07	60
0.14	120
0.21	180

หาอัตราป้อน (Feed rate) สามารถหาได้จากสมการที่ 3.2

$$F_t = F_n \cdot n \cdot z \quad (3.2)$$

- เมื่อ  $f$  = ความเร็วตัด มิลลิเมตรต่อนาที  
 $f_n$  = อัตราป้อนต่อรอบ มิลลิเมตรต่อรอบ  
 $n$  = ความเร็วรอบรอบต่อนาที  
 $z$  = จำนวนฟันของเครื่องมือตัด (1 ฟัน)

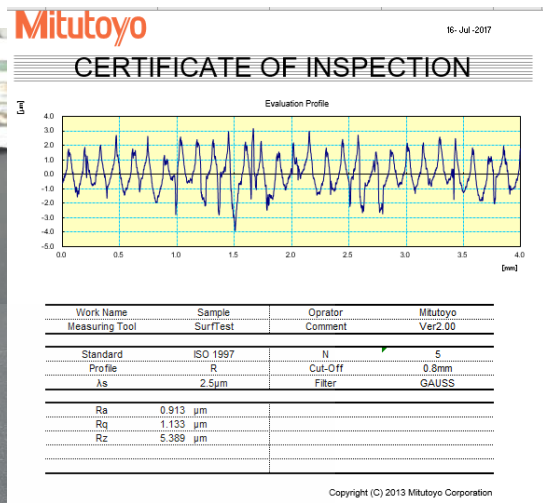
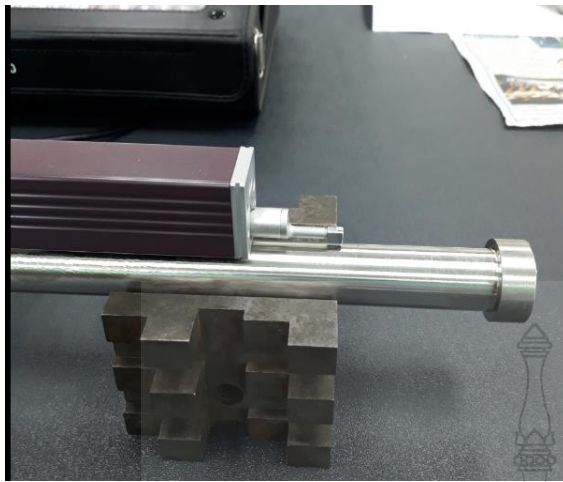
3.4.5 ทำการทดลองกลึงชิ้นงาน โดยกำหนดระดับอัตราป้อนที่แตกต่างกัน 3 ระดับ 0.007 0.14 และ 0.21 มิลลิเมตรเมตรต่อรอบ ระดับแรงดันคงที่ 2 บาร์ ความเร็วตัดกำหนด 3 ระดับ 60 120 180 เมตรต่อนาที และความลึกตัดคงที่ 1 มิลลิเมตร วัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ยที่ระยะทาง 500 มิลลิเมตร บันทึกผลการทดลอง เขียนกราฟวิเคราะห์ผลเพื่อกำหนดตัวแปรอัตราป้อนในการทดลองต่อไป



ภาพที่ 3.15 แสดงการทดลองด้วยวิธีหล่อเย็นแบบโครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว)

ตารางที่ 3.5 ตารางแสดงบันทึกค่าความหยาบผิวเฉลี่ยที่อัตราป้อน 3 ระดับ

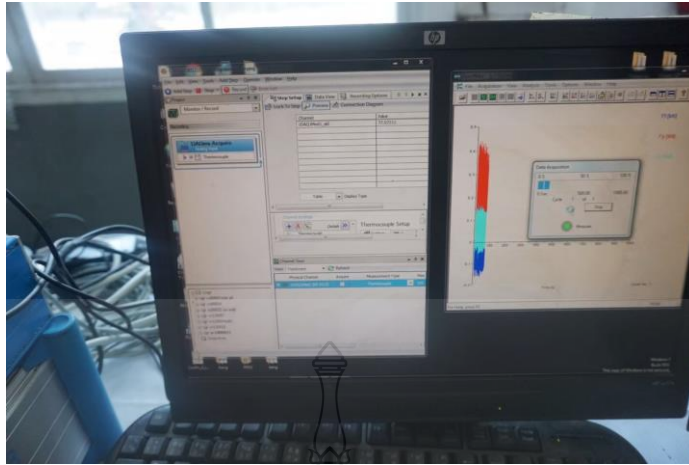
ระยะทางการเคลื่อนที่ ของมีดตัด	ความหยาบผิวเฉลี่ย		
	อัตราป้อน 0.007 มิลลิเมตรต่อ รอบ	อัตราป้อน 0.14 มิลลิเมตรต่อรอบ	อัตราป้อน 0.21 มิลลิเมตรต่อรอบ
1500 มิลลิเมตร	x	y	z
1500 มิลลิเมตร	x	y	z
1500 มิลลิเมตร	x	y	z
1500 มิลลิเมตร	x	y	z
1500 มิลลิเมตร	x	y	z



ภาพที่ 3.16 แสดงการวัดค่าความหยาบผิวชิ้นงาน ด้วย Mitutoyo Surf test SJ - 310



ภาพที่ 3.17 แสดงการวัดค่าสีทหรอเม็ดเม็ดด้วยกล้อง Microscope



ภาพที่ 3.18 แสดงการวัดแรงในขณะการตัดเนื้อ

ตารางที่ 3.6 ตารางแสดงบันทึกค่าความหยาบผิวเฉลี่ยที่ปริมาณไนโตรเจน

ระยะทางการเคลื่อนที่ ของมีดตัด	ความหยาบผิวเฉลี่ย		
	ปริมาณลม 2 Bar	ปริมาณลม 4 Bar	ปริมาณลม 6 Bar
1500 มิลลิเมตร	x	y	z
1500 มิลลิเมตร	x	y	z
1500 มิลลิเมตร	x	y	z
1500 มิลลิเมตร	x	y	z
1500 มิลลิเมตร	x	y	z

จากการทดลองปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลต่อคุณภาพผิวชิ้นงาน คือระดับอัตราป้อน และระดับแรงดันที่ได้ เพื่อทำการทดลองตัวแปรความเร็วตัดที่แตกต่างกัน 3 ระดับที่ ความเร็วตัดที่ 60 120 และ 180 เมตรต่อนาที วัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ยที่ระยะทาง 500 มิลลิเมตร บันทึกผลการทดลองเขียนกราฟวิเคราะห์ผลเพื่อกำหนดตัวแปรระดับความเร็วตัดในการทดลองต่อไป

ตารางที่ 3.7 ตารางแสดงบันทึกค่าความหยาบผิวเฉลี่ยที่ความเร็วตัด 3 ระดับ

ระยะทางการเคลื่อนที่ ของมีดตัด	ความหยาบผิวเฉลี่ย		
	ความเร็วตัด 60 เมตรต่อนาที	ความเร็วตัด 120 เมตรต่อนาที	ความเร็วตัด 180 เมตรต่อนาที
1500 มิลลิเมตร	x	y	Z
1500 มิลลิเมตร	x	y	Z
1500 มิลลิเมตร	x	y	Z
1500 มิลลิเมตร	x	y	Z
1500 มิลลิเมตร	x	y	Z

จากการทดลองปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลต่อคุณภาพผิวชิ้นงาน คือระดับอัตราป้อน ระดับปริมาณแรงดันไนโตรเจนและระดับความเร็วตัดที่ได้ เพื่อนำไปทดลองเปรียบเทียบกับวิธีการหล่อเย็นแบบเปียก และวิธีการตัดแบบแห้ง วัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ยทุกระยะทาง 500 มิลลิเมตร บันทึกผลการทดลองเขียนกราฟวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบ



ภาพที่ 3.19 แสดงการทดลองด้วยวิธีหล่อเย็นแบบเปียก

**ตารางที่ 3.8** ตารางแสดงบันทึกค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเปรียบเทียบวิธีหล่อเย็น 3 แบบ

ระยะทางการเคลื่อนที่ ของมีดตัด	ความหยาบผิวเฉลี่ย		
	วิธีหล่อเย็นแบบโครโยจี นิก(ไนโตรเจนเหลว)	วิธีหล่อเย็นแบบ เปียก	การตัดแบบ แห้ง
1500 มิลลิเมตร	x	y	z
1500 มิลลิเมตร	x	y	z
1500 มิลลิเมตร	x	y	z
1500 มิลลิเมตร	x	y	z
1500 มิลลิเมตร	x	y	z

จากการทดลองปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลต่อคุณภาพผิวชิ้นงาน คือระดับอัตราป้อน ระดับปริมาณแรงดันไนโตรเจนเหลว และระดับความเร็วตัดที่ได้ เพื่อนำไปทดลองเปรียบเทียบกับวิธีการหล่อเย็นแบบเปียกและวิธีการตัดแบบแห้ง วัดค่าการสึกหรอของมีดตัดที่เกิดบนผิวหลบ (Flank wear) ด้วยกล้อง Microscope ทุกระยะทาง 500 มิลลิเมตร บันทึกผลการทดลอง เขียนกราฟวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบ

**ตารางที่ 3.9** ตารางแสดงบันทึกค่าการสึกหรอของมีดตัดเปรียบเทียบวิธีหล่อเย็น 3 แบบ

ระยะทางการเคลื่อนที่ ของมีดตัด (มิลลิเมตร)	ค่าการสึกหรอของมีดตัด		
	วิธีหล่อเย็นแบบโครโยจี นิก(ไนโตรเจนเหลว)	วิธีหล่อเย็นแบบ เปียก	การตัดแบบ แห้ง
1500 มิลลิเมตร	x	y	z
1500 มิลลิเมตร	x	y	z
1500 มิลลิเมตร	x	y	z
1500 มิลลิเมตร	x	y	z
1500 มิลลิเมตร	x	y	z



## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการทดลองศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลในการกลึงเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS420 เป็นการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงผลกระทบของการหล่อเย็นที่มีผลต่อคุณภาพค่าความหยาบผิวชิ้นงานซึ่งเป็นผลมาจากการสึกหรอของเม็ดมีดกลึง เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการหล่อเย็นแบบโครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว) การหล่อเย็นแบบไม่มีสารหล่อเย็นและแบบใช้สารหล่อเย็นเพื่อเปรียบเทียบผลในการหล่อเย็นต่อสมบัติของความหยาบผิวแรงในการตัดเฉือนและอุณหภูมิขณะตัดเฉือน

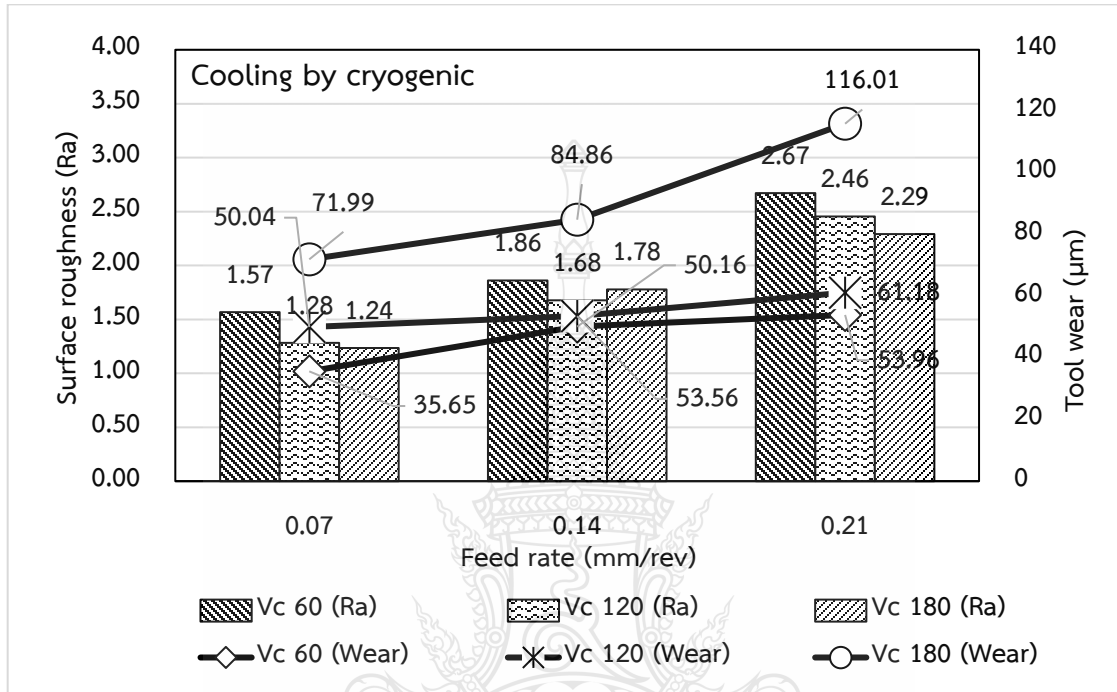
#### 4.1 ผลการทดลอง

##### 4.1 ผลการทดลองหาความเร็วตัดและอัตราป้อนที่เหมาะสม

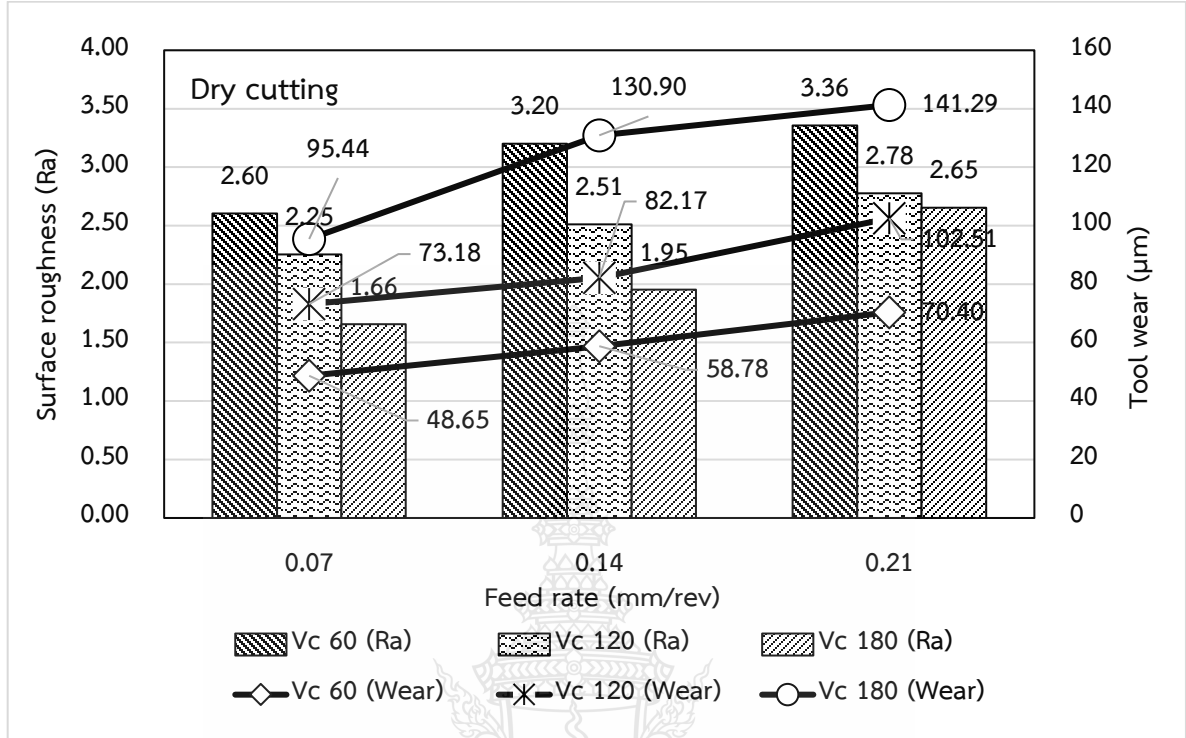
ในการทดลองนี้จะประกอบไปด้วยการหล่อเย็น 3 แบบ ได้แก่ การหล่อเย็นแบบโครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว) การหล่อเย็นแบบไม่มีสารหล่อเย็นและการหล่อเย็นแบบใช้สารหล่อเย็น เพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการตัดเฉือนชิ้นงานและค่าความหยาบผิว โดยวัสดุที่ใช้ในการทดลองคือ เหล็กกล้าไร้สนิม SUS420 ที่มีขนาดความโต  $\varnothing$  25 มิลลิเมตร โดยวิธีกลึงปอกที่ระยะทาง 0 - 1,500 มิลลิเมตร ความลึกตัดที่ 1 มิลลิเมตร โดยใช้ความเร็วตัด 60, 120 และ 180 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.07, 0.14 และ 0.21 มิลลิเมตร/รอบ

จากผลการทดลองดังภาพที่ 4.1 คือการเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีดและความหยาบผิวชิ้นงานของการหล่อเย็นแบบโครโยจินิก พบว่าความเร็วตัดที่เพิ่มขึ้นจาก 60 – 180 เมตร/นาที ส่งผลให้เม็ดมีดมีค่าการสึกหรอเพิ่มขึ้น ซึ่งความเร็วตัดที่ต่ำที่สุด คือ 60 เมตร/นาที มีค่าการสึกหรอของเม็ดมีดต่ำที่สุดในขณะเดียวกันอัตราป้อนที่เพิ่มขึ้นจาก 0.07 – 0.21 มิลลิเมตร/รอบ ส่งผลให้มีค่าการสึกหรอของเม็ดมีดเพิ่มขึ้น ซึ่งอัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ มีค่าการสึกหรอของเม็ดมีดต่ำสุด ดังนั้นที่ความเร็วตัดที่ 60 เมตร/นาที ที่อัตราป้อน 0.07 มิลลิเมตร/รอบ ค่าการสึกหรอของเม็ดมีดต่ำที่สุดคือ 34.65 ไมโครเมตร ในส่วนของค่าความหยาบผิว (Surface roughness) จากผลการทดลองความเร็วตัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีค่าความหยาบผิวลดลง ซึ่งความเร็วตัดที่ให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุดคือ 60 เมตร/นาที อัตราป้อนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหยาบผิวมากขึ้น ซึ่งอัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ ให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุด จากผลการทดลองความเร็วตัดที่ 60 เมตร/นาที และอัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ ให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุดคือ 1.24

ไมโครเมตร ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าค่าการสึกหรอของเม็ดมีดมีผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน ค่าการสึกหรอที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหยาบผิวของชิ้นงานเพิ่มขึ้น

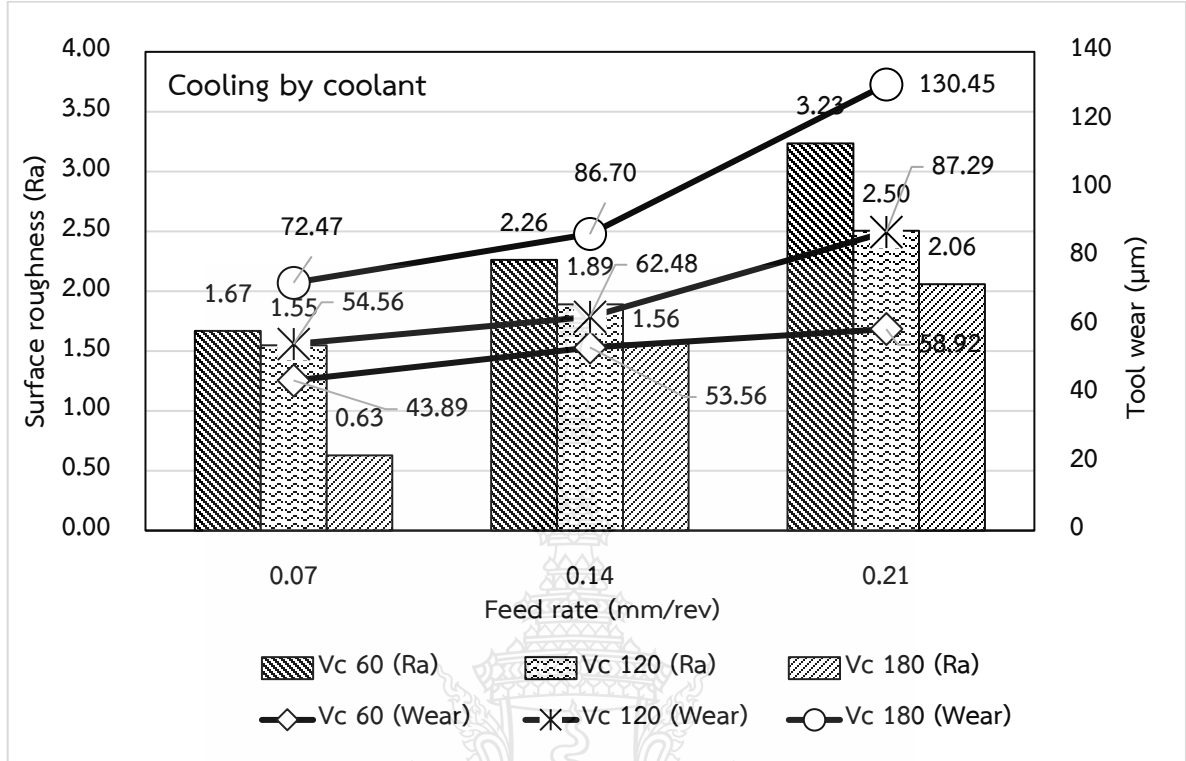


ภาพที่ 4.1 การเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีด และความหยาบผิวชิ้นงานของการหล่อเย็นแบบไครโอเจนิก (ไนโตรเจนเหลว)



ภาพที่ 4.2 การเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีดและความหยาบผิวชิ้นงานของการหล่อเย็นแบบแห้ง

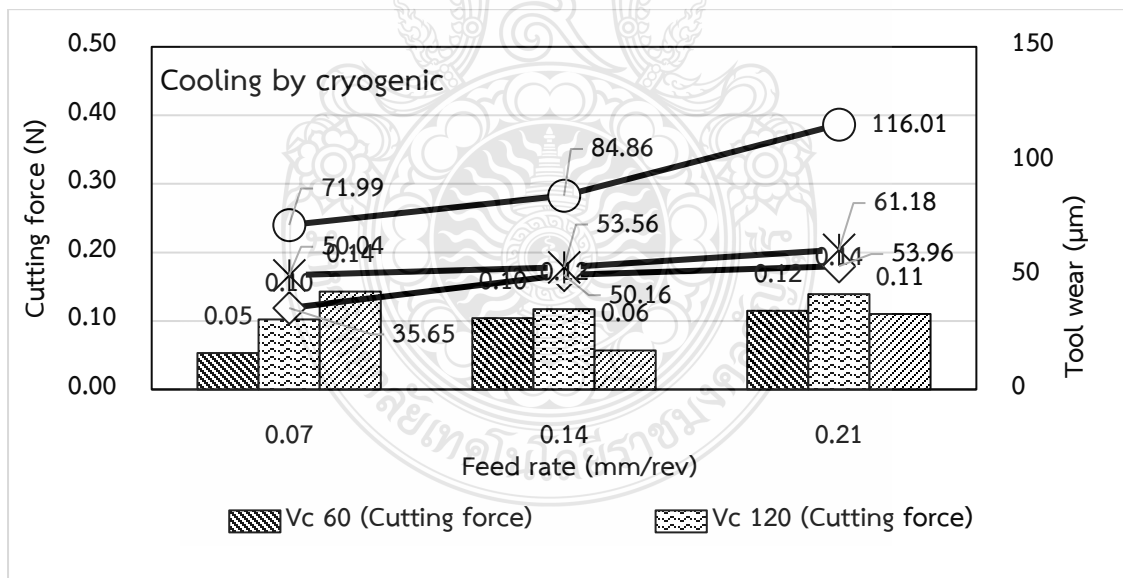
จากผลการทดลองในภาพที่ 4.2 คือการเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีดและความหยาบผิวชิ้นงานของการหล่อเย็นแบบแห้ง พบว่าความเร็วตัดที่เพิ่มขึ้นจาก 60 – 180 เมตร/นาที ส่งผลให้เม็ดมีดมีการสึกหรอเพิ่มขึ้น ซึ่งความเร็วตัดที่ต่ำที่สุดคือ 60 เมตร/นาที มีการสึกหรอของเม็ดมีดต่ำที่สุดในขณะเดียวกันอัตราป้อนที่เพิ่มขึ้นจาก 0.07 – 0.21 มิลลิเมตร/รอบ ส่งผลให้มีการสึกหรอของเม็ดมีดเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งอัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ มีการสึกหรอของเม็ดมีดต่ำสุด ดังนั้นที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที ที่อัตราป้อน 0.07 มิลลิเมตร/รอบ มีการสึกหรอของเม็ดมีดที่ต่ำที่สุดคือ 48.65 ไมโครเมตร ในส่วนของค่าความหยาบผิว จากผลการทดลองความเร็วตัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหยาบผิวลดลง ซึ่งความเร็วตัดที่ให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุดคือ 60 เมตร/นาที อัตราป้อนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหยาบผิวมากขึ้นตาม ซึ่งอัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ ให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุด จากผลการทดลองความเร็วตัดที่ 60 เมตร/นาที และอัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ ให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุดคือ 1.66 ไมโครเมตร ซึ่งผลที่ได้มีผลกระทบในลักษณะเดียวกันกับการหล่อเย็นแบบโครโยจินิก



ภาพที่ 4.3 การเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีด และความหยาบผิวชิ้นงานของการหล่อเย็นแบบเปียก

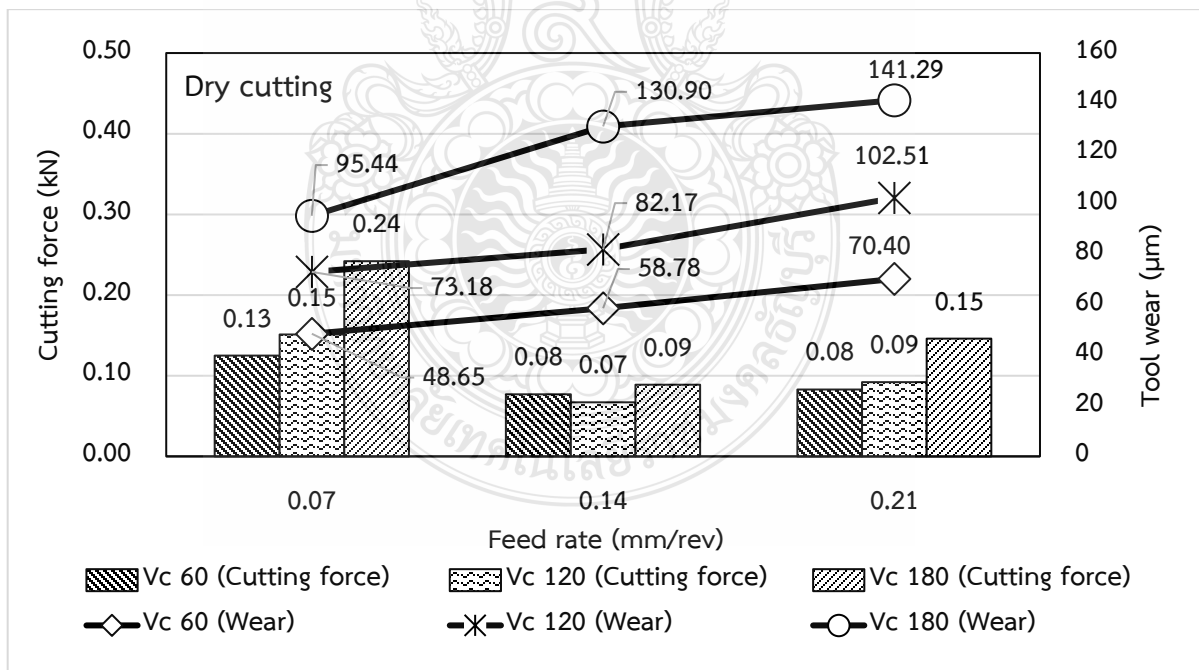
จากผลการทดลองในภาพที่ 4.3 คือ การเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีด และความหยาบผิวชิ้นงานของการหล่อเย็นแบบเปียก พบว่าความเร็วตัดที่เพิ่มขึ้นจาก 60 – 180 เมตร/นาที ส่งผลให้เม็ดมีดมีค่าการสึกหรอเพิ่มขึ้น ซึ่งความเร็วตัดที่ต่ำที่สุด คือ 60 เมตร/นาที มีค่าการสึกหรอของเม็ดมีดต่ำที่สุดในขณะเดียวกันอัตราป้อนที่เพิ่มขึ้นจาก 0.07 – 0.21 มิลลิเมตร/รอบ ส่งผลให้มีค่าการสึกหรอของเม็ดมีดเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งอัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ มีค่าการสึกหรอของเม็ดมีดต่ำสุด ดังนั้นที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที ที่อัตราป้อน 0.07 มิลลิเมตร/รอบ มีค่าการสึกหรอของเม็ดมีดที่ต่ำที่สุดคือ 43.89 ไมโครเมตร ในส่วนของค่าความหยาบผิวจากผลการทดลองความเร็วตัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีค่าความหยาบผิวลดลง ซึ่งความเร็วตัดที่ให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุดคือ 60 เมตร/นาที อัตราป้อนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหยาบผิวมากขึ้นตาม ซึ่งอัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ ให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุด จากผลการทดลองความเร็วตัดที่ 60 เมตร/นาที และอัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ ให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุดคือ 0.63 ไมโครเมตร ซึ่งผลที่ได้มีผลกระทบในลักษณะเดียวกันกับการหล่อเย็นแบบโครโยจินิกและการหล่อเย็นแบบแห้ง

จากผลการทดลองในภาพที่ 4.1-4.3 คือการเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีดและความหยابผิวชิ้นงานของการหล่อเย็นทั้ง 3 แบบ ซึ่งมีแนวโน้มของค่าการสึกหรอของเม็ดมีดและความหยابผิวในลักษณะเดียวกัน จากผลการทดลองความเร็วตัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการสึกหรอเพิ่มขึ้นตาม การสึกหรอเกิดขึ้นเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างเม็ดมีดกับชิ้นงาน เมื่อความเร็วตัดเพิ่มขึ้นทำให้เม็ดมีดได้รับแรงเสียดทานเท่าเดิมได้เร็วขึ้นดังนั้นเม็ดมีดจึงเกิดการสึกหรอได้เร็วขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ A. Altin และ Oleksandr [ 21, 22] ในส่วนของความหยابผิวที่ลดลงเมื่อความเร็วตัดเพิ่มขึ้นซึ่งคล้องกับงานวิจัยของ Abdullah และ Muhammmad [23, 24] และได้กล่าวถึงความเร็วตัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ชิ้นงานมีความร้อนสูงขึ้น ดังนั้นจึงทำให้ง่ายต่อการตัดเฉือนชิ้นงานจึงมีความเรียบมากกว่าความเร็วตัดที่ต่ำกว่า ในส่วนของความหยابผิวที่เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอัตราป้อนซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Muhammmad, Das และ Kumar [25, 26, 27] ซึ่งได้อธิบายว่าอัตราป้อนที่เพิ่มขึ้นทำให้มีแรงจากเม็ดมีดกระทำบนชิ้นงานเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการสั่นเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ความหยابผิวมากขึ้น และนอกจากนี้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้เกิดการเสียรูปแบบถาวร (Plastic deformation) ทำให้ชิ้นงานมีความหยابผิวมากกว่าอัตราป้อนต่ำกว่า



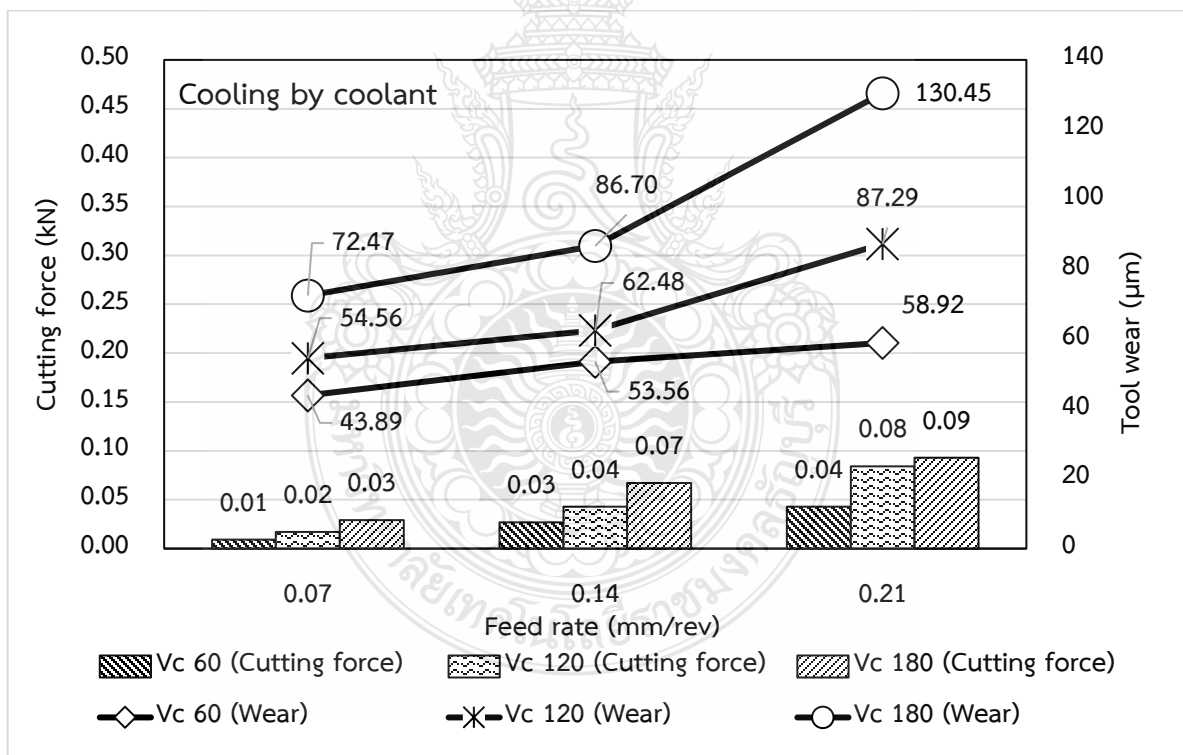
ภาพที่ 4.4 การเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีด และแรงตัดเฉือนของการหล่อเย็นแบบไครยोजินิค (ไนโตรเจนเหลว)

จากผลการทดลองในภาพที่ 4.4 คือ การเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีดและแรงตัดเฉือนของการหล่อเย็นแบบโครโยจินิกพบว่าความเร็วตัดที่เพิ่มขึ้นจาก 60 – 180 เมตร/นาที ส่งผลให้เม็ดมีดมีค่าการสึกหรอเพิ่มขึ้น ซึ่งความเร็วตัดที่ต่ำที่สุด คือ 60 เมตร/นาที มีค่าการสึกหรอของเม็ดมีดต่ำที่สุด ในขณะที่อัตราป้อนที่เพิ่มขึ้นจาก 0.07 – 0.21 มิลลิเมตร/รอบ ส่งผลให้มีค่าการสึกหรอของเม็ดมีดเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งอัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ มีค่าการสึกหรอของเม็ดมีดต่ำสุด ดังนั้นที่ความเร็วตัดที่ 60 เมตร/นาที ที่อัตราป้อน 0.07 มิลลิเมตร/รอบ ในค่าการสึกหรอของเม็ดมีดต่ำที่สุดคือ 34.65 ไมโครเมตร ในส่วนของแรงตัดเฉือนจากผลการทดลองความเร็วตัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีค่าแรงตัดเฉือนมีแนวโน้มที่แตกต่างกันที่อัตราป้อน 0.07 มิลลิเมตร/รอบ พบว่าแรงตัดเฉือนเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความเร็วตัด ที่อัตราป้อน 0.14 มิลลิเมตร/รอบ พบว่าแรงตัดเฉือนมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มขึ้นของความเร็วตัดและที่อัตราป้อน 0.21 มิลลิเมตร/รอบ พบว่าแรงตัดเฉือนมีแนวค่อนข้างคงที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วตัด ซึ่งความเร็วตัดที่ 60 เมตร/นาที ที่อัตราป้อน 0.07 มิลลิเมตร/รอบ มีค่าแรงตัดเฉือนต่ำที่สุดคือ 50 นิวตัน ดังนั้นการสึกหรอของเม็ดมีดมีผลกระทบโดยตรงกับแรงตัดเฉือนเมื่อแรงตัดเฉือนเพิ่มขึ้นส่งผลให้การสึกหรอของเม็ดมีดมากขึ้นตาม



ภาพที่ 4.5 การเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีด และแรงตัดเฉือนของการหล่อเย็นแบบแห้ง

จากผลการทดลองในภาพที่ 4.5 คือ การเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีดและแรงตัดเฉือนของการหล่อเย็นแบบแห้ง พบว่าความเร็วตัดที่เพิ่มขึ้นจาก 60 – 180 เมตร/นาที ส่งผลให้เม็ดมีดมีค่าการสึกหรอเพิ่มขึ้น ซึ่งความเร็วตัดที่ต่ำที่สุด คือ 60 เมตร/นาที มีค่าการสึกหรอของเม็ดมีดต่ำที่สุด ในขณะที่เดียวกันอัตราป้อนที่เพิ่มขึ้นจาก 0.07 – 0.21 มิลลิเมตร/รอบ ส่งผลให้มีค่าการสึกหรอของเม็ดมีดเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งอัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ มีค่าการสึกหรอของเม็ดมีดต่ำสุด ดังนั้นที่ความเร็วตัดที่ 60 เมตร/นาที ที่อัตราป้อน 0.07 มิลลิเมตร/รอบ ในค่าการสึกหรอของเม็ดมีดต่ำที่สุดคือ 34.65 ไมโครเมตร ในส่วนของแรงตัดเฉือนจากผลการทดลองความเร็วตัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีค่าแรงตัดเฉือนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งความเร็วตัดที่ 120 เมตร/นาที มีค่าแรงตัดเฉือนต่ำที่สุด ในขณะที่เดียวกันอัตราป้อนที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มส่งผลให้มีค่าแรงตัดเฉือนน้อย ซึ่งที่อัตราป้อน 0.14 มิลลิเมตร/รอบ มีค่าแรงตัดเฉือนต่ำที่สุด ดังนั้นที่ความเร็วตัด 120 เมตร/นาที ที่อัตราป้อน 0.14 มิลลิเมตร/รอบ มีค่าแรงเฉือนต่ำที่สุดคือ 70 นิวตัน



ภาพที่ 4.6 การเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีด และแรงตัดเฉือนของการหล่อเย็นแบบเปียก

จากผลการทดลองในภาพที่ 4.6 คือ การเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีด และแรงตัดเฉือนของการหล่อเย็นแบบเปียก พบว่าความเร็วตัดที่เพิ่มขึ้นจาก 60 – 180 เมตร/นาที ส่งผลให้เม็ดมีดมีค่า

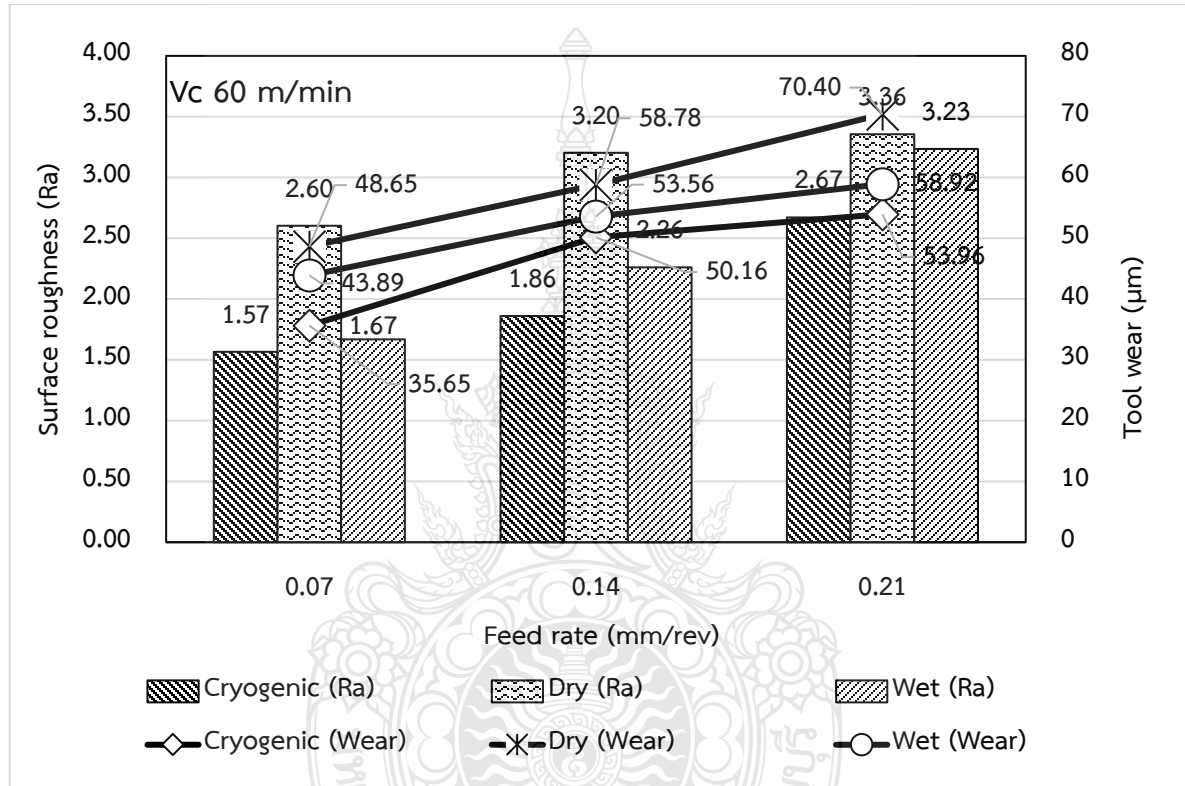
การสึกหรอเพิ่มขึ้น ซึ่งความเร็วตัดที่ต่ำที่สุด คือ 60 เมตร/นาที มีค่าการสึกหรอของเม็ดต่ำที่สุด ในขณะที่อัตราการป้อนที่เพิ่มขึ้นจาก 0.07 – 0.21 มิลลิเมตร/รอบ ส่งผลให้มีค่าการสึกหรอของเม็ดเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งอัตราการป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ มีค่าการสึกหรอของเม็ดต่ำสุด ดังนั้นที่ความเร็วตัดที่ 60 เมตร/นาที ที่อัตราการป้อน 0.07 มิลลิเมตร/รอบ ในค่าการสึกหรอของเม็ดต่ำที่สุดคือ 34.65 ไมโครเมตร ในส่วนของแรงตัดเฉือนจากผลการทดลองความเร็วตัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีค่าแรงตัดเฉือนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งความเร็วตัดที่ 60 เมตร/นาที มีค่าแรงตัดเฉือนต่ำที่สุด ในขณะที่อัตราการป้อนที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มส่งผลให้มีค่าแรงตัดเฉือนเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งที่อัตราการป้อน 0.07 มิลลิเมตร/รอบ มีค่าแรงตัดเฉือนต่ำที่สุด ดังนั้นที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที ที่อัตราการป้อน 0.07 มิลลิเมตร/รอบ มีค่าแรงเฉือนต่ำที่สุดคือ 10 นิวตัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแรงตัดเฉือนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการสึกหรอของเม็ดเพิ่มขึ้นตาม

จากผลการทดลองในภาพที่ 4.4 - 4.6 การเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดเม็ด และแรงตัดเฉือนของการหล่อเย็นแบบเปียก ซึ่งการสึกหรอของเม็ดเม็ดได้ถูกอธิบายไปก่อนหน้านี้จากผลการทดลองในภาพที่ 4.4 - 4.6 ในส่วนของแรงตัดเฉือนนั้นการหล่อเย็นทั้งแบบ 3 ให้ค่าแรงตัดเฉือนที่มีแนวโน้มแตกต่างกัน การหล่อเย็นแบบโครโยจินิกนั้น ความเร็วตัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าแรงเฉือนเพิ่มขึ้นที่ความเร็วตัด 120 เมตร/นาที และลดลงที่ความเร็วตัด 180 เมตร/นาที เนื่องจากความเร็วที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามทำให้ชิ้นงานเกิดความนิ่มและตัดเฉือนได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้การใช้การหล่อเย็นแบบโครโยจินิก ช่วยให้เศษตัดไม่เหนียวติดบริเวณปลายคมตัดของเม็ดกลึงจึงส่งผลให้แรงตัดเฉือนต่ำลง [7] ในส่วนของการหล่อเย็นแบบแห้งความเร็วตัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้แรงตัดเฉือนเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ B. Dilip [28] ซึ่งได้อธิบายถึงแรงตัดเฉือนที่เพิ่มขึ้นเกิดจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการหล่อเย็นแบบแห้ง แม้ชิ้นงานจะอ่อนลงแต่เศษตัดนั้นมีความเหนียวจึงส่งผลให้แรงตัดเฉือนเพิ่มขึ้น ซึ่งมีความขัดแย้งกับงานวิจัยของ T. C. YAP [28] ซึ่งแรงตัดเฉือนของการหล่อเย็นแบบแห้งลดลงเมื่อความเร็วตัดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นจากเศษตัดที่มีความเหนียวแตกต่างกันของวัสดุ อัตราป้อนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้แรงตัดเฉือนลดลงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ B. Dilip และ C.V. Yildirim[ 29 ,30] ได้อธิบายถึงแรงตัดที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงเสียดมากขึ้นและขนาดของเศษตัดที่เพิ่มขึ้น ในส่วนของการหล่อเย็นแบบเปียก แรงตัดเฉือนที่เพิ่มขึ้นตามความเร็วตัดที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เศษตัดเหนียวติดและอัตราการป้อนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้แรงตัดเฉือนเพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงเสียดมากขึ้นและขนาดของเศษตัดที่เพิ่มขึ้นดังที่กล่าวไปก่อนหน้านี้

#### 4.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบการหล่อเย็นทั้ง 3 แบบ



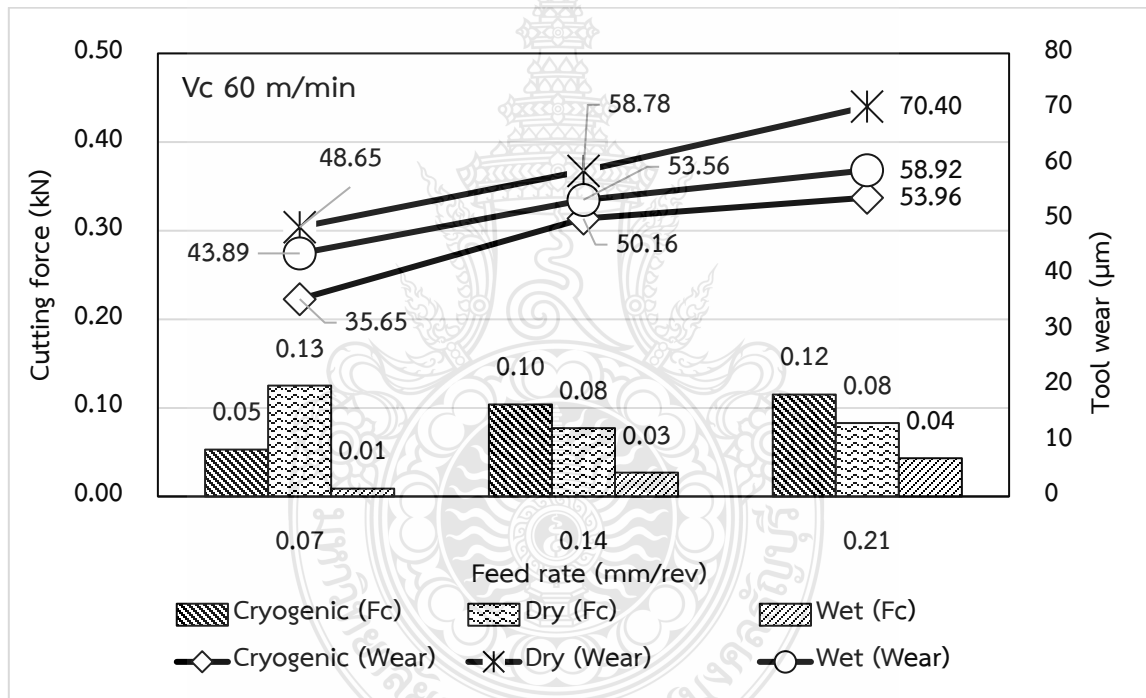
หลังจากทดลองหาความเร็วตัดและอัตราป้อนที่เหมาะสมแล้ว จากผลการทดลองในภาพที่ 4.1-4.6 พบว่าความเร็วตัดที่ 60 เมตร/นาที มีค่าการสึกหรอและค่าความหยาบผิวต่ำที่สุด จึงถูกเลือกมาเพื่อเปรียบเทียบผลการหล่อเย็นทั้ง 3 แบบ ได้แก่ การหล่อเย็นแบบโครโยจีนิก การหล่อเย็นแบบแห้งและการหล่อเย็นแบบเปียก



ภาพที่ 4.7 การเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีด และความหยาบผิวชิ้นงานของการหล่อเย็นทั้ง 3 แบบ ที่ความเร็วตัด 60 มิลลิเมตร/นาที

ผลการทดลองในภาพที่ 4.7 คือ การเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีดและความหยาบผิวชิ้นงานของการหล่อเย็นทั้ง 3 แบบ ที่ความเร็วตัด 60 มิลลิเมตร/นาที พบว่าอัตราการป้อนที่เพิ่มขึ้นจาก 0.07 – 0.21 มิลลิเมตร/รอบ ส่งผลให้การสึกหรอของเม็ดมีดเพิ่มขึ้น ซึ่งอัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ มีค่าการสึกหรอของเม็ดมีดต่ำที่สุด การหล่อเย็นทั้ง 3 แบบ มีผลต่อการการสึกหรอของเม็ดมีดที่แตกต่างกัน การหล่อเย็นแบบแห้งมีผลทำให้มีค่าการสึกหรอสูงที่สุด การหล่อเย็นแบบโครโยจีนิกมีผลทำให้ค่าการสึก

หροต่ำที่สุด การหล่อเย็นแบบเปียกมีค่าการสึกหรออยู่ระหว่างการหล่อเย็นแบบแห้งและการหล่อเย็นแบบ ไครโยจินิก ซึ่งการหล่อเย็นแบบไครโยจินิกที่อัตราป้อน 0.07 มิลลิเมตร/รอบ มีค่าการสึกหรอที่ต่ำที่สุดคือ 35.65 ไมโครเมตร ในขณะที่เดียวกันค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้นตามอัตราป้อนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งที่อัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ ให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุด การหล่อเย็นทั้ง 3 แบบที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าความหยาบผิวที่ แตกต่างกัน ซึ่งการหล่อเย็นแบบไครโยจินิกมีค่าความหยาบผิวต่ำที่สุด การหล่อเย็นแบบแห้งมีค่าความ หยาบผิวสูงที่สุด และการหล่อเย็นแบบเปียกมีค่าความหยาบผิวอยู่ระหว่างกลางของการหล่อเย็นแบบไครโย จินิกและการหล่อเย็นแบบแห้ง ซึ่งที่อัตราป้อน 0.07 มิลลิเมตร/รอบ โดยใช้การหล่อเย็นแบบไครโยจินิก มี ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุดคือ 1.57 ไมโครเมตร ซึ่งค่าการสึกหรอที่สูงนั้นส่งผลให้ค่าความหยาบสูงตามเช่นกัน



ภาพที่ 4.8 การเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีด และแรงตัดเฉือนของการหล่อเย็นทั้ง 3 แบบ ที่ ความเร็วตัด 60 มิลลิเมตร/นาที



ภาพที่ 4.9 แสดงการสึกหรอการกลึงแบบไม่ใช้สารหล่อเย็น

ภาพที่ 4.9 แสดงการสึกหรอของเม็ดมีดการกลึงแบบไม่ใช้สารหล่อเย็น จะเห็นได้ว่าบริเวณคมตัดจะมีรอยไหม้และมีการยึดติดของวัสดุชิ้นงานเนื่องเกิดการเสียดสีระหว่างคมตัดกับวัสดุชิ้นงานทำให้เกิดความร้อนสะสมทำให้วัสดุชิ้นงานที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าเม็ดมีดเกิดการละลายติดที่คมตัด จึงส่งผลให้ผิวชิ้นงานหยาบขึ้นและส่งผลให้ต้องแรงตัดมากขึ้นในการตัดเฉือน



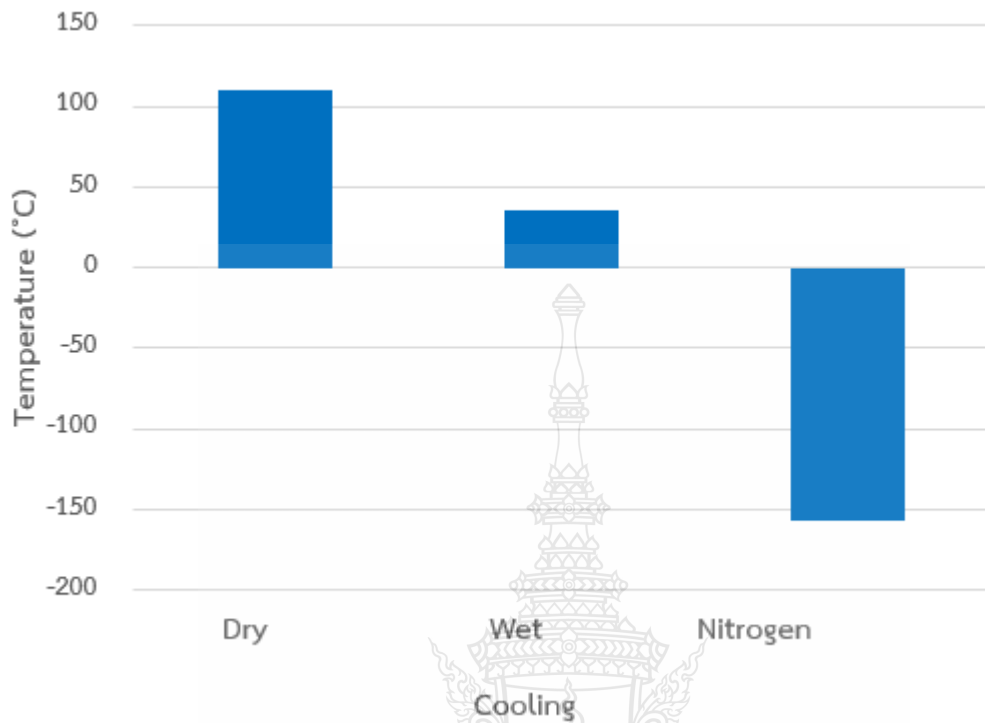
ภาพที่ 4.10 แสดงการสึกหรอการกลึงแบบใช้สารหล่อเย็น

ภาพที่ 4.10 แสดงการสึกหรอของเม็ดเม็ดการกลึงแบบใช้สารหล่อเย็น จะเห็นได้ว่าบริเวณคมตัดจะมีรอยไหม้เพียงเล็กน้อยและมีการยึดติดของวัสดุชิ้นงานเนื่องเกิดการเสียดสีระหว่างคมตัดกับวัสดุชิ้นงาน ทำให้เกิดความร้อนสะสม ทั้งนี้เนื่องจากสารหล่อเย็นช่วยระบายความร้อนที่เกิดจากการเสียดสีไม่เต็มประสิทธิภาพเนื่องจากขณะทำการกลึงผิวสัมผัสของเม็ดเม็ดถูกสัมผัสกับชิ้นงานตลอดเวลาทำให้ไม่มีช่องว่างที่สารหล่อเย็นจะเข้าไประบายความร้อนบริเวณคมตัดได้เต็มประสิทธิภาพ ทำได้เพียงระบายความร้อนบริเวณรอบๆ การตัดเฉือนเท่านั้น ทำให้วัสดุชิ้นงานที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าเม็ดเม็ดเกิดการละลายติดที่คมตัดเพียงเล็กน้อยและมีการสึกหรอที่ต่ำหากเทียบกับการกลึงแบบไม่ใช้สารหล่อเย็น ในส่วนของแรงตัดการกลึงแบบใช้สารหล่อเย็น แรงตัดมีค่าต่ำสุดเนื่องจากสารที่ใช้ระบายความร้อนมีส่วนผสมของน้ำมันอยู่ทำให้ช่วยลดแรงเสียดทานได้ดี



ภาพที่ 4.11 แสดงการสึกหรอการกลึงแบบใช้โครโยจินิกทำการหล่อเย็น

ภาพที่ 4.11 แสดงการสึกหรอการกลึงแบบใช้โครโยจินิก ทำการหล่อเย็นจะเห็นได้ว่าบริเวณคมตัดมีการสึกหรอเพียงเล็กน้อยแต่เป็นการสึกหรอแบบแตกหัก ไม่เหมือนการหล่อเย็นแบบแห้งละแบบใช้สารหล่อเย็นที่มีการยึดติดระหว่างเนื้อชิ้นงานกับเม็ดเม็ด



ภาพที่ 4.12 แสดงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นของการหล่อเย็นทั้ง 3 สาร

ในการวัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะทำการตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ สามารถอธิบายได้ว่าการกลึงแบบไม่ใช้สารหล่อเย็นมีอุณหภูมิในการตัดเฉือนสูงสุด รองลงมาคือการหล่อเย็นแบบใช้สารหล่อเย็นและการหล่อเย็นแบบโครโยจีนิก มีอุณหภูมิในการตัดเฉือนต่ำที่สุดตามลำดับ

จากผลการทดลองในภาพที่ 4.8 คือ การเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีดและแรงตัดเฉือนของการหล่อเย็นทั้ง 3 แบบ ที่ความเร็วตัด 60 มิลลิเมตร/นาที พบว่าอัตราการป้อนที่เพิ่มขึ้นจาก 0.07 – 0.21 มิลลิเมตร/รอบ ส่งผลให้การสึกหรอของเม็ดมีดเพิ่มขึ้น ซึ่งอัตราการป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ มีค่าการสึกหรอของเม็ดมีดต่ำที่สุด การหล่อเย็นทั้ง 3 แบบ มีผลต่อการการสึกหรอของเม็ดมีดที่แตกต่างกัน การหล่อเย็นแบบแห้งมีผลทำให้มีค่าการสึกหรอสูงที่สุด การหล่อเย็นโครโยจีนิก มีผลทำให้ค่าการสึกหรอต่ำที่สุด การหล่อเย็นแบบเปียกมีค่าการสึกหรออยู่ระหว่างการหล่อเย็นแบบแห้งและการหล่อเย็นแบบโครโยจีนิก ซึ่งการหล่อเย็นแบบโครโยจีนิก ที่อัตราป้อน 0.07 มิลลิเมตร/รอบ มีค่าการสึกหรอที่ต่ำที่สุดคือ 35.65

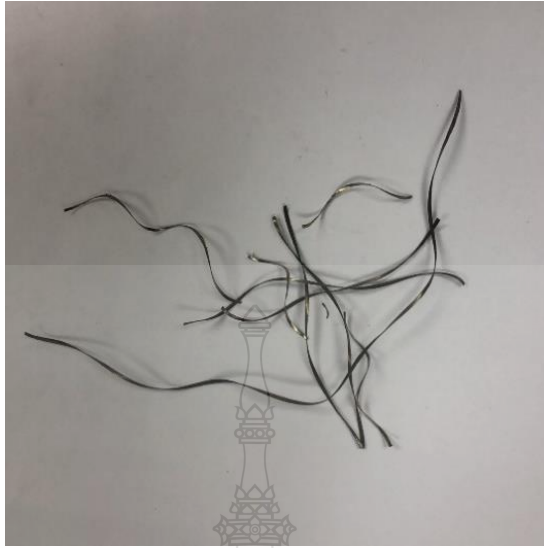
ไมโครเมตร ในส่วนของค่าแรงตัดเฉือนนั้น อัตราป้อนที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อแรงตัดเฉือนแตกต่างกันเล็กน้อย การหล่อเย็นแบบโครโยจินิก มีผลทำให้มีค่าแรงตัดเฉือนสูงที่สุด การหล่อเย็นแบบเปียกมีผลทำให้ค่าแรงตัดเฉือนต่ำที่สุดและการหล่อเย็นแบบแห้งมีค่าแรงตัดเฉือนอยู่ระหว่างการหล่อเย็นแบบเปียกและการหล่อเย็นแบบโครโยจินิก

จากผลการทดลองในภาพที่ 4.7- 4.8 การเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีด ความหนาผิวชิ้นงานและแรงตัดเฉือนของการหล่อเย็นทั้ง 3 แบบ ที่ความเร็วตัด 60 มิลลิเมตร/นาที กลไกการสึกหรอของเม็ดมีดมีลักษณะเดียวกันได้ถูกกล่าวไปในหัวข้อที่ 4.1 จากค่าความหนาผิวทั้ง 3 แบบ พบว่าการหล่อเย็นแบบโครโยจินิก มีค่าความหนาผิวต่ำที่สุด เนื่องจากอุณหภูมิการตัดเฉือนที่ต่ำและแรงเสียดทานที่ต่ำกว่าระหว่างผิวสัมผัสของเม็ดมีดและชิ้นงานทำให้เกิดการสึกหรอได้ช้ากว่า ผิวชิ้นงานจึงเรียกว่าการหล่อเย็นแบบอื่น [10] นอกจากนี้ยังช่วยลดการติดของเศษตัดที่ติดบริเวณผิวเม็ดมีด [7] ในส่วนของแรงตัดเฉือน การหล่อเย็นแบบโครโยจินิกมีค่าแรงตัดเฉือนสูงที่สุดเนื่องจากอุณหภูมิที่ต่ำลงส่งผลให้วัสดุเกิดการแข็งตัวมากขึ้นจึงส่งผลให้มีแรงตัดเพิ่มขึ้น T.C.Yap [29] ได้อธิบายถึงแรงตัดที่ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่สูงขึ้นและส่งผลให้วัสดุนิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.13 แสดงลักษณะเศษตัดในการตัดแบบไม่ใช้สารหล่อเย็น

ที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ การกลึงแบบไม่ใช้สารหล่อเย็น ลักษณะเศษตัดจะมันยาวต่อเนื่องและเกิดการไหม้ของเศษตัดเป็นสีม่วงทั้งนี้เกิดจากความร้อนสะสมที่เกิดขึ้นขณะทำการตัดเฉือน แสดงดังภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.14 แสดงลักษณะเศษตัดในการตัดแบบใช้สารหล่อเย็น

ที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ การกลึงแบบใช้สารหล่อเย็น ลักษณะเศษตัดจะยาวต่อเนื่องและมีการหักของเศษตัดเป็นบางช่วง ลักษณะสีของเศษตัดจะไม่มีรอยไหม้ เนื่องจากมีการระบายความร้อนตลอดเวลาขณะทำการตัดเฉือน แสดงดังภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.15 แสดงลักษณะเศษตัดในการตัดแบบการหล่อเย็นแบบโครโยจินิก

ที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ การหล่อเย็นแบบไครโยจินิก  
เศษตัดจะมีลักษณะม้วนเป็นเกลียวและขาดอก ไม่เป็นเส้นตรงยาวหรือม้วนเป็นเกลียวยาว ทั้งนี้เกิดจาก  
อุณหภูมิที่ใช้ในการตัดเฉือนมีค่าติดลบจึงทำให้เศษตัดเปราะและขาดเป็นช่วงๆ แสดงดังภาพที่ 4.15





## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของการหล่อเย็นงานกลึงด้วยวิธีโครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว) ที่มีผลต่อคุณภาพผิวชิ้นงาน การสึกหรอของมีดกลึงและแรงตัดที่เกิดขึ้น เปรียบเทียบการหล่อเย็น 3 แบบ การหล่อเย็นแบบโครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว) การหล่อเย็นแบบเปียกและแบบไม่ใช้สารหล่อเย็น ในกระบวนการกลึงปอกเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS 420 ด้วยค่าความเร็วตัด 60 120 และ 180 เมตร/นาที ค่าอัตราป้อน 0.07 0.14 และ 0.21 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกในการกลึง 1 มิลลิเมตร ระยะทางในการกลึงปอก 1,500 มิลลิเมตร โดยสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ผลจากการทดลองพบว่าอัตราป้อนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้คมตัดมีค่าการสึกหรอเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ชิ้นงานมีความหยาบผิวสูงขึ้น และอัตราป้อนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าแรงตัดเฉือนสูงขึ้นเช่นกัน

5.1.2 ผลทดลองค่าความเร็วตัด พบว่าความเร็วตัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้คมตัดมีการสึกหรอเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการเสียดสีระหว่างคมตัดกับชิ้นงาน ส่งผลให้ชิ้นงานมีความหยาบผิวเพิ่มขึ้นตามความเร็วตัด

5.1.3 เมื่อพิจารณาจากการหล่อเย็นที่ใช้ในการทดลอง ค่าความหยาบผิวที่เกิดขึ้นจากการหล่อเย็นทั้ง 3 แบบ การหล่อเย็นแบบโครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว) มีค่าความหยาบผิว การสึกหรอและแรงตัดต่ำสุดที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ ความหยาบผิว การสึกหรอและแรงตัดรองลงมาคือการหล่อเย็นแบบเปียกและแบบไม่ใช้สารหล่อเย็นตามลำดับ

5.1.4 ผลการทดลองอัตราป้อนตัดที่มีผลต่อการสึกหรอ ความหยาบผิวและแรงตัด พบว่าอัตราการป้อนตัดที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ ให้ค่าความหยาบผิว การสึกหรอและแรงตัดต่ำสุด

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาค่าความเร็วตัดและอัตราป้อนที่เครื่องมือตัดสามารถทนได้สูงสุดในแต่ละสภาวะนั้นๆ

5.2.2 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความร้อนที่เกิดขึ้นว่ามีผลต่อโครงสร้างจุลภาคหรือไม่

5.2.3 นำวิธีการทดลองไปใช้กับสารชนิดอื่น วิเคราะห์ผล เปรียบเทียบและนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] R.G. Yogie, B.Brian, B. Wahidul, I. Nazrul. , "Advancing Environmentally Conscious Machining," Procedia CIRP, vol. 26, pp. 391 – 396, 2015.
- [2] S. Yousef, k. Ehsan B.h. Rassolian, "Machining and ecological effects of a new developed cutting fluid in combination with different cooling techniques on turning operation.," Journal of Cleaner Production vol. 94, pp. 330-339, 2015.
- [3] Liquid\_nitrogen, Wikipedia (online), Available:  
: [https://www.en.wikipedia.org/wiki/Liquid\\_nitrogen](https://www.en.wikipedia.org/wiki/Liquid_nitrogen) (15 December 2019).
- [4] พงศ์ธร จันทรสุขจำเริญ, "การศึกษาปัจจัยของกระบวนการกลึง CNC ที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงาน เหล็กกล้าไร้สนิม AISI/SUS 304 และความคุ้มค่าในการเลือกใช้เม็ดมีดกลึง," วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม. มหาวิทยาลัยศิลปากร., 2559.
- [5] CustomPartNet, Turning. [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก:  
<http://www.custompartnet.com/wu/turning>. (15 มีนาคม 2560).
- [6] กล่าวหาญ วรพุทธพร และคณะ, เทคนิคช่างกล เครื่องมือกล, พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย- ญี่ปุ่น), 2528.
- [7] ศุภชัย รมยานนท์ และฉวีวรรณ รมยานนท์, ทฤษฎีเครื่องมือกล1, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: บริษัท โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิชย์ จำกัด, 2534.
- [8] กัมพล เพชรคง, "การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวในการกลึงเหล็กกล้าไร้สนิม," วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2550.
- [9] W. Grzesik, Chapter Four - Cutting Tool Materials. Advanced Machining Processes of Metallic Materials, ed Amsterdam: Elsevier, 2008, pp. 27
- [10] W. Grzesik, Chapter Twelve - Tool Wear and Damage. Advanced Machining Processes of Metallic Materials, ed Amsterdam: Elsevier, 2008, pp. 163
- [11] W. Grzesik, Chapter Seven - Chip Formation and Control. Advanced Machining Processes of Metallic Materials, ed Amsterdam: Elsevier, 2008, pp. 85-89

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [12] W. Grzesik, "Chapter Seven - Chip Formation and Control," in *Proteins: Advanced Machining Processes of Metallic Materials (Second Edition)*. Elsevier, 2017, pp. 114
- [13] rmutphysics, (ออนไลน์), เข้าถึงได้จาก:  
<http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/2/3/gas/gas/data8.htm>  
(25 มกราคม 2561)
- [14] กิตติชัย หล่อบุญสม, "การศึกษาอิทธิพลของสารหล่อเย็นในขบวนการกลึงเหล็กหล่อ FCD 400," วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2551.
- [15] ZLXIAZAI/KISTLER, [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก:  
<http://web.sensor-ic.com:8000/ZLXIAZAI/KISTLER/000-151e-11.09.pdf>. (12 มกราคม 2560).
- [16] D. Kramar, P. Krajnik, J. Kopac, "Capability of high pressure cooling in the turning of surface hardened piston rods," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 210, 212–218, 2010.
- [17] Y. R. Ginting, B. Boswell, W. Biswas, M.N. Islam, "Investigation into alternative cooling methods for achieving environmentally friendly machining process." *CIRP conference on Life Cycle Engineering, Procedia CIRP*, Vol. 29 pp. 645 – 650, 2015.
- [18] J.L. Pay, S. Ainusyafiqah ,C.S.Nor Azwadi, Y. Jiwang, "An overview of current status of cutting fluids and cooling techniques of turning hard steel," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 114, pp.380–394, 2017
- [19] สมเกียรติ,ชาญณรงค์, "การพัฒนาระบบการตรวจติดตามภายในกระบวนการตัดและการพยากรณ์ สำหรับผิวชิ้นงานตัดบนเครื่องกลึงซีเอ็นซี," การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, 2554, นน. 962-967.
- [20] J.L. Pay, S. Ainusyafiqah ,C.S.Nor Azwadi, Y. Jiwang, "An overview of current status of cutting fluids and cooling techniques of turning hard steel, " *International Journal of Heat and Mass Transfer* Vol. 114. pp.380–394, 2017

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [21] A. Altin, M. Nalbant, and A. Taskesen, "The effects of cutting speed on tool wear and tool life when machining Inconel 718 with ceramic tools," *Materials and Design*, vol. 28, pp. 2518-2522, 2007.
- [22] O. Gutnichenko, V. Bushlya, J. Zhou, and J.-E. Ståhl, "Influence of cutting speed and tool wear on vibrations and process stability when turning Inconel 718 with PCBN tools," *Int. J. Manufacturing Research*, vol. 9, no. 2, pp. 173-193, 2014.
- [23] A. B. Abdullah and Z. Samad, "The Effect of Feed Rate and Cutting Speed to Surface Roughness," *Asian Journal of Scientific Research*, vol. 3, pp. 278-287, 2008.
- [24] M. Yasir, T. L. Ginta, B. Ariwahjoedi, A. U. Alkali, and M. Danish, "EFFECT OF CUTTING SPEED AND FEED RATE ON SURFACE ROUGHNESS OF AISI 316 L SS USING END-MILLING," *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 11, no. 4, pp. 2497-2500, 2016.
- [25] S. R. Das, D. Dhupal, and A. Kumar, "Experimental Investigation into Machinability of Hardened AISI 4140 steel Using TiN Coated Ceramic Tool," *Measurement*, vol. 62, pp. 108-126, 2014.
- [26] N. S. Kumar, A. Shetty, A. Shetty, A. K., and H. Shetty, "Effect of spindle speed and feed rate on surface roughness of Carbon Steels in CNC turning," *Procedia Engineering*, vol. 38, pp. 691-697, 2012.
- [27] B. D. Jerold and M. P. Kumar, "Experimental investigation of turning AISI 1045 steel using cryogenic carbon dioxide as the cutting fluid," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 13, pp. 113-119, 2011.
- [28] T. C. YAP, SIVARAOS, C. S. LIM, and W. J. LEAU, "Surface roughness and cutting forces in cryogenic turning of carbon steel," *Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 10, no. 7, pp. 911-920, 2015.
- [29] Ç. V. Yıldırım, "Experimental comparison of the performance of nanofluids, cryogenic and hybrid cooling in turning of Inconel 625," *Tribology International*, vol. 137, pp. 366-378, 2019.

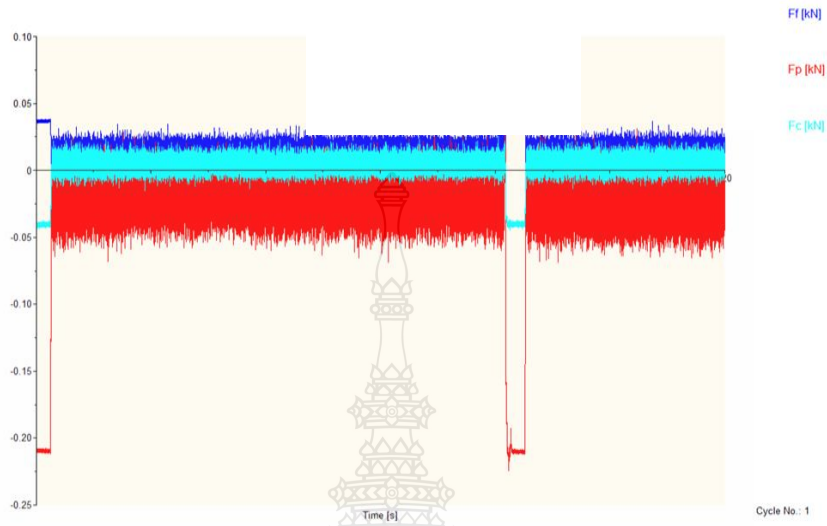
- [30] M. Dhanancheziana, M. P. Kumar, and T. Sornakumar, "Cryogenic Turning of AISI 304 Stainless Steel with Modified Tungsten Carbide Tool Inserts," *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 26, pp. 781-185, 2011.



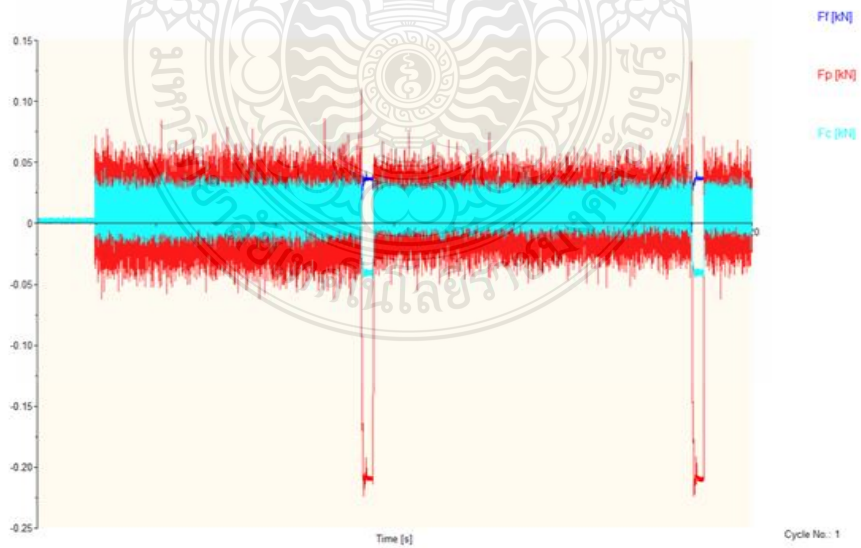
ภาคผนวก





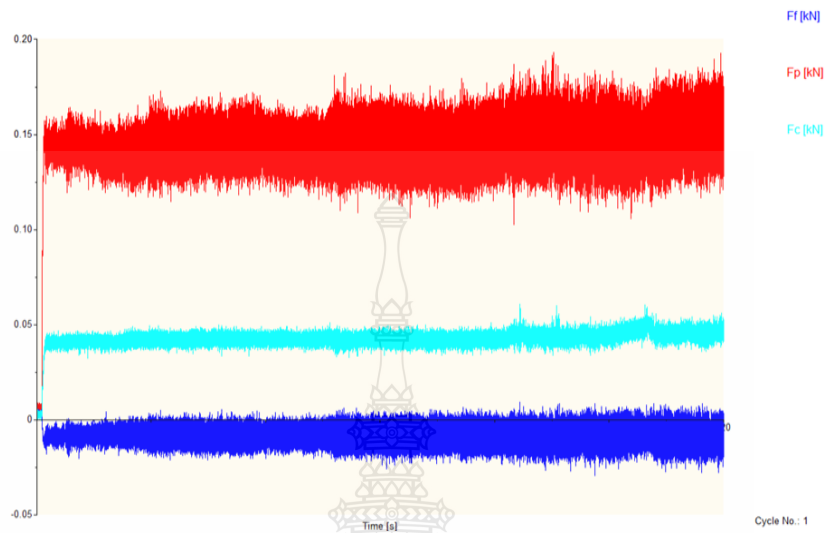


ภาพที่ ก1. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็นแบบ ไครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว)

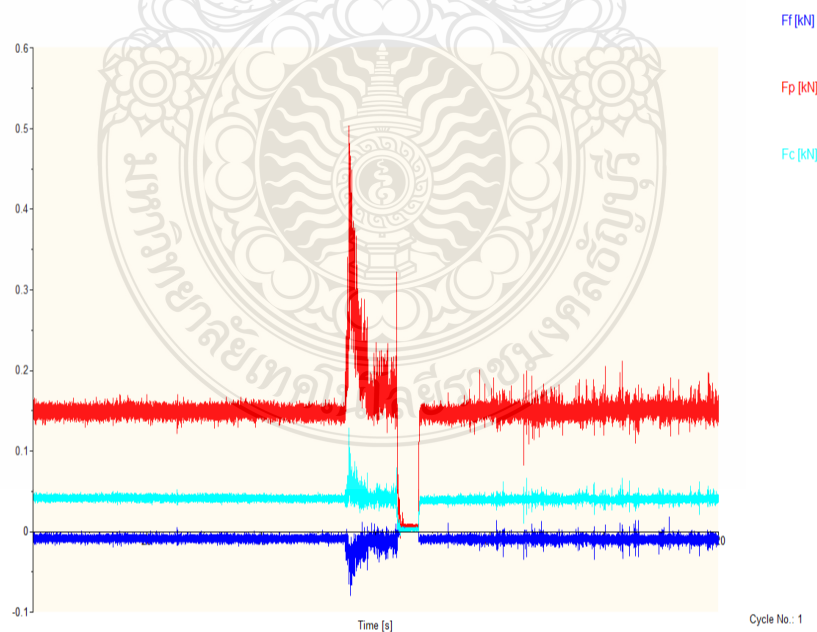




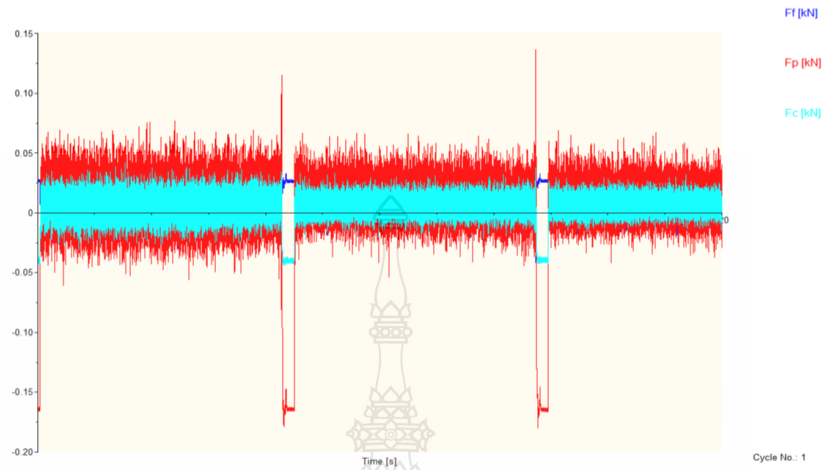
ภาพที่ ก2. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.14 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็นแบบ ไครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว)



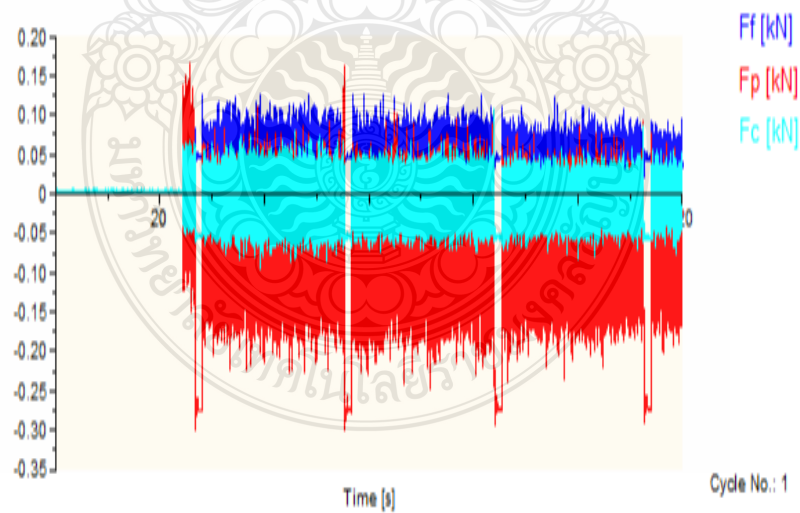
ภาพที่ ก3. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.21 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็นแบบ ไครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว)



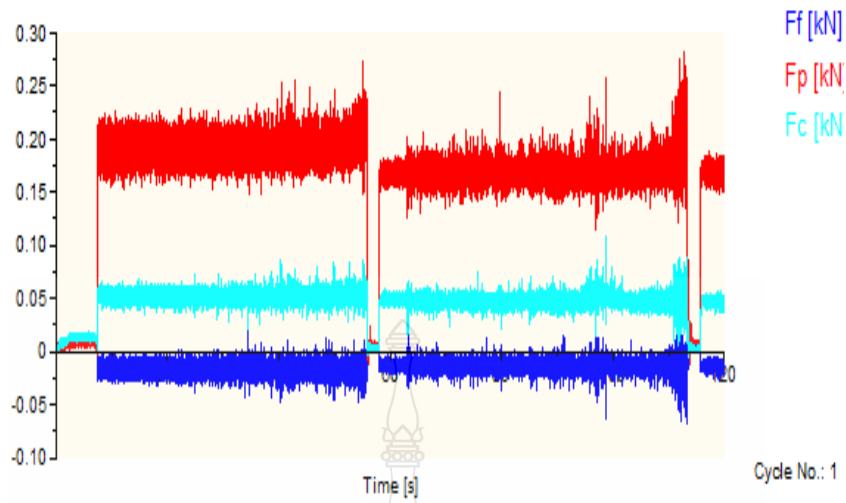
ภาพที่ ก4. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 120 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็นแบบโครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว)



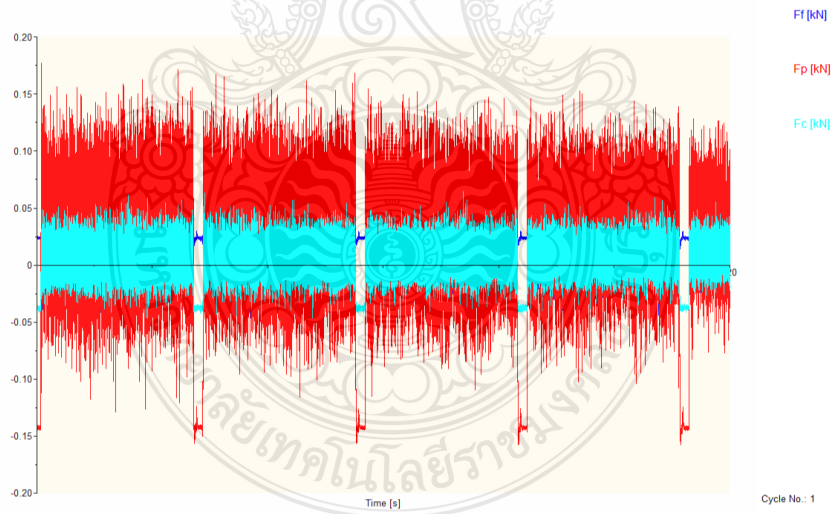
ภาพที่ ก5. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 120 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.14 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็นแบบโครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว)



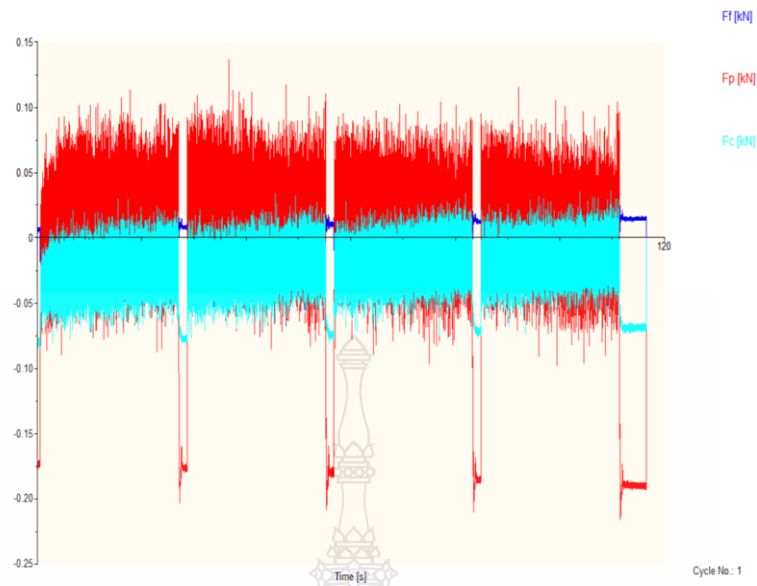
ภาพที่ ก6. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 120 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.21 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็นแบบโครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว)



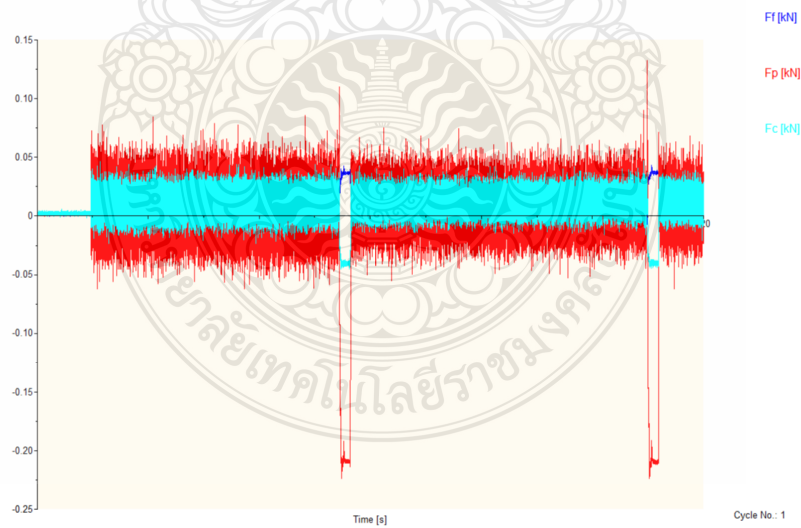
ภาพที่ ก7. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 180 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็นแบบโครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว)



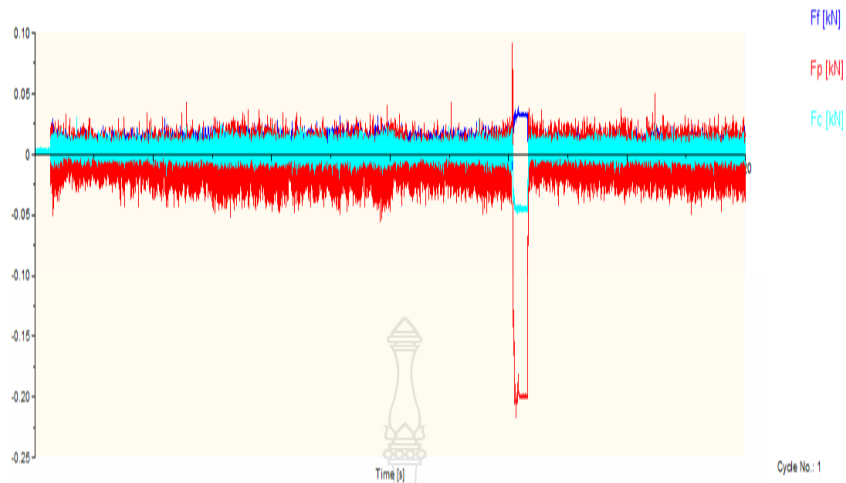
ภาพที่ ก8. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 180 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.14 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็นแบบโครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว)



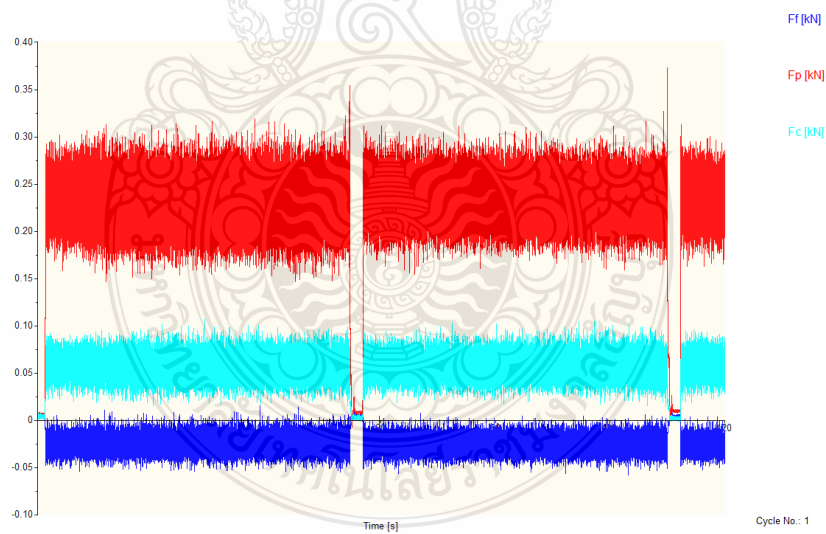
ภาพที่ ก9. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 180 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.21 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็นแบบโครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว)



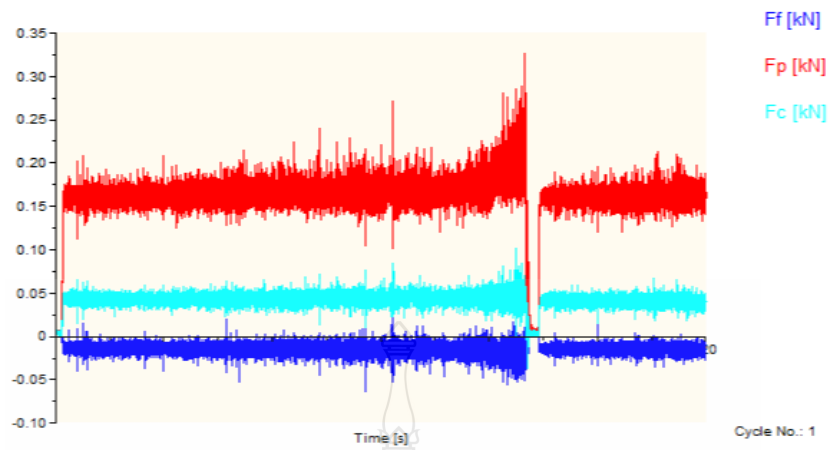
ภาพที่ ก10. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็นแบบเปียก



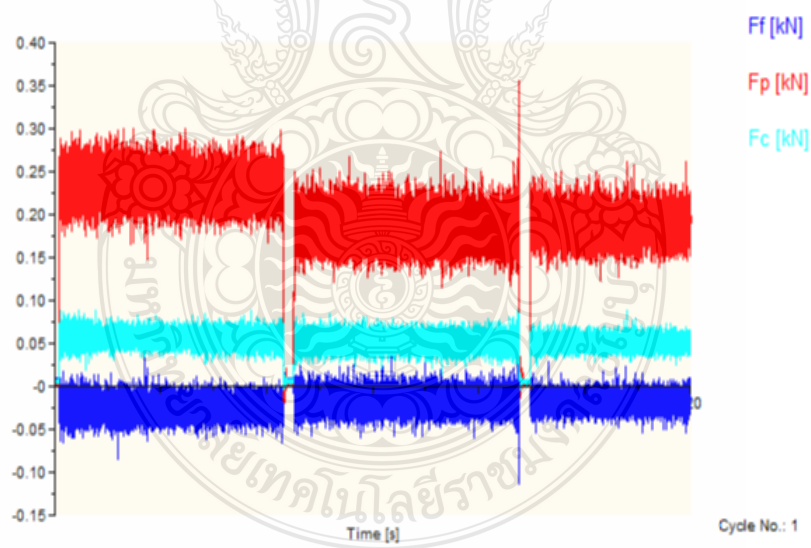
ภาพที่ ก11. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.14 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็นแบบเปียก



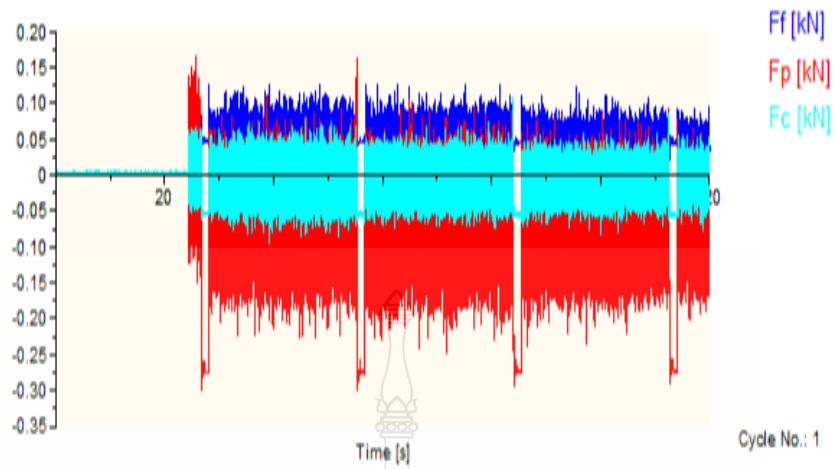
ภาพที่ ก12. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.21 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็นแบบเปียก



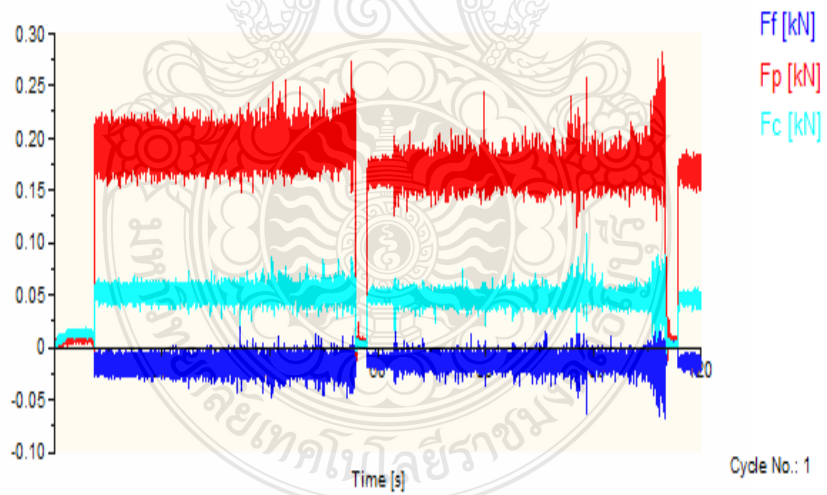
ภาพที่ ก13. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 120 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็นแบบเปียก



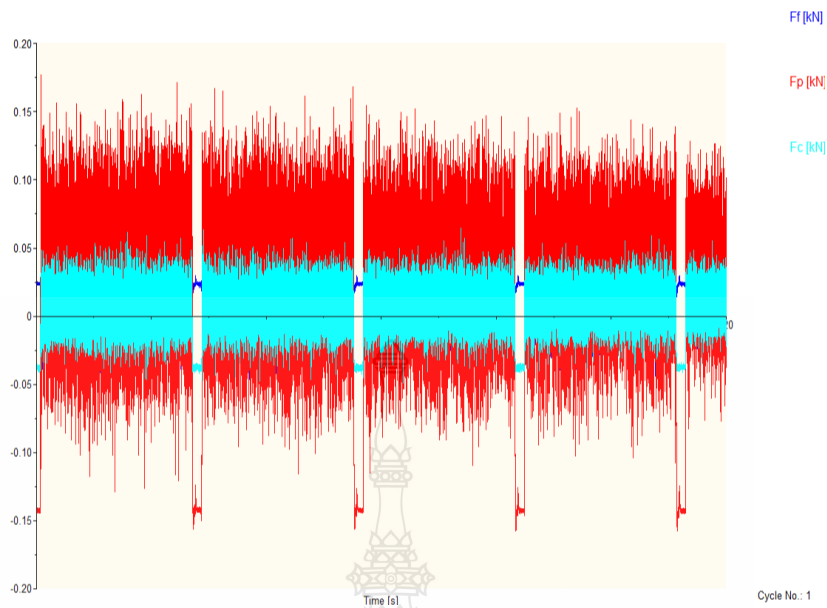
ภาพที่ ก14. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 120 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.14 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็นแบบเปียก



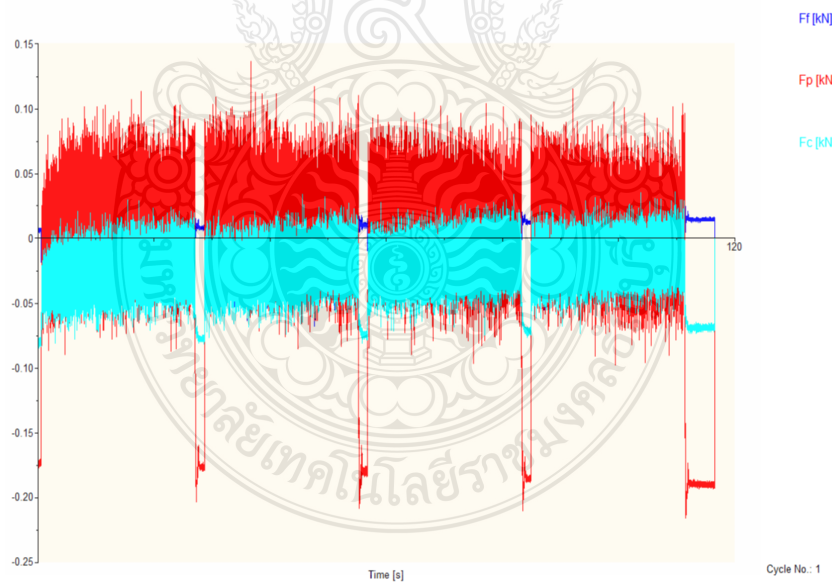
ภาพที่ ก15. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 120 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.21 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็นแบบเปียก



ภาพที่ ก16. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 180 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็นแบบเปียก

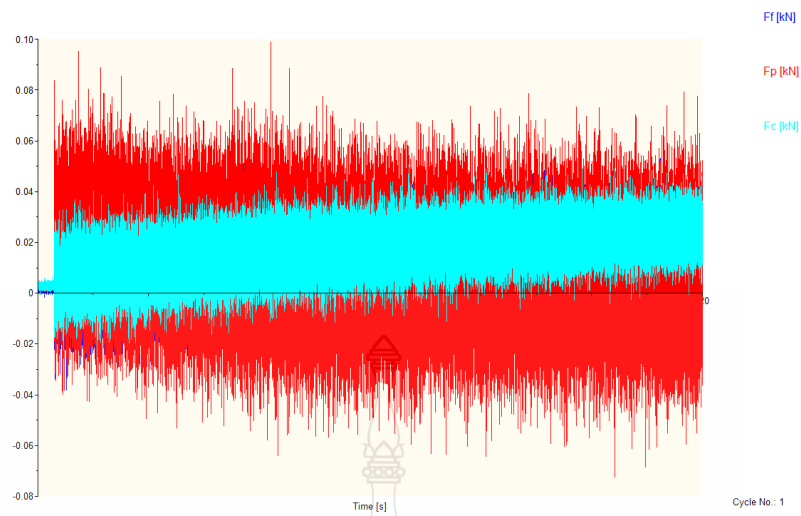


ภาพที่ ก17. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 180 เมตร/นาที อัตราบ่อนที่ 0.14 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็น  
แบบเปียก

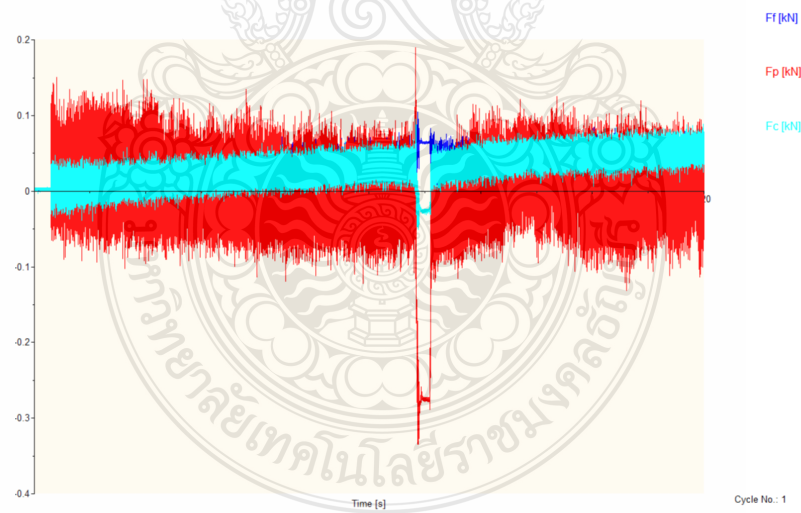


ภาพที่ ก18. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 180 เมตร/นาที อัตราบ่อนที่ 0.21 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็น  
แบบเปียก

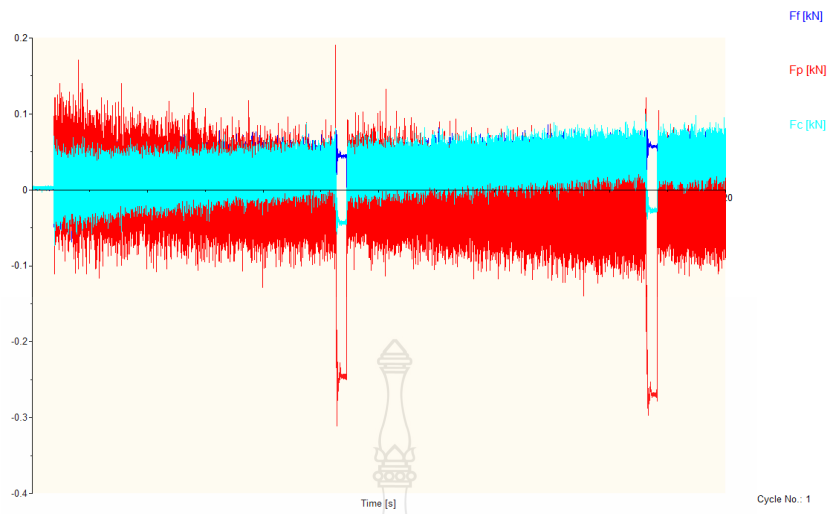




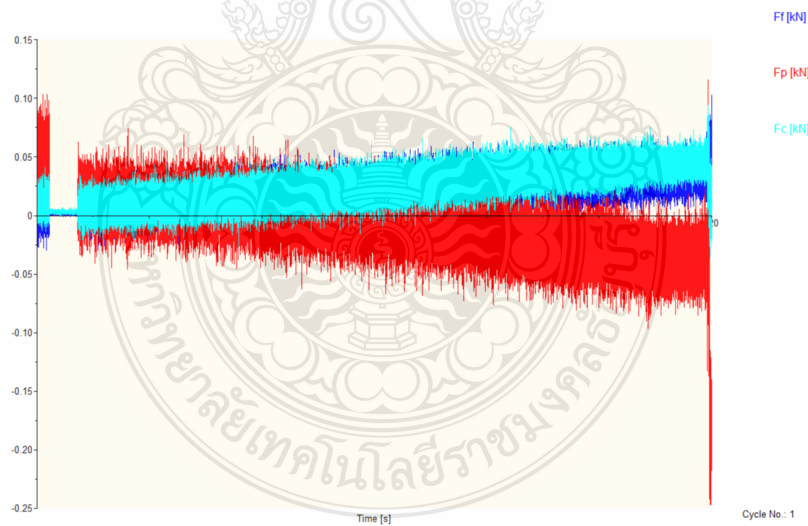
ภาพที่ ก19. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที่ อัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็น  
แบบแห้ง



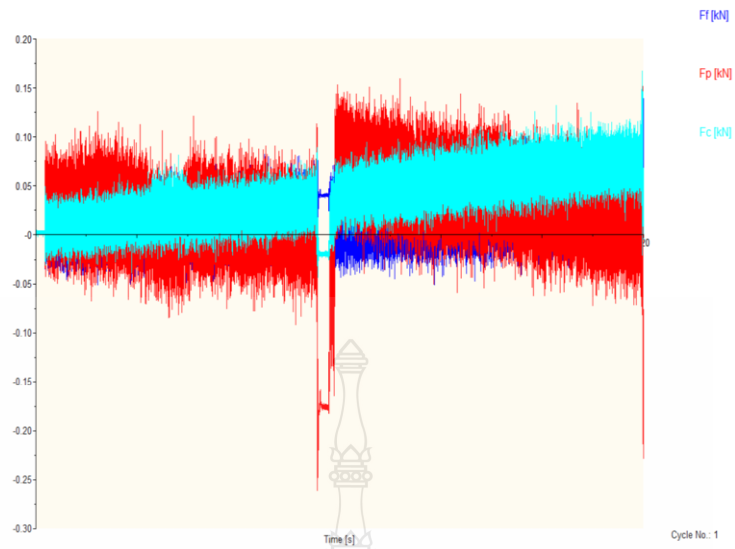
ภาพที่ ก20. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที่ อัตราป้อนที่ 0.14 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็น  
แบบแห้ง



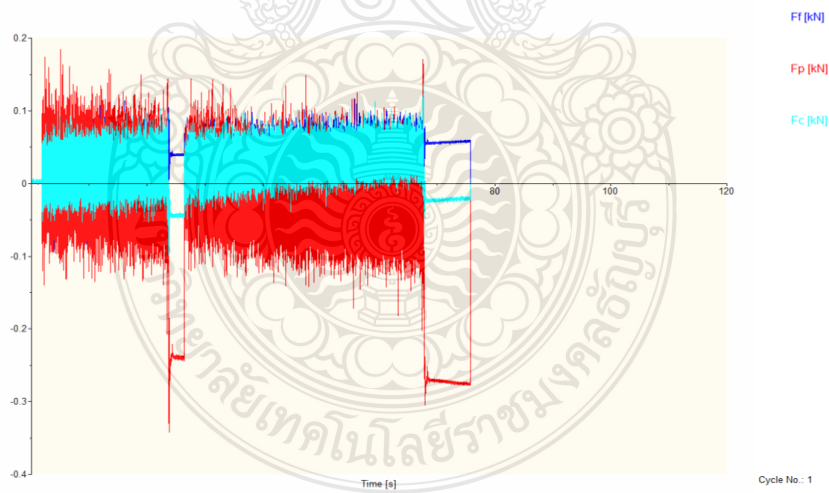
ภาพที่ ก21. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที่ อัตราป้อนที่ 0.21 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็น  
แบบแห้ง



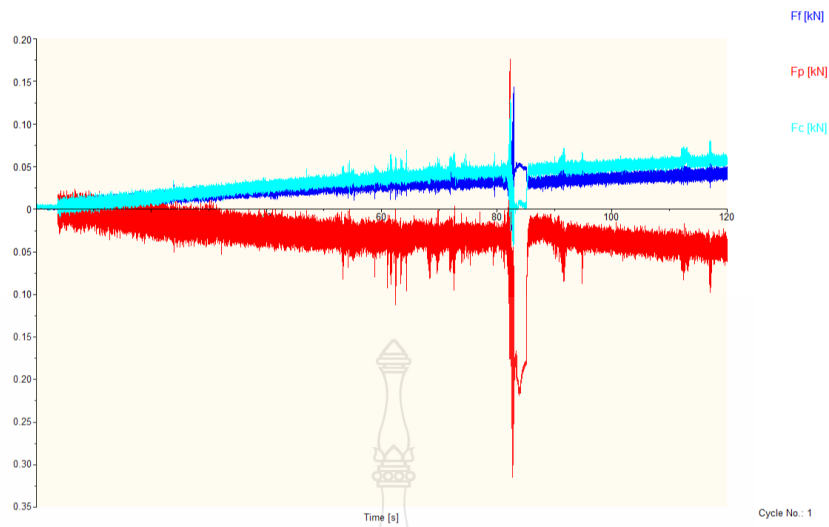
ภาพที่ ก22. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 120 เมตร/นาที่ อัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็น  
แบบแห้ง



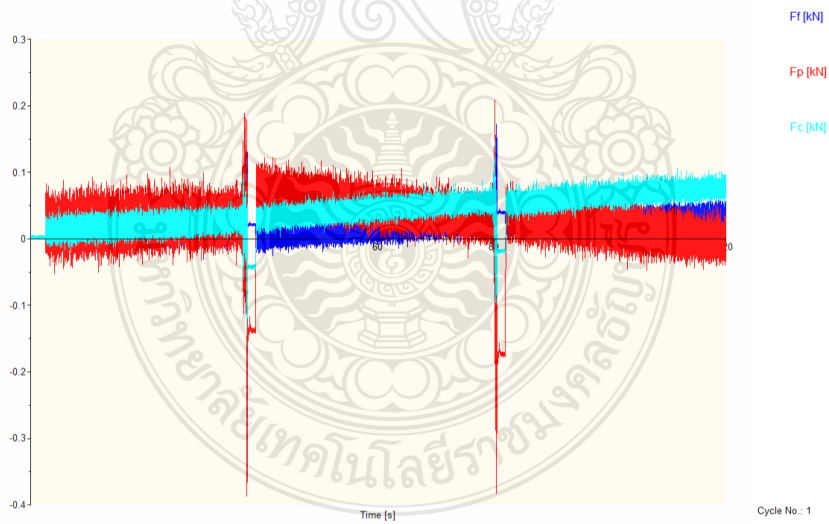
ภาพที่ ก23. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 120 เมตร/นาที่ อัตราป้อนที่ 0.14 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็น  
แบบแห้ง



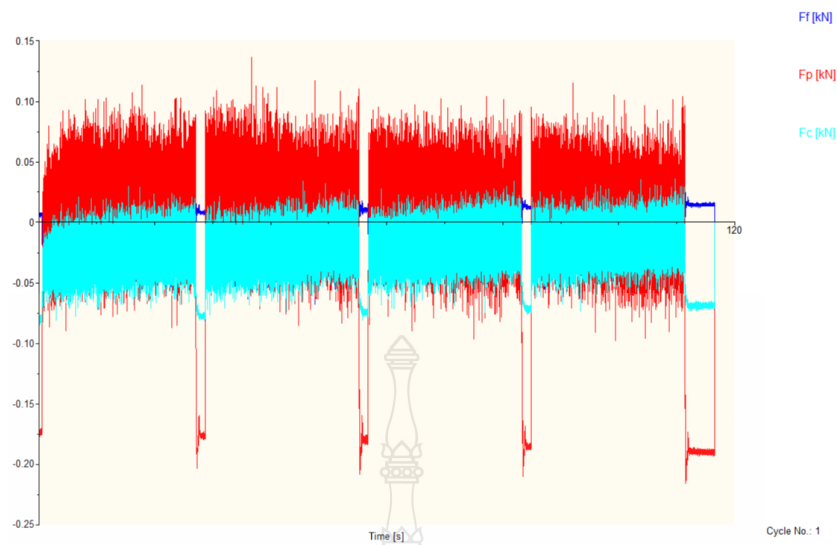
ภาพที่ ก24. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 120 เมตร/นาที่ อัตราป้อนที่ 0.21 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็น  
แบบแห้ง



ภาพที่ ก25. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 180 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็น  
แบบแห้ง



ภาพที่ ก26. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 180 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.14 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็น  
แบบแห้ง



ภาพที่ ก27. แรงตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 180 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.21 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็นแบบแห้ง



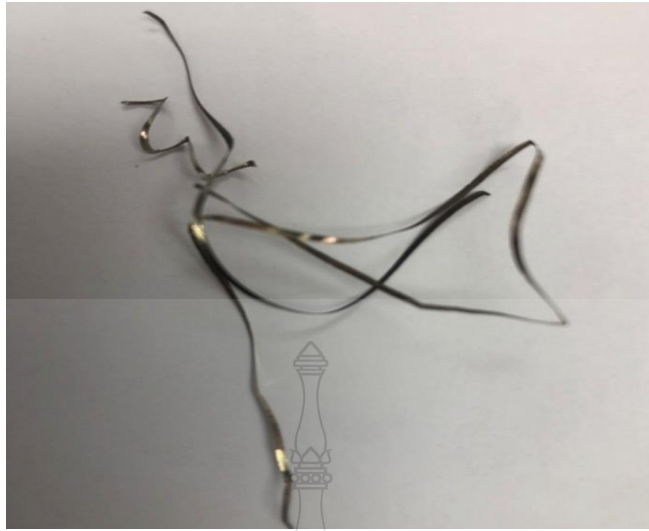
ภาพที่ ก28. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบหล่อเย็นแบบโครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว)



ภาพที่ ก29. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.14 มิลลิเมตร/รอบ หล่อ  
เย็นแบบโครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว)



ภาพที่ ก30. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.21 มิลลิเมตร/รอบ หล่อ  
เย็นแบบโครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว)



ภาพที่ ก31. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 120 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ  
หล่อเย็นแบบโครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว)



ภาพที่ ก32. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 120 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.14 มิลลิเมตร/รอบ  
หล่อเย็นแบบโครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว)



ภาพที่ ก33. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 120 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.21 มิลลิเมตร/รอบ  
หล่อเย็นแบบโครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว)



ภาพที่ ก34. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 180 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ  
หล่อเย็นแบบโครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว)

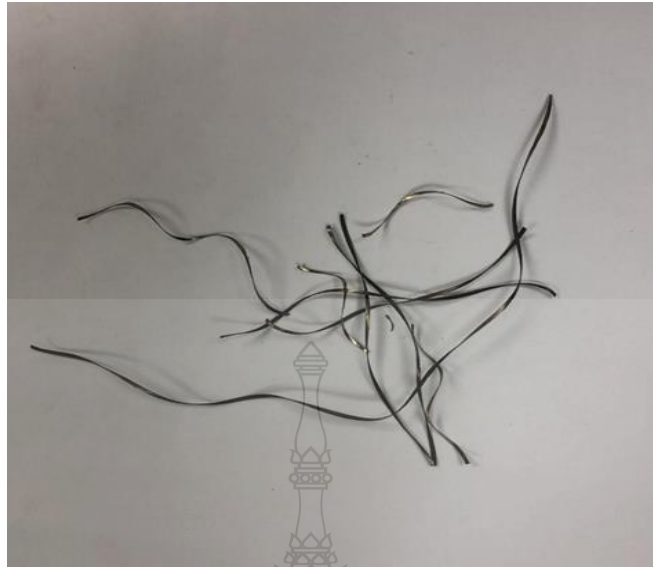




ภาพที่ ก35. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 180 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.14 มิลลิเมตร/รอบ  
หล่อเย็นแบบโครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว)



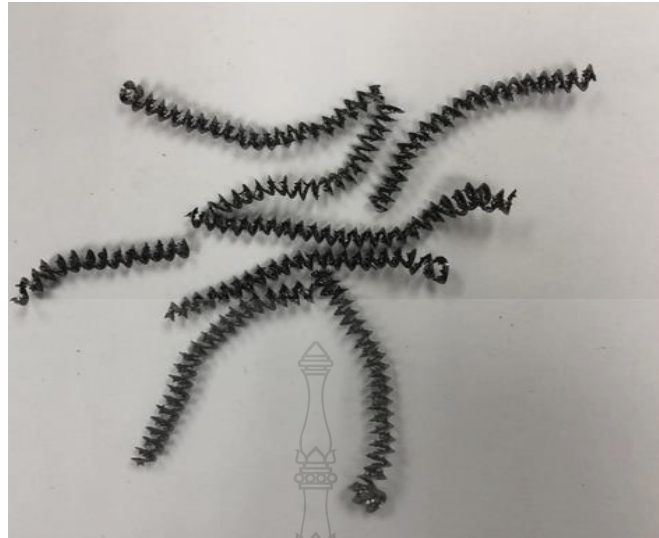
ภาพที่ ก36. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 180 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.21 มิลลิเมตร/รอบ  
หล่อเย็นแบบโครโยจินิก (ไนโตรเจนเหลว)



ภาพที่ ก37. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ หล่อ  
เย็นแบบเปียก



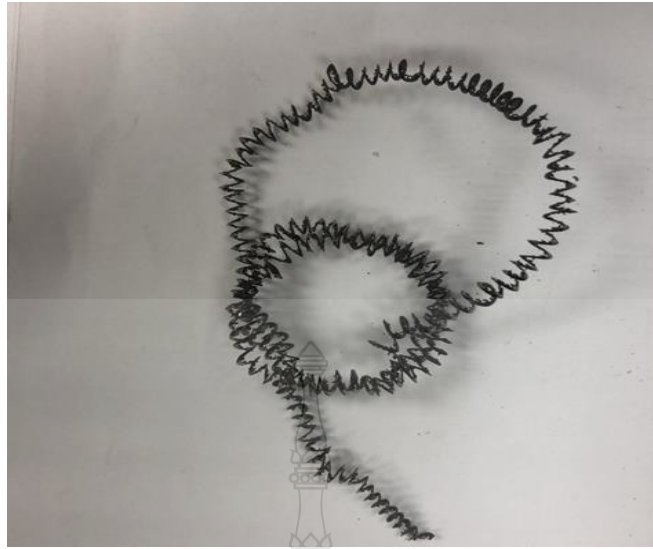
ภาพที่ ก38. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.14 มิลลิเมตร/รอบ หล่อ  
เย็นแบบเปียก



ภาพที่ ก39. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.21 มิลลิเมตร/รอบ หล่อเย็นแบบเปียก



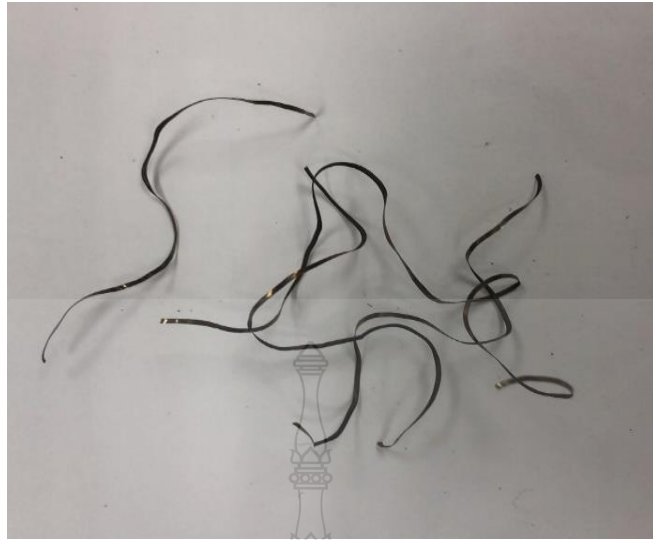
ภาพที่ ก40. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 120 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ หล่อเย็นแบบเปียก



ภาพที่ ก41. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 120 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.14 มิลลิเมตร/รอบ  
หล่อเย็นแบบเปียก



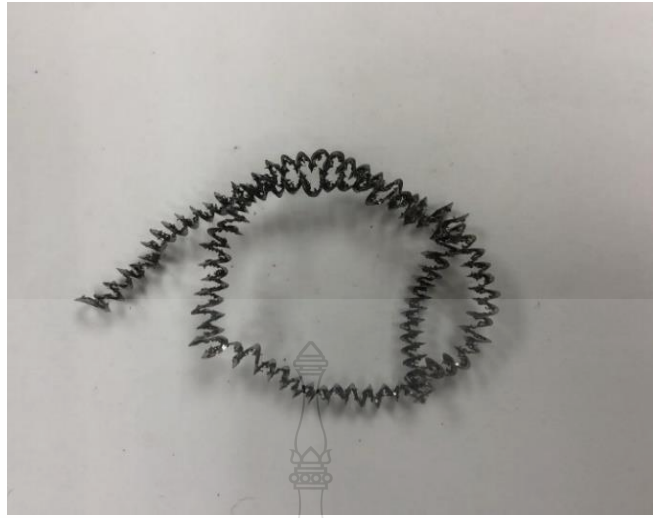
ภาพที่ ก42. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 120 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.21 มิลลิเมตร/รอบ  
หล่อเย็นแบบเปียก



ภาพที่ ก43. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 180 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ  
หล่อเย็นแบบเปียก



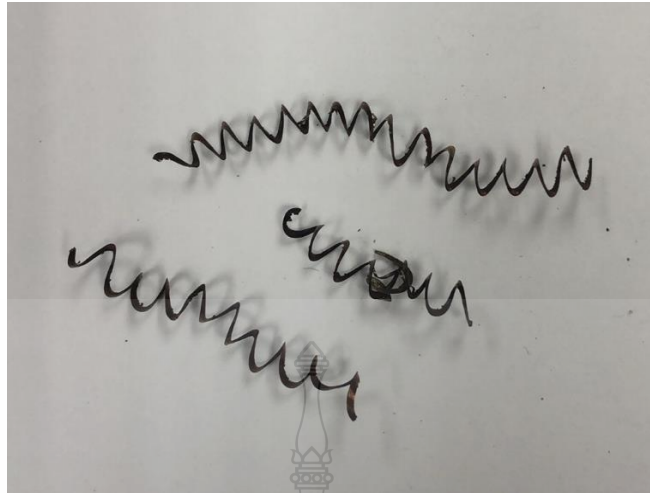
ภาพที่ ก44. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 180 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.14 มิลลิเมตร/รอบ  
หล่อเย็นแบบเปียก



ภาพที่ ก45. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 180 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.21 มิลลิเมตร/รอบ  
หล่อเย็นแบบเปียก



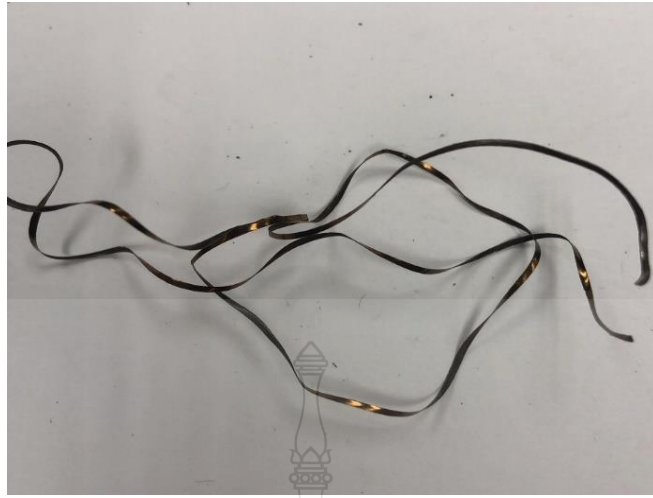
ภาพที่ ก46. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ หล่อ  
เย็นแบบแห้ง



ภาพที่ ก47. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.14 มิลลิเมตร/รอบ หล่อ  
เย็นแบบแห้ง



ภาพที่ ก48. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 60 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.21 มิลลิเมตร/รอบ หล่อ  
เย็นแบบแห้ง



ภาพที่ ก49. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 120 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ  
หล่อเย็นแบบแห้ง



ภาพที่ ก50. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 120 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.14 มิลลิเมตร/รอบ  
หล่อเย็นแบบแห้ง

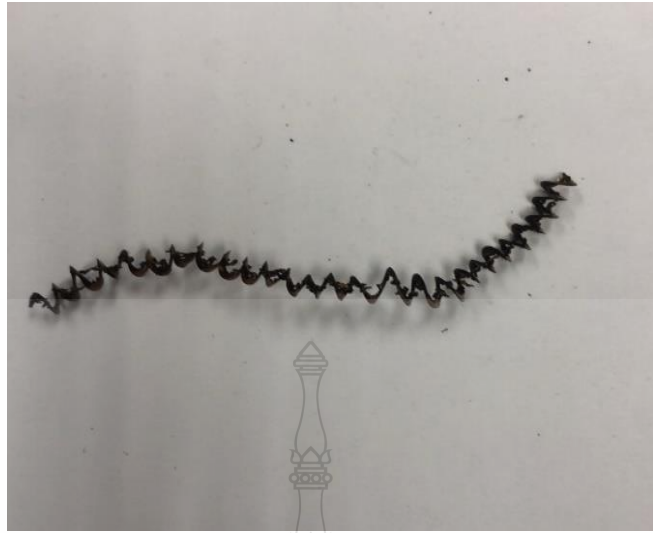




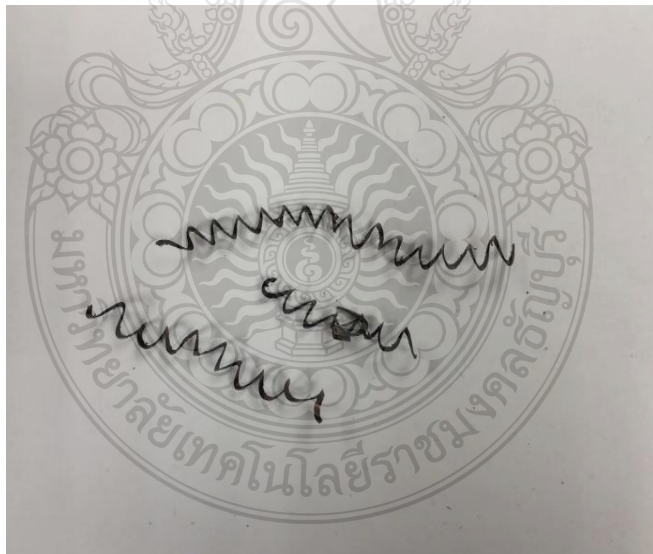
ภาพที่ ก51. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 120 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.21 มิลลิเมตร/รอบ  
หล่อเย็นแบบแห้ง



ภาพที่ ก52. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 180 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.07 มิลลิเมตร/รอบ  
หล่อเย็นแบบแห้ง



ภาพที่ ก53. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 180 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.14 มิลลิเมตร/รอบ  
หล่อเย็นแบบแห้ง



ภาพที่ ก54. เศษตัดจากการกลึงที่ความเร็วตัด 180 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ 0.21 มิลลิเมตร/รอบ  
หล่อเย็นแบบแห้ง





**ESTACON** **10<sup>th</sup>** 2019  
10<sup>th</sup> Engineering Science Technology and Architecture Conference 2019



การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์  
เทคโนโลยี และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 10

The 10th Engineering Science Technology  
and Architecture Conference 2019

ความท้าทายด้านวิศวกรรมในอนาคต  
**Engineering Challenge Future**

วันที่ 30 สิงหาคม 2562

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล  
จ.นครราชสีมา

การศึกษาอิทธิพลของไนโตรเจนที่มีผลต่อการหล่อเย็นงานกลึงเหล็กกล้าไร้สนิม SUS420  
 Study on the Influence of Nitrogen Cooling in Turning Process of SUS420 Stainless Steel

ธีรศักดิ์ โชนสังข์สินนท์, ชัยยะ ปราณีพลกรัง<sup>1</sup> และ นฤทธิ์ คชฤทธิ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
 39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12110  
 \* E-mail: thirassak\_t@gmail.com, thirassak.t@mutt.ac.th, 02 549 3440, 02 549 3442

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของการหล่อเย็นด้วยไนโตรเจนในกระบวนการกลึงเพื่อลดอุณหภูมิในการตัดเฉือนซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เครื่องมือตัดเกิดการสึกหรอและลดความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมโดยทำการฉีดพ่นไนโตรเจนไปที่ปลายคมตัดของมีดกลึงด้วยแรงดัน 2 บาร์ เพื่อลดอุณหภูมิในการตัดเฉือนของเหล็กกล้าไร้สนิม SUS420 ที่มีขนาดความโต 25 มิลลิเมตร โดยทำการตัดเฉือนด้วยเครื่องกลึงอัตโนมัติ ความเร็วตัดที่ 60 เมตรต่อนาที อัตราป้อน 0.07 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัดที่ 1 มิลลิเมตร ระยะทางในการตัดเฉือน 1,500 มิลลิเมตร ตรวจสอบการสึกหรอของเครื่องมือตัด ความหยาบผิวของชิ้นงาน แรงในการตัดเฉือน และอุณหภูมิ เปรียบเทียบกับการไม่ใช้สารหล่อเย็น(แบบแห้ง)และการหล่อเย็นแบบใช้สารหล่อเย็นที่ใช้ในอุตสาหกรรม(แบบเปียก) จากผลการทดลองพบว่า การหล่อเย็นแบบไนโตรเจน ให้ค่าเฉลี่ยความหยาบผิวและการสึกหรอน้อยที่สุดที่ 1.56 และ 40.65 ไมครอนเมตร ตามลำดับ เนื่องจากการตัดเฉือนโดยสารหล่อเย็นแต่ละชนิดมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันซึ่งไนโตรเจนมีอุณหภูมิต่ำที่สุด จึงส่งผลให้มีความหยาบผิวและการสึกหรอที่ต่ำ ในขณะที่ผิวงานจากผลการวัดแรงตัดของชิ้นงานที่ใช้ไนโตรเจนมีค่าแรงตัดมากกว่าการหล่อเย็นแบบเปียกแต่น้อยกว่าการหล่อเย็นแบบแห้งเนื่องจากความเย็นของไนโตรเจนส่งผลให้อุณหภูมิเข้าใกล้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะจากวัสดุที่มีความเหนียวกลายเป็นวัสดุที่เปราะ ดังนั้นจึงส่งผลให้แรงตัดสูงขึ้น

**คำสำคัญ:** ไนโตรเจน, การสึกหรอ, แรงตัดเฉือน

**Abstract**

This research aims to study on the influence of nitrogen in terms of a cooling media in turning process in order to reduce a cutting temperature, which is a main cause of tool wears, and it also help to be environmental friendly. The Nitrogen liquid was sprayed onto a cutting edge with a pressure of 2 bar. The turning process was conducted with SUS420 stainless steel with a diameter of 25 mm on the CNC lathe machine. The process parameters, including cutting speed, feed rate, depth of cut, and cutting length, were set as 60 m/min, 0.07 mm/rev, 1 mm and 1,500 mm, respectively. The experiments were carried out in order to investigate tool wear, cutting force and cutting temperature among processes with and without coolant, and with nitrogen cooling. The experimental results revealed that cutting temperature was the lowest value when nitrogen was applied. Consequently, surface roughness and tool wear were reduced. The average surface roughness and tool wear were 1.56 and 40.65 micron,

respectively. However, the nitrogen cooling caused a higher cutting force in comparison to the process with coolant, but lower than a dry process. This may be a result that materials became brittle owing to the aspect of nitrogen resulting in a higher cutting force.

**Keywords:** Nitrogen liquid, roughness, cutting force

## 1. บทนำ

การผลิตชิ้นส่วนที่มีจำนวนมากๆ ที่มีทั้งความแข็ง ความเหนียว ของวัสดุ ยากต่อการตัดเฉือน ทำให้เกิดปัญหาตามมาเช่น การสึกหรอของเครื่องมือตัด ความเรียบของผิวชิ้นงาน ทำให้ต้องมีการตรวจสอบบ่อยขึ้น ส่งผลให้กำลังการผลิตลดลง ชิ้นงานที่ผลิตออกมาไม่มีความเที่ยงตรงต่ำ ดังนั้นจึงมีการคิดหาวิธีการต่างๆ ในการแก้ปัญหาตั้งที่กล่าวมาข้างต้น หนึ่งในแนวทางการแก้ปัญหาคือการเลือกใช้สารหล่อเย็นที่เหมาะสมกับวัสดุ หรือเลือกเครื่องมือตัดที่เหมาะสมกับวัสดุนั้นๆ แต่สารหล่อเย็นชนิดต่างๆ เมื่อใช้แล้วโดยส่วนใหญ่จะไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ จึงมีการทิ้งลงแม่น้ำลำคลอง ส่งผลให้น้ำเน่าเสียเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้สารเคมีในน้ำหล่อเย็นยังฟุ้งเป็นละออง ในขณะที่ตัดเฉือน ส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานอีกด้วย

โครโมจีนิค(ไนโตรเจน) เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในงาน ตัดเฉือนวัสดุต่างๆ วิธีการหล่อเย็นแบบนี้จะใช้สารหล่อเย็นที่มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าศูนย์องศาเซลเซียส ฉีดทับไปที่ปลายของเครื่องมือตัด ส่งผลให้ช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้นขณะทำการตัดเฉือน ได้มีการทดลองใช้โครโมจีนิค(ไนโตรเจน) ลดความร้อน กับ โทเทเนียมอัลลอยด์ ได้มีการทดลองใช้โครโมจีนิค(ไนโตรเจน) ลดความร้อนและลดการสึกหรอในการกลึง Inconel 625 ได้ทำการทดลองใช้โครโมจีนิค(ไนโตรเจน) ทำการกลึง Hastelloy C-276 [1-3]

อุตสาหกรรมการผลิตในปัจจุบันหันมาใส่ใจเรื่องสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เนื่องจากเป็นข้อกำหนดของมาตรฐานการผลิต (ISO 14001) ดังนั้นจึงมีแนวคิดการนำการหล่อเย็นแบบใหม่ที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมมาช่วยในการหล่อเย็นงานกลึงในขณะที่ทำการตัดเฉือน โดยการทดลองนี้จะใช้สารหล่อเย็นคือไนโตรเจนเหลว

## 2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ตารางที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

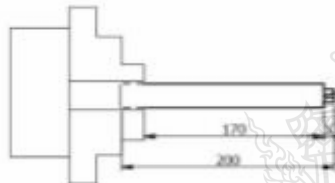
No	Description
1	CNC Turning Center EMCO450
2	Cutting insert Tungaloy coated carbide insert (CNMG120408 - TM T9125)
3	Surf test SJ - 310 Mitutoyo
4	Dino - Lite DNC 2.0
5	KISTLER SN. 4464621 9257B
6	Thermometer KISTLER
7	Coolant ZERECL BIOCUT No.4 88
8	Liquid nitrogen
9	SUS420 Stainless steel (Ø25.4mmx200mm)

การทดลองเริ่มจากนำเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 420 มาตัดด้วยเครื่องเลื่อยสายพานให้มีความยาว 200 มิลลิเมตร นำไปทำการปาดหน้าเจาะยื่นศูนย์ท้าย ทำการกลึงลดขนาดชิ้นงานให้เหลือความโต เท่ากับ 14 มิลลิเมตร ลึก 10 มิลลิเมตร เพื่อหลบล้างมีดกลึง นำชิ้นงานที่ทำการเจาะยื่นศูนย์เรียบร้อยแล้วไปจับยึดกับหัว Spindle ของเครื่องกลึง ใช้เวอร์เนียรคาลิปเปอร์

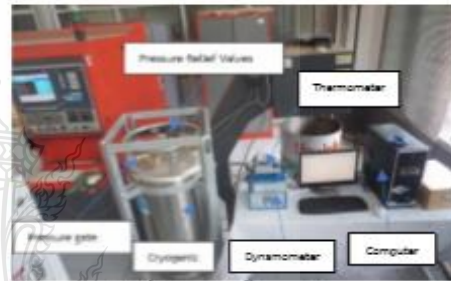
วัดให้มีความยาว 170 มิลลิเมตร จากพื้นจับถึงท้าย  
 ชิ้นงานแล้วทำการลือตชิ้นงาน เพื่อให้จับชิ้นงานยาว  
 เท่ากันทุกชิ้น ทำการยื่นศูนย์ท้าย ชิ้นงานตั้งรูปที่ 1

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

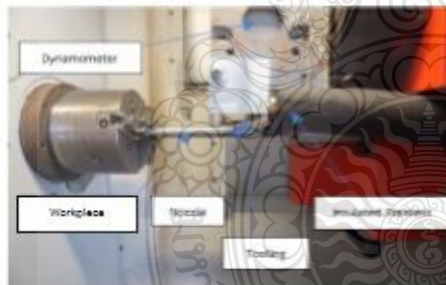
Process parameter	Cutting velocity: 60 m/min Feed rate: 0.07 mm/rev Depth of cut: 1 mm
Nozzle diameter	3 mm (for all machining conditions)
Flow rate	2 bars



รูปที่ 1 การจับยึดชิ้นงาน



รูปที่ 3 การติดตั้งระบบวัดผล



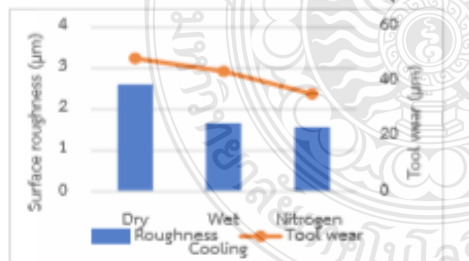
รูปที่ 2 การจับยึดมีตกลึงและท่อส่งไนโตรเจน

ทำการติดตั้งอุปกรณ์ วัดความร้อนโดยเจาะรูได้  
 มีตกลึงแล้วใส่สายเทอร์มอมิเตอร์ เข้าไปด้านใต้ของ  
 มีตกลึง ทำการติดตั้งชุดวัดแรงในการตัดเฉือน  
 (Dynamometer) ทำการติดตั้งเป็นยึดหัวปลอย  
 ไนโตรเจน โดยยึดเข้ากับจิ๊กจับป้อมมีตกลึง ทำการต่อ  
 สายวัดแรงเส้นส่งเหมือนและสายวัดอุณหภูมิ เข้ากับ  
 คอมพิวเตอร์ ทำการเขียนโปรแกรม ในการทดลองนี้  
 จะทำการพิจารณาวิธีการหล่อเย็น 3 วิธีได้แก่ การกลึง  
 แบบแห้ง (Dry), แบบเปียก (Coolant) และ แบบโคร  
 โยจีนิก (ไนโตรเจน) องค์ประกอบในการตัดเฉือน  
 ประกอบไปด้วย อัตราป้อน 0.07 0.14 0.21

มิลลิเมตรต่อรอบ ความเร็วตัด 60 120 180 เมตรต่อ นาที ความลึกตัด 1 มิลลิเมตร ใช้อัตราการใช้สารหล่อเย็นแบบเปียก 17 ลิตรต่อนาที ตามมาตรฐานของเครื่องจักร ใช้แรงดันไฮดรอลิก 2 บาร์ ในการ กิ่งขึ้นงานจากความโต 25.4 มิลลิเมตร จนถึงความ โต 15.4 มิลลิเมตร ลึก 150 มิลลิเมตร ระหว่างการ กิ่งทำการบันทึกอุณหภูมิ และในการตัดเฉือนที่ เกิดขึ้นขณะทำการกิ่ง นำชิ้นงานไปตรวจสอบความ หยابผิว นำเมตมีต Inset ไปทำการตรวจสอบการสึก หรอด้าน Flank wear รวบรวมข้อมูลทั้งหมดเพื่อนำมาวิเคราะห์ผล

### 3.ผลการทดลองและอภิปราย

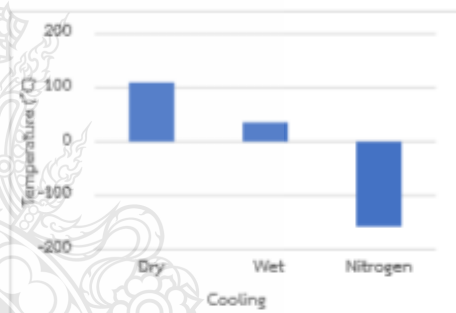
การทดลองเริ่มจากการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ ความเร็วตัดที่ 60, 120, 180 เมตรต่อนาที อัตราป้อน 0.07, 0.14, 0.21 มิลลิเมตรต่อรอบ โดยทำการตัด เฉือนแบบไม่ใช้สารหล่อเย็น (แบบแห้ง) การหล่อเย็น แบบใช้สารหล่อเย็นที่ใช้ในอุตสาหกรรม(แบบเปียก) และการหล่อเย็นแบบไฮดรอลิก(ไฮโดรเจน) การ ทดลองจะทำซ้ำพารามิเตอร์ละ 3 ครั้ง นำค่าที่ได้มา หาเฉลี่ย จากผลการทดลองพบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่ให้ ความหยาบผิวที่ดีที่สุดคือการหล่อเย็นด้วยไฮโดรเจนที่ ความเร็วตัด 60 เมตรต่อนาที อัตราป้อน 0.07 มิลลิเมตรต่อรอบ ให้ค่าความหยาบผิวน้อยที่สุด



รูปที่ 4 กราฟแสดงการสึกหรอและความหยาบผิว

การประชุมนานาชาติวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 10 วันที่ 30 สิงหาคม 2562 ณ อาคารเจริญแก้ว มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

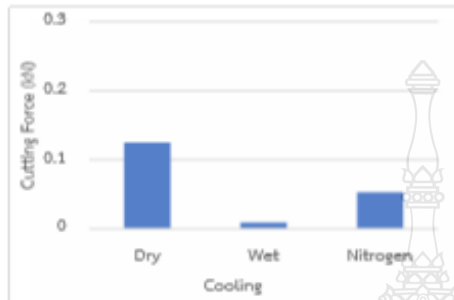
รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสึกหรอและ ความหยาบผิว การกิ่งแบบไม่ใช้สารหล่อเย็นมีความ หยาบผิว 2.60 ไมโครเมตร มีค่าการสึก หรอ 48.65 ไมโครเมตร การกิ่งแบบแบบเปียก มีค่า ความหยาบผิว 1.66 ไมโครเมตร มีค่าการสึกหรอ 41.52 ไมโครเมตร และ การหล่อเย็นแบบ ไฮดรอลิก ให้ความหยาบผิว 1.56 ไมโครเมตร มีค่าการสึกหรอ 40.646 จากผลการทดลองพบว่าการใช้ไฮดรอลิกใน การหล่อเย็นทำให้การสึกหรอของมีดกึ่งต่ำที่สุด ดังนั้นจึงส่งผลให้ความหยาบผิวของชิ้นงานมีค่าต่ำ ที่สุด และการหล่อเย็นแบบแห้งส่งผลให้มีการสึกหรอ ของมีดกึ่งมากที่สุด จึงให้ผิวของชิ้นงานมีความหยาบ สูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ B.Dilip Jerold และ M. Dhananchezian [4,5]



รูปที่ 5 กราฟแสดงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะทำการกิ่ง รูปที่ 5 แสดงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะทำการกิ่ง ของแต่ละชนิดของสารหล่อเย็น ซึ่งการหล่อเย็นแบบแห้ง มีอุณหภูมิสูงสุดที่ 110.132 องศาเซลเซียส การหล่อ เย็นแบบเปียก มีอุณหภูมิที่ 35.705 องศาเซลเซียส และการหล่อเย็นแบบไฮดรอลิกมีอุณหภูมิต่ำสุดที่



-157.59 องศาเซลเซียส ดังนั้นอุณหภูมิที่แตกต่างกันจึงส่งผลให้มีอัตราการศึกษาหรือของมีดกสิ่งไม่เท่ากัน ดังผลที่แสดงในรูปที่ 4

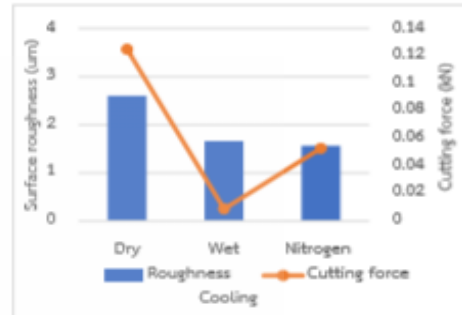


รูปที่ 6 กราฟแสดงแรงตัดที่เกิดขึ้นขณะทำการกลึง

รูปที่ 6 แสดงแรงตัดที่เกิดขึ้นขณะทำการกลึงของแต่ละสภาวะของการหล่อเย็น การหล่อเย็นแบบแห้งมีแรงตัดมากที่สุดที่ 0.125 กิโลนิวตัน การหล่อเย็นแบบเปียก มีแรงตัดน้อยที่สุดที่ 0.009 กิโลนิวตัน และการหล่อเย็นแบบไนโตรเจน มีแรงตัดที่น้อยกว่าการหล่อเย็นแบบแห้ง แต่มากกว่าการหล่อเย็นแบบเปียกที่ 0.053 กิโลนิวตัน

จากผลการวัดแรงตัดของการหล่อเย็นแบบแห้งมีค่าสูงสุดเนื่องจากมีแรงเสียดทานระหว่างมีดกลึงและผิวของชิ้นงานมาก นอกจากนี้ยังมีเศษเป็นจำนวนมากติดบริเวณมีดกลึง ซึ่ง B.Dilip Jerold [4] ได้อธิบายถึงแรงตัดที่ลดลงตามการลดลงของแรงเสียดทาน และการหล่อเย็นแบบเปียกมีค่าแรงตัดลดลงเนื่องจากเศษติดติดที่บริเวณมีดกลึงน้อยลง นอกจากนี้แรงเสียดทานยังน้อยลงตามด้วย และในส่วนของ การหล่อเย็นแบบไนโตรเจนมีค่าแรงตัดเพิ่มขึ้นมากกว่าการหล่อเย็นแบบเปียกเนื่องจากอุณหภูมิที่ต่ำลงส่งผลให้วัสดุเกิดการแข็งตัวมากขึ้นจึงส่งผลให้มีแรงตัดเพิ่มขึ้น ซึ่ง

T.C.Yap [6] ได้อธิบายถึงแรงตัดที่ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่สูงขึ้นและส่งผลให้วัสดุมีขึ้น



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงตัดและความหยาบผิว

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงตัดและความหยาบผิวที่เกิดขึ้นขณะใช้สารหล่อเย็นที่แตกต่างกัน การหล่อเย็นแบบแห้ง มีแรงตัดและความหยาบผิวสูงสุดที่ 0.125 กิโลนิวตันและ 2.604 ไมโครเมตรตามลำดับ การหล่อเย็นแบบเปียกมีแรงตัดที่ต่ำที่สุดที่ 0.009 กิโลนิวตันและความหยาบผิวที่ 1.668 ไมโครเมตร การหล่อเย็นแบบไนโตรเจนมีแรงตัดที่ต่ำกว่าแบบไม่ใช้สารหล่อเย็นแต่มากกว่าการหล่อเย็นแบบเปียกที่ 0.053 กิโลนิวตัน

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแตกต่างของสารหล่อเย็นแต่ละประเภท

	ต้นทุนสารสกัด (บาท)	ต้นทุนการใช้สารสกัด (บาท)	การบำบัดน้ำปัส	มลพิษทางสิ่งแวดล้อม	มีผลกระทบต่อสุขภาพผู้ปฏิบัติงาน
dry	0	0	x	x	x
Wet (L)	8.95	2.93	✓	✓	✓
Nitrogen(L)	31.25	625	x	x	x

การหล่อเย็นแบบไม่ใช้สาร (แบบแห้ง) ไม่มีต้นทุนในการใช้สาร ไม่ต้องมีการบำบัดของเสีย ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและผู้ปฏิบัติงาน การหล่อเย็นแบบใช้สาร (แบบเปียก) มีต้นทุนการใช้สารหล่อเย็นประมาณ 8.95 บาท/ลิตร มีต้นทุนในการใช้สาร 2.93 บาท/ ชั่วโมง ต้องนำสารหล่อเย็นที่ใช้ทำการบำบัด ทุกๆ 3 เดือนก่อนปล่อยลงสู่แม่น้ำลำคลอง เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ส่งผลกระทบต่อสุขภาพผู้ปฏิบัติงาน การหล่อเย็นแบบโครโยจีนิก (ไนโตรเจน) มีต้นทุนประมาณลิตรละ 31.25 บาท/ชั่วโมง คิดเป็นชั่วโมงละ 625 บาท ไม่ต้องทำการบำบัดสารหล่อเย็น ไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและผู้ปฏิบัติงาน

**สรุปผลการทดลอง**

จากการทดลองงานกลึงเหล็กกล้าไร้สนิม รุ่น 420 stainless steel โดยใช้การหล่อเย็นทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ แบบแห้ง (Dry), แบบเปียก (Coolant) และแบบโครโยจีนิก (ไนโตรเจน) พบว่าการหล่อเย็นแบบไนโตรเจน ให้ค่าเฉลี่ยความหยาบผิวต่ำสุด 1.56 ไมโครเมตร และการสึกหรอน้อยที่สุด 40.65 ไมโครเมตร เป็นผลมาจากการตัดเฉือนโดยสารหล่อเย็นแต่ละชนิดมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันซึ่งไนโตรเจนมีอุณหภูมิต่ำที่สุด ส่งผลให้มีความหยาบผิวและการสึกหรอที่ต่ำ ในขณะที่จากผลการวัดแรงตัดของชิ้นงานที่ใช้ไนโตรเจนมีค่าแรงตัดมากกว่าการหล่อเย็นแบบเปียกแต่น้อยกว่าการหล่อเย็นแบบแห้ง เป็นผลมาจากความเย็นของไนโตรเจนส่งผลให้อุณหภูมิเข้าใกล้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะจากวัสดุที่มีความเหนียวกลายเป็นวัสดุที่เปราะ และส่งผลให้แรงตัดสูงขึ้น การหล่อเย็นแบบแห้งมีค่าแรงตัดสูงสุด เป็นผลมาจากแรงเสียดทานระหว่างมีดกลึงและผิวของชิ้นงานมาก นอกจากนี้ยังมีเศษเป็นจำนวนมากติดบริเวณมีดกลึง

สรุปได้ว่าการหล่อเย็นแบบโครโยจีนิก (ไนโตรเจน) มีค่าความหยาบผิวต่ำกว่าการหล่อเย็นแบบเปียกเพียง 7 % ในขณะที่ตัวกันมีค่าการสึกหรอของมีดต่ำกว่าถึง 19 %

ในส่วนของต้นทุนของการใช้สารหล่อเย็น แบบแห้ง (Dry), แบบเปียก (Coolant) และ แบบโครโยจีนิก (ไนโตรเจน) การใช้สารแบบแห้ง (Dry) หากมองในเรื่องต้นทุนทางตรงจะไม่มีต้นทุนใดๆ แต่จะส่งผลกระทบต่อทางอ้อม เช่น ชิ้นงานมีความร้อนสะสมสูง คุณภาพชิ้นงานได้ยาก อายุการใช้งานของเครื่องมือตัดสั้นลง การหล่อเย็นแบบเปียก (Coolant) หากมองในเรื่องต้นทุนทางตรงจะมีต้นทุนต่ำกว่าการหล่อเย็นแบบโครโยจีนิก (ไนโตรเจน) อย่างเห็นได้ชัดแต่ถ้ามองต้นทุนทางอ้อมการหล่อเย็น แบบเปียก (Coolant) จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารหล่อเย็น (Coolant) ที่ใช้ต้องมีการบำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำสะอาดก่อนถึงจะทิ้งลงสู่แม่น้ำได้ แล้วหากทิ้งลงสู่แม่น้ำลำคลองโดยไม่มีการบำบัดน้ำเสีย จะทำให้สัตว์น้ำและระบบนิเวศทางธรรมชาติบริเวณนั้นได้รับผลกระทบอย่างมาก และถ้าหากตรวจพบว่า น้ำเสียที่ปล่อยสู่แม่น้ำมาจากบริษัทใด บริษัทนั้นจะถูกปิดและต้องชดใช้ค่าเสียหายให้กับผู้ได้รับผลกระทบ จนกว่าจะมีการแก้ไข บริษัทจึงจะเปิดได้อีกครั้ง ในส่วนผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงานจะได้รับผลกระทบในด้านสุขภาพ ทำให้สุขภาพไม่แข็งแรงทำให้ต้องเข้าโรงพยาบาลบ่อยขึ้น จึงส่งผลเสียกลับมายังบริษัท ทำให้บริษัทผลิตงานไม่ได้ตามแผนที่วางไว้ การหล่อเย็นแบบโครโยจีนิก (ไนโตรเจน) เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมถึงแม้ปัจจุบันต้นทุนในการการหล่อเย็นแบบโครโยจีนิก (ไนโตรเจน) ยังคงมีต้นทุนสูง ซึ่งในอนาคตถ้ามีการพัฒนาเรื่องต้นทุนของสารหล่อเย็นแบบโครโยจีนิก (ไนโตรเจน) อย่าง

ต่อเนื่อง จึงมีความเป็นไปได้ที่จะสารหล่อเย็นแบบไครโอเจนิค (ไนโตรเจน) ในอุตสาหกรรม

**กิตติกรรมประกาศ**

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและสาขาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้คำแนะนำและความอนุเคราะห์ ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ ในการทดลองและวิเคราะห์ผล จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

**5. เอกสารอ้างอิง**

[1] Franci Pušaveca, Damir Grguraša, Matthias Koch and Peter Krajnik, 2019. Cooling capability of liquid nitrogen and carbon dioxide in cryogenic milling, Applied Thermal Engineering, Measurement, vol. 68, pp. 73-76.

[2] Çağrı Vakkas Yıldırım, 2019. Experimental comparison of the performance of nanofluids, cryogenic and hybrid cooling in turning of Inconel 625, Applied Thermal Engineering, vol. 137, pp. 366 – 378.

[3] Dhananchezian, M. 2019. Study the machinability characteristics of Nicked based Hastelloy C-276 under cryogenic cooling, Applied Thermal Engineering, Measurement, vol. 136, pp. 694-702.

[4] B.Dilip Jerold and M.Pradeep Kumar , 2011. Experimental investigation of turning AISI 1045 steel using cryogenic carbon dioxide as the cutting fluid, Applied Thermal

Engineering, Measurement, vol. 13, pp. 113-119.

[5] M. Dhananchezian, M. Pradeep Kumar, and T. Somakumar, M. 2011 Cryogenic Turning of AISI 304 Stainless Steel with Modified Tungsten Carbide Tool Inserts, Applied Thermal Engineering, Measurement, vol. 26, pp. 781-785.

[6] T. C. YAP1, SIVARAQS2, C. S. LIM1 and J. W. LEAU. 2015. Surface roughness and cutting forces in cryogenic turning of carbon steel, Applied Thermal Engineering, Measurement, vol. 10, pp. 911-920.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายธีรศักดิ์ โทณสังข์อินทร์
วัน เดือน ปีเกิด	27 เมษายน 2531
ที่อยู่	58/1 ม.6 ต.น้ำรีม อ.เมือง จ.ตาก 63000
การศึกษา	ปริญญาตรีวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี
ประสบการณ์การทำงาน	พนักงานมหาลัยภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตั้งแต่ 2560 ถึงปัจจุบัน
อีเมล	Thirasak_t@mail.rmutt.ac.th
เบอร์โทรศัพท์	064 - 3498197

