

การศึกษาความหยาบผิวของชิ้นงานและการสึกหรอของเครื่องมือตัด
ในกระบวนการกลึงพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วภายใต้
การหล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์



นายอมรินทร์ ชาญปริยวาทีวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2563

**STUDY OF SURFACE ROUGHNESS AND TOOL WEAR
IN TURNING OF GFRP UNDER CRYOGENIC COOLING**



Amarin Chanpariyavatevong

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Degree of Master of Engineering in Mechanical and
Process System Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2020**

การศึกษาความหยาบผิวของชิ้นงานและการสึกหรอของเครื่องมือตัดในกระบวนการกลึง
พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วภายใต้การหล่อเย็นแบบไมโครโอเจนิคส์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผศ. ดร. จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร. วรณนัช นุ่งสุด)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(อ. ดร. สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์)

กรรมการ



(อ. ดร. ประเสริฐ เอ่งฉ้วน)

กรรมการ



(รศ. ร.อ. ดร. กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ดร. พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อมรินทร์ ชาญปรีชาวิทวงศ์ : การศึกษาความหยาบผิวของชิ้นงานและการสึกหรอของ
เครื่องมือตัดในกระบวนการกลึงพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วภายใต้การหล่อเย็น
แบบไครโอเจนิคส์ (STUDY OF SURFACE ROUGHNESS AND TOOL WEAR IN
TURNING OF GFRP UNDER CRYOGENIC COOLING) อาจารย์ที่ปรึกษา :
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณวิษ ทุ่งสุด, 75 หน้า.

ปัจจุบันพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วเป็นวัสดุที่มีบทบาทในหลายอุตสาหกรรม โดยพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว (GFRP) เป็นวัสดุคอมโพสิตชนิดหนึ่งที่ประกอบไปด้วย พอลิเมอร์และใยแก้ว อย่างไรก็ตาม GFRP ถูกจัดว่าเป็นวัสดุที่ยากต่อการตัดเฉือน เนื่องจากเส้นใย แก้วเสริมแรงส่งผลให้มีการสึกหรอของเครื่องมือตัดที่รวดเร็วและผิวชิ้นงานหลังการตัดเฉือน ดังนั้นงานวิจัยนี้ต้องการที่จะศึกษาผลกระทบของความหยาบผิวและการสึกหรอของเม็ดมีดกลึง คาร์ไบด์เคลือบผิวไบต์เคลือบผิว (TiCN/Al₂O₃) ในกระบวนการกลึงพลาสติกด้วยตัวแปรใน การตัดเฉือนที่แตกต่างกันภายใต้การหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์โดยไนโตรเจนเหลวและไม่มี การหล่อเย็น โดยพบว่า ความเร็วในการตัดเฉือนและอัตราป้อนเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อการสึกหรอ ของเม็ดมีดกลึงและความหยาบผิวของ GFRP มากไปกว่านั้นการใช้การหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์ ควบคู่กับการใช้ความเร็วในการตัดเฉือนที่ 1,800 rpm และอัตราป้อนที่ 0.13 mm/rev พบ การสึกหรอของเครื่องมือตัดที่ 331.5020 μm และความหยาบผิวที่ 5.7713 μm เมื่อเปรียบเทียบกับ ไม่มีการหล่อเย็นมีการสึกหรอที่ 400.8600 μm และความหยาบผิวที่ 5.8058 μm ในทางกลับกัน พบว่าการใช้ความเร็วในการตัดเฉือน 885 rpm และอัตราป้อน 0.07 mm/rev ควบคู่กับ ไม่มีการหล่อเย็น พบการสึกหรอที่ 67.5390 μm และความหยาบผิวที่ 3.2891 μm และการหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์ พบการสึกหรอที่ 90.7840 μm และความหยาบผิวที่ 3.9526 μm โดยสามารถสรุปได้ว่าการใช้ ความเร็วรอบที่ 1,800 rpm และอัตราป้อน 0.13 mm/rev ภายใต้การหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์ สามารถช่วยลดการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวและลดความหยาบผิวของพลาสติก เสริมแรงด้วยใยแก้วลงได้

สาขาวิชา วิศวกรรมการผลิต
ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนักศึกษา 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

AMARIN CHANPARIYAVATEVONG : STUDY OF SURFACE
ROUGHNESS AND TOOL WEAR IN TURNING OF GFRP UNDER
CRYOGENIC COOLING. THESIS ADVISOR : ASST. PROF.
WANWANUT BOONGSOOD, Ph.D., 75 PP.

CRYOGENIC/TOOL WEAR/GFRP/MACHINING

Nowadays, glass fiber reinforced plastics (GFRP), composite material consisted of the matrix of polymer and glass fiber, play a vital role in many industries. However, GFRP parts are classified as a difficult material to machine because it causes rapid tool wear and poor finished surface after machining. Therefore, this research studies the surface roughness of GFRP after machining and tool wear of coated carbide inserts (TiCN/Al₂O₃) in straight turning GFRP affected by different cutting parameters under cryogenic cooling by liquid nitrogen and no cooling. The result indicates that cutting speed and feed rate affect tool wear and surface roughness of GFRP. Cryogenic cooling coupled with 1,800 rpm cutting speed and feed rate of 0.13 mm/rev indicates the tool wear of 331.5020 μm and surface roughness of 5.7713 μm , comparing to no colling tool wear of 400.8600 μm and surface roughness 5.8058 μm . Vice versa, cutting speed of 885 rpm and feed rate of 0.07 mm/rev coupled with no cooling illustrates tool wear of 67.5390 μm and surface roughness of 3.2891 μm , while for cryogenic cooling, the tool wears at 90.7840 μm and surface roughness at 3.9526 μm . In conclusion, cutting speed of 1,800 rpm and feed rate of 0.13 mm/rev under cryogenic cooling can reduce tool wear and surface roughness of GFRP.

School of Manufacturing Engineering

Academic year 2020

Student's Signature 

Advisor's Signature 

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา ผู้ให้กำเนิดที่ให้การอุปการะเลี้ยงดูส่งเสียให้ได้รับการศึกษาตลอดมา พร้อมทั้งได้อบรมสั่งสอน แนวความคิดและการปฏิบัติตนจนผู้วิจัยได้ประสบผลสำเร็จในวันนี้ได้ รวมถึงหลาย ๆ คำลึงใจ

จากญาติพี่น้อง เพื่อนร่วมงาน ครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจอย่างยิ่ง อีกทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยทุก ๆ ท่านที่มีได้เอ่ยนาม ที่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยฉบับนี้จนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณวิษ บุ่งสุต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้ความรู้ แนะนำ และให้คำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหาในการทำงานวิจัยและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการ คณาจารย์ และบุคลากรสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ สำหรับการดำเนินการศึกษาและวิจัย

ขอขอบคุณ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งเป็นสถาบันการศึกษา ทำให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสเข้ามาศึกษา รวมถึงบุคลากร ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท สยามเทคโนโลยี จำกัด ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

อมรินทร์ ชาญปริษาทิวังค์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	4
1.5 สถานที่ทำวิจัย.....	4
1.6 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 กล่าวนำ.....	6
2.2 พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว (Glass fiber reinforce polymer)	6
2.3 กระบวนการกลึง (Turning process)	7
2.3.1 งานกลึงปาดหน้า	7
2.3.2 งานกลึงปอก.....	7
2.4 ประเภทของงานกลึง.....	8
2.4.1 ความเร็วตัด	8
2.4.2 อัตราป้อน.....	9
2.4.3 ความลึกในการตัด.....	9

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5	การสึกหรอของเครื่องมือตัด.....	9
2.5.1	การสึกหรอแบบขัดสี.....	9
2.5.2	การสึกหรอแบบแนบติด.....	10
2.5.3	การสึกหรอจากการแพร่.....	10
2.5.4	การสึกหรอบนผิวหลบ.....	11
2.5.5	การสึกหรอบนผิวกาย.....	12
2.5.6	การสึกเนื่องจากการเปลี่ยนรูป.....	12
2.5.7	การสึกหรอลักษณะแห้ว.....	13
2.5.8	การแตกร้าวเนื่องจากความร้อน.....	13
2.5.9	การสึกที่ปลายมีด.....	14
2.5.10	การกะเทาะและการแตกหัก.....	14
2.5.11	การพอกเศษ.....	15
2.6	ข้อกำหนดและมาตรฐานการวัดการสึกหรอของเครื่องมือตัดตาม มาตรฐาน ISO 3685 : 1933.....	16
2.7	มาตรฐานการวัดความหยาบผิว.....	17
2.8	ไครโอเจนิคส์.....	18
2.9	ปริทรรศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	18
2.9.1	การตัดเนื้อพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว (GFRP).....	18
2.9.2	การหล่อเย็นในระหว่างการตัดเนื้อ.....	22
2.9.3	การตัดเนื้อวัสดุชนิดต่าง ๆ ภายใต้การหล่อเย็นแบบ ไครโอเจนิคส์.....	22
3	วิธีดำเนินงานวิจัย.....	27
3.1	วัสดุอุปกรณ์.....	27
3.1.1	พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว (GFRP)	27
3.1.2	เม็ดมีดคัลลิ่งคาร์ไบด์เคลือบผิวไทเทเนียม-คาร์บอน-ไนไตรและ อะลูมิเนียมออกไซด์ (Coated carbide inserts)	28

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.3	เครื่องกลึง (Lathe machine)	30
3.1.4	ชุดอุปกรณ์จ่ายไนโตรเจนเหลว	31
3.1.5	กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope)	31
3.1.6	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope)	32
3.1.7	เครื่องวัดความหยาบผิว (Surface roughness tester)	33
3.2	วิธีการดำเนินการทดลอง.....	33
3.2.1	ทบทวนวรรณกรรมและศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง.....	33
3.2.2	การศึกษาระดับปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา.....	34
3.2.3	ออกแบบการทดลอง.....	35
3.2.4	ดำเนินการทดลอง.....	36
3.2.5	วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	40
4	ผลการทดลองและการอภิปรายผล.....	41
4.1	ผลการสึกหรอของเครื่องมือตัด.....	41
4.1.1	ผลกระทบของตัวแปรในการตัดเฉือนที่ผลต่อการสึกหรอ.....	41
4.1.2	รูปแบบการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิว	42
4.2	ผลกระทบของการสึกหรอภายใต้การหล่อเย็นแบบไม่มีการหล่อเย็น และโคร โอเจนิคส์.....	47
4.3	ผลกระทบของความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วภายใต้ การหล่อเย็นแบบโคร โอเจนิคส์และไม่มีการหล่อเย็น.....	50
4.3.1	ความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วในสภาวะไม่มี การหล่อเย็น.....	52
4.3.2	ความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วภายใต้ การหล่อเย็นแบบโคร โอเจนิคส์	53
5	สรุปผลการวิจัย.....	58
5.1	สรุปผลงานวิจัย.....	58
5.1.1	ผลกระทบการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิว.....	58

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1.2 ผลกระทบความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว	58
5.2 ข้อเสนอแนะ	59
รายการอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	66
ประวัติผู้เขียน.....	75



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 รวบรวมปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการตัดเนื้อพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว.....	20
2.2 การตัดเนื้อวัสดุชนิดต่าง ๆ ภายใต้การหล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์.....	25
3.1 ระดับค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ทำการศึกษา.....	35
3.2 จำนวนการทดลองทั้งหมด 18 การทดลอง.....	35
3.3 ผลการตรวจสอบความเร็วรอบ.....	37
3.4 ผลการตรวจสอบอัตราป้อน.....	38
3.5 ผลการวัดอุณหภูมิ.....	40
4.1 ตัวแปรในการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์.....	49
4.2 ค่าความแข็งวิกเกอร์ส (HV) ของเม็ดมีดคัลเลอร์ไบค์เคลือบผิว.....	50
4.3 ตัวแปรในการตรวจสอบความหยาบผิว.....	52

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ลักษณะของงานกลึง.....7
2.2	การกลึงปาดหน้า.....7
2.3	งานกลึงปอก.....8
2.4	การสึกหรอแบบขัดสี.....10
2.5	การสึกหรอแบบแนบติด.....10
2.6	การสึกหรอจากการแพร่.....11
2.7	การสึกหรอบนผิวหยาบ.....11
2.8	การสึกหรอบนผิวคาย.....12
2.9	การสึกเนื่องจากการเปลี่ยนรูป.....13
2.10	การสึกหรอลักษณะแห้ว.....13
2.11	การแตกร้างเนื่องจากความร้อน.....14
2.12	การสึกหรอที่ปลายมีด.....14
2.13	การกะเทาะและการแตกหัก.....15
2.14	การพอกเศษ.....15
2.15	มาตรฐานการวัดการสึกหรอ.....16
2.16	ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของพื้นผิวตามอนุกรมเลขคณิต.....17
3.1	พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว.....27
3.2	เม็คมัดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวไทเทเนียม-คาร์บอน-ไนโตร และอะลูมิเนียมออกไซด์.....28
3.3	ลักษณะทางเลขคณิตของเม็คมัดกลึง.....29
3.4	ชั้นเคลือบผิวของเม็คมัดกลึง.....29
3.5	ด้ามมีดกลึง.....30
3.6	เครื่องกลึง.....30
3.7	ระบบหล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์.....31
3.8	กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง.....32
3.9	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 เครื่องวัดความหยาบผิว	33
3.11 การเปลี่ยนแปลงของการสึกหรอต่อความเร็วในการตัดเฉือนที่อัตราป้อน 0.07 มิลลิเมตรต่อนาที	34
3.12 ขั้นตอนการตรวจสอบความเร็วในการตัดเฉือน	37
3.13 ขั้นตอนการตรวจสอบอัตราป้อนของเครื่องกลึง	38
3.14 วิธีตรวจสอบความลึกในการตัด	39
4.1 ค่าการสึกหรอของเครื่องมือตัดที่ได้รับผลกระทบจากอัตราป้อนและความเร็ว ในการตัดเฉือนในสถานะไม่มีการหล่อเย็น	41
4.2 ค่าการสึกหรอของเครื่องมือตัดที่ได้รับผลกระทบจากอัตราป้อนและความเร็ว ในการตัดเฉือนในสถานะโคร โอนิกส์	42
4.3 รูปแบบการสึกหรอของเครื่องมือตัด	43
4.4 มาตรฐาน ISO 3685	44
4.5 การสึกหรอของเม็ดมีดที่ ความเร็วในการตัดเฉือน 1,800 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.13 มิลลิเมตรต่อนาที	44
4.6 การสึกหรอของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวที่ความเร็วในการตัด 885 รอบต่อนาที	45
4.7 การสึกหรอจากภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ความเร็วตัด 885 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.13 มิลลิเมตรต่อนาที	45
4.8 การสึกหรอของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวที่ความเร็วในการตัด 1,239 rpm	46
4.9 การสึกหรอของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวที่ความเร็วในการตัด 1,800 rpm	47
4.10 ค่าการสึกหรอของเครื่องมือตัดที่ได้รับผลกระทบจากอัตราป้อนและ วิธีการหล่อเย็นที่ความเร็วในการตัดเฉือน 885 รอบต่อนาที	48
4.11 ค่าการสึกหรอของเครื่องมือตัดที่ได้รับผลกระทบจากอัตราป้อนภายใต้วิธีการ โคร โอนิกส์และไม่มีการหล่อเย็น ที่ความเร็วในการตัดเฉือน 1,800 รอบต่อนาที	49
4.12 บริเวณที่ทำการทดสอบความแข็ง	49
4.13 พื้นผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วหลังการตัดเฉือน	51
4.14 เศษหลังการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วในสถานะที่ไม่มีการหล่อเย็น	51

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 ผลกระทบของความหนาผิวที่ความเร็วในการตัดเฉือนที่ 885, 1,239 และ 1,800 รอบต่อนาที	52
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและความหนาผิวที่ความเร็วการตัดเฉือน 1,800 รอบต่อนาที ภายใต้การหล่อเย็นแบบ ไคร โอเจนิคส์และแบบ ไม่มี การหล่อเย็น	53
4.17 ความสัมพันธ์ของความหนาผิวและการสึกหรอที่ความเร็วในการตัดเฉือน ที่ 1,800 รอบต่อนาที	54
4.18 คมตัดของมีดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิว	55
4.19 วิธีการตรวจสอบความหนาผิว	55
4.20 วิธีการตรวจสอบความหนาผิว	55
4.21 ภาพจำลองความหนาผิวหลังกระบวนการตัดเฉือน	56
4.22 ลักษณะของใยแก้วที่แยกตัวออกมาจากเนื้อวัสดุหลัก.....	57



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

ปัจจุบันวัสดุคอมโพสิตเป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวางและถูกใช้งานแทนที่วัสดุโลหะ (A. kumar Parida et al., 2014) พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วเป็นวัสดุคอมโพสิตชนิดหนึ่งประกอบไปด้วยเนื้อวัสดุหลักคือ พลาสติก และวัสดุเสริมแรงคือ เส้นใยแก้ว เป็นที่รู้กันดีว่าพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วมีคุณสมบัติทางกลที่ยอดเยี่ยม อาทิเช่น มีความแข็งแรงสูง ทนทานต่อการสึกหรอและน้ำหนักเบา เนื่องจากคุณสมบัติที่โดดเด่นของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว ทำให้พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วถูกใช้งานในหลายอุตสาหกรรม และงานทางด้านวิศวกรรม อาทิเช่น ยานยนต์ การเดินเรือ การบิน เครื่องกีฬา และท่อความดันสูง

และอย่างที่กล่าวข้างต้นพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วประกอบไปด้วยสองส่วนคือเนื้อวัสดุหลักคือ พลาสติก และวัสดุเสริมแรงคือ เส้นใยแก้ว และปัจจุบันมีการใช้งาน อีพ็อกซี เพื่อเป็นเนื้อวัสดุหลักของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว เนื่องจาก อีพ็อกซี มีคุณสมบัติทางกลที่ค่อนข้างสูง อาทิเช่น มีความทนทานต่อการสึกหรอ มีความแข็งแรง มีน้ำหนักเบา และเป็นวัสดุเชิงพาณิชย์ที่หาใช้งานได้ง่าย มากไปกว่านั้นอีพ็อกซีสามารถขึ้นรูปได้ง่ายเนื่องจากมีสถานะเป็นของเหลวก่อนขึ้นรูป (P. Poapongsakorn et al., 2020)

ปัจจุบันด้วยเทคโนโลยีที่ก้าวหน้ามากขึ้นมีการใช้งานแร่ธาตุและวัสดุสำหรับการทำเครื่องมือตัดเฉือนเกิดขึ้นมากมาย เครื่องมือตัดคาร์ไบด์เคลือบผิว เป็นหนึ่งในเครื่องมือตัดที่ได้รับความนิยมและแพร่หลายมากขึ้นหลังปี ค.ศ. 1960 เนื่องจากคุณสมบัติด้านการต้านทานการสึกหรอที่มากขึ้น และทนทานอุณหภูมิที่สูงในขณะการตัดเฉือน (S. S. Gill et al., 2011) และเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้งานเครื่องมือตัดคาร์ไบด์ไม่เคลือบผิว เครื่องมือตัดเคลือบผิวมีการต้านทานการสึกหรอบริเวณผิวหลบได้มากกว่า 30 เท่า (P. Dearnley, 1985)

อย่างไรก็ตาม ก่อนการใช้งานพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วจำเป็นต้องผ่านการตัดเฉือน (S. Sharma et al., 2014) และปัญหาหลังการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วคือ การสึกหรอที่รวดเร็วของเครื่องมือตัด (J. P. Davim and F. Mata, 2005) Santhanakrishnam et al. (1988) ทำการตรวจสอบการกลึงปาดหน้าพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วด้วยเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์ พวกเขาสรุปว่าหลังการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วเครื่องมือตัดมีการสึกหรอบริเวณผิวหลบ K. Sakuma and M. Seto (1983) ทำการตรวจสอบการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วที่

มีเส้นใยการวางตัว 30 องศา ด้วยเครื่องมือตัดหลายชนิด อาทิเช่น คาร์ไบด์ เซรามิกขาว และเซรามิกดำ หลังการตรวจสอบพวกเขาพบว่า ตัวแปรที่ส่งผลในการสึกหรอของเครื่องมือตัดทั้งสามชนิดคือ ความเร็วในการตัดและอัตราป้อน มากไปกว่านั้นยังพบว่า การสึกหรอของเครื่องมือตัดเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว มากไปกว่านั้น การสึกหรอของเครื่องมือตัดยังส่งผลต่อค่าใช้จ่ายด้านเครื่องมือตัด และเพิ่มการบริโภคพลังงานของเครื่องจักร (J. Zhou et al., 2003) เพื่อที่จะลดการสึกหรอของเครื่องมือตัดและเพิ่มอายุการใช้งานของเครื่องมือตัด การหล่อเย็นเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดการสึกหรอของเครื่องมือตัดในระหว่างการตัดเฉือน (N. Dhar et al., 2006) นำเสียดายที่การหล่อเย็นโดยใช้สารหล่อเย็นเป็นน้ำมันส่งผลเสียต่อสุขภาพผู้ใช้งานและสิ่งแวดล้อม โดยจากการศึกษาของ I. Karadzic et al. (2004) กล่าวว่าในสารหล่อเย็นประเภทน้ำมันมี Pseudomonas แบคทีเรีย สามารถมีชีวิตอยู่ มากไปกว่านั้นระหว่างใช้งานสารหล่อเย็นยังส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายของแบคทีเรียไปยังบริเวณของการทำงาน (M. N. Sharif et al., 2017) มากไปกว่านั้น หน่วยหน่วยงานระหว่างประเทศเพื่อการวิจัยในมะเร็ง (IARC) ได้จัดหมวดหมู่ในสารหล่อเย็นชนิดน้ำมันถูกจัดอยู่ในหมวดหมู่สารทำให้เกิดมะเร็ง Sutherland และคณะ (J. Sutherland et al., 2000) ทำการวัดขนาดอนุภาคของฝุ่นในกระบวนการกลึงโดยใช้สารหล่อเย็นและไม่ใช้สารหล่อเย็นและพบว่าละอองฝุ่นในระหว่างการตัดเฉือนในสภาวะที่มีการหล่อเย็นมีละอองฝุ่นมากกว่าการตัดเฉือนโดยไม่ใช้สารหล่อเย็น 12 ถึง 80 เท่า มากไปกว่านั้นพบว่าอนุภาคของฝุ่นในระหว่างการหล่อเย็นมีขนาด $1\ \mu\text{m}$ และแบบไม่มีการหล่อเย็นมีขนาด 1 ถึง $4\ \mu\text{m}$

อย่างไรก็ตาม วิธีการหนึ่งในการลดอนุภาคในระหว่างการตัดเฉือนที่เรียกว่า “โครโอเจนิคส์” โดยการหล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์ตามบริบทของทางวิทยาศาสตร์คือการศึกษาอนุภาคเหตุการณ์ของปรากฏการณ์ที่มีอนุภาคที่ศูนย์หรือต่ำกว่า (K. D. Timmerhaus and R. P. Reed, 2007) เพื่อที่จะทำให้เกิดเหตุการณ์โครโอเจนิคส์ สารหล่อเย็น อาทิเช่น ไนโตรเจน อีเลียม อาร์กอน หรือคาร์บอนไดออกไซด์ (T. Stefánsson, 2014) และในส่วนของ การหล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์ในโตรเจนเหลวถูกนำมาใช้เนื่องจากเป็นสารที่สะอาดและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากในชั้นบรรยากาศมีก๊าซไนโตรเจนปะปนอยู่ถึง 78 เปอร์เซ็นต์ หาใช้งานได้ง่าย (S. Debnath et al., 2014) ดังนั้นวิธีการโครโอเจนิคส์เป็นถึงการหล่อเย็นที่สะอาดและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม (C. Veiga et al., 2013)

มากกว่านั้นข้อดีที่เหนือกว่าของวิธีการโครโอเจนิคส์เมื่อเปรียบเทียบกับ การหล่อเย็นแบบน้ำมันคือการลดอนุภาค มีการตกค้างของแบคทีเรียน้อยกว่าการหล่อเย็นแบบน้ำมัน (S. Y. Hong and Y. Ding, 2001) วิธีการหล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์ถูกศึกษาโดยนักวิจัยหลายท่าน S. Y. Hong and Y. Ding (2001) ทำการตรวจสอบการสึกหรอของเครื่องมือตัดในกระบวนการกลึงไทเทเนียมอัลลอย ด้วยเม็ดมิลลิ่งคาร์ไบด์ ภายใต้การหล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์ และไม่มีการหล่อ

เย็น พวกเขาพบว่าวิธีการหล่อเย็นแบบโคร โอนิกส์สามารถการสึกหรอของเครื่องมือตัดได้สี่เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับไม่มีการหล่อเย็น ในทำนองเดียวกัน M. Bermingham et al. (2011) อธิบายว่าวิธีการหล่อเย็นแบบโคร โอนิกส์สามารถช่วยลดการสึกหรอของเครื่องมือตัดและยังช่วยลดการเกาะติดระหว่างชิ้นงานและอุปกรณ์ตัด และสุดท้าย มีนักวิจัยหลายท่าน (K. Sakuma and M. Seto, 1983; S. A. Hussain et al., 2010; M. A. Khan et al., 2019) ในการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว ตัวเส้นใยแก้วเสริมแรงในพลาสติกส่งผลให้มีการสึกหรออย่างรวดเร็ว และวิธีการโคร โอนิกส์เป็นวิธีการลดการสึกหรอของเครื่องมือตัดที่สะอาดและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม

ดังนั้น จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาการสึกหรอของเครื่องมือตัดคาร์ไบด์เคลือบผิวด้วย ไทเทเนียม-คาร์บอน-ไนไตรด์ และอะลูมิเนียมออกไซด์ และความหยาบผิวในกระบวนการกลึงพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วภายใต้ตัวแปรในการตัดเนื้อที่แตกต่างกัน เช่น ความเร็วตัด อัตราป้อน และสภาวะในการตัดเนื้อ โดยทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการแฟกทอเรียล โดยจำนวนในการทดลองซ้ำคือ สองซ้ำ และทำการกลึงบล็อกผิวพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วที่มีความยาว 500 มิลลิเมตร สุดท้ายทำการวัดการสึกหรอของเครื่องมือตัด โดยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscope, OM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) และวัดความหยาบผิวของชิ้นงานหลังการตัดเนื้อด้วยเครื่องวัดความหยาบผิว

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาผลกระทบของการสึกหรอของเครื่องมือตัดคาร์ไบด์เคลือบผิวด้วย ไทเทเนียม-คาร์บอน-ไนไตรด์ และอะลูมิเนียมออกไซด์ในกระบวนการกลึง GFRP ภายใต้สภาวะการตัดเนื้อแบบโคร โอนิกส์ และปราศจากการหล่อเย็น

1.2.2 ศึกษาผลกระทบของความหยาบผิวในกระบวนการกลึง GFRP ด้วยเครื่องมือตัดคาร์ไบด์เคลือบผิวด้วย ไทเทเนียม-คาร์บอน-ไนไตรด์ และอะลูมิเนียมออกไซด์ ภายใต้สภาวะการตัดเนื้อแบบโคร โอนิกส์ และปราศจากการหล่อเย็น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาอุปกรณ์ตัด คาร์ไบด์เคลือบผิวด้วย ไทเทเนียม-คาร์บอน-ไนไตรด์ และอะลูมิเนียมออกไซด์ในกระบวนการกลึงพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว

1.3.2 ศึกษาในกระบวนการกลึงพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วที่มีส่วนประกอบคือเนื้อวัสดุหลักเป็น อีพอกซีเรซิน และวัสดุเสริมแรงเป็นเส้นใยแก้วชนิด E glass ที่มีเส้นใยการวางตัวของใยแก้ว 45 องศา

1.3.3 ศึกษาผลกระทบของการสึกหรอของเครื่องมือตัดและความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วภายใต้ตัวแปรในการตัดเฉือนที่แตกต่างกัน

1.3.4 ศึกษาผลกระทบของการสึกหรอของเครื่องมือตัดและความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วภายใต้สภาวะหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์โดยใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นสารหล่อเย็น และปราศจากการหล่อเย็น

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาข้อมูล งานวิจัย ปรีทรรศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ออกแบบการทดลองและเตรียมอุปกรณ์และวัสดุสำหรับการทดลอง

1.4.3 ทำการทดลองกระบวนการกลึง GFRP ภายใต้สภาวะการตัดเฉือนแบบไครโอเจนิคส์ และปราศจากการหล่อเย็น

1.4.4 ตรวจสอบการสึกหรอของเครื่องมือตัดและความหยาบผิวของ GFRP พร้อมกับวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.4.5 สรุปผลการทดลอง

1.5 สถานที่ทำวิจัย

1.5.1 อาคารเครื่องมือ 3, 5, 6 และ 10 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5.2 บริษัท สี่มาเทคโนโลยี จำกัด

1.6 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1.6.1 เครื่องกลึง (Lathe machine) ยี่ห้อ Full Mark lathe model FLM-430X1000 ความเร็วรอบสูงสุด 1,800 รอบต่อนาที

1.6.2 เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวด้วย ไทเทเนียม-คาร์บอน-ไนไตร และอะลูมิเนียมออกไซด์

1.6.3 พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว โดยความยาว 1,000 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 50 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 25 มิลลิเมตร

1.6.4 ชุดพ่นไนโตรเจนเหลวและถังเก็บไนโตรเจนเหลวขนาด 5 ลิตร

1.6.5 อุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิ เทอร์โมคัปเปิล Type k

1.6.6 กล้องจุลทรรศน์แบบแสง ยี่ห้อ Zeiss รุ่น Axio scope A1 สำหรับการวัดการสึกหรอของเครื่องมือตัด

1.6.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM6010LV สำหรับตรวจสอบการสึกหรอและสารเคลือบในเครื่องมือตัด

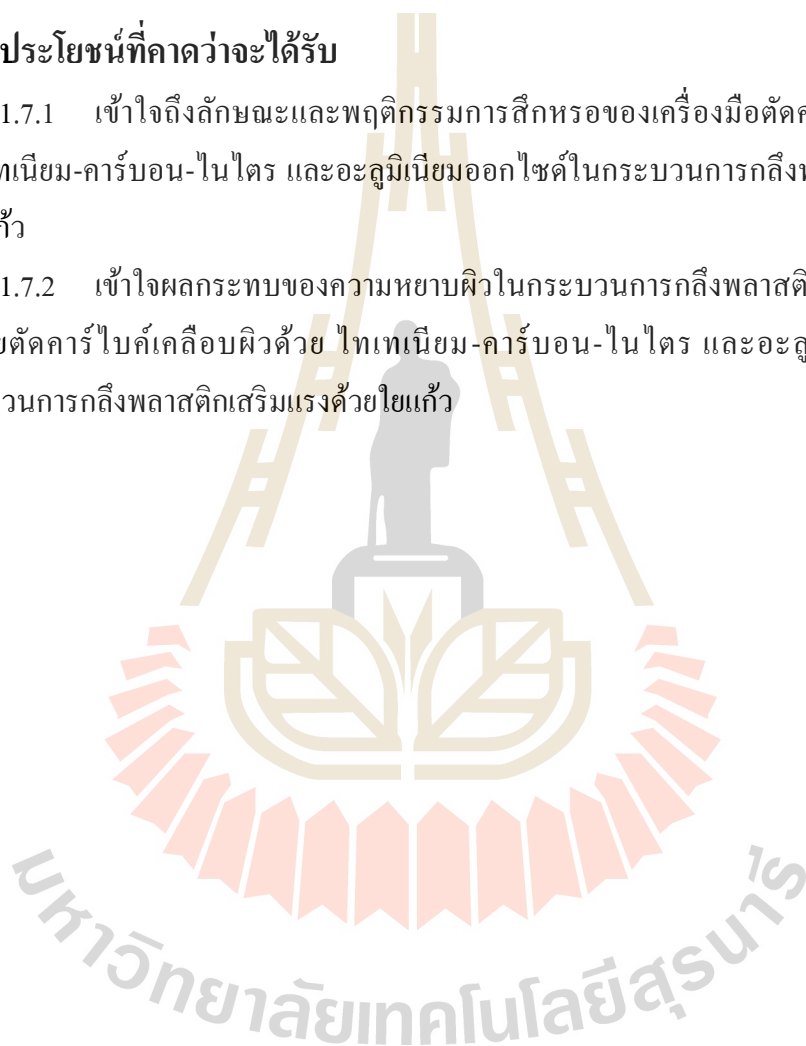
1.6.8 เครื่องวัดความหยาบผิว ยี่ห้อ Accretech รุ่น Surfcom 480B

1.6.9 คอมพิวเตอร์สมรรถนะสูงและโปรแกรม Mini tab สำหรับช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 เข้าใจถึงลักษณะและพฤติกรรมการสึกหรอของเครื่องมือตัดคาร์ไบด์เคลือบผิวด้วยไทเทเนียม-คาร์บอน-ไนโตร และอะลูมิเนียมออกไซด์ในกระบวนการกลึงพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว

1.7.2 เข้าใจผลกระทบของความหยาบผิวในกระบวนการกลึงพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วด้วยตัดคาร์ไบด์เคลือบผิวด้วย ไทเทเนียม-คาร์บอน-ไนโตร และอะลูมิเนียมออกไซด์ในกระบวนการกลึงพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว



บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

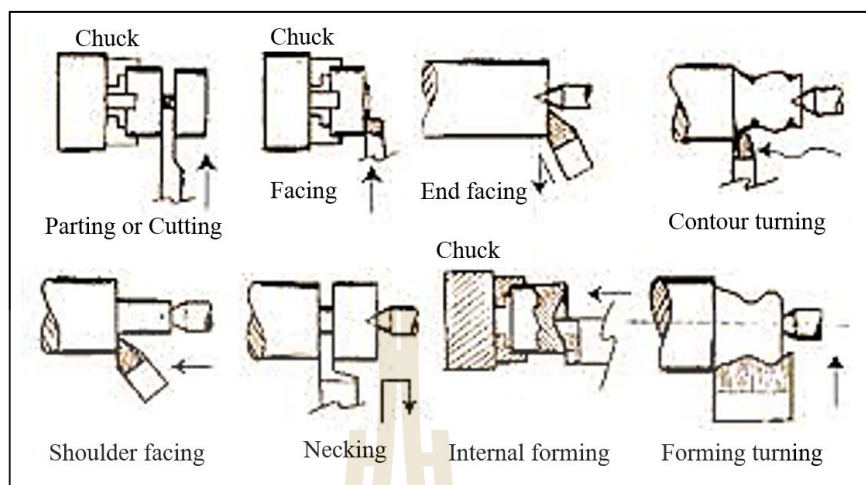
บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎี องค์ความรู้และปรีทรรศน์วรรณกรรมที่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัย การศึกษาผลกระทบของการสึกหรอของเครื่องมือตัดและความหยาบผิวในกระบวนการกลึงพลาสติกเสริมด้วยใยแก้วภายใต้การหล่อเย็นแบบโคร โอเจนิคส์ โดยการประยุกต์หลักการทางวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยในการอธิบายถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นของวัสดุจากการทดสอบ เนื้อหาที่จะกล่าวต่อไปนี้ได้คัดเลือกทฤษฎีที่เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย อาทิเช่น พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว กระบวนการกลึง ประเภทของงานกลึง ตัวแปรในการกลึง การสึกหรอของเครื่องมือตัด ความหยาบผิว โคร โอเจนิคส์ ซึ่งทฤษฎีหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่กล่าวมานั้นจะทำให้เกิดความเข้าใจในเนื้อหาของงานวิจัยชิ้นนี้มากยิ่งขึ้น

2.1 พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว (Glass fiber reinforce polymer)

พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วหรือตัวย่อคือ GFRP เป็นวัสดุคอมโพสิตชนิดหนึ่งที่ตั้งอยู่ในหมวดหมู่ของพอลิเมอร์คอมโพสิต โดย GFRP มีส่วนประกอบหลักๆอยู่ด้วยกันสองส่วนคือ ส่วนเนื้อวัสดุหลักและส่วนวัสดุเสริมแรง โดยวัสดุหลักคือ พอลิเมอร์ ซึ่งมีหน้าที่ในการถ่ายโอนความเครียดของเส้นใยเสริมแรงและปกป้องเส้นใยเสริมแรงจากสิ่งแวดล้อมภายนอก และวัสดุเสริมแรงคือใยแก้ว โดยคุณสมบัติของ GFRP คือ มีน้ำหนักเบา อัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง อัตราส่วนความยืดหยุ่นต่อน้ำหนักโมดูลัสสูง และทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดี ด้วยคุณสมบัติที่กล่าวมาข้างต้นทำให้มันเป็นที่นิยมและแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรมและงานทางด้านวิศวกรรม

2.2 กระบวนการกลึง (Turning process)

งานกลึงเป็นกระบวนการขึ้นรูปวัสดุทั้งโลหะและอโลหะในลักษณะของงานทรงกระบอกเป็นหลัก โดยลักษณะของงานกลึงประกอบด้วย งานกลึงปาดหน้า, งานกลึงปอก, งานกลึงเกลียว, งานกลึงคว้านรูใน, งานกลึงเจาะร่อง, งานกลึงตัด แสดงดังรูปที่ 2.1 เครื่องจักรที่ใช้ในงานกลึง คือเครื่องกลึง (Lathe) มีทั้งเครื่องกลึงที่เป็นการควบคุม แบบธรรมดาหรือ Manual และเครื่องกลึงควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ (CNC Lathe). นอกจากงานที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว เครื่องกลึงยังสามารถทำงานได้อีกหลายอย่าง เช่น เจาะรู (Drill), ตีแปเกลียว (Tapping)

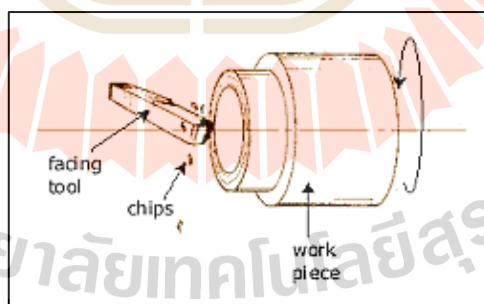


รูปที่ 2.1 ลักษณะของงานกลึง

2.3 ประเภทของงานกลึง

2.3.1 งานกลึงปาดหน้า

การกลึงปาดหน้าเป็นลักษณะการกลึงปาดผิวหน้าตัดของชิ้นงานออก ชิ้นงานจะหมุน ส่วนมีดกลึงจะเคลื่อนที่เข้าออกในแนว Y (ด้านตั้งฉากกับ Spindle) เพื่อปาดผิวหน้า และเลื่อนซ้ายขวาในแนวแกน Z (แนวเดียวกับ Spindle) เพื่อควบคุมความยาว แสดงดังรูปที่ 2.2

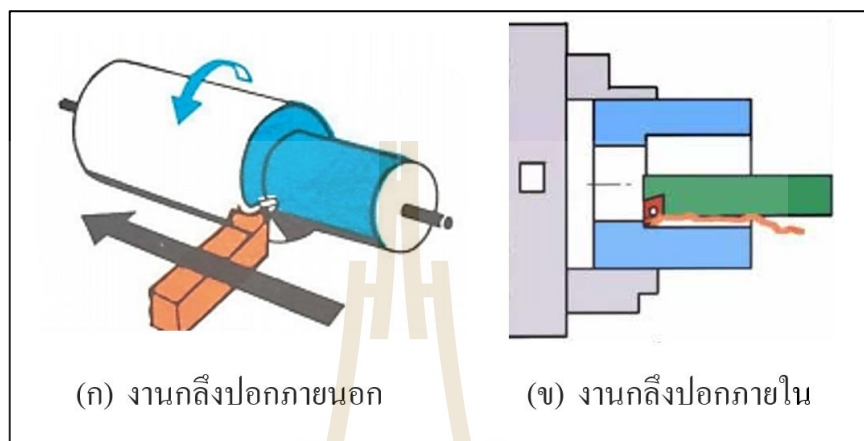


รูปที่ 2.2 การกลึงปาดหน้า

2.3.2 งานกลึงปอก

การกลึงปอกเป็นลักษณะของการกลึงชิ้นงานตามแนวขนานเพลาจับยึดของเครื่องกลึงถ้าเป็นการกลึงปอกภายนอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงานจะเล็กลง ดังรูปที่ 2.3 (ก)

และถ้าเป็นการกลึงปอกภายในหรือการกลึงคว้านรูจะทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของรูมีขนาดโตขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.3 (ข)



รูปที่ 2.3 งานกลึงปอก

2.4 ตัวแปรที่สำคัญในการตัดเฉือน

2.4.1 ความเร็วตัด

ความเร็วตัด คือ ความเร็วตามแนวเส้นรอบวงของเครื่องมือตัดที่สามารถตัดเฉือนวัสดุชิ้นงานออกได้เป็นระยะทางภายในหนึ่งหน่วยเวลา การเลือกค่าความเร็วตัดนั้น ต้องพิจารณาปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ ข้อมูลทางด้านเทคนิคของวัสดุชิ้นงาน ข้อมูลทางด้านเทคนิคของวัสดุเครื่องมือ-ตัด อัตราป้อน ความลึกของการตัด คุณภาพหรือความหยาบผิวงานที่ต้องการ และประสิทธิภาพของเครื่องกัด เป็นต้น โดยความเร็วตัดจะสามารถคำนวณดังสมการที่ 2.1

$$V = \frac{\pi \times D \times S}{1000} \quad (2.1)$$

โดยที่	V	คือ ความเร็วในการตัด
	π	คือ ค่าคงที่ สัดส่วน เส้นรอบวงกลม มีค่าคงที่ 3.14
	D	คือ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน
	S	คือ ความเร็วรอบ

2.4.2 อัตราป้อน

อัตราป้อน คือ ระยะที่คมตัดของเครื่องมือตัดที่เคลื่อนที่เข้าตัดเฉือนชิ้นงานภายในหนึ่งหน่วยเวลา (นาที) อัตราป้อนเป็นตัวแปรที่สำคัญในการกำหนดคุณภาพหรือความหยาบผิวงาน และระยะเวลาในการตัดเฉือนอีกด้วย โดยอัตราป้อนจะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2

$$F = fN \quad (2.2)$$

โดยที่ F คือ อัตราป้อนในหนึ่งนาที
 f คือ อัตราป้อนต่อหนึ่งรอบการหมุน
 N คือ ความเร็วรอบของชิ้นงาน

2.4.3 ความลึกในการตัดเฉือน

ความลึกของการตัดที่เหมาะสมนั้น ต้องคำนึงถึงคุณภาพหรือความหยาบผิวที่ต้องการ ถ้าเพิ่มความลึกของการตัด เวลาในการผลิตชิ้นงานนั้นจะน้อยกว่า แต่ความหยาบผิวของชิ้นงานจะมีค่ามากเกินไปที่จะยอมรับได้ แต่ถ้าเราใช้ความลึกของการตัดน้อย ๆ ความหยาบผิวของชิ้นงานจะมีค่าที่ดีขึ้น แต่เวลาในการผลิตชิ้นงานนั้นจะยาวนานขึ้นและมีผลต่อการสึกหรอของเครื่องมือตัดอีกด้วย โดยทางปฏิบัติจะทำการกลึงแบบหยาบก่อน แล้วทำการกลึงละเอียด เพื่อให้ได้ความหยาบผิวของชิ้นงานที่ดี

2.5 การสึกหรอของเครื่องมือตัด

การสึกหรอของเครื่องมือตัด (Tool Wear) คือ การใช้งานจนกระทั่งเครื่องมือตัดหมดสภาพการใช้งาน และในระหว่างการตัดเฉือนที่ถูกกระทำด้วยพลังงานความร้อนและพลังงานกลอย่างใดก็ตาม กลไกต่างๆที่ทำให้เกิดการสึกหรอมีมากมาย โดยสามารถสรุปเป็นหัวข้อได้ดังนี้

2.5.1 การสึกหรอแบบขัดสี

การสึกหรอแบบขัดสี (Abrasive Wear) เป็นการสึกหรอที่พบได้บ่อยในลักษณะของการสึกหรอ โดยการสึกหรอลักษณะนี้เกิดเนื่องจากการขัดสีของอุปกรณ์ตัดและวัสดุที่ถูกตัดเฉือนที่มีค่าความแข็งของวัสดุและอุปกรณ์ตัดที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามการสึกหรอที่มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ อย่างอาทิเช่น ความแข็งของอุปกรณ์ตัดและวัสดุ แรงกดของอุปกรณ์ตัดและการสึกหรอหรือแรงเสียดสีที่เกิดขึ้น ลักษณะการสึกหรอแบบขัดสี แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การสึกหรอแบบขัดสี

2.5.2 การสึกหรอแบบแนบติด

การสึกหรอแบบแนบติด (Adhesive wear) การสึกหรอในลักษณะนี้เกิดจากการที่ผิวสัมผัสเชื่อมติดกันเป็นจุดเล็ก ๆ ทำให้เกิดการสูญเสียเนื้อของเครื่องมือกลให้แก่เศษโลหะหรือผิวกัดแต่งของชิ้นงาน ดังรูปที่ 2.5

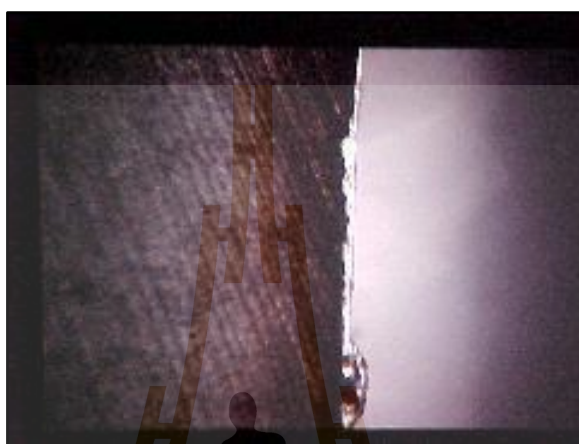


รูปที่ 2.5 การสึกหรอแบบแนบติด

2.5.3 การสึกหรอจากการแพร่

การสึกหรอจากการแพร่ (Diffusion wear) คือ ระหว่างการตัดเฉือนจะพบว่ามีการแพร่ของอะตอมระหว่างผิวของเครื่องมือกลและผิวชิ้นงานเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา การแพร่ของอะตอมจะทำให้ผิวสัมผัสเชื่อมติดกันได้ง่ายขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การแตกหักของปลายเครื่องมือตัด ในที่สุด กลไกการแพร่และการเชื่อมติดนี้เป็นสาเหตุหลักของการสึกหรอการสึกหรอบนผิวคาย ยกตัวอย่าง เช่น ในการกัดแต่งเหล็กกล้าด้วยเครื่องมือกลที่เป็นวัสดุประกอบ WC-Co ชาติเหล็ก (Fe)

จากชิ้นงานสามารถแพร่เข้าไปในเหล็กกล้า ได้เช่นเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 2.6 ในระหว่างการตัดเนื้อวัสดุต่าง ๆ มีการสึกหรอของอุปกรณ์ตัดเกิดขึ้นมากมาย อย่างไรก็ตาม ลักษณะการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงสามารถจำแนกได้ 8 ประเภท



รูปที่ 2.6 การสึกหรอจากการแพร่

2.5.4 การสึกหรอบนผิวหอบ

การสึกหรอบนผิวหอบ (Flank Wear) เกิดจากการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างหน้าผิวหอบบนชิ้นงาน เป็นการสึกหรอที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ถ้าการสึกหรอขยายไปถึงขอบตัดจะทำให้แรงตัดและความเค้นเกิดกับเครื่องมือสูงขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การสึกหรอบนผิวหอบ

2.5.5 การสึกหรอบนผิวคาย

การสึกหรอบนผิวคาย (Crater wear) เป็นความเสียหายที่เกิดบนหน้าเรกหรือด้านบนของเครื่องมือตัด ส่วนใหญ่จะพบในงานกัดของเหล็กกล้าความเร็วสูง การสึกหรอในลักษณะนี้เกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างชิปกับวัสดุเครื่องมือกลที่อุณหภูมิใช้งานค่อนข้างสูงในระหว่างการตัดเนื้อ วัสดุเครื่องมืออาจจะละลายเข้าไปอยู่ในชิป หรืออนุภาคขนาดเล็กจากเครื่องมืออาจถูกดึงติดไปกับชิปได้ แต่ไม่ว่าจะเป็นกรณีไหนก็จะเกิดเป็นหลุมตื้นบนผิวเครื่องมือตัดขึ้น เครื่องมือตัดที่เกิดการสึกหรอแบบเรเตอร์ในปริมาณที่สูงขึ้น ถ้าทิ้งไว้นานก็จะทำให้เครื่องมือตัดแตกในที่สุด แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การสึกหรอบนผิวคาย

2.5.6 การสึกหรอเนื่องจากการเปลี่ยนรูป

การสึกหรอจากการเปลี่ยนรูป (Deformation wear) เกิดเนื่องจากขณะทำงานผิวสัมผัสได้รับความร้อนและแรงกดสูง ซึ่งสามารถทำให้วัสดุเครื่องมือหรือวัสดุที่เป็นเนื้อหลักอ่อนตัวลงจนอนุภาคคาร์ไบด์สามารถเคลื่อนที่ได้บ้าง วัสดุเครื่องมือจะค่อย ๆ สึกหรอไปคล้ายการสึกหรอบนผิวคายแต่ที่ปลายเครื่องมือตัด จะเริ่มบิดเบี้ยวเสียรูป ทำให้ชิ้นงานที่ผลิตไม่ได้ความเที่ยงตรงและเครื่องมืออาจแตกหักได้ แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การสึกเนื่องจากการเปลี่ยนรูป

2.5.7 การสึกหรือลักษณะแหง

การสึกหรือลักษณะแหง (Notch Wear) เกิดจากงานกัดแต่งวัสดุประเภทเหล็กกล้า ไร้สนิม โลหะผสมที่ใช้งานที่อุณหภูมิสูง และวัสดุที่ผ่านการทำให้แข็งด้วยความเครียด (Work hardening) ซึ่งเป็นวัสดุที่ทำให้เกิดความร้อนจากการกัดแต่งสูง จึงอาจทำให้มีรอยบาก เกิดขึ้นที่ปลายเครื่องมือตัด ส่งผลให้เกิดการไหม้ และอาจทำให้เครื่องมือกลแตกได้ แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การสึกหรือลักษณะแหง

2.5.8 การแตกร้าวเนื่องจากความร้อน

การแตกร้าวเนื่องจากความร้อน (Thermal Cracking) เกิดจากการที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิสูงมากระหว่างขอบตัดและเนื้อในเครื่องมือ ทำให้เกิดรอยแตกเนื่องจากความเค้นจากการขยายตัวตั้งฉากกับขอบตัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงอย่างรวดเร็ว รอยแตกเหล่านี้จะโตขึ้นอย่างต่อเนื่องและอาจทำให้เครื่องมือกลแตกได้ แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การแตกร้าวเนื่องจากความร้อน

2.5.9 การสึกที่ปลายมีด

การสึกที่ปลายมีด (Nose wear) เป็นความเสียหายที่เกิดจากการกัดแต่งโลหะแข็ง โดยอาจเกิดจากการเสียดสี การขัดถูและการเสียดรูปของปลายเครื่องมือตัด ซึ่งจะส่งผลต่อความละเอียดของผิวสำเร็จและความเที่ยงตรงของชิ้นงานที่ผลิต แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การสึกหรือที่ปลายมีด

2.5.10 การกะเทาะและการแตกหัก

การกะเทาะ (Chipping) และการแตกหัก (Fracture) เกิดจากแรงตัดที่ใช้ที่ไม่คงที่ การตัดที่ต้องหยุดบ่อย ๆ หรือแม้กระทั่งจากการที่เครื่องจักรสั่นสะเทือนมากขณะใช้งานก็ทำให้

เครื่องมือตัดแตกได้ ความเสียหายจากกลไกอื่นที่กล่าวมาก็อาจทำให้ความแข็งแรงของเครื่องมือกลลดลงจนแตกหักได้ นอกจากนี้ถ้าแรงตัดที่ใช้เพิ่มขึ้นจากสาเหตุใดก็ตามจนถึงจุดที่เครื่องมือกลไม่สามารถรับได้แล้วก็จะเกิดการแตกได้ แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การกะเทาะและการแตกหัก

2.5.11 การพอกเศษ

การพอกเศษ (Built up edge) เกิดจากการที่เนื้อวัสดุจากชิ้นงานมาเชื่อมติดกับผิวเครื่องมือกล ทับถมเป็นชั้นขึ้นมา ที่หนาเกินไปหรือไม่มีเสถียรภาพทางเคมีจะทำให้แรงกดของเครื่องมือเพิ่มขึ้น ผิวสำเร็จแย่ง ความแม่นยำในการกัดแต่งลดลง และอาจทำให้เครื่องมือแตกหัก แสดงดังรูปที่ 2.14

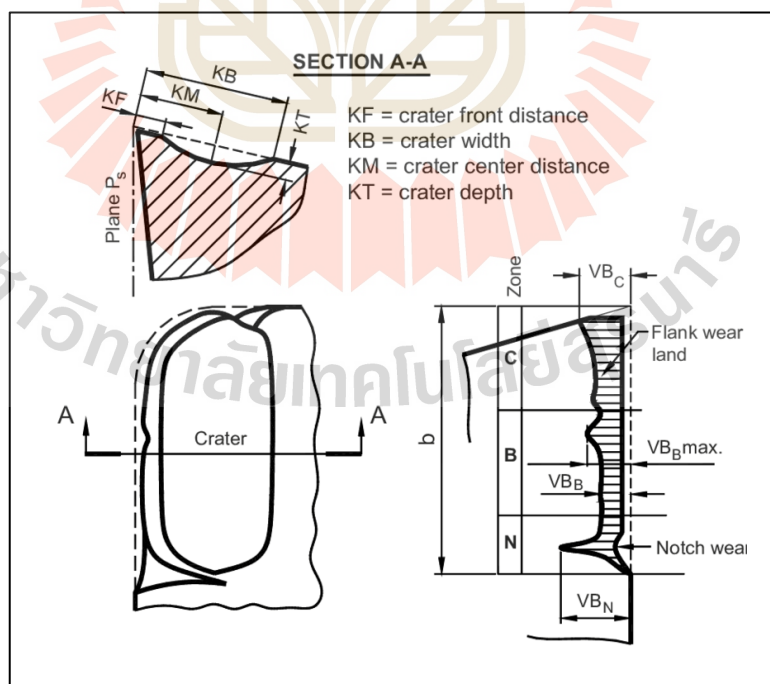


รูปที่ 2.14 การพอกเศษ

2.6 ข้อกำหนดและมาตรฐานการวัดการสึกหรอของเครื่องมือตัดตามมาตรฐาน ISO 3685 : 1933

ในการวัดการสึกหรอของเครื่องมือตัดตามมาตรฐาน ISO 3685 : 1933 เนื่องจากเป็นมาตรฐานที่ใช้สำหรับตรวจวัดการสึกหรอของเครื่องมือที่มีคมตัดเดี่ยว และตามมาตรฐานได้มีการแบ่งเขตการสึกหรอบนผิวหอบ (Flank Wear) เพื่อการวัดระยะของการสึกหรอบนผิวหอบ (Flank Wear) ออกเป็น 3 เขต คือ เขต N เขต B และเขต C โดยกำหนดให้ b เป็นระยะป้อนลึกในการตัดเนื้อชิ้นงาน (K. Lokesh et al., 2017) แสดงดังรูปที่ 2.15

- เขต N เป็นเขตที่อยู่บนผิวหอบด้านในสุดของคมตัด มาตรฐาน ISO 3685 : 1933 (E) ได้กำหนดให้เขต N มีค่าเท่ากับ 1 ใน 4 ของ b (เมื่อ b = ระยะป้อนลึก)
- เขต B เป็นเขตที่อยู่บนผิวหอบเช่นเดียวกับเขต N และเขต B ก็เป็นเขตที่อยู่ระหว่างเขต A กับเขต C มาตรฐาน ISO 3685 : 1933 (E) ไม่ได้กำหนดช่วงกว้างของเขต B แต่จะกำหนดให้ช่วงกว้างของเขต B ขึ้นอยู่กับช่วงกว้างของเขต N และเขต C
- เขต C เป็นเขตที่อยู่บนผิวหอบเช่นเดียวกับเขต N และเขต B เขต C จะอยู่นอกสุดของคมตัดและเขต C ก็อยู่ติดกับเขต B มาตรฐาน ISO 3685 : 1933 (E) ได้กำหนดให้เขต C มีช่วงกว้างเท่ากับรัศมีปลายมีด (Nose)



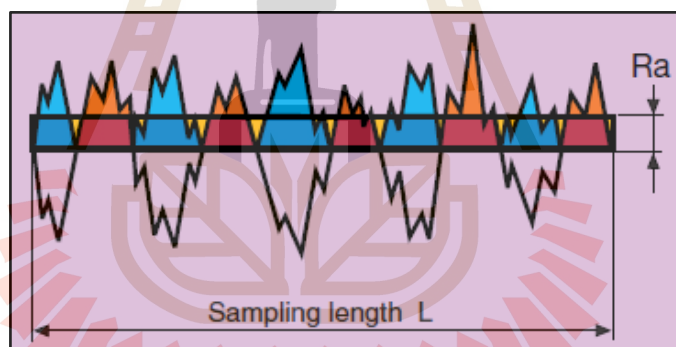
รูปที่ 2.15 มาตรฐานการวัดการสึกหรอ

2.7 มาตรฐานการวัดความหยาบผิว

โดยทั่วไปการวัดความหยาบผิวของชิ้นงานสามารถวัดออกมาใน 3 แบบ คือ

- 1) แสดงค่าสถิติ (Statistical descriptors) เช่น ความหยาบผิวเฉลี่ย R_a ความหยาบผิวรากกำลังสองเฉลี่ย R_q หรือ ความสูงกลางของลักษณะความหยาบ R_c เป็นต้น
- 2) แสดงค่าสูงสุดต่ำสุด (Extreme value descriptors) ซึ่งในบางลักษณะงานอาจต้องการแสดงค่าสูงสุดและต่ำสุดของความหยาบผิว เช่น จุดสูงสุด R_p จุดต่ำสุด R_v
- 3) แสดงค่าลักษณะพื้นผิว (Texture descriptors) โดยค่าสถิติ R_a เป็นค่าที่ดีที่สุดและได้รับการยอมรับในงานด้านวิศวกรรมมากที่สุด

ค่า R_a คือ ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของพื้นผิวตามอนุกรมเลขคณิตที่ได้จากการรวมพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นเหนือเส้นกึ่งกลาง กับพื้นที่ที่ยอดแหลมของคลื่นใต้เส้นกึ่งกลางหารด้วยความยาวเฉลี่ย (L) ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ตามข้อกำหนดมาตรฐาน ISO 4287 โดยค่าของ R_a มีหน่วยวัดเป็น ไมโครเมตร (μm)



รูปที่ 2.16 ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของพื้นผิวตามอนุกรมเลขคณิต

เครื่องมือวัดความหยาบมีความแตกต่างจากเครื่องมือวัดทั่วไป สิ่งสำคัญ คือ มาตรฐานอุตสาหกรรมของเครื่องมือวัดบ่งบอกว่าเครื่องวัดความหยาบผิวรุ่นนั้น ๆ สามารถวัดความหยาบผิวของชิ้นงานตามข้อกำหนดของมาตรฐานใดบ้าง เช่น ISO 4287 : 1997 (ยุโรป), ANSI/ASME B 46.1-1995 (อเมริกา), JIS B 0601-1994 (ญี่ปุ่น) เป็นต้น

2.8 ไครโอเจนิคส์

โดยทั่วไปแล้วความหมายของคำว่าไครโอเจนิคส์ในทางวิทยาศาสตร์คือการศึกษา เหตุการณ์ ปฏิกิริยา หรือวัสดุที่มีอุณหภูมิ -153 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า โดยสิ่งที่ทำให้เกิด

เหตุการณ์หรือปรากฏการณ์เหล่านี้ได้ คือการใช้สารที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระต่ำ โดยมักใช้สารจำพวกคาร์บอนไดออกไซด์ ฮีเลียม อาร์กอน อย่างไรก็ตาม วิธีการโครโอเจนิคส์ถูกนำมาใช้ในกระบวนการตัดเฉือน โดยไนโตรเจนเหลวมักถูกใช้เป็นสารหล่อเย็น เนื่องจากไนโตรเจนเหลวมีข้อดีในด้านการลดอนุมูลอิสระแล้ว และไนโตรเจนเหลวเป็นสารที่ปลอดภัยต่อตัวผู้ใช้งานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และข้อดีที่เหนือกว่าของไนโตรเจนเหลวคือมีการปนเปื้อนและสะสมของแบคทีเรียที่น้อยกว่าการหล่อเย็นที่ใช้สารหล่อเย็นเป็นน้ำมัน

2.9 ปรีทรรศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.9.1 การตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว (GFRP)

ปัจจุบันมีการใช้วัสดุคอมโพสิตมากขึ้น พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วเป็นวัสดุคอมโพสิตประเภทหนึ่งที่ประกอบไปด้วยเนื้อวัสดุหลักคือ พอลิเมอร์ และวัสดุเสริมแรงคือ เส้นใยแก้ว อย่างไรก็ตามพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว มีความนิยมใช้งานแทนที่วัสดุโลหะมากขึ้นทั้งในงานด้านวิศวกรรมและอุตสาหกรรมต่าง ๆ อาทิเช่น ชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนอากาศยาน การเดินเรือ โครงสร้าง อุปกรณ์กีฬา และท่อความดันสูง เนื่องจากคุณสมบัติทางกลที่ขอดีเยี่ยม เช่น น้ำหนักเบา มีความแข็งแรงสูง ความต้านทานแรงดึงสูง ทนทานต่อการกัดกร่อน (K. Lokesh et al., 2017)

อย่างไรก็ตาม ก่อนการใช้งานพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วจำเป็นต้องผ่านกระบวนการตัดเฉือน อาทิเช่น กลึง กัด หรือเจาะ และปัญหาที่พบหลังการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วคือการสึกหรออย่างรวดเร็วของเครื่องมือตัด (K. Palanikumar and J. P. Davim, 2014) และมากไปกว่านั้น พบว่าเศษจากการตัดเฉือนโลหะมีทั้งลักษณะเป็นเส้นยาวทั้งต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องซึ่งค่อนข้างแตกต่างจากเศษของการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วที่มีลักษณะเป็นผง (W. Koenig et al., 1985)

อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยมากมายที่เกี่ยวกับการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วผู้วิจัย โดยจากงานวิจัยของ W. Koenig et al. (2009) ศึกษาผลกระทบของตัวแปรในการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว พวกเขาพบว่าความเร็วในการเฉือนและอัตราป้อนเป็นตัวในการตัดเฉือนที่ส่งผลต่อการสึกหรอของเครื่องมือตัด และความลึกในการตัดเฉือนเป็นตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการสึกหรอที่น้อยที่สุด ในทำนองเดียวกัน K. Palanikumar et al. (2009) อธิบายในประเด็นของการสึกหรอของเครื่องมือตัดว่า การสึกหรอที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วมาจากการเพิ่มความเร็วในการตัดเฉือนและอัตราป้อนซึ่งเป็นผลมาจากการจัดสีของเส้นใยแก้วเสริมแรงใยเนื้อวัสดุหลัก

มากไปกว่านั้น S. A. Hussain et al. (2010) พบว่า ลักษณะพื้นผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วหลังการตัดเฉือนมีช่องว่างที่เกิดขึ้นจากการหลุดออกของเส้นใยแก้วเสริมแรง ซึ่งการหลุดออกดังกล่าวส่งผลต่อคุณภาพความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว และ M. A. Khan et al. (2019) ทำการศึกษาผลกระทบของเครื่องมือตัดในกระบวนการกลึงพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว และพวกเขารายงานถึงการสึกหรอของเครื่องมือตัดในลักษณะการสึกหรอบริเวณผิวหลบซึ่งเกิดการขัดสีกับวัสดุเสริมแรงและลักษณะการสึกหรอมีรอยที่เรียบและไม่มี การพอกของเศษ และพวกเขายังอธิบายเพิ่มอีกว่าการสึกหรอของเครื่องมือตัดในระหว่างการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วเป็นตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว M. A. Khan et al. (2012) และจากการศึกษาของ A. Azmi et al. (2013) ทำการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วและผลจากการศึกษาพบว่าเวลาในการตัดเฉือนมีผลต่อการสึกหรอของเครื่องมือตัดเฉือน โดยเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นการสึกหรอก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย และ A. kumar Parida et al. (2014) พวกเขาทำการศึกษาตัวแปรในการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วและ ทำการศึกษาหาตัวแปรในการตัดเฉือนที่ส่งผลความหยาบผิว และพวกเขาอธิบายว่าเมื่อใช้ความเร็วในการตัดและอัตราป้อนที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วเพิ่มมากขึ้น ในทำนองเดียวกัน Azmi et al. (2015) ทำการศึกษารตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว และอธิบายไว้ว่าเครื่องมือตัดถูกทำให้สึกหรออย่างรวดเร็วด้วยใยแก้วเสริมแรง และเมื่อเวลาในการตัดเฉือนเพิ่มมากขึ้นยิ่งส่งผลให้มีการสึกหรอของเครื่องมือที่มากขึ้นตามไปด้วย จึงขอสรุปดังตารางที่ 2.1

อย่างไรก็ตามจากตารางที่ 2.1 เมื่อทำการรวบรวมและศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปได้ว่าตัวแปรหลักที่มีผลต่อการสึกหรอของเครื่องมือตัดและความหยาบผิวคือ ความเร็วในการตัดเฉือน รองลงมาคืออัตราป้อน และสุดท้ายคือความหยาบผิว (S. A. Hussain et al., 2010) และจากการรวบรวมปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องที่เกี่ยวข้องกับการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วพบว่ามีการศึกษาผลกระทบของการสึกหรอและความหยาบผิวในสภาวะการตัดเฉือนที่ค่อนข้างจำกัด และมากไปกว่านั้นพบว่ามีการศึกษาในขอบเขตของการสึกหรอของ เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวภายใต้การตัดเฉือนด้วยสภาวะการหล่อเย็นแบบ ไครโอเจนิคส์ที่ค่อนข้างจำกัดเช่นกัน (D. Kumar and K. Singh, 2015) และจากตารางที่ 2.2 แสดงความหมายของระดับตัวแปรที่ส่งผลต่อการสึกหรอของเครื่องมือตัดและความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว โดยหมายเลขที่ 1 คือ ตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อการสึกหรอของเครื่องมือตัดและความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว และหมายเลขที่ 2 คือ ตัวแปรรองที่ส่งผลต่อการสึกหรอของเครื่องมือตัดและความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว โดยตัวแปรหลักและตัวแปรรอง ถูกกำหนดจากผลของปริทัศน์วรรณกรรมในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 รวบรวมปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการตัดเลื้อนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว

ลำดับ	ผู้แต่ง	วัตถุประสงค์		การตัดเลื้อน			วัสดุอุปกรณ์ตัด					สถานะ			ผลที่ได้					
		การสึกหรอ	ความเสียหายผิว	กลึง	กัด	เจาะ	ไฮสปีดโคบอลต์	เพชร	คาร์ไบด์ (ไม่เคลือบผิว)	คาร์ไบด์ (เคลือบผิว)	เซรามิก	ไม่มีการหล่อเย็น	หล่อเย็นด้วยน้ำมัน	โปรเจกชัน	ความเร็วตัดมีผลต่อ		อัตราป้อนมีผลต่อ		รูปแบบการสึกหรอ	
															การสึกหรอ	ความเสียหาย	การสึกหรอ	ความเสียหาย	ผิวหยาบ	ผิวคาย
1	K.Palanikumara et al. (2009)	✓		✓					✓						1		2		✓	
2	K. Palanikumar, et al. (2009)	✓	✓	✓			✓			✓					1		2			
3	Syed Altaf Hussain et al. (2010)		✓	✓					✓			✓			1	1	2	2		
4	M. Adam Khan and A. Senthil Kumar (2011)	✓	✓	✓						✓		✓			1	1			✓	
5	M. Adam Khan et al. (2012)	✓		✓							✓				1		2		✓	

ตารางที่ 2.1 รวบรวมปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการตัดเลื้อนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว (ต่อ)

ลำดับ	ผู้แต่ง	วัตถุประสงค์		การตัดเลื้อน			วัสดุอุปกรณ์ตัด					สถานะ			ผลที่ได้					
		การสึกหรือ	ความเสียหายผิว	กลิ่น	กัก	เจาะ	ไฮสปีดโคบอลต์	เพชร	คาร์ไบด์ (ไม่เคลือบผิว)	คาร์ไบด์ (เคลือบผิว)	เซรามิก	ไม่มีการหล่อเย็น	หล่อเย็นด้วยน้ำมัน	โปรเจกทีล	ความเร็วตัดมีผลต่อ	อัตราป้อนมีผลต่อ	รูปแบบการสึกหรือ		ผิวตาย	ผิวเคลือบ
6	A. I. Azmi et al. (2013)	✓			✓				✓					1						
7	Arun kumar Parida et al. (2014)		✓	✓					✓		✓				1	2				
8	A.I. Azmi (2015)	✓			✓				✓					1	2			✓		

หมายเหตุ 1 คือ ตัวแปรหลักที่ส่งผล, 2 คือ ตัวแปรรองที่ส่งผล

2.9.2 การหล่อเย็นในระหว่างการตัดเฉือน

โดยปกติในระหว่างการตัดเฉือนวัสดุต่าง ๆ อุปกรณ์ตัดจะเกิดการสึกหรอในระหว่างการตัดเฉือน เนื่องจากความร้อนจากการตัดเฉือนระหว่างเครื่องมือตัดและวัสดุ (N. Dhar and M. Kamruzzaman, 2007) การหล่อเย็นเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดความร้อนระหว่างการตัดเฉือน หรือชะลอการสึกหรอของเครื่องมือตัดโดยปกติแล้วทางภาคอุตสาหกรรมมักใช้น้ำมันสังเคราะห์และกึ่งสังเคราะห์ในการระบายความร้อนระหว่างการตัดเฉือน ในทางกลับกัน การหล่อเย็นแบบทั่วไปมักจะใช้สารหล่อเย็นที่ผลิตจากน้ำมันทั้งสังเคราะห์และกึ่งสังเคราะห์ หรือในบางชนิดก่อนใช้สามารถนำไปเจือจางด้วยน้ำเปล่าได้ อย่างไรก็ตาม การใช้สารหล่อเย็นเหล่านี้ถูกประเมินว่าส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและต่อตัวผู้ใช้งาน อาทิเช่น โรคผิวหนังจากน้ำมันหล่อเย็นหรือจากการสัมผัสน้ำมันหล่อเย็นมากจนเกินไปทำให้เกิดอาการแพ้และบวมแดง หรือโรคผิวหนังที่เกิดจากการติดเชื้อ (I. Karadzic et al., 2006) หรือในกรณีที่เลวร้ายที่สุด โรคมะเร็งทางเดินหายใจ อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบของการตัดเฉือนด้วยการหล่อเย็นโดยน้ำมันหล่อเย็นพบว่ามิลพิษทางอากาศจากละอองมากกว่าการตัดเฉือนแบบแห้งถึง 12 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ (N. R. Dhar et al., 2006) มากไปกว่านั้น โดยทางองค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ จัดให้สารหล่อเย็นเหล่านี้อยู่ในสารก่อมะเร็ง และผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมเกิดจากการที่ผู้ใช้งานกำจัดสารหล่อเย็นดังกล่าวไม่เหมาะสมและปล่อยสารหล่อเย็นที่ใช้งานจนหมดอายุลงสู่แม่น้ำลำคลองและทำลายระบบนิเวศ มากไปกว่านั้นพบว่า ตามกฎหมายว่าด้วยการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันมีความพยายามที่จะกำจัดหรือลดการใช้ น้ำมันตัดและมุ่งสู่กระบวนการตัดเฉือนแบบที่ไม่ใช้สารหล่อเย็น (B. Sen et al., 2019) และเมื่อกล่าวถึงด้านต้นทุนในการผลิตในอุตสาหกรรมที่จำเป็นต้องใช้กระบวนการตัดเฉือนพบว่าต้นทุนโดยประมาณของสารหล่อเย็นที่ใช้ในการตัดเฉือนถูกคิดเป็น 16 เปอร์เซ็นต์ สำหรับวัสดุทั่วไป และวัสดุที่ยากต่อการตัดเฉือน 20 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ค่าใช้จ่ายในการกำจัดสารหล่อเย็นที่หมดอายุคิดเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนรวมทั้งหมด (G. Byrne and E. Scholta, 1993)

2.9.3 การตัดเฉือนวัสดุชนิดต่างๆภายใต้การหล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์

การหล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์ถือว่าเป็นทางเลือกหนึ่งในการหล่อเย็นสมัยใหม่ที่สะอาดและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ตัวผู้ใช้งาน และมีการปนเปื้อนที่น้อยกว่าการหล่อเย็นแบบปกติที่ใช้สารหล่อเย็นชนิดน้ำมัน โดยปกติแล้วการหล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์ในกระบวนการตัดเฉือนมักใช้สารหล่อเย็นคือ ไนโตรเจนเหลว เนื่องจากไนโตรเจนเหลว สะอาดและสามารถหาซื้อได้ง่าย มีราคาไม่แพงมาก และมีจุดเด่นอย่างมากในด้านการลดอุณหภูมิ ระหว่างการใช้ไนโตรเจนเหลวในการหล่อเย็นมีการสะสมและปนเปื้อนของแบคทีเรีย น้อยมาก เนื่องจากระหว่างการใช้งาน

ตัวในโตรเจนเหลวเองจะระเหยไปในอากาศ และไม่ส่งผลเสียต่อชั้นบรรยากาศ เนื่องจากในชั้นบรรยากาศมีก๊าซไนโตรเจนปะปนอยู่ถึง 78 เปอร์เซ็นต์

นักวิจัยหลายท่านทำการวิจัยการใช้งานวิธีการไครโอเจนิคส์ในการหล่อเย็นในระหว่างการตัดเนื้อ อาทิ V. Firouzdar et al. (2008) ทำการปรับปรุงคุณสมบัติของอุปกรณ์ตัดไฮสปีด ด้วยวิธีการไครโอเจนิคส์ และทำการวัดผลการสึกหรอเทียบกับอุปกรณ์ตัดที่ไม่ผ่านการปรับปรุง พวกเขาพบว่า หลังปรับปรุงเครื่องมือตัดที่ผ่านการปรับปรุงมีการสึกหรอที่น้อยกว่าเครื่องมือที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง มากไปกว่านั้นพวกเขายังพบว่าเครื่องมือตัดที่ผ่านวิธีการไครโอเจนิคส์ ยังช่วยลดโอกาสการเปลี่ยนรูปแบบถาวร

ในทำนองเดียวกัน S. Yuan et al. (2011) อธิบายไว้ว่าในการตัดเนื้อวัสดุประเภทอลูมิเนียมและไทเทเนียมอัลลอย จะเกิดการพอกของเนื้อวัสดุบริเวณคมตัดของอุปกรณ์ตัด และพวกเขาพบว่าวิธีการไครโอเจนิคส์สามารถลดการเกิดการพอกของเศษได้เมื่อเทียบกับวิธีการหล่อเย็นแบบน้ำมันและไม่มีการหล่อเย็น และเช่นเดียวกัน A. Aramcharoen (2016) ทำการตัดเนื้อเนื้อไทเทเนียมอัลลอยภายใต้การหล่อเย็นด้วยน้ำมันและวิธีการหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์ ด้วยเครื่องมือตัดคาร์ไบด์ไม่เคลือบผิว โดยเปรียบเทียบผลกระทบด้านการสึกหรอของเครื่องมือตัด และพวกเขาพบว่าวิธีการหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์ช่วยลดการสึกหรอบริเวณผิวหลบและลดการเกิดการพอกเศษที่คมตัด

การลดลงของการพอกของเศษบริเวณคมตัดถูกอธิบายโดย L. S. Ahmed and M. P. Kumar (2016) โดยพวกเขาอธิบายว่าการหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์นั้นมีความดันของลมที่ออกมาพร้อมกับสารหล่อเย็นคือไนโตรเจนเหลวทำให้ช่วยปิดเป่าการพอกของเศษบริเวณคมตัดและอีกทั้งไนโตรเจนเหลวยังช่วยหล่อลื่นไม่ให้เกิดการพอกของเศษบริเวณคมตัด มากไปกว่านั้น N. Tapoglou et al. (2017) เปรียบเทียบผลกระทบของการสึกหรอของเครื่องมือตัดคาร์ไบด์ในกระบวนการกลึงไทเทเนียมอัลลอยภายใต้การหล่อเย็นด้วยน้ำมัน การหล่อเย็นด้วยอากาศ และการหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์ พวกเขาพบว่า การหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์ช่วยลดการสึกหรอได้มากที่สุด รองลงมาคือการหล่อเย็นแบบอากาศ และการหล่อเย็นด้วยน้ำมันลดการสึกหรอของเครื่องมือตัดได้น้อยที่สุด

มากกว่านั้น จากงานวิจัยของ A. Musfirah et al. (2017) ทำการศึกษาการตัดเนื้อ นิกเกิลผสมเกรด 718 และพวกเขารายงานว่าวิธีการหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์สามารถลดการสึกหรอบริเวณผิวหลบและลดการยึดติดในระหว่างการตัดเนื้อได้เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตัดเนื้อแบบไม่มีการหล่อเย็น และ Y. Kaynak and A. Gharibi (2008) และคณะ ทำการตัดเนื้อโลหะเกรด 4104 และเปรียบเทียบผลกระทบของการหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์ด้วยการใช้สารหล่อเย็นที่ต่างกัน คือ คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจนเหลว และพวกเขารายงานว่าเครื่องมือตัดที่

ตัดเฉือนและหล่อเย็นด้วยไนโตรเจนเหลว มีการสึกหรอที่น้อยกว่าเครื่องมือตัดที่หล่อเย็นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ และ Ç. V. Yildirim et al. (2020) และคณะศึกษาผลกระทบด้านความหยาบผิวในการกลึง นิกเกิลผสม เกรด 718 ภายใต้การหล่อเย็นแบบน้ำมันและแบบไครโอเจนิคส์ พวกเขาพบการสึกหรอของเครื่องมือตัดและความหยาบผิวของชิ้นงานที่มากกว่าในการหล่อเย็นแบบน้ำมันเมื่อเทียบกับการหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์ ทางผู้วิจัยได้รวบรวมและศึกษาปรีทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์ แสดงดังตารางที่ 2.3

โดยจากตารางที่ 2.3 เมื่อทำการรวบรวมและศึกษาปรีทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปได้ว่าการตัดเฉือนภายใต้การหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์มีข้อดีที่เหนือกว่าการหล่อเย็นแบบน้ำมันในแง่ของการลดการสึกหรอของเครื่องมือตัด และมากไปกว่านั้น พบว่าการศึกษาการหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์ค่อนข้างจำกัดอยู่ในการตัดเฉือนวัสดุโลหะ และพบว่ามีงานวิจัยค่อนข้างน้อยที่ศึกษาผลกระทบของการสึกหรอและความหยาบผิวในการตัดเฉือนวัสดุคอมโพสิตด้วยเม็ดมิดคลิงคาร์-ไบค์เคลือบผิวภายใต้การหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์ Y. Yildiz and M. Nalbant (2008) มากไปกว่านั้นจากตารางที่ 2.3 สังเกตได้ว่าการสึกหรอของเครื่องมือกัดภายใต้การหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์มีการสึกหรอที่น้อยกว่าการหล่อเย็นแบบน้ำมันและไม่มีการหล่อเย็น

ตารางที่ 2.2 การตัดเล็นวนวัสดุชนิดต่าง ๆ ภายใต้การหล่อเย็นแบบโคร โอนิกส์

ลำดับ	ผู้แต่ง	วัสดุ	วัตถุประสงค์		การตัดเล็นวน			วัสดุอุปกรณ์ตัด					สถานะ			ผลการสึกหรอที่ได้รับ		
			การสึกหรอ	ความหนาผิว	กำลัง	กัด	เจาะ	ไฮสปีดโคบอลต์	เพชร	คาร์ไบด์ (ไม่เคลือบผิว)	คาร์ไบด์ (เคลือบผิว)	เซรามิก	ปริมาณการหล่อเย็น	หล่อเย็นด้วยน้ำมัน	โคร โอนิกส์	ปริมาณการหล่อเย็น (mm)	หล่อเย็นด้วยน้ำมัน (mm)	โคร โอนิกส์ (mm)
1	V. Firouzdo et al. (2008)	Carbon steels	✓				✓	✓	✓				✓		✓	0.25		0.11
2	S.M. Yuan et al. (2011)	Ti-6Al-4V Alloy	✓			✓			✓				✓	✓	✓	0.9	0.85	0.3
3	Ampara Aramcharoen (2016)	Titanium alloy	✓		✓				✓					✓	✓		0.2	0.05
4	L. Shakeel Ahmed and M. Pradeep Kumar (2016)	Ti-6Al-4V Alloy	✓				✓		✓				✓		✓	0.96		0.28
5	Nikolaos Tapoglou et al. (2017)	Ti-6Al-4V	✓		✓				✓					✓	✓		0.55	0.26

ตารางที่ 2.2 การตัดเลือนวัสดุชนิดต่าง ๆ ภายใต้การหล่อเย็นแบบโคร โอลเจนิคส์ (ต่อ)

ลำดับ	ผู้แต่ง	วัสดุ	วัตถุประสงค์		การตัดเลือน			วัสดุอุปกรณ์ตัด					สถานะ			ผลการสึกหรอที่ได้รับ			
			การสึกหรอ	ความหนาผิว	กลิ่น	กัด	เจาะ	ไฮสปีดโคบอลต์	เพชร	คาร์ไบด์ (ไม่เคลือบผิว)	คาร์ไบด์ (เคลือบผิว)	เซรามิก	พรมการหล่อเย็น	หล่อเย็นด้วยน้ำมัน	โครโอเจนิคส์	พรมการหล่อเย็น (mm)	หล่อเย็นด้วยน้ำมัน (mm)	โครโอเจนิคส์ (mm)	
6	A.H. Musfirah, et al. (2017)	Inconel718 alloy	✓	✓		✓				✓			✓	✓		✓	0.46		0.3
7	Yusuf Kaynak and Armin Gharibi (2018)	AISI 4140			✓				✓					✓		✓	0.5		0.35
8	Çağrı Vakkas Yıldırım et al. (2020)	Alloy 625			✓										✓	✓		1.8	0.50

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะมุ่งเน้นไปที่รายละเอียดของวิธีดำเนินการทดลองตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมวัสดุและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง ขั้นตอนการเตรียมการทดลอง ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลองจนถึงขั้นตอนสรุปผลการทดลอง โดยจะแบ่งเป็นหัวข้อใหญ่ ๆ คือ วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินงาน ดังนี้

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว (GFRP)

งานวิจัยนี้ดำเนินการทดลองโดยใช้พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วที่มีส่วนประกอบได้แก่ เนื้อวัสดุหลักคือ อีพอกซีเรซิน และวัสดุเสริมแรงคือ เส้นใยแก้ว ชนิด E-glass ซึ่งพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว ที่ใช้งานในทดลองผ่านการขึ้นรูปด้วยวิธีการการขึ้นรูปโดยการปั่นเส้นใย (Filament winding process) โดยขนาดของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว ที่ใช้ในการทดลองมีความยาว 1,000 มิลลิเมตร รัศมีภายนอก 50 มิลลิเมตร รัศมีภายใน 20 มิลลิเมตร โดยการวางตัวของเส้นใยแก้วเสริมแรงทำ 45 องศา แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว

3.1.2 เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวไทเทเนียม-คาร์บอน-ไนโตร และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Coated carbide inserts)

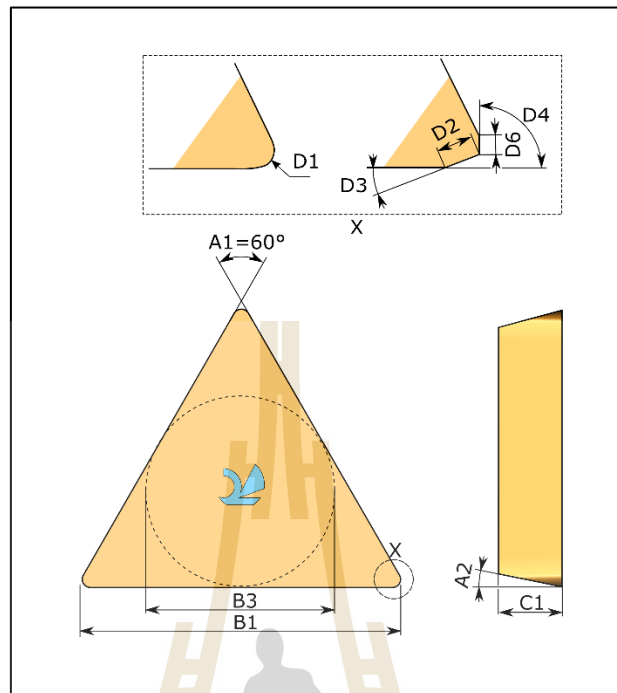
งานวิจัยนี้ดำเนินการกลึงพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วด้วยเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิว เนื่องจากการศึกษาและทบทวนปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (M. A. Karataş and H. Gökaya, 2018; D. Chandramohan and B. Murali, 2014) ยังไม่พบการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วภายใต้การหล่อเย็นแบบโคร โอเจนิคส์ควบคู่กับการใช้เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวในการตัดเฉือน ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงเลือกเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวในการศึกษาครั้งนี้

เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวสามารถงานในการตัดเฉือนวัสดุได้หลากหลายและมีความทนทานในการใช้งานทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับเครื่องมือตัดเฉือน (J. Zhao and Z. Liu, 2018) และเกรดของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์คือ TNMG160404MP KCM15 ด้วยวิธีการเคลือบผิวด้วยไอเคมี (CVD) ที่ประกอบไปด้วยชั้นผิวเคลือบสองชั้น ชั้นแรกคือ ไทเทเนียม-คาร์บอน-ไนโตร และชั้นที่สองคือ อะลูมิเนียม ออกไซด์ แสดงดังรูปที่ 3.2

เม็ดมีดกลึงที่ใช้มีลักษณะทางเลขคณิตแสดงดังรูปที่ 3.3 ได้แก่ ความหนา (C1) 4.76 มิลลิเมตร ความกว้างของคมตัด (B1) 16.5 มิลลิเมตร มุมรวม (A1) 60 องศา รัศมีของมุมมีด (D1) 0.4 มิลลิเมตร มุมหลบปลายมีด (A2) 0 องศา และมุมหลบ 3 องศา และชั้นเคลือบผิวของเม็ดมีดกลึง ประกอบไปด้วยสองชั้นผิวเคลือบโดยชั้นแรกคือ ไทเทเนียม-คาร์บอน-ไนโตร (TiCN) ซึ่งมีลักษณะเป็นสีเหลืองทอง และชั้นที่สองคือ อะลูมิเนียม ออกไซด์ (Al_2O_3) ซึ่งมีลักษณะเป็นสีดำแสดงดังรูปที่ 3.4 และด้ามมีดกลึงซ่าย WTJNR-2020K16 ความยาวด้ามมีด (L) 125 มิลลิเมตร ความกว้าง (b) 20 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.5 ถูกใช้ในการทดลองนี้



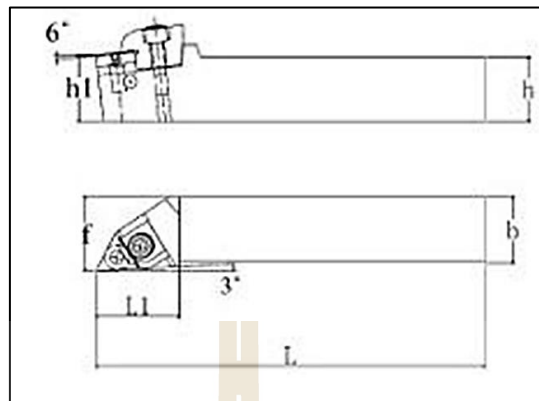
รูปที่ 3.2 เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวไทเทเนียม-คาร์บอน-ไนโตร และอะลูมิเนียมออกไซด์



รูปที่ 3.3 ลักษณะทางเลขคณิตของเม็ดมีดคดถึง



รูปที่ 3.4 ชั้นเคลือบผิวของเม็ดมีดคดถึง



รูปที่ 3.5 ค้ำมีดกลึง

3.1.3 เครื่องกลึง (Lathe machine)

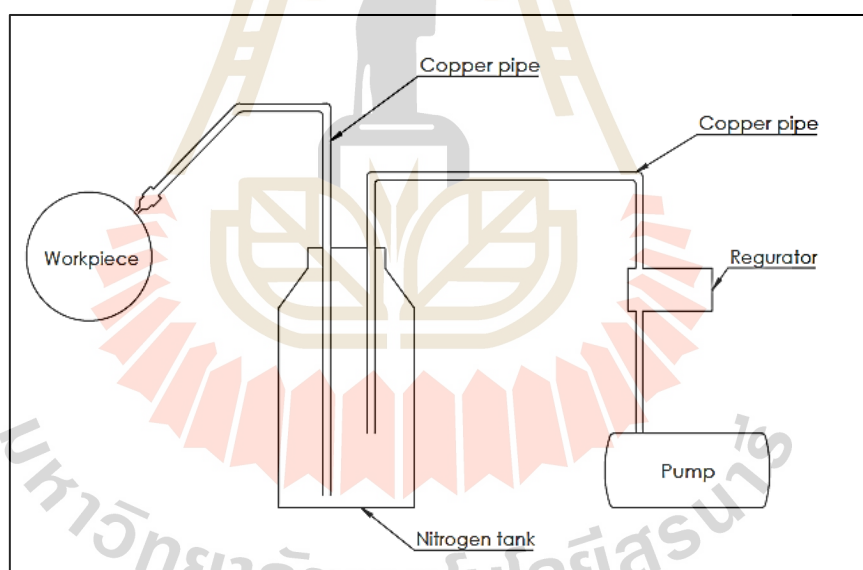
งานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องกลึงยี่ห้อ Full Mark lathe รุ่น FLM-430X1000 เนื่องจากมีความง่ายและสะดวกในการติดตั้งอุปกรณ์หล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์ และเครื่องกลึงมีความกว้างในการจับชิ้นงาน 430 มิลลิเมตร ความยาว 1,000 มิลลิเมตร และความเร็วรอบสูงสุด 1,800 รอบต่อนาที ถูกใช้ในงานวิจัยนี้ แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องกลึง

3.1.4 ชุดจ่ายไนโตรเจนเหลว

งานวิจัยในส่วนดำเนินการทดลองภายใต้การหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์ โดยทางผู้วิจัยได้ออกแบบและจัดทำเครื่องมือสำหรับหล่อเย็นด้วยวิธีการไครโอเจนิคส์ แสดงดังรูปที่ 3.7 โดยจากรูปที่ 3.4 แสดงระบบการหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์ สามาถอธิบายวิธีการทำงานคือ ลำดับแรกปั๊มลมจะส่งความดันอากาศไปที่ถังเก็บไนโตรเจนเหลวขนาด 3 ลิตร ด้วยท่อทองแดง โดยผ่านตัวควบคุมความดัน (Regulator) ให้ได้ความดัน 5 psi ตลอดการส่งความดันไปยังถังเพื่อให้ได้ค่าความดันลมที่แน่นอน และตัวกรองอากาศที่อยู่ภายในตัวควบคุมความดันเพื่อกรองให้อากาศที่ส่งไปยังถังเก็บไนโตรเจนเหลวมีความแห้ง จากนั้นเมื่ออากาศเข้าไปแทนที่ไนโตรเจนเหลวที่อยู่ในถังเก็บไนโตรเจนเหลวส่งผลให้ไนโตรเจนเหลวที่อยู่ในถังไหลออกไปทางท่อทองแดงทางด้านซ้ายมือไปยังชิ้นงานเพื่อลดความร้อนในการตัดเฉือน และลูกศรในรูปที่ 3.6 แสดงการไหลของอากาศไปยังถังเก็บไนโตรเจนเหลว และการเดินทางของไนโตรเจนเหลวจากถังเก็บไปยังชิ้นงาน



รูปที่ 3.7 ระบบหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์

3.1.5 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

งานวิจัยนี้ดำเนินการตรวจสอบการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวไทเทเนียม-คาร์บอน-ไนไตร และอะลูมิเนียม ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงยี่ห้อ Zeiss รุ่น Axio Scope A1 ผลิตโดยประเทศ Germany ที่มีกำลังขยายตั้งแต่ 5 เท่า จนถึง 100 เท่า แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

3.1.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดถูกใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อตรวจสอบธาตุและสารประกอบของชั้นผิวเคลือบของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวไทเทเนียม-คาร์บอน-ไนไตร และอะลูมิเนียมออกไซด์ แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.1.7 เครื่องวัดความหยาบผิว (Surface roughness tester)

ในการทดลองนี้ใช้เครื่องวัดความหยาบผิวยี่ห้อ Accretech รุ่น Surfcom 480b ในการตรวจสอบความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วหลังผ่านกระบวนการกลึง แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 เครื่องวัดความหยาบผิว

3.2 วิธีการดำเนินการทดลอง

วิธีการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ มีหลายขั้นตอน โดยเริ่มต้นจากการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดปัจจัยและผลตอบสนอง จากนั้นทำการออกแบบการทดลอง ก่อนการดำเนินการทดลอง จากนั้นทำการเตรียมชิ้นงานก่อนดำเนินการทดลอง และเมื่อเตรียมชิ้นงานเสร็จ จึงทำการดำเนินการทดลองกระบวนการกลึงพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว เพื่อทำการวัดวัดขนาดการสึกหรอของเครื่องมือตัดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องแสงและค่าความหยาบผิวด้วยเครื่องวัดความหยาบผิว หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้อไปวิเคราะห์ผลและสรุปผล เพื่อให้เข้าใจถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการสร้างแผนภาพขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมด ซึ่งมีการอธิบายรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนต่อไปนี้

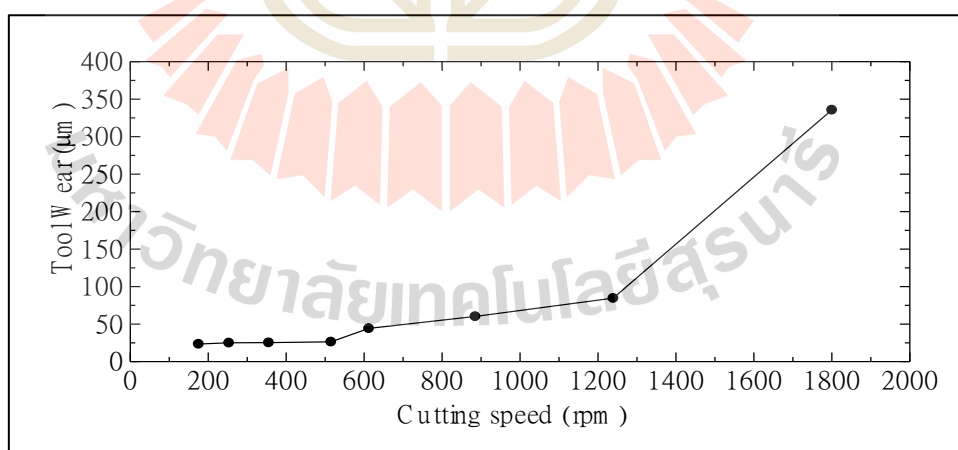
3.2.1 ทบทวนวรรณกรรมและศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาค้นคว้าองค์ความรู้ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกลึงพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วและปัจจัยที่มีอิทธิพลหลักที่คาดว่าจะส่งผลต่อความหยาบผิว

และการสึกหรอของเครื่องมือตัดพบว่า ปัจจัยหลักที่คาดว่าจะมีผลต่อความหยาบผิวและการสึกหรอของเครื่องมือ-ตัด มีทั้งหมด 5 ปัจจัย ประกอบด้วยปัจจัยในการตัดเฉือน 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วตัด อัตราป้อน ความลึกในการตัดเฉือน สภาวะการตัดเฉือน 2 ปัจจัย ได้แก่ หล่อเย็นด้วยวิธีการโครโมเจนิคส์โดยใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นสารหล่อเย็น และไม่มีการหล่อเย็น

3.2.2 การศึกษาระดับปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาระดับของปัจจัยในกระบวนการกลึงพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วที่ส่งผลกระทบต่อ การสึกหรอของเครื่องมือตัด และความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วโดยทางผู้วิจัยได้เริ่มทำการศึกษากิจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (S. A. Hussain et al., 2010) และการสอบถามข้อมูลจากตัวแทนจำหน่าย (S. Jasper et al., 2018) โดยทางตัวแทนจำหน่ายได้ให้คำแนะนำว่า ช่วงความเร็วในการตัดเฉือนที่ควรเลือกใช้คือ 800 ถึง 3,000 รอบต่อนาที และอัตราป้อนคือ 0.05 ถึง 0.3 มิลลิเมตรต่อรอบ และตัวแปรในการตัดเฉือนที่ใช้ในการทดลองโดยแสดงดังตารางที่ 3.1 และผู้วิจัยได้ทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วภายใต้สภาวะที่ไม่มีการหล่อเย็นเพื่อหาช่วงการเปลี่ยนแปลงของการสึกหรอที่เห็นได้ชัด ทางผู้วิจัยได้ทำการคงที่อัตราป้อนไว้ที่ 0.07 มิลลิเมตรต่อรอบ และความลึกในการตัดเฉือนที่ 2 มิลลิเมตร จากนั้นทางผู้วิจัยได้ทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการตัดเฉือนตั้งแต่ 175 รอบต่อนาที จนถึง 1,800 รอบต่อนาที เพื่อดูการเปลี่ยนแปลง และจะเห็นได้ว่าการสึกหรอของเครื่องมือตัดเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดที่ความเร็วในการตัดเฉือน 612 รอบต่อนาที จนถึง 1,800 รอบต่อนาที



รูปที่ 3.11 การเปลี่ยนแปลงของการสึกหรอต่อความเร็วในการตัดเฉือนที่อัตราป้อน 0.07 มิลลิเมตรต่อนาที

ตารางที่ 3.1 ระดับค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ทำการศึกษา

	หน่วย	ต่ำ	กลาง	สูง
ความเร็วตัด	(รอบ/นาที)	885	1239	1800
อัตราป้อน	(มิลลิเมตร/รอบ)	0.07	0.10	0.13
ความลึกในการตัด	(มิลลิเมตร)	2	2	2
สถานะในการตัดเฉือน		ไม่มีการหล่อเย็น		ไครโอเจนิคส์

3.2.3 ออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการออกแบบการทดลอง ใช้การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลแบบเต็มรูปโดยมีปัจจัยทั้งหมด 5 ปัจจัย ประกอบด้วยปัจจัยในการตัดเฉือน 2 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วตัด และอัตราป้อน ปัจจัยที่เกี่ยวกับสถานะการตัดเฉือน 2 ปัจจัย ได้แก่ ไม่มีการหล่อเย็น และการหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์ โดยทำการทดลองที่แต่ละปัจจัยมีระดับที่แตกต่างกันและทำการทดลองซ้ำ 2 ซ้ำ อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยเลือกที่จะคงที่ความลึกในการตัดเฉือนไว้เนื่องด้วย จากการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่าการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วตัวแปรในการตัดเฉือนที่มีผลต่อความหยาบผิวและการสึกหรอของเครื่องมือตัดน้อยที่สุดคือความลึกในการตัด (A. kumar Parida et al., 2014)

ตารางที่ 3.2 จำนวนการทดลองทั้งหมด 18 การทดลอง

StdOrder	ความเร็วตัด	อัตราป้อน	ความลึกในการตัด	สถานะในการตัดเฉือน
1	885	0.07	2	ไม่มีการหล่อเย็น
2	885	0.10	2	ไม่มีการหล่อเย็น
3	885	0.13	2	ไม่มีการหล่อเย็น
4	1239	0.07	2	ไม่มีการหล่อเย็น
5	1239	0.10	2	ไม่มีการหล่อเย็น
6	1239	0.13	2	ไม่มีการหล่อเย็น
7	1800	0.07	2	ไม่มีการหล่อเย็น
8	1800	0.10	2	ไม่มีการหล่อเย็น
9	1800	0.13	2	ไครโอเจนิคส์
10	885	0.07	2	ไครโอเจนิคส์
11	885	0.10	2	ไครโอเจนิคส์

ตารางที่ 3.2 จำนวนการทดลองทั้งหมด 18 การทดลอง (ต่อ)

StdOrder	ความเร็วตัด	อัตราป้อน	ความลึกในตัด	สถานะในการตัดเฉือน
12	885	0.13	2	โครโอเจนิคส์
13	1239	0.07	2	โครโอเจนิคส์
14	1239	0.10	2	โครโอเจนิคส์
15	1239	0.13	2	โครโอเจนิคส์
16	1800	0.07	2	โครโอเจนิคส์
17	1800	0.10	2	โครโอเจนิคส์
18	1800	0.13	2	โครโอเจนิคส์

3.2.4 ดำเนินการทดลอง

โดยในขั้นตอนดำเนินการทดลองนี้จะทำการอธิบายรายละเอียดของขั้นตอนการทดลองโดยในการทดลองดำเนินการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วโดยกระบวนการกลึงปลอกพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วที่มีความยาว 500 มิลลิเมตร โดยในขั้นตอนแรกผู้วิจัยจะทำการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ในการตัดเฉือนได้แก่ ความเร็วในการตัดเฉือน อัตราป้อน ความลึกในการตัด แลการหล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์

- ความเร็วในการตัดเฉือน

โดยในการทดลองนี้ทางผู้วิจัยเลือกใช้ความเร็วในการตัดเฉือน 885, 1,239 และ 1,800 รอบต่อนาที เนื่องจากอยู่ในช่วงที่ผู้ผลิตแนะนำ และอยู่ในช่วงที่สามารถทำงานได้ของเครื่องจักร และเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (S. A. Hussain et al., 2010) แสดงดังตารางที่ 3.1 เพื่อให้มั่นใจว่าได้ความเร็วในการตัดเฉือนที่ตรงตามต้องการทางผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบความเร็วรอบของเครื่องกลึงด้วยเครื่องวัดความเร็วรอบ โดยวิธีการตรวจสอบผู้วิจัยได้นำเพลลาโลหะผิวเรียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร ตัดจุดมาร์คบนเพลลาโลหะ และนำเพลลาโลหะที่ตัดจุดมาร์คเรียบร้อยแล้วไปจับยึดกับปากกาจับงานของเครื่องกลึงแล้วเปิดเครื่องที่รอบ 885, 1,239 และ 1,800 รอบต่อนาที เพื่อตรวจสอบความเร็วรอบตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3.12 และเมื่อตรวจสอบความเร็วรอบในการตัดเฉือนแล้วผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.3



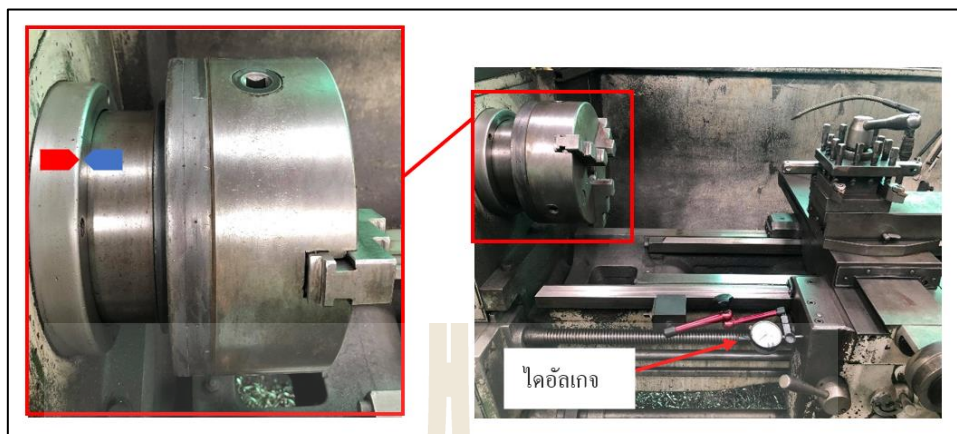
รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการตรวจสอบความเร็วในการตัดเฉือน

ตารางที่ 3.3 ผลการตรวจสอบความเร็วรอบ

ความเร็วรอบในการทดลอง (รอบต่อนาที)	885	1239	1800
ความเร็วรอบที่ตรวจสอบได้ (รอบต่อนาที)	880 ถึง 884	1,234 ถึง 1,238	1,798 ถึง 1,800

- อัตราการป้อน

โดยในการทดลองนี้ผู้วิจัยเลือกใช้อัตราป้อนที่ 0.07, 0.10 และ 0.13 รอบต่อมิลลิเมตร ตามคำแนะนำของผู้ผลิต ควบคู่กันกับการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (S. A. Hussain et al., 2010) เพื่อให้ได้ความมั่นใจว่าได้อัตราป้อนที่ต้องการและทำการตรวจสอบอัตราการป้อนของเครื่องกลึงที่ใช้ในการทดลองด้วยวิธีดังนี้ ขั้นตอนแรกทำการติดตั้งไดอัลเกจบนรางเลื่อนของเครื่องกลึงและหันหัววัดของไดอัลเกจเข้าหาแทนเลื่อนของเครื่องกลึงในแนวแกน Z และหลังจากนั้น ทางผู้วิจัยได้ทำสัญลักษณ์ไว้บนปากกาจับชิ้นงานของเครื่องกลึง และขั้นตอนติดตั้งก่อนการตรวจสอบแสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการตรวจสอบอัตราป้อนของเครื่องกลึง

และขั้นตอนต่อไปเป็นขั้นตอนสำหรับตรวจสอบอัตราป้อนของเครื่องกลึง โดยขั้นแรกทำการปรับอัตราป้อนของเครื่องกลึงไปยังอัตราป้อนที่ต้องการโดยค่าแรกทางผู้วิจัยทำการปรับอัตราป้อนไปที่ 0.07 มิลลิเมตรต่อรอบ และ 0.07 มิลลิเมตรต่อรอบ ในที่นี้หมายความว่า เมื่อหมุนหัวจับชิ้นงานบนเครื่องกลึงครบ 1 รอบ จะส่งผลให้ชุดแทนเลื่อนเคลื่อนที่ที่ระยะ 0.07 มิลลิเมตร และเพื่อทำการตรวจสอบ ทางผู้วิจัยได้ทำการหมุนหัวจับชิ้นงานของเครื่องกลึง 1 รอบ หรือจากรูปที่ 3.13 คือทำการหมุน 1 รอบ ให้หัวลูกศรสีฟ้ากลับมาตรงกับหัวลูกศรสีแดงที่ทางผู้วิจัยได้ทำสัญลักษณ์ไว้และอ่านค่าที่ได้ไดอัลเกจว่าได้ระยะ 0.07 หรือไม่อย่างไรก็ตามตารางที่ 3.4 แสดงผลการตรวจสอบอัตราป้อนของเครื่องกลึง และพบว่าอัตราป้อนมีระยะที่เที่ยงตรงกับอัตราป้อนที่ใช้ในการทดลอง

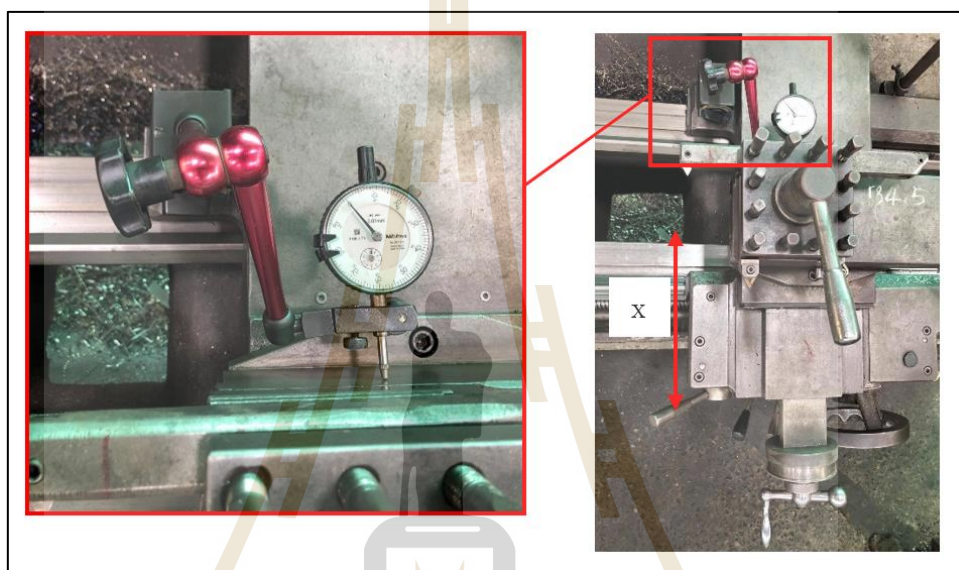
ตารางที่ 3.4 ผลการตรวจสอบอัตราป้อน

อัตราป้อนในการทดลอง (มิลลิเมตรต่อรอบ)	0.07	0.10	0.13
อัตราป้อนที่ตรวจสอบได้ (มิลลิเมตรต่อรอบ)	0.07	0.10	0.13

- ความลึกในการตัด

โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้ความลึกในการตัดคงที่ ที่ 2 มิลลิเมตร โดยเพื่อให้ได้ความลึกในการตัดที่ 2 มิลลิเมตร ตลอดทั้งการทดลองทางผู้วิจัยเลือกใช้ไดอัลเกจเพื่อตรวจสอบ

ความลึกในการตัด โดยจากรูปที่ 3.14 แสดงวิธีการตรวจสอบความลึกในการตัด โดยวิธีการมีดังนี้
ขั้นแรกทำการติดไดอัลเกจกับชุดแท่นเลื่อนและหันหัววัดของไดอัลเกจเข้าหาป้อมมีดในแนว
แกน X และเมื่อหัววัดของไดอัลเกจสัมผัสกับป้อมมีดทำการหมุนตัวเรือนเพื่อให้เข็มยาวตรงกับ
เลขศูนย์ และเมื่อต้องการความลึกในการตัด 2 มิลลิเมตรให้หมุนจนเข็มยาววนกลับมาที่เลขศูนย์
สองรอบก็จะได้ความลึกในการตัดที่ต้องการ 2 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.14 วิธีตรวจสอบความลึกในการตัด

- การหล่อเย็นแบบโคร โอเจนิคส์

โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการหล่อเย็นแบบโคร โอเจนิคส์ โดยใช้สารหล่อเย็น
คือ ไนโตรเจนเหลวบรรจุอยู่ในถังเก็บไนโตรเจนเหลวโดยผู้วิจัยเลือกใช้ความจุของถังเก็บปริมาตร
3 ลิตร และเพื่อให้ระบบในการส่งไนโตรเจนเหลวไปยังบริเวณตัดเดือนเสถียรตลอดการทดลอง
ผู้วิจัยเลือกใช้วาล์วควบคุมความดัน ทำการควบคุมความดันที่ 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ตลอด
การทดลอง และเพื่อให้มั่นใจว่าอุณหภูมิที่ส่งไปยังบริเวณที่ตัดเดือนชิ้นงานมีความคงที่ของ
อุณหภูมิ ทางผู้วิจัยจึงเลือกทำการทดลองในส่วนของหล่อเย็นแบบโคร โอเจนิคส์ในวันที่
มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 30 ถึง 33 องศาเซลเซียส และทำการวัดอุณหภูมิโดยเทอร์โมคัปเปิล ประเภท K
และผลของอุณหภูมิของไนโตรเจนเหลวแสดงดัง 5 โดย RT คือ อุณหภูมิห้อง และ NT คือ อุณหภูมิ
ของไนโตรเจนเหลว

ตารางที่ 3.5 ผลการวัดอุณหภูมิ

อุณหภูมิห้อง (องศาเซลเซียส)	30	30	31	30	32	33
อุณหภูมิในโตรเจนเหลว (องศาเซลเซียส)	-69.8	-70.7	-68.4	-70.5	-63.2	-60.1

สุดท้ายแล้วเมื่อทำการตรวจสอบตัวแปรในการตัดเนื้อเยื่อเรียบร้อยแล้ว ทางผู้วิจัยได้เริ่มทำการทดลองตามลำดับการทดลอง ตามตารางที่ 3.2 โดยในหนึ่งการทดลองจะเปลี่ยนเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวและเปลี่ยนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วทุกครั้ง หรือสรุปได้ว่าหนึ่งการทดลองต่อพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว หนึ่งท่อนที่มีความยาว 500 มิลลิเมตร และหนึ่งเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิว

3.2.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการดำเนินการทดลอง โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรก คือ การสึกหรอของเครื่องมือตัด โดยในส่วนนี้จะทำการวิเคราะห์ผลการสึกหรอของเครื่องมือตัดภายใต้การหล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์และไม่มีการหล่อเย็น และส่วนที่สอง คือ ผลของความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว

บทที่ 4

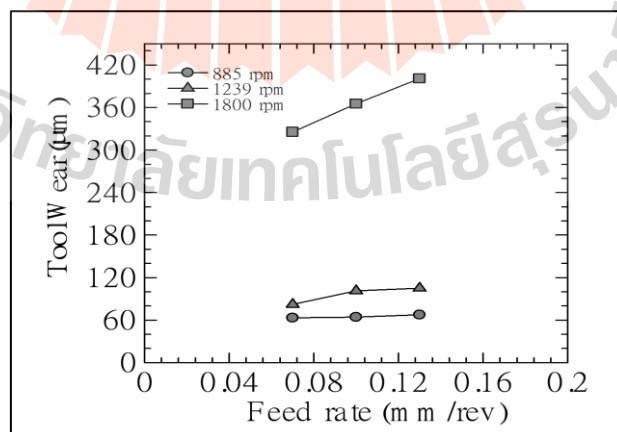
ผลการทดลองและการอภิปรายผล

บทนี้จะนำเสนอถึงผลกระทบของการสึกหรอของเครื่องมือตัดและความหยาบผิวในกระบวนการกลึงพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว ด้วยเม็ดมิกคิงคาร์ไบด์เคลือบผิว บทความส่วนแรกจะนำเสนอถึงผลกระทบของการสึกหรอของเครื่องมือตัดในกระบวนการกลึงพลาสติกเสริมแรงภายใต้การหล่อเย็นแบบโคร โอเจนิคส์ ส่วนต่อมานำเสนอถึงผลกระทบของความหยาบผิวในกระบวนการกลึงพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วภายใต้การหล่อเย็นแบบโคร โอเจนิคส์ โดยรายละเอียดจะถูกกล่าวในบทนี้

4.1 ผลการสึกหรอของเครื่องมือตัด

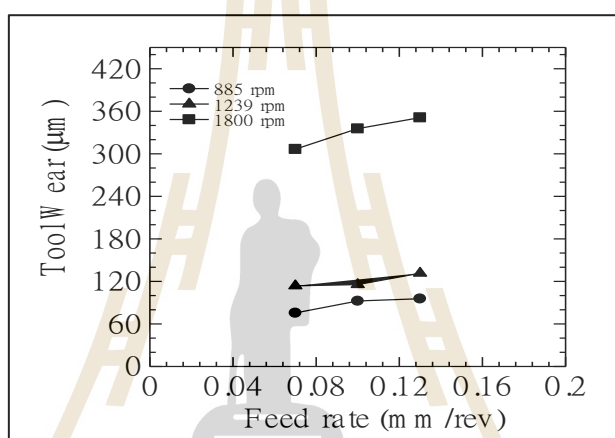
4.1.1 ผลกระทบของตัวแปรในการตัดเฉือนที่ผลต่อการสึกหรอ

จากการทดลองการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วภายใต้การหล่อเย็นแบบโคร โอเจนิคส์ และไม่มีการหล่อเย็น ด้วยเม็ดมิกคิงคาร์ไบด์เคลือบผิว หลังกระบวนการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วทางผู้วิจัย ได้ทำการตรวจสอบผลกระทบที่มีผลต่อการสึกหรอของเครื่องมือตัดและพบว่า ความเร็วในการตัดเฉือนและอัตราป้อนเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการสึกหรอของเครื่องมือตัด แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ค่าการสึกหรอของเครื่องมือตัดที่ได้รับผลกระทบจากอัตราป้อนและความเร็วในการตัดเฉือน ในสถานะไม่มีการหล่อเย็น

โดยจากรูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสึกหรอและอัตราป้อนที่ภายใต้สภาวะที่ไม่มีการหล่อเย็น และสังเกตได้ว่าการสึกหรอของเครื่องมือตัดมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามตัวแปรสองตัวคือ ความเร็วตัดและอัตราป้อน ในทำนองเดียวความสัมพันธ์ของการสึกหรอของเครื่องมือตัดและตัวแปรในการตัดเฉือนภายใต้การหล่อเย็นแบบโคร โอเจนิคส์ แสดงดังรูปที่ 4.2 โดยจากรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราป้อนและการสึกหรอของเครื่องมือตัดภายใต้การหล่อเย็นแบบโคร โอเจนิคส์ และจะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มของการสึกหรอที่เพิ่มมากขึ้นตามอัตราป้อนที่เพิ่มมากขึ้น

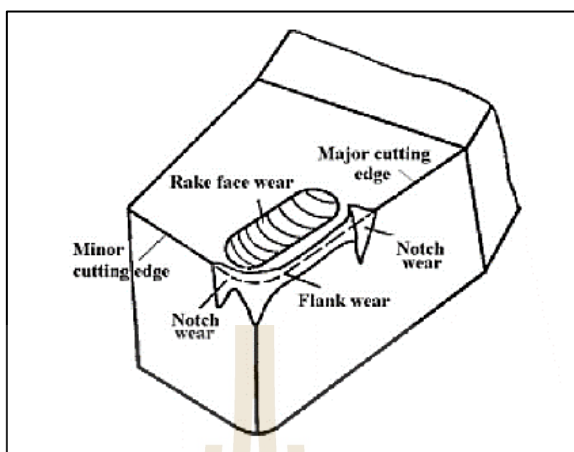


รูปที่ 4.2 ค่าการสึกหรอของเครื่องมือตัดที่ได้รับผลกระทบจากอัตราป้อนและความเร็วในการตัดเฉือนภายใต้การหล่อเย็นแบบโคร โอเจนิคส์

จากรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 สามารถสรุปได้ว่าการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วด้วยเม็คมัดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิว ภายใต้การหล่อเย็นแบบโคร โอเจนิคส์และไม่มีการหล่อเย็น (S. Jasper et al., 2018) พบว่า ทั้งสองสถานะการตัดเฉือนความเร็วตัดและอัตราการป้อน เป็นตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อ การสึกหรอของเม็คมัดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิว ซึ่งสอดคล้องกับปริทัศน์วรรณกรรมที่ได้อ่าน (S. Jasper et al., 2018) และศึกษาในบทที่ 2

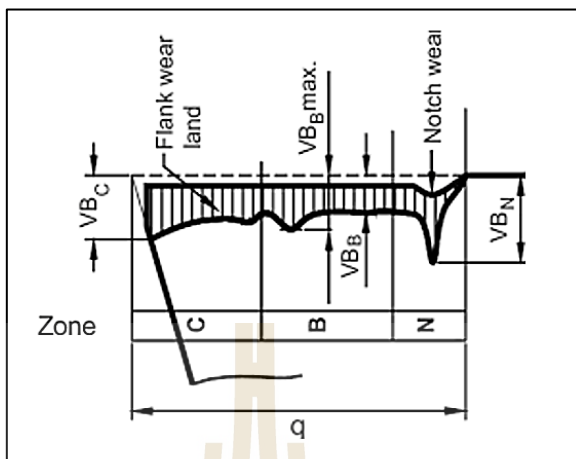
4.1.2 รูปแบบการสึกหรอของเม็คมัดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิว

โดยปกติแล้วรูปแบบการสึกหรอของเม็คมัดกลึงมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบและลักษณะแสดงดังรูปที่ 4.3 อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้เลือกที่จะวัดการสึกหรอบริเวณผิวหลบ เนื่องจาก การสึกหรอบริเวณผิวหลบเป็นตัวที่บ่งบอกถึงความสมบูรณ์ของเครื่องมือตัดและคุณภาพของชิ้นงานหลังการตัดเฉือน (L. Bouzid et al., 2018)

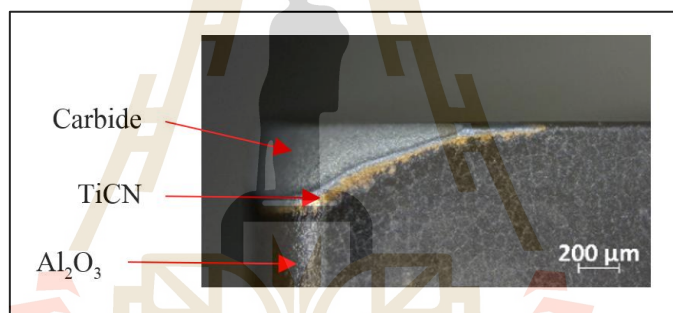


รูปที่ 4.3 รูปแบบการสึกหรอของเครื่องมือตัด

ดังนั้น จึงเลือกใช้มาตรฐาน ISO 3685-1993 สำหรับวัดการสึกหรอบริเวณผิวหลังของเครื่องมือตัด แสดงดังรูปที่ 4.4 โดยจากรูปที่ 4.4 ทางผู้วิจัยเลือกวัดการสึกหรอที่บริเวณ VB Zone C และต่อไปจะเป็นการอธิบายถึงลักษณะการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิว โดยทางผู้วิจัยขอยกตัวอย่างการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวที่ความเร็วในการตัดเดือน 1,800 รอบต่อนาที ที่อัตราป้อน 0.13 รอบต่อมิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 4.5 เนื่องจากเป็นรูปแบบการสึกหรอที่เผยให้เห็นชั้นเคลือบผิวและส่วนต่าง ๆ ของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวได้ดี โดยจากรูปที่ 4.5 สังเกตได้ว่าผิวชั้นในสุดของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวมีลักษณะเป็นสีขาวออกไปทางเทา คือ คาร์ไบด์ ซึ่งเป็นวัสดุตั้งต้นของเม็ดมีดกลึง ส่วนชั้นเคลือบผิวชั้นต่อมาก็คือ ชั้นเคลือบผิวชั้นแรกคือ ไทเทเนียม-คาร์บอน-ไนโตร ซึ่งจากรูปที่ 4.5 สังเกตได้ว่าชั้นเคลือบผิวนี้จะมีลักษณะที่เป็นสีเหลืองส้มหรือสีทอง และชั้นผิวเคลือบชั้นที่ 2 หรือชั้นสุดท้ายคือ อะลูมิเนียมออกไซด์ ซึ่งมีลักษณะเป็นผิวสีดำ เมื่อทราบถึงชั้นผิวเคลือบต่าง ๆ ของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแล้ว ต่อไปทางผู้วิจัยจะขออธิบายเกี่ยวกับลักษณะการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิว โดยจากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวมีลักษณะการสึกหรอแบบขัดสี ซึ่งเป็นผลมาจากในระหว่างการตัดเดือนชั้นเคลือบผิวและสารตั้งต้นของเม็ดมีดกลึงถูกทำลายโดยเส้นใยแก้วเสริมแรงภายในเนื้อพลาสติก (G. Santhanakrishnan et al., 1988) อย่างไรก็ตามเพื่อความเข้าใจและไม่สับสนของผู้อ่านเล่มวิจัยนี้ทางผู้วิจัยจะขอเริ่มอธิบายและเปรียบเทียบการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวโดยแบ่งตามความเร็วในการตัดเดือนตั้งแต่ 885, 1,239 และ 1,800 รอบต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 มาตรฐาน ISO 3685

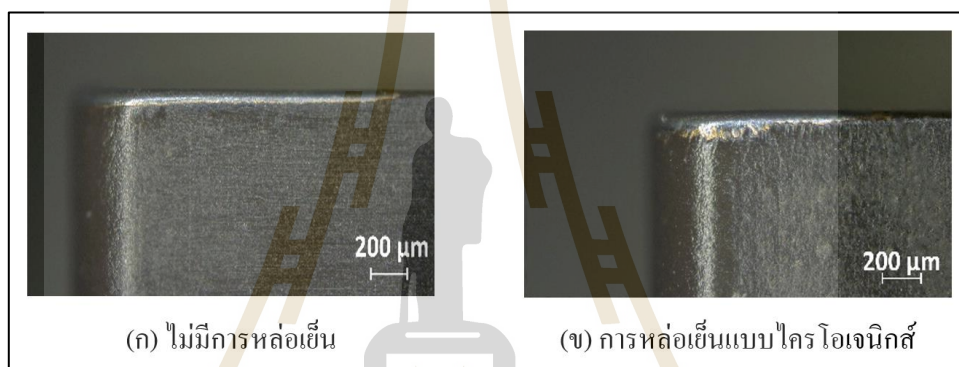


รูปที่ 4.5 การสึกหรอของเม็ดมีดที่ความเร็วในการตัดเฉือน 1,800 รอบต่อนาที
อัตราป้อน 0.13 มิลลิเมตรต่อนาที

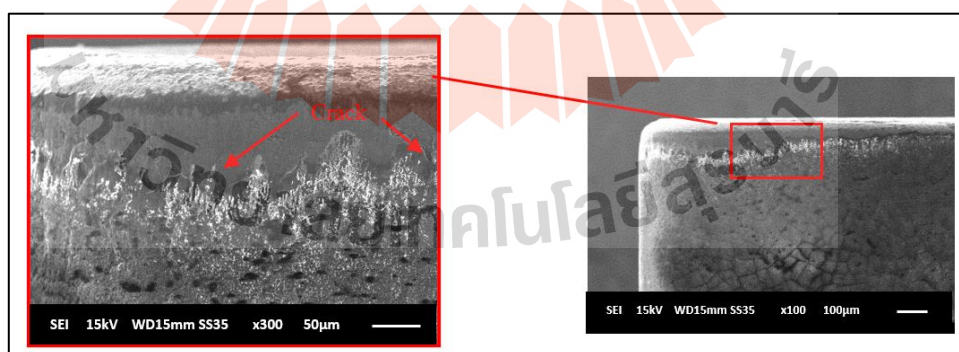
- ความเร็วในการตัดเฉือน 885 รอบต่อนาที

โดยที่การสึกหรอของเม็ดมีดคาร์ไบด์เคลือบผิวที่ความเร็วในการตัดเฉือน 885 รอบต่อนาที ภายใต้สภาวะหล่อเย็นแบบไม่มีการหล่อเย็นแสดงดังรูปที่ 4.6 (ก) และแบบโครโอเจนิคส์แสดงดังรูปที่ 4.6 (ข) โดยจากรูปที่ 4.6 (ก) จะเห็นได้ว่าเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวมีลักษณะการสึกหรอบริเวณผิวหลบ มากไปกว่านั้นสังเกตได้ว่าการสึกหรอเนื่องจากการขัดสี และร่องรอยการสึกหรอค่อนข้างเรียบและเป็นไปในแนวเดียวกัน อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 4.6 (ข) แสดงการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวภายใต้การหล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์ จะสังเกตได้ว่าเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวมีการสึกหรอบริเวณผิวหลบเช่นเดียวกันกับเม็ดมีดกลึงภายใต้สภาวะการตัดเฉือนแบบไม่มีการหล่อเย็นและมีการสึกหรอจากการขัดสีเช่นกัน ในทางกลับกันจะสังเกต

ได้ว่าเมื่อดมดคสังคาร์ไบด์เคลือบผิวที่ผ่านการตัดเฉือนภายใต้การหล่อเย็นแบบ ไครโอเจนิคส์จะมีการหลุดลอกของชั้นผิวเคลือบในลักษณะของการแตกหรือกะเทาะ ซึ่งเกิดจากความเย็นที่มากเกินไปของไนโตรเจนเหลวสัมผัสกับชั้นเคลือบอะลูมิเนียมออกไซด์ที่เป็นวัสดุเปราะ อย่างไรก็ตามเนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อพฤติกรรมการแตกหักของผิวเคลือบอะลูมิเนียมออกไซด์เมื่ออุณหภูมิลดลงจะทำให้เกิดพฤติกรรมการแตกหักแบบเหนียวและเปราะในวัสดุมีพฤติกรรมเปราะแสดงพฤติกรรมการแตกหักที่เปราะมากขึ้น (P. HV and D. Girish, 2012) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนช่วยยืนยันลักษณะการสึกหรอและหลุดลอกของชั้นเคลือบอะลูมิเนียมออกไซด์ แสดงดังรูปที่ 4.7



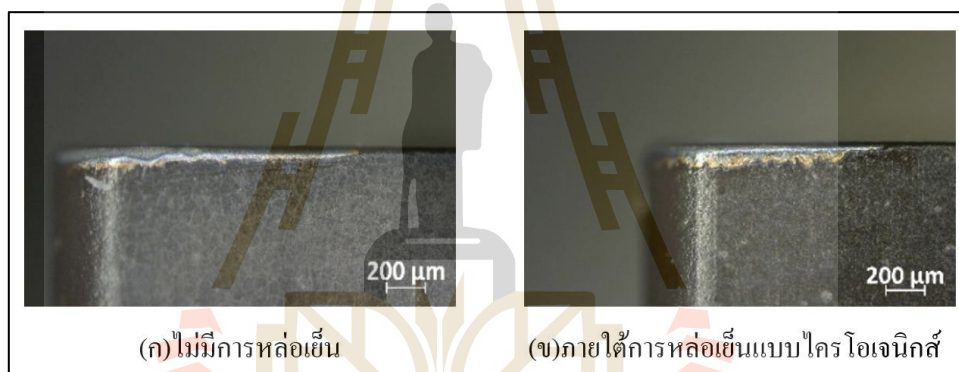
รูปที่ 4.6 การสึกหรอของเมื่อดมดคสังคาร์ไบด์เคลือบผิวที่ความเร็วในการตัด 885 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.7 ภาพการสึกหรอจากภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ความเร็วตัด 885 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.13 มิลลิเมตรต่อนาที

- ความเร็วในการตัดเฉือน 1,239 รอบต่อนาที

โดยการสึกหรอของเม็ดมีดคาร์ไบด์เคลือบผิวที่ความเร็วในการตัดเฉือน 1,239 รอบต่อนาที ที่สภาวะการตัดเฉือนแบบไม่มีการหล่อเย็น แสดงดังรูปที่ 4.8 (ก) และหล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์แสดงดังรูปที่ 4.8 (ข) โดยจากรูปที่ 4.8 (ก) สังเกตได้ว่าเม็ดมีดคลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวมีการสึกหรอบริเวณผิวหลบ และมีการสึกหรอไปถึงชั้นของไทเทเนียม-คาร์บอน-ไนไตรในทางตรงข้ามกันจากรูปที่ 4.8 (ข) แสดงการสึกหรอของเม็ดมีดคลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวภายใต้การหล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์ โดยสังเกตได้ว่ามีลักษณะการสึกหรอบริเวณผิวหลบเช่นกันกับเม็ดมีดคลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวที่ไม่ผ่านการหล่อเย็น ในทางตรงข้ามกันที่ชั้นเคลือบผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ มีการหลุดลอกในลักษณะของการกะเทาะเช่นเดียวกันกับที่ความเร็วในการตัดเฉือน 885 รอบต่อนาที

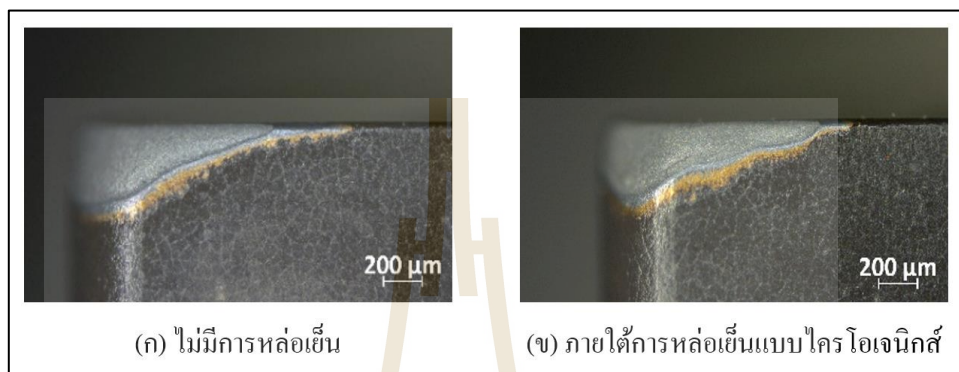


รูปที่ 4.8 การสึกหรอของเม็ดมีดคลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวที่ความเร็วในการตัด 1,239 rpm

- ความเร็วในการตัดเฉือน 1,800 รอบต่อนาที

โดยที่การสึกของเม็ดมีดคาร์ไบด์เคลือบผิวที่ ความเร็วในการตัดเฉือน 1,800 รอบต่อนาที ภายใต้สภาวะไม่มีการหล่อเย็น แสดงดังรูปที่ 4.9 (ก) และ ภายใต้การหล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์ แสดงดังรูปที่ 4.9 (ข) โดยจากรูปที่ 4.9 (ก) จะเห็นได้ว่า การสึกหรอของเม็ดมีดคลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวมีการสึกหรอบริเวณผิวหลบและมีการสึกหรอจากการขัดสีของเม็ดมีดคลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวและเส้นใยแก้วเสริมแรงในเนื้อวัสดุหลักคือพลาสติก มากไปกว่านั้น ยังสังเกตได้ว่าการสึกหรอของเม็ดมีดคลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวที่ความเร็วในการตัดเฉือน 1,800 รอบต่อนาที มีการสึกหรอที่แตกต่างออกไปจากความเร็วรอบ 885 และ 1,239 รอบต่อนาที เนื่องจากการสึกหรอที่เปิดเผยให้เห็นถึงชั้นคาร์ไบด์ของเม็ดมีดคลึงคาร์ไบด์เคลือบผิว อย่างไรก็ตาม ยังสังเกตได้ว่าเมื่อเม็ดมีดคลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวปราศจากชั้นผิวเคลือบแล้วจะส่งผลให้เกิด

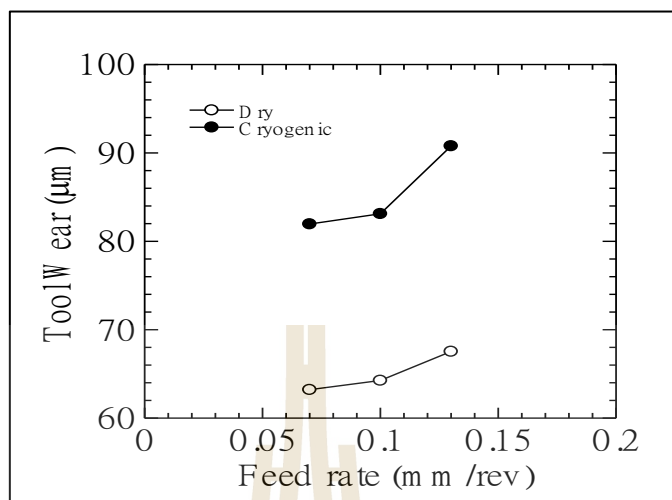
การสึกหรออย่างรวดเร็ว ในทำนองเดียวกัน รูปที่ 4.9 (ข) สังเกตได้ว่าการสึกหรอบริเวณผิวหลบของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวและมีการสึกหรอแบบขัณฑ์ และเม็ดมีดกลึงมีการสึกหรอจนถึงชั้นคาร์ไบด์



รูปที่ 4.9 การสึกหรอของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวที่ความเร็วในการตัด 1,800 rpm

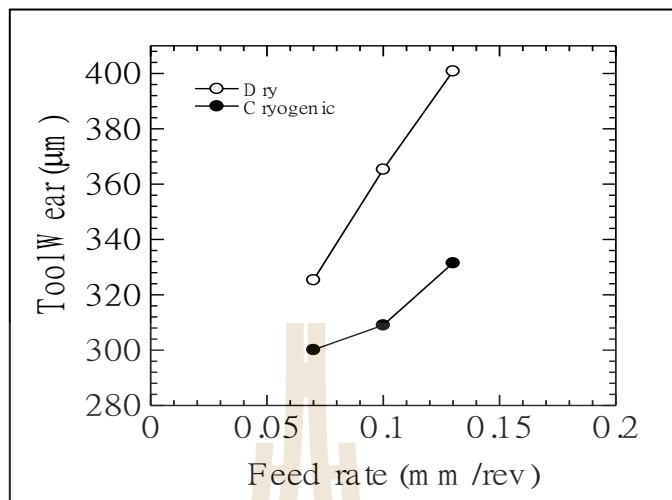
4.2 ผลกระทบของการสึกหรอภายใต้การหล่อเย็นแบบไม่มีการหล่อเย็นและไครโอเจนิคส์

เมื่อทราบถึงลักษณะการสึกหรอและตัวแปรในการตัดเฉือนของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแล้ว โดยในหัวข้อนี้ทางผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบผลกระทบของการสึกหรอของเครื่องมือตัดแบบไม่มีการหล่อเย็นและหล่อเย็นโดยวิธีไครโอเจนิคส์ โดยจากรูปที่ 4.10 แสดงผลการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวภายใต้การหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์และไม่มีการหล่อเย็น ที่ความเร็วในการตัดเฉือน 885 รอบต่อนาที โดยจากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวภายใต้การหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์มีการสึกหรอที่มากกว่าเม็ดมีดกลึงที่ไม่มีการหล่อเย็น โดยปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายได้จากรูปที่ 4.7 เนื่องจากเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวมีการสูญเสียชั้นผิวเคลือบอะลูมิเนียมออกไซด์เนื่องจากความเย็นจากไนโตรเจนเหลว ส่งผลให้เม็ดมีดกลึงเมื่อปราศจากผิวเคลือบมีความอ่อนแอกว่าเม็ดมีดกลึงที่มีผิวเคลือบ



รูปที่ 4.10 ค่าการสึกหรอของเครื่องมือตัดที่ได้รับผลกระทบจากอัตราป้อนและวิธีการหล่อเย็น ที่ความเร็วในการตัดเฉือน 885 รอบต่อนาที

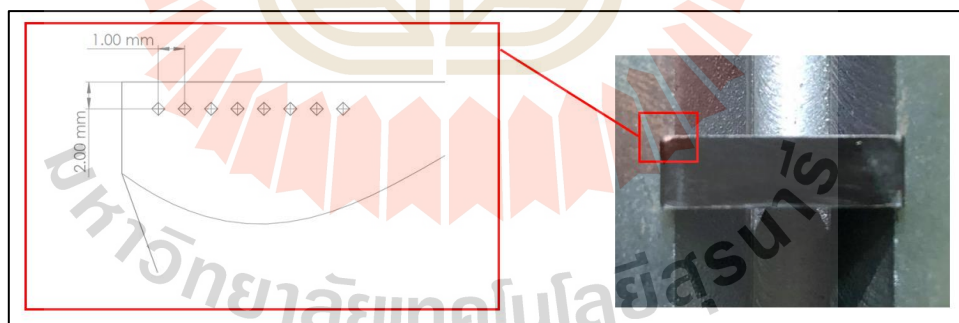
ในทางตรงข้ามกันจากรูปที่ 4.11 แสดงผลการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิว ที่ความเร็วในการตัดเฉือน 1,800 รอบต่อนาที โดยสังเกตได้ว่าเม็ดมีดกลึงภายใต้สภาวะหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์มีการสึกหรอที่น้อยกว่าเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์ที่ไม่มีการหล่อเย็น โดยสามารถอธิบายจากรูปที่ 4.9 (ข) ได้ว่าเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวมีการสึกหรอของชั้นผิวเคลือบจนถึงชั้นคาร์ไบด์ ส่งผลให้เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวปราศจากผิวเคลือบ และเมื่อคาร์ไบด์ที่เป็นสารตั้งต้นของเม็ดมีดกลึงสัมผัสโดนกับอุณหภูมิที่ต่ำของไนโตรเจนเหลว ทำให้เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ คือมีความแข็ง และการต้านทานการสึกหรอมากขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นทางโครงสร้างทางจุลภาคของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์จะประกอบไปด้วย เกรนคาร์ไบด์ และเกรนโคบอลต์ โดยเมื่อเกรนทั้งสองได้รับความเย็นจากไนโตรเจนเหลว ส่งผลให้เกรนคาร์ไบด์ได้รับความเค้นแรงอัด และเกรนโคบอลต์ได้รับความเค้นแรงดึง (N. S. Kalsi et al., 2014) และเพื่อยืนยันการต้านทานการสึกหรอและความแข็งที่เพิ่มขึ้นของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิว เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวที่ผ่านกระบวนการไครโอเจนิคส์และไม่ผ่านการหล่อเย็นถูกนำมาทดสอบความแข็งในระดับไมโคร โดยการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ ตารางที่ 4.1 แสดงตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบความแข็ง และทำการทดสอบทั้งหมด 8 จุด และบริเวณที่ทำการตรวจสอบคือบริเวณผิวหลบของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.11 ค่าการสึกหรอของเครื่องมือตัดที่ได้รับผลกระทบจากอัตราป้อนภายใต้วิธีการโคริโอเจนิคส์ และไม่มี การหล่อเย็น ที่ความเร็วในการตัดเฉือน 1,800 รอบต่อนาที

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรในการทดสอบความแข็งแรงแบบวิกเกอร์

แรงที่ใช้ในการกด	1,000 กิโลกรัม
เวลาในการกด	20 วินาที



รูปที่ 4.12 บริเวณที่ทำการทดสอบความแข็งแรง

ตารางที่ 4.2 ค่าความแข็งวิกเกอร์ส (HV) ของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิว

	1	2	3	4	5	6	7	8
ไม่มีการหล่อเย็น	1474.9	1484.5	1512.2	1487.4	1487.6	1436.9	1433.3	1432.5
โครโอเจนิคส์	1634.9	1748.2	1800.9	1807.9	1728	1653.5	1641.7	1714.4

จากตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความแข็งของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวทั้ง 8 จุด แสดงให้เห็นว่าความแข็งของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวที่ไม่ผ่านการหล่อเย็นมีค่าอยู่ในช่วงที่ 1,400 HV ถึง 1,500 HV อย่างไรก็ตาม จะได้เห็นได้ว่าเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวที่ผ่านการหล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์ มีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 1,600 HV ถึง 1,800 HV ซึ่งมีความแข็งที่มากกว่าเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวที่ไม่ผ่านการหล่อเย็น และสามารถสรุปได้ว่าเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวที่ผ่านการหล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์มีการต้านทานการสึกหรอได้เนื่องจากความแข็งที่เพิ่มขึ้น

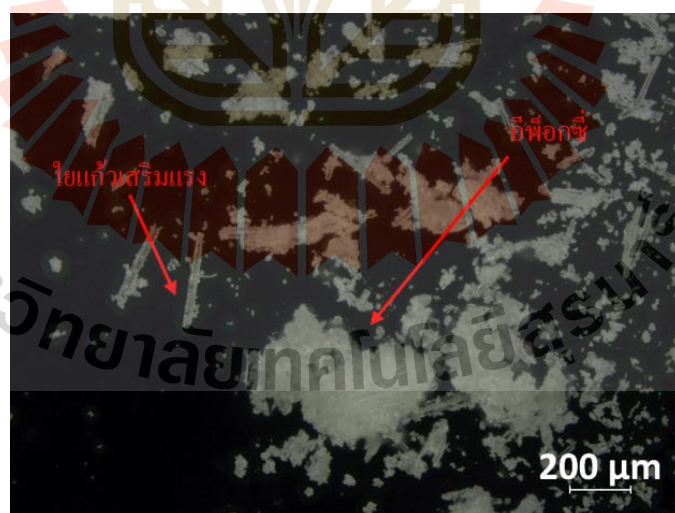
4.3 ผลกระทบของความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วภายใต้การหล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์และไม่มีการหล่อเย็น

โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลกระทบของความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วหลังการกลึงด้วยเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวภายใต้การหล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์และไม่มีการหล่อเย็น โดยจะกล่าวได้ว่าความหยาบผิวหลังการตัดเฉือนชิ้นงานเป็นตัวแปรที่บ่งชี้ถึงความสมบูรณ์และคุณภาพของชิ้นงานหลังการตัดเฉือน มากไปกว่านั้นความหยาบผิวยังเป็นตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพเครื่องจักร อาทิเช่น เครื่องจักรบางชิ้นที่จำเป็นต้องประกอบกับชิ้นส่วนที่มีความหยาบผิวที่ต่ำ เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่สูง และลดการบริโภคพลังงานระหว่างใช้งาน (G. Kant and K. S. Sangwan, 2014) อย่างไรก็ตาม การตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วค่อนข้างแตกต่างจากการตัดเฉือนวัสดุโลหะพอสมควรเนื่องจากความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของวัสดุและการมีวัสดุเสริมแรงในเนื้อวัสดุทำให้พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วถูกจัดอยู่ในหมวดหมู่ของวัสดุที่ยากต่อการตัดเฉือน และรูปที่ 4.13 แสดงพื้นผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วหลังการตัดเฉือน ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการวัดความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วด้วยเครื่องวัดความหยาบผิว และได้ตั้งค่าการตรวจสอบแสดงดังตารางที่ 4.3 มากไปกว่านั้นสังเกตได้ว่าเศษจากการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วค่อนข้างต่างจากการตัดเฉือนโลหะเป็นอย่างมากเนื่องจากความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว และจากรูปที่ 4.14 สังเกตได้ว่าเศษจากการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วมีลักษณะเป็นผงซึ่งจากการตัดเฉือน

และการขัดสีของเครื่องมือตัดกับพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว (M. A. Khan and A. S. Kumar, 2011) และจากรูปที่ 4.14 สังเกตได้ว่าเศษของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วมีสองลักษณะ โดยลักษณะที่เป็นเส้นคือ ใยแก้วเสริมแรงที่หลุดออกจากอีพ็อกซี่ในระหว่างการตัดเฉือน และลักษณะที่เป็นผงสีขาวคือ อีพ็อกซี่



รูปที่ 4.13 พื้นผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วหลังการตัดเฉือน



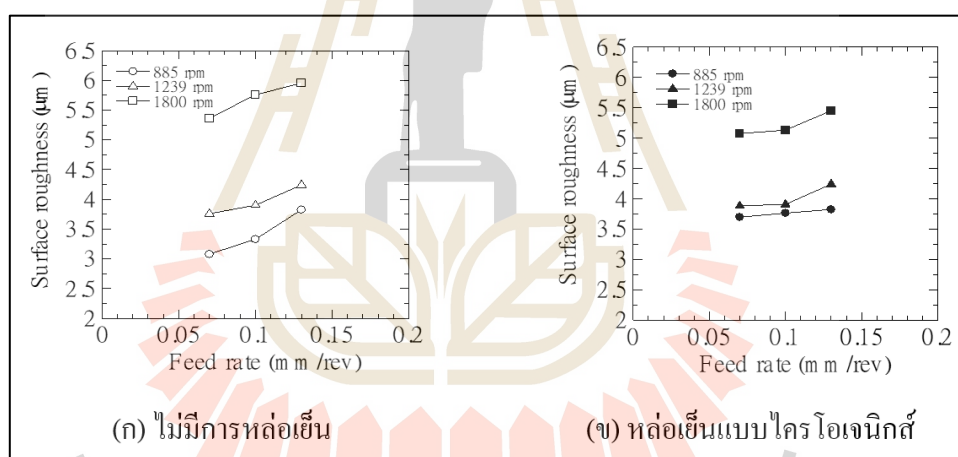
รูปที่ 4.14 เศษหลังการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วในสถานะที่ไม่มีการหล่อเย็น

ตารางที่ 4.3 ตัวแปรในการตรวจสอบความหยาบผิว

ความยาวที่กำหนดให้หัววัดวิ่ง	4 มิลลิเมตร
ความเร็วในการตรวจสอบ	0.6 มิลลิเมตรต่อวินาที
ระยะที่เครื่องวัดอ่านค่า	0.8 มิลลิเมตร

4.3.1 ความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วในสถานะไม่มีการหล่อเย็น

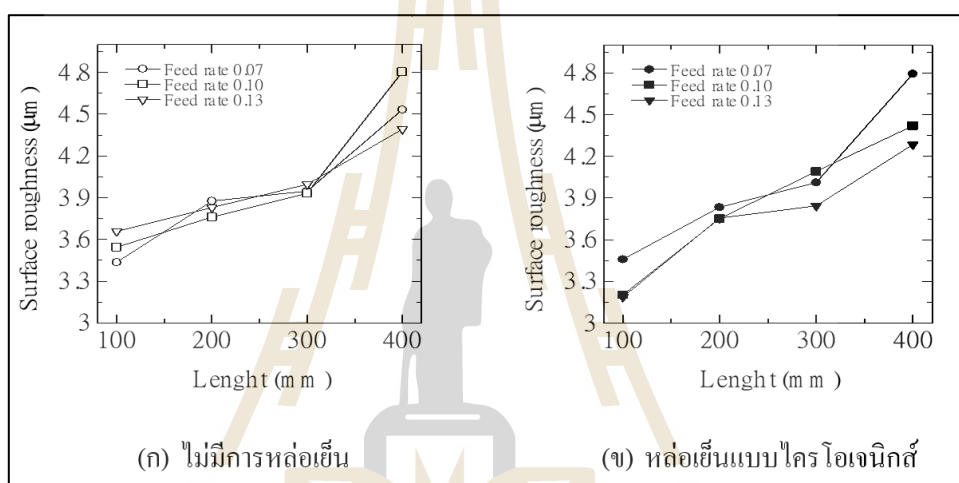
โดยผลความหยาบของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วหลังการตัดเฉือนด้วยเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวภายใต้สถานะที่ไม่มีการหล่อเย็น ที่ความเร็วในการตัดเฉือน 885, 1,239 และ 1,800 รอบต่อนาที แสดงดังรูปที่ 4.15 (ก) และสังเกตได้ว่าความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วมีค่าที่เพิ่มมากขึ้นตามอัตราป้อนที่เพิ่มมากขึ้น ในทำนองเดียวกัน จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของความเร็วในการตัดเฉือนก็ส่งผลให้ความหยาบผิวมีการเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 4.15 ผลกระทบของความหยาบผิวที่ความเร็วในการตัดเฉือนที่ 885, 1,239 และ 1,800 รอบต่อนาที

โดยจากรูปที่ 4.15 (ก) จะเห็นได้ว่าความหยาบผิวของความเร็วในการตัดเฉือน 1,800 รอบต่อนาที ค่อนข้างโดดเด่นเมื่อเทียบกับความเร็วในการตัดเฉือนช่วงอื่น อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการเปรียบเทียบผลกระทบของความหยาบผิวกับการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์ ดังรูปที่ 4.15 (ก) จะเห็นได้ว่า เมื่อเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวมีการสึกหรอที่เพิ่มมากขึ้นก็จะส่งผลให้ความหยาบผิวมีค่าที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวมีการสึกหรอ เท่ากับว่าเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวสูญเสียความคมและความสมบูรณ์และคุณสมบัติของผิวเคลือบของเครื่องมือตัดเฉือน หรือจะกล่าวได้ว่าเมื่อเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิว

อยู่ในสภาพที่ไม่สมบูรณ์หรือปราศจากความคมบริเวณคมตัดของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวทำให้เกิดการตัดเฉือนเนื้อวัสดุที่ไม่สมบูรณ์และส่งผลให้ความหยาบผิวที่มากขึ้น (P. Sivaiah and U. Bodicherla, 2020) มากไปกว่านั้นยังสังเกตได้ว่า จากรูปที่ 4.16 ว่าตัวแปรที่ส่งผลต่อความหยาบผิวในกระบวนการกลึงพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วคือ ระยะทางหรือความยาวในการตัดเฉือน และจากรูปที่ 4.16 (ก) และรูปที่ 4.16 (ข) จะเห็นได้ว่าความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วทั้งภายใต้การหล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์และแบบไม่มีการหล่อเย็นมีค่าที่เพิ่มมากขึ้นตามระยะทางในการตัดเฉือน

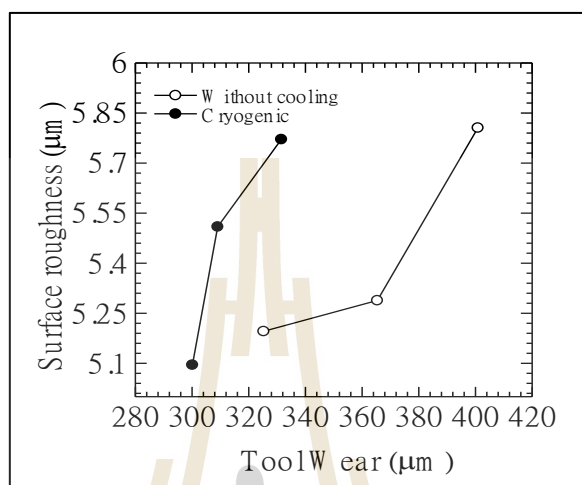


รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและความหยาบผิวที่ความเร็วการตัดเฉือน 1,800 รอบต่อนาที ภายใต้การหล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์และแบบไม่มีการหล่อเย็น

4.3.2 ความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วภายใต้การหล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์

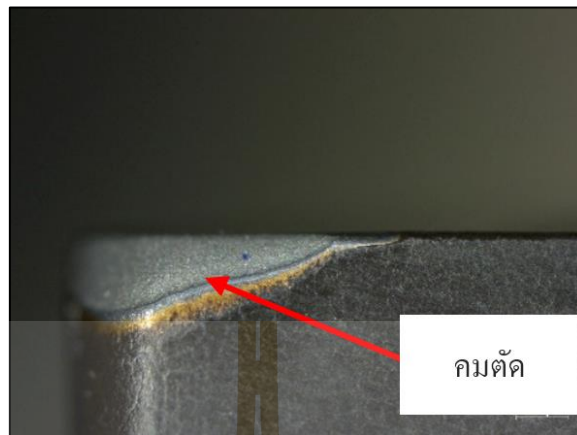
โดยผลความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วหลังการตัดเฉือนด้วยเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวภายใต้การหล่อเย็นแบบโครโอเจนิคส์ ที่ความเร็วในการตัดเฉือน 885, 1,239 และ 1,800 รอบต่อนาที แสดงดังรูปที่ 4.15 (ข) โดยจากรูปที่ 4.15 (ข) สังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มอัตราป้อนสิ่งที่ตามมาคือการเพิ่มขึ้นของความหยาบผิวที่เพิ่มมากขึ้น ในทำนองเดียวกันเมื่อเพิ่มความเร็วในการตัดเฉือนก็จะส่งผลให้เพิ่มความหยาบผิวเช่นกัน อย่างไรก็ตาม จากรูปที่ 4.15 (ข) ที่ความเร็วในการตัดเฉือน 1,800 รอบต่อนาที จะเห็นได้ว่ามีค่าความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วที่ค่อนข้างโดดเด่นกว่าความเร็วในการตัดเฉือนอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการวิเคราะห์การสึกหรอของเครื่องมือตัดที่ความเร็วรอบ 1,800 รอบต่อนาทีและเปรียบเทียบกับค่าความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว ดังแสดงรูปที่ 4.17 สังเกตได้ว่าค่าความหยาบ

ผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วมีค่าที่เพิ่มมากขึ้นตามอัตราการสึกหรอของเครื่องมือตัดที่เพิ่มมากขึ้น (S. A. Hussain et al., 2014)

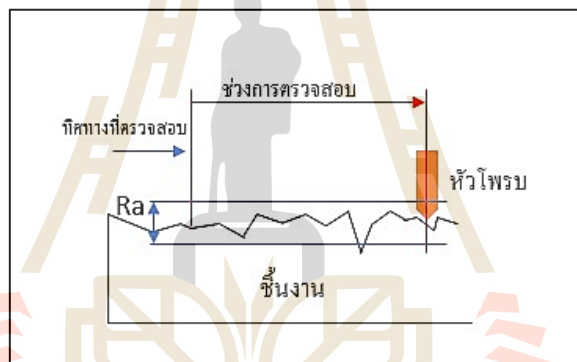


รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ของความหยาบผิวและการสึกหรอที่ความเร็วในการตัดเฉือนที่ 1,800 รอบต่อนาที

โดยสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อเม็ดคดถึงคาร์ไบด์เคลือบผิวมีการสึกหรอที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้เม็ดคดถึงสูญเสียความสมบูรณ์บริเวณคมตัดของเครื่องมือตัดเฉือน แสดงดังรูปที่ 4.18 และการที่เครื่องมือตัดสูญเสียความสมบูรณ์บริเวณคมตัดทำให้เกิดการตัดเฉือนเนื้อวัสดุที่ไม่สมบูรณ์ อาทิเช่น การที่เครื่องมือตัดปราศจากคมตัดและเสียดสีกับพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วจนใยแก้วหลุดออกเพียงอย่างเดียวมาจากตัวพลาสติก หรือจะเป็นการแตกหักของเนื้อวัสดุหลักระหว่างการตัดเฉือน (M. A. Karatas and H. Gökaya, 2018) จึงส่งผลให้ความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วมีค่าที่มากขึ้น หรือจะอธิบายได้ว่าไครโอเจนิคส์สามารถช่วยลดความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วในทางอ้อมได้ (S. Akincioğlu, H. Gökaya, and İ. Uygur, 2016) หรือจะกล่าวได้ว่านอกจากการเลือกตัวแปรในการตัดเฉือนที่เหมาะสมกับวัสดุแล้วการลดการสึกหรอของเครื่องมือตัดเฉือนก็เป็นวิธีการหนึ่งในการช่วยเพิ่มคุณภาพชิ้นงานและลดความหยาบผิวหลังการตัดเฉือน และเพื่อให้เข้าใจมากขึ้นเกี่ยวกับความหยาบผิว รูปที่ 4.19 แสดงวิธีการทำงานของหัววัดความหยาบผิว (C. Agrawal et al., 2021) โดยหลักการทำงานคือหัววัดจะวิ่งผ่านบริเวณพื้นผิวที่ต้องการตรวจสอบ และเมื่อหัววัดวิ่งจนได้ระยะที่ต้องการแล้วจะได้กราฟรูปคลื่น แสดงดังรูปที่ 4.20 ซึ่งเป็นผลของความหยาบผิวของชิ้นงานที่ทำการตรวจสอบ



รูปที่ 4.18 คมตัดของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิว

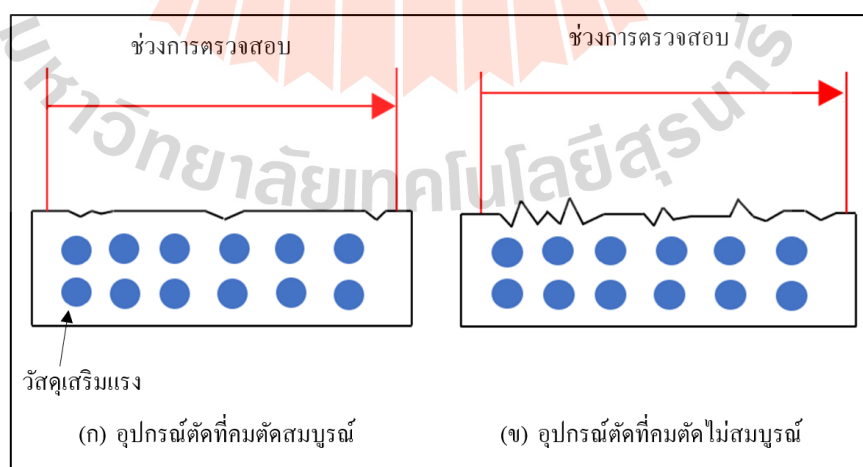


รูปที่ 4.19 วิธีการตรวจสอบความหยาบผิว

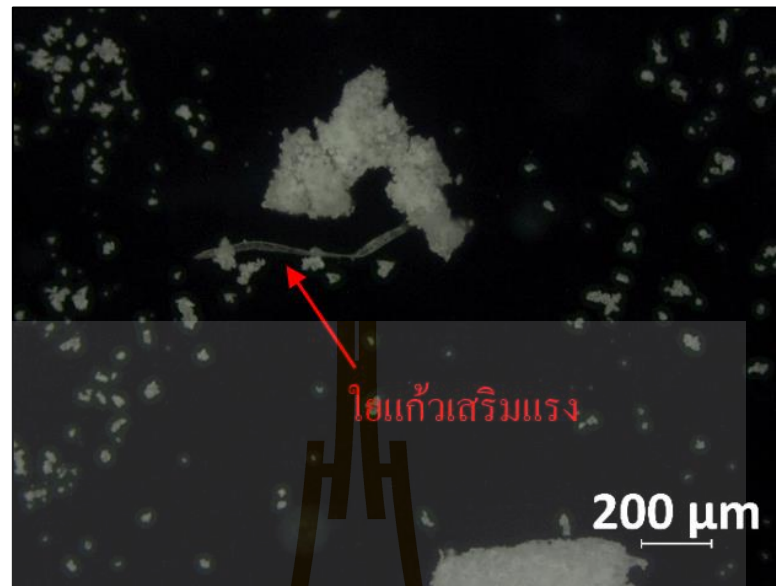


รูปที่ 4.20 วิธีการตรวจสอบความหยาบผิว

โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยในการตรวจสอบ อย่างไรก็ตามเมื่อเข้าใจถึงหลักการการตรวจสอบความหยาบผิวและต่อมาทางผู้วิจัยจะขออธิบายว่าเพราะเหตุใดการสึกหรอของเครื่องมือตัดเฉือนถึงมีผลกระทบต่อความหยาบผิว โดยเพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้นทางผู้วิจัยจัดทำภาพจำลองพื้นผิวหลังการตัดเฉือนขึ้นมาโดย รูปที่ 4.21 (ก) แสดงพื้นผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วที่ตัดเฉือนด้วยเม็ดมีดกลึงที่มีความสมบูรณ์ของคมตัด และจะเห็นได้ว่าผิวหลังการตัดเฉือนด้วยคมตัดจะมีความเรียบและสมบูรณ์เนื่องจาก เครื่องมือตัดเฉือนยังมีความคมและตัดเฉือนเนื้อวัสดุได้อย่างสมบูรณ์ ในทางตรงข้ามกัน รูปที่ 4.21 (ข) แสดงภาพจำลองของการตัดเฉือนเนื้อวัสดุโดยอุปกรณ์ตัดที่มีการสึกหรอ และจากรูปจะเห็นได้ว่าผิววัสดุหลังการตัดเฉือนจะมีความขรุขระที่ค่อนข้างมากกว่าการตัดเฉือนด้วยอุปกรณ์ตัดที่สมบูรณ์ โดยในกรณีของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วเมื่อเครื่องมือตัดเฉือนเกิดความไม่สมบูรณ์หรือสูญเสียความคมบริเวณคมตัดในระหว่างการตัดเฉือน จะส่งผลให้เกิดเปลี่ยนแปลงจากการที่พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วถูกตัดเฉือนด้วยความคมเครื่องมือตัด เป็นการถูกหรือเสียดสีระหว่างเครื่องมือตัดที่ปราศจากความคมกับพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วแทน และส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อใยแก้วในลักษณะของการหลุดหรือขาดออกจากเนื้อพลาสติกและทำให้เกิดช่องว่างในตัวเนื้อวัสดุหลัก แสดงดังรูปที่ 4.22 และส่งผลให้วัสดุมีความเรียบที่น้อยลง และรูปที่ 4.22 แสดงการหลุดออกของเส้นใยแก้วเสริมแรงหรือจะกล่าวได้ว่าการที่ตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วด้วยวัสดุที่สูญเสียความคมจะส่งผลต่อการเสียรูปหรือการแตกหักของวัสดุในระดับจุลภาค อาทิเช่น ปลายเส้นของวัสดุเสริมแรงยื่นออกมาจากเนื้อวัสดุหลัก หรือเกิดช่องว่างระหว่างเนื้อวัสดุหลักเนื่องจากวัสดุเสริมแรงถูกทำลาย (K. Palanikumar, 2006)



รูปที่ 4.21 ภาพจำลองความหยาบผิวหลังกระบวนการตัดเฉือน



รูปที่ 4.22 ลักษณะของใยแก้วที่แยกตัวออกมาจากเนื้อวัสดุหลัก

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

5.1.1 ผลกระทบการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิว

ด้านผลกระทบของการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวในกระบวนการกลึงพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วภายใต้การหล่อเย็นแบบโคร โอเจนิคส์และไม่มีการหล่อเย็น พบว่า ตัวแปรในการตัดเฉือนเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อการสึกหรอของเครื่องมือตัด โดยสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความเร็วในการตัดเฉือนก็จะส่งผลให้เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวมีการสึกหรอมากขึ้น ในทำนองเดียวกันเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอัตราป้อนก็จะส่งผลให้เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวมีการเพิ่มขึ้นตามลำดับ และการเพิ่มขึ้นของความเร็วในการตัดเฉือนและอัตราการป้อนส่งผลให้เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวมีการสึกหรอเพิ่มขึ้นไม่ว่าจะเป็นเม็ดมีดกลึงภายใต้การหล่อเย็นแบบโคร โอเจนิคส์และไม่มีการหล่อเย็น อย่างไรก็ตาม สามารถสรุปว่าการใช้ความเร็วในการตัดที่ 1,800 รอบต่อนาที และอัตราป้อนที่ 0.13 มิลลิเมตรต่อรอบควบคู่ไปกับการหล่อเย็นโคร โอเจนิคส์จะได้ค่าการสึกหรอของเครื่องมือตัดที่ 331.5020 μm และความหยาบผิวที่ 5.7713 μm เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วตัดที่ 1,800 รอบต่อนาที และอัตราป้อน 0.13 มิลลิเมตรต่อรอบภายใต้สภาวะที่ไม่มีการหล่อเย็น โดยจะได้การสึกหรอที่ 400.8600 μm และความหยาบผิวที่ 5.8058 μm ในทางกลับกันที่ความเร็วในการตัดที่ 885 รอบต่อนาที และอัตราป้อนที่ 0.07 ควบคู่กับไม่มีการหล่อเย็นพบการสึกหรอที่ 67.5390 μm และความหยาบผิวที่ 3.2891 μm และความเร็วในการตัดที่ 885 รอบต่อนาที และอัตราป้อนที่ 0.07 ควบคู่กับการหล่อเย็นแบบโคร โอเจนิคส์พบการสึกหรอที่ 90.7840 μm และความหยาบผิวที่ 3.9526 μm

5.1.2 ผลกระทบความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว

ด้านผลกระทบของความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วภายใต้การหล่อเย็นแบบโคร โอเจนิคส์และแบบไม่มีการหล่อเย็น พบว่าการเพิ่มขึ้นของความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วมีการเพิ่มขึ้นตามความเร็วในการตัดเฉือนและอัตราป้อนที่เพิ่มมากขึ้นมากไปกว่านั้น ยังสังเกตได้ว่าความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วมีค่าที่เพิ่มมากขึ้นตามการสึกหรอของเครื่องมือตัดที่เพิ่มมากขึ้น และสามารถสรุปได้ว่าการใช้ความเร็วในการตัดเฉือนที่และอัตราป้อนที่ต่ำสามารถลดความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ความเร็วรอบและอัตราป้อนที่สูง

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลกระทบของความหยาบผิวและการสึกหรอของเครื่องมือตัดในกระบวนการกลึงพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วภายใต้การหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์ ผู้วิจัยเสนอแนะว่า เพื่อให้ได้การใช้งานที่ต่อเนื่องในการหล่อเย็นแบบไครโอเจนิคส์ด้วยไนโตรเจนเหลว ควรเพิ่มปริมาณของถังบรรจุไนโตรเจนเหลวแต่ควรระมัดระวังเรื่องความดันตกค้างในถังให้เป็นพิเศษ และผู้วิจัยเสนอแนะว่าการหล่อเย็นด้วยวิธีการไครโอเจนิคส์กับอุปกรณ์ตัดชนิดอื่น ๆ ควรได้รับการศึกษาเพิ่ม และผลกระทบด้านต่าง ๆ ในกระบวนการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วไม่ว่าจะเป็น อัตราการกำจัดเศษ การหาค่าที่ดีที่สุดในการตัดเฉือน หรือจะเป็นการหล่อเย็นแบบต่าง ๆ ในกระบวนการตัดเฉือนพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว มากไปกว่านั้น การศึกษาผลกระทบของความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วที่องค์การเรียงตัวของเส้นใยแก้วที่ต่างกันควรได้รับการศึกษาเพิ่มเติมเนื่องจากองค์การเรียงตัวของเส้นใยแก้วอาจส่งผลกระทบต่อความหยาบผิวของพลาสติกเสริมแรงด้วย



รายการอ้างอิง

- Adam Khan, M., & Senthil Kumar, A. (2011). Machinability of glass fibre reinforced plastic (GFRP) composite using alumina-based ceramic cutting tools. **Journal of Manufacturing Processes**, 13(1), 67-73.
- Ahmed, L. S., & Kumar, M. P. (2016). Cryogenic Drilling of Ti-6Al-4V Alloy Under Liquid Nitrogen Cooling. **Materials and Manufacturing Processes**, 31(7), 951-959.
- Akıncıoğlu, S., Gökkaya, H., & Uygur, İ. (2016). The effects of cryogenic-treated carbide tools on tool wear and surface roughness of turning of Hastelloy C22 based on Taguchi method. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**. 82(1-4). 303-314.
- Altın Karataş, M., & Gökkaya, H. (2018). A review on machinability of carbon fiber reinforced polymer (CFRP) and glass fiber reinforced polymer (GFRP) composite materials. **Defence Technology**, 14(4), 318-326.
- Aramcharoen, A. (2016). Influence of Cryogenic Cooling on Tool Wear and Chip Formation in Turning of Titanium Alloy. **Procedia CIRP**, 46, 83-86.
- Azmi, A. I., Lin, R. J. T., & Bhattacharyya, D. (2013). Tool wear prediction models during end milling of glass fibre-reinforced polymer composites. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 67(1-4), 701-718.
- Azmi, A. I. (2015). Monitoring of tool wear using measured machining forces and neuro-fuzzy modelling approaches during machining of GFRP composites. **Advances in Engineering Software**, 82, 53-64.
- Birmingham M.J., Kirsch J., Sun S., Palanisamy S., Dargusch M.S. (2011). New observations on tool life, cutting forces and chip morphology in cryogenic machining Ti-6Al-4V, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**. 51. 500-511.
- Byrne, G., & Scholta, E. (1993). Environmentally clean machining processes-a strategic approach. **CIRP annals**, 42(1), 471-474.

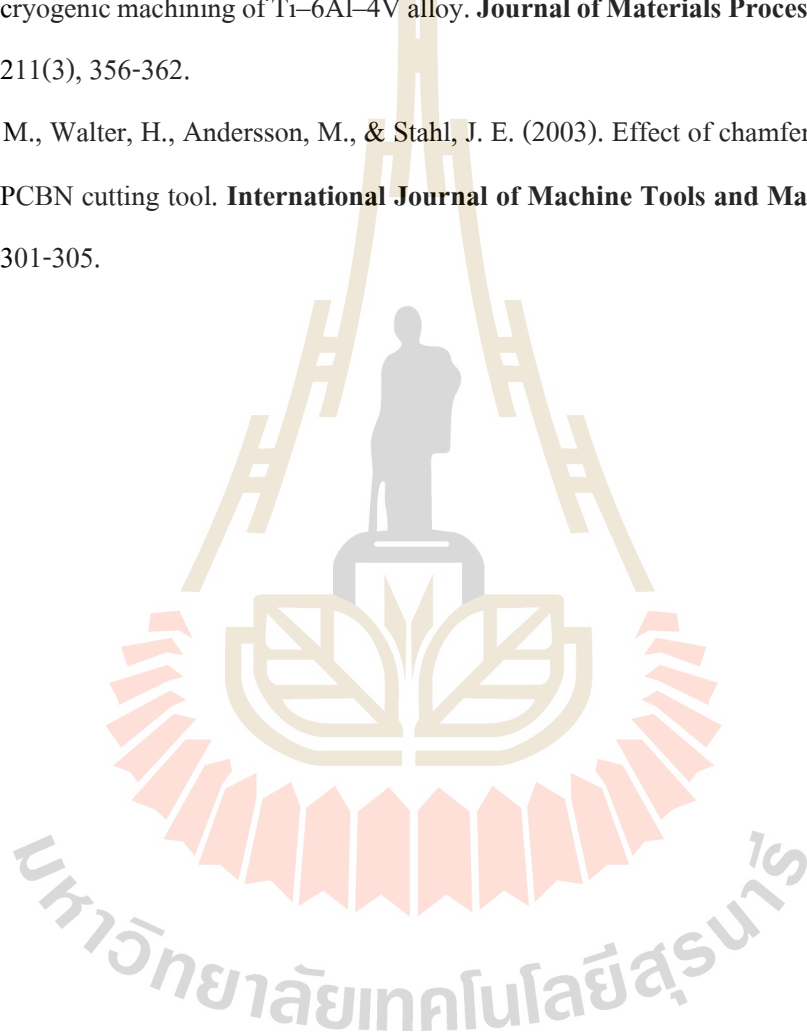
- Davim, J. P., & Mata, F. (2005). Optimisation of surface roughness on turning fibre-reinforced plastics (FRPs) with diamond cutting tools. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 26(4), 319-323.
- D. Chandramohan and B. Murali. (2014). Machining of Composites-A Review. **Academic Journal of Manufacturing Engineering**. 12 (3).
- Debnath, S., Reddy, M. M., & Yi, Q. (2014). Environmentally friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: A review. **Journal of Cleaner Production**, 83, 33-47.
- Dearnley, P. (1985). A metallurgical evaluation of tool wear and chip formation when machining pearlitic grey cast irons with dissimilar graphite morphologies. **Wear**, 101, 33-68.
- Firouzdor, V., Nejati, E., & Khomamizadeh, F. (2008). Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance and tool life of M2 HSS drill. **Journal of Materials Processing Technology**, 206, 467-472.
- Garg, G., & Sangwan, K. S. (2014). Prediction and optimization of machining parameters for minimizing power consumption and surface roughness in machining. **Journal of Cleaner Production**. 83, 151-164.
- Gill, S. S., Singh, J., Singh, H., & Singh, R. (2011). Investigation on wear behaviour of cryogenically treated TiAlN coated tungsten carbide inserts in turning. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 51(1), 25-33.
- Gupta, V., Yadav, S. K., Alanzi, T., Amer, I., Salah, M., & Ahmed, M. (2016). Grafted tubularised incised-plate urethroplasty: An objective assessment of outcome with lessons learnt from surgical experience with 263 cases. **Arab Journal of Urology**, 14(4), 299-304.
- Hong, S. Y., & Ding, Y. (2001). Cooling approaches and cutting temperatures in cryogenic machining of Ti-6Al-4V. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 41(10), 1417-1437.
- Hong, S. Y., & Ding, Y. (2001). Cooling approaches and cutting temperatures in cryogenic machining of Ti-6Al-4V. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 41(10), 1417-1437.

- Hussain S.A., Pandurangadu V. and Palanikumar K. (2010). Surface roughness analysis in machining of GFRP composite by carbide tool (K20). **European Journal of Scientific Research**, 41(1), 84-98.
- International Organization for Standardization. **ISO 3685:1993 Tool-life testing with single-point turning tools**. Available from <https://www.iso.org>. May 29, 2021.
- Kalsi, N. S., Sehgal, R., & Sharma, V. S. (2014). Effect of tempering after cryogenic treatment of tungsten carbide–cobalt bounded inserts. **Bulletin of Materials Science**, 37(2), 327-335.
- Karadzic, I., Masui, A., & Fujiwara, N. (2004). Purification and characterization of a protease from *Pseudomonas aeruginosa* grown in cutting oil. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, 98(3), 145-152.
- Kaynak, Y., & Gharibi, A. (2018). Progressive Tool Wear in Cryogenic Machining: The Effect of Liquid Nitrogen and Carbon Dioxide. **Journal of Manufacturing and Materials Processing**, 2(2), 31.
- K. D. Timmerhaus and R. P. Reed. (2007). Cryogenic engineering: fifty years of progress. **Springer Science & Business Media**.
- Khanna, N., Agrawal, C., Pimenov, D. Y., Singla, A. K., Machado, A. R., da Silva, L. R. R., . . . Krolczyk, G. M. (2021). Review on design and development of cryogenic machining setups for heat resistant alloys and composites. **Journal of Manufacturing Processes**. 68. 398-422.
- Khan, M.A., Kumar, A.S., Kumaran, S.T., Uthayakumar, M. and Ko, T.J., 2019. Effect of tool wear on machining GFRP and AISI D2 steel using alumina-based ceramic cutting tools. **Silicon**, 11(1), 153-158.
- Khan, M. A., Kumar, A. S., & Poomari, A. (2012). A hybrid algorithm to optimize cutting parameter for machining GFRP composite using alumina cutting tools. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 59(9), 1047-1056.
- Kennametal. (2021). **Product Kennametal**. Available from <https://www.kennametal.com>. May 29, 2021.

- Koenig, W., Wulf, C., Grass, P., & Willerscheid, H. (1985). Machining of fibre reinforced plastics. **CIRP Annals**, 34(2), 537-548.
- Kumar, D., & Singh, K. K. (2015). An approach towards damage free machining of CFRP and GFRP composite material: a review. **Advanced Composite Materials**, 24(1), 49-63.
- L. Bouzid, S. Berkani, M.A. Yallese, F. Girardin, T. Mabrouki. (2018). Estimation and optimization of flank wear and tool lifespan in finish turning of AISI 304 stainless steel using desirability function approach, **International Journal of Industrial Engineering Computations**, 9. 349-368.
- Musfirah, A. H., Ghani, J. A., & Haron, C. H. C. (2017). Tool wear and surface integrity of inconel 718 in dry and cryogenic coolant at high cutting speed. **Wear**, 376-377, 125-133.
- Parida, A. k., Das, R., Sahoo, A. K., & Routara, B. C. (2014). Optimization of Cutting Parameters for Surface Roughness in Machining of GFRP Composites with Graphite/fly Ash Filler. **Procedia Materials Science**, 6, 1533-1538.
- Palanikumar, K., & Paulo Davim, J. (2007). Mathematical model to predict tool wear on the machining of glass fibre reinforced plastic composites. **Materials & Design**, 28(7), 2008-2014.
- Palanikumar, K., & Davim, J. P. (2009). Assessment of some factors influencing tool wear on the machining of glass fibre-reinforced plastics by coated cemented carbide tools. **Journal of materials processing technology**, 209(1), 511-519.
- Palanikumar, K. (2006). Cutting Parameters Optimization for Surface Roughness in Machining of GFRP Composites using Taguchi's Method. **Journal of reinforced plastics and composites**. 25. 1739-1751.
- P. HV and D. Girish. (2012). Effect of Deep Cryogenic Treatment on Microstructure, Mechanical and Fracture Properties of Aluminium-Al₂O₃ Metal Matrix Composites. **Journal of Engineering Research and Studies**. 3. pp. 105-107.
- Poapongsakorn, P., Wiangkham, A., Aengchuan, P., Noraphaiphaksa, N., & Kanchanomai, C. (2020). Time-dependent fracture of epoxy resin under mixed-mode I/III loading. **Theoretical and Applied Fracture Mechanics**, 106, 102445.

- S. A. Hussain, V. Pandurangadu, and K. P. Kumar. (2014). Optimization of surface roughness in turning of GFRP composites using genetic algorithm. **Int. J. Eng. Sci. Technol.**, 6(1). 49-57.
- Santhanakrishnan, G., Krishnamurthy, R., & Malhotra, S. K. (1988). Machinability characteristics of fibre reinforced plastics composites. **Journal of Mechanical Working Technology**, 17, 195-204.
- Sakuma, K., & Seto, M. (1983). Tool Wear in Cutting Glass-fiber-reinforced Plastics : The Relation between Fiber Orientation and Tool Wear. **Bulletin of JSME**, 26(218), 1420-1427.
- Sharma, S., Tamang, S., Devarasiddappa, D., & Chandrasekran, M. (2014). Fuzzy Logic Modeling and Multiple Performance Optimization in Turning GFRP Composites Using Desirability Function Analysis. **Procedia Materials Science**, 6.
- Sharif, N., Pervaiz, S., & Deiab, I. (2017). Potential of alternative lubrication strategies for metal cutting processes: a review. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 89.
- Sivaiah, P., & Bodicherla, U. (2020). Effect of Surface Texture Tools and Minimum Quantity Lubrication (MQL) on tool Wear and Surface Roughness in CNC Turning of AISI 52100 Steel. **Journal of The Institution of Engineers (India): Series C**, 101(1), 85-95.
- S. Jasper, B. Stalin and M. Ravichandran. (2018). Experimental investigation and Taguchi optimization of turning process parameters for glass fiber reinforced plastics (GFRP). **International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration**. 5(47). pp. 394-399.
- Stefánsson, T. (2014). **Application of Cryogenic Coolants in Machining Processes : State-of-the-art Literature Study and Experimental Work on Metal Matrix Composite**.
- Sutherland, J. W., Kulur, V. N., King, N. C., & Von Turkovich, B. F. (2000). An experimental investigation of air quality in wet and dry turning. **Cirp Annals**, 49(1), 61-64.
- Tapoglou, N., Lopez, M., Cook, I., & Taylor, C. (2017). Investigation of the Influence of CO₂ Cryogenic Coolant Application on Tool Wear. **Procedia CIRP**, 63, 745-749.

- Veiga, C., Davim, J., & Loureiro, A. (2013). Review on machinability of titanium alloys: The process perspective. **Reviews on Advanced Materials Science**, 34, 148-164.
- Yildiz, Y., & Nalbant, M. (2008). A review of cryogenic cooling in machining processes. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 48, 947-964.
- Yuan, S. M., Yan, L. T., Liu, W. D., & Liu, Q. (2011). Effects of cooling air temperature on cryogenic machining of Ti-6Al-4V alloy. **Journal of Materials Processing Technology**, 211(3), 356-362.
- Zhou, J. M., Walter, H., Andersson, M., & Stahl, J. E. (2003). Effect of chamfer angle on wear of PCBN cutting tool. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 43(3), 301-305.





ภาคผนวก ก

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Amarin Chanpariyavatevonga and Wanwanut Boongsood "Tool Wear Characteristics of TiCN/Al₂O₃ Coated Carbide Inserts while Turning Glass Fiber Reinforced Epoxy Resin under Cryogenic Cooling", 2nd International Conference on Engineering Materials. Chengdu, China, 25-27 December 2020.



Tool Wear Characteristics of TiCN/Al₂O₃ Coated Carbide Inserts while Turning Glass Fiber Reinforced Epoxy Resin under Cryogenic Cooling

Amarin Chanpariyavatevong^a and Wanwanut Boongsod^{b,*}

School of Manufacturing Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand

^aAmarin_chan@outlook.com, ^{b,*}wanwanut@sut.ac.th

Keywords: Cryogenics, Tool wear, GFRP, Machining

Abstract. The main issue in machining glass fiber reinforced polymers is a rapid wearing of the cutting tool caused by the superior properties of the fiber reinforcement within the matrix. Cooling in machining processes reduces tool wear and extends tool life. Cryogenic cooling is an alternative method for effective, environmentally friendly, clean and safe cooling. This paper studied the tool wear characteristics of carbide inserts coated with TiCN and Al₂O₃ in turning glass fiber reinforced epoxy resin pipe. The cutting parameters were various, with cutting speed, feed rate, depth of cut and cutting conditions (without cooling and with cryogenic cooling). Not all cutting speeds that were cooled under cryogenics showed good outcomes. However, the experimental results suggest that using high cutting speed at 1800 rpm and high feed rate at 0.13 mm/rev, together with cryogenic cooling, can reduce the flank wear of the tool compared with no cooling.

Introduction

Nowadays, composite materials are well-known and are being used instead of metal [1]. Glass fiber reinforced polymer (GFRP) is a composite material that consists of two compositions: polymer – matrix material, and fiber – reinforcing material. It is known that GFRP has excellent mechanical properties such as high tensile strength, corrosion-resistance and is lightweight. Due to the outstanding mechanical properties of GFRP, it is recognized and used in engineering applications and various industries such as the maritime, aviation and automotive industries, and also for audio and sports equipment.

However, before using GFRP in many applications, GFRP needs to go through conventional machine processes [2]. It is often found that machining GFRP causes rapid cutting tool wear [3]. Santhanakrishnam et al. [4] investigated the machinability of GFRP using E-glass fibers in face turning with carbide inserts. They concluded that after the process of machining GFRP, cutting tools showed flank wear. Sakuma and Seto [5] investigated the machining of GFRP containing 30° fibers (right-hand-winding or left-hand-winding). Various cutting tools for such materials as cemented carbide, white ceramic and black ceramic were tested and it was found that left-hand-wound affected tool wear more than right-hand-wound. Therefore, tool wear is an important parameter that affects the quality of the surface after machining, which can result in increased production cost and power consumption of machinery [6].

In order to reduce tool wear and increase tool life, cooling is an alternative way to decrease tool wear during machining [7]. Unfortunately, cooling using a cutting fluid such as oil cooling has a negative effect on health and the environment. According to a research study by Karadzic et al. [8] *Pseudomonas* bacteria can survive in oil cutting fluid and surface-active agents, although the cutting fluid has a pH higher than 10. In addition, when using cutting fluid, it may cause bacteria to disseminate around the working areas [9]. Importantly, the International Agency for Research on Cancer (IARC) classifies oil coolants as carcinogens. Sutherland et al. [10] measured particle sizes and mass concentration to investigate the vaporization and atomization of cutting fluid in the turning process. It was found that there was 12-80 times more dust generated when machining with the use of cooling than in the process of dry machining, and the sizes of particles found in dry conditions and the cooling state are 1-4 (µm) and 1 (µm), respectively.

However, there is a procedure that helps decrease the temperature of the workpiece during cutting processes, called cryogenic cooling. Cryogenic cooling, according to its scientific context, is the study of events or phenomena with temperatures of -153°C or lower [11]. In order to make the event mentioned above arise, chemicals such as liquid nitrogen, helium, carbon dioxide and argon can be used in the process of cryogenic cooling. For the machining process under cryogenic conditions, liquid nitrogen is often utilized [12] because using liquid nitrogen is an eco-friendly alternative way to reduce the temperature. During practice, liquid nitrogen will harmlessly evaporate into the air because, in the atmosphere, there is nitrogen gas with an inert gas status at 78% [13]. Therefore, cryogenics is considered as a promising alternative way of cooling during machining because it is safe and environmentally friendly [14]. Moreover, the advantages of cryogenic cooling over oil cooling are temperature reduction, non-contaminated, and less accumulation of bacteria. [7, 15, 16].

Cryogenic cooling has been researched in many works. Hong and Ding [15] investigated tool wear in turning Ti-6Al-4V with a carbide insert cutting tool under cryogenics and without cooling, and it was found that under the cryogenic condition the tool wore four times less than without cooling. Besides, Bermingham et al. [16] explained that cryogenic cooling could reduce tool wear when compared to non-cooling states because the liquid nitrogen used as the cutting fluid in the cryogenic process is able to reduce the abrasion rate between workpiece and cutting tool.

On the contrary, Gill et al. [17] found problems with using cryogenic cooling. They machined hot rolled annealed steel stock with coated carbide inserts that were treated with cryogenic cooling treatments: shallow cryogenic, deep cryogenic, and non-cryogenic treatments. They found that the coated carbide inserts undergoing deep cryogenic treatment had more tool wear than the shallow cryogenic treatment. Furthermore, Bryson [18] mentioned that under certain conditions, cryogenic treatment might reduce the tool wear of carbide inserts, or have no effect in reducing tool wear. However, studies of other researchers [5, 19, 20] have claimed that fiber reinforcement inside the matrix materials is the cause of rapid tool wear and cryogenic cooling is a method that reduces tool wear which is clean and safe for operators and the environment.

Since using cryogenic cooling seems promising and not many researches on turning GFRP with TiCN/Al₂O₃ coated carbide inserts under cryogenic cooling have been studied. Therefore, the purpose of this paper is to present the study on the tool wear characteristics in turning GFRP with coated carbide inserts under different machining parameters such as cutting speed, feed rate, depth of cutting, and cutting condition.

Material and Methods

Epoxy Resin is classified into the group of thermosetting polymers that have excellent mechanical properties, thermal properties and high corrosion resistance. For such reasons, epoxy resin is very popular and widely used in industrial and engineering applications such as automotive, pressure piping and matrices for fiber reinforced composites [21]. However, applications for epoxy resin may have some restrictions, because their properties are not suitable. Epoxy resin mixed with fiber reinforcement improves material properties with high tensile strength, high chemical resistance and excellent insulating properties [22]. Generally, there are two main types of fiber used in industry: E-glass and S-glass. However, E-glass is more often used due to there being a commercially available product and it having a lower cost [23]. Therefore, this research focuses on investigating GFRP consisting of the epoxy resin matrix reinforced with E-glass fiber.

GFRP pipes manufactured by the filament winding process (Fig. 1) were used in the experiment. The measurements of GFRP pipes are 50-mm in outer diameter, 25-mm in inner diameter, and 500-mm in length Fig. 2 The pipes had two components which were epoxy resin matrix and the type of glass fiber used in this study, E-glass, as shown in Table 1.

The experiment was carried out with the turning process by a Full Mark lathe model FLM-430X1000 with a maximum cutting speed of 1800 rpm. The cutting tool was carbide inserts, with the coating layer consisting of layers of Titanium Carbide Nitride (TiCN) and Aluminum Oxide (Al₂O₃).

We investigated the turning of 500 mm in length under different cutting parameters based on the modification of previous study [21]: turning at 885, 1239 and 1800 rpm, with feed rates of 0.07, 0.1

and 0.13 mm/rev, the depth of cut kept constant at 2 mm, and cutting environments without cooling and under cryogenic conditions. Turning at extremely low temperature was done by spraying liquid nitrogen to the cutting area. The machining parameters and procedure of the experiment is shown in Table 2 and 3. After the final process, the tool was observed for flank wear following ISO 3685-1993 using a light microscope with x5 magnification and a scanning electron microscope.

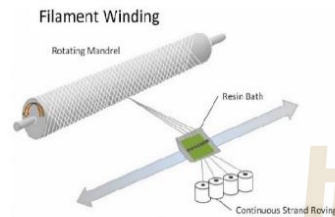


Figure 1. Filament winding.



Figure 2. GFRP pipe.

Table 1. Specification of fiber and epoxy resin.

Reinforcement: Fiber	Plastic: Epoxy resin
Product: Direct roving 386	Product: Epotec YD 128-TH 7687
Type of fiber: E-type	Hardener: Epotec TH 7687
Linear mass density: 1200 Tex	
Filament diameter: 17 (μm)	

Table 2. Machining parameters.

	Low	Medium	High
Cutting speed (rpm)	885	1239	1800
Feed rate (mm/rev)	0.07	0.10	0.13
Depth of cut (mm)	2	2	2
Cutting condition	No cooling	-	Cryogenic cooling

Results and Discussion

From the experimental results for turning GFRP pipes under cryogenic conditions and without cooling fluid, using coated carbide inserts, the chip character is discontinuous with powder-like particles, which is different to metal machining [24]. The coated carbide inserts used in the experiment showed wear in the flank face area, as seen in Fig. 3 and Fig. 4. The experiment was conducted using coated carbide inserts coated by a chemical vapor deposition method, the coating included two layers, namely TiCN and Al_2O_3 . From Fig. 5, it can be observed that tool wear of cutting inserts in both conditions tends to rise with increasing cutting speed. As seen in Fig. 6, the feed rate is another factor that can affect tool wear. When increasing the feed rate, tool wear of cutting tools also increases. Therefore, from the preceding, it can be concluded that the increase of cutting speeds and feed rates increases tool wear rates, as shown in Table 3.

For cutting at 1800 rpm, there was a remarkable increment in tool wear when compared to the other cutting speeds, which can be seen in Fig. 3c. When both Al_2O_3 and TiCN coating layers were eliminated from the tooltip, the insert had no remaining coating layer, causing the fiber-reinforcement in the GFRP to interact directly with the carbide substrate. Therefore, the tool wore rapidly. Fortunately, at the same speed, cutting inserts under cryogenic conditions had tool wear rates lower than without cooling. This can be explained since when carbide substrate is exposed to the low temperature of the liquid nitrogen, it causes physical changes in which carbides increase their hardness and are more resistant to wear [25]. Moreover, the microstructure of the carbide cutting tools consists of tungsten carbide grains and cobalt grains. From the microstructure, it can be explained

that when cryogenics are processed, tungsten carbide grains are subjected to compression stress, and cobalt grains are treated with tensile stress [26].

However, when cutting at 885 rpm, it can be observed that the cutting inserts under cryogenic conditions had more tool wear than without cooling. Fig. 4a shows that the Al_2O_3 coating has a different wear pattern from cutting tools without cooling in Fig. 5a. As with the result in Fig. 7, it appears that there are cracks in the Al_2O_3 coating layer, which was caused by the excessive coldness of the liquid nitrogen contacting the coating. Since the temperature affects the fracture behavior of the material, when the temperature decreases, it causes sticky fracture behavior and becomes fragile. In the material has a fragile behavior, it will show more brittle fracture behavior. Panchakshari and Girish [27] investigated the effects of microstructures and microhardness of Al 6061 alloy and Al- Al_2O_3 matrix composites after cryogenic treatments of different durations. They reported an escalation in microhardness in Al 6061 alloy and Al- Al_2O_3 matrix material composite. Moreover, they found a relationship between Al- Al_2O_3 and microhardness. While the treatment duration was the same and the percentage of Al_2O_3 increased, it resulted in higher microhardness.

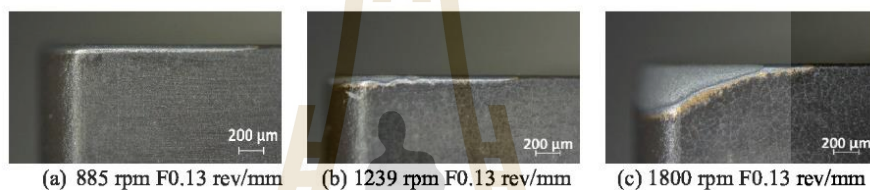


Figure 3. Tool wear with no cooling.



Figure 4. Tool wear under cryogenic.

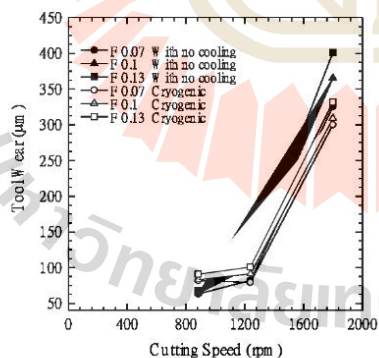


Figure 5. Relationship between tool wear and cutting speed.

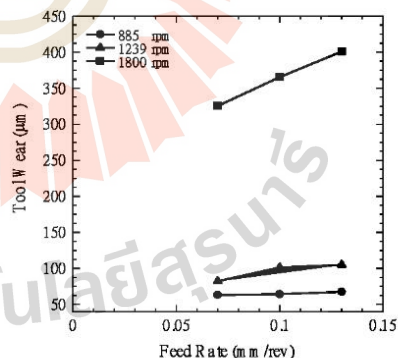


Figure 6. Relationship between tool wear and feed rate.

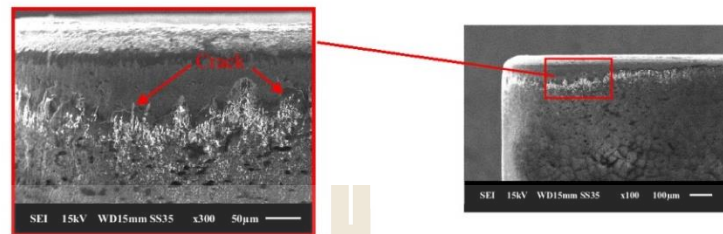


Figure 7. SEM images of tool wear at 885 rpm F0.13 rev/mm under cryogenic condition.

Table 3. Tool wear of TiCN/Al₂O₃ coated carbide inserts.

No	Cutting speed (rpm)	Feed rate (mm/rev)	Cutting condition	Tool wear (µm)
1	885	0.07	No cooling	63.217
2	885	0.10	No cooling	64.257
3	885	0.13	No cooling	67.539
4	1239	0.07	No cooling	82.184
5	1239	0.10	No cooling	101.254
6	1239	0.13	No cooling	105.019
7	1800	0.07	No cooling	325.366
8	1800	0.10	No cooling	365.366
9	1800	0.13	No cooling	400.860
10	885	0.07	Cryogenic	81.957
11	885	0.10	Cryogenic	83.116
12	885	0.13	Cryogenic	90.784
13	1239	0.07	Cryogenic	79.375
14	1239	0.10	Cryogenic	91.548
15	1239	0.13	Cryogenic	100.784
16	1800	0.07	Cryogenic	300.125
17	1800	0.10	Cryogenic	309.038
18	1800	0.13	Cryogenic	331.502

Summary

From the experiment on machining GFRP pipes under cryogenic conditions with liquid nitrogen and without cooling, with carbide coated inserts, it was found that tool wear increased with higher cutting speed and feed rate. The tool wore rapidly at 1800 rpm. In the part of cryogenic conditions reached using liquid nitrogen when compared to without cooling, it was found that at 885 rpm, a cutting tool under cryogenic cooling had more tool wear than without cooling. On the other hand, at a cutting speed of 1800 rpm, when comparing with cryogenic conditions and without cooling, it was found that the cutting tool under cryogenic conditions had less tool wear than without cooling. Therefore, we conclude that turning GFRP under cryogenic conditions with coated carbide inserts is appropriate when using high cutting speeds and feed rates. For the future works, the surface roughness of GFRP, other cryogenic methods, tribology between the cutting tool and GFRP should be studied.

References

- [1] A. K. Parida, R. Das, A. Sahoo, and B. Routara. *Optimization of cutting parameters for surface roughness in machining of GFRP composites with graphite/fly ash filler*. in *Procedia Materials Science*. 2014.
- [2] S. Sharma, S. Tamang, D. Devarasiddappa, and M. Chandrasekran. *Fuzzy logic modeling and multiple performance optimization in turning GFRP composites using desirability function analysis*. in *Procedia materials science*. 2014.
- [3] J. P. Davim and F. Mata: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 26 (2005), p. 319-323.
- [4] G. Santhanakrishnan, R. Krishnamurthy, and S. Malhotra: *Journal of Mechanical Working Technology*. Vol. 17 (1988), p. 195-204.
- [5] K. Sakuma and M. Seto: *Bulletin of JSME*. Vol. 26 (1983), p. 1420-1427.
- [6] J. Zhou, H. Walter, M. Andersson, and J. Stahl: *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. Vol. 43 (2003), p. 301-305.
- [7] N. Dhar, M. Kamruzzaman, and M. Ahmed: *Journal of materials processing technology*. Vol. 172 (2006), p. 299-304.
- [8] I. Karadzic, A. Masui, and N. Fujiwara: *Journal of bioscience and bioengineering*. Vol. 98 (2004), p. 145-152.
- [9] M. N. Sharif, S. Pervaiz, and I. Dejiab: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 89 (2017), p. 2447-2479.
- [10] J. Sutherland, V. Kulur, N. King, and B. Von Turkovich: *CIRP Annals*. Vol. 49 (2000), p. 61-64.
- [11] K. D. Timmerhaus and R. P. Reed: *Cryogenic engineering: fifty years of progress*. Springer Science & Business Media. (2007)
- [12] T. Stefánsson: *Application of Cryogenic Coolants in Machining Processes: State-of-the-art Literature Study and Experimental Work on Metal Matrix Composite*. (2014)
- [13] S. Debnath, M. M. Reddy, and Q. S. Yi: *Journal of cleaner production*. Vol. 83 (2014), p. 33-47.
- [14] C. Veiga, J. Davim, and A. Loureiro: *Rev. Adv. Mater. Sci*. Vol. 34 (2013), p. 148-164.
- [15] S. Y. Hong and Y. Ding: *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. Vol. 41 (2001), p. 1417-1437.
- [16] M. Bermingham, J. Kirsch, S. Sun, S. Palanisamy, and M. Dargusch: *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. Vol. 51 (2011), p. 500-511.
- [17] S. S. Gill, J. Singh, H. Singh, and R. Singh: *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. Vol. 51 (2011), p. 25-33.
- [18] W. E. Bryson: *Cryogenics*. Hanser Gardner Publications. p. 81-107.(1999)
- [19] S. A. Hussain, V. Pandurangadu, and K. Palanikumar: *European journal of scientific research*. Vol. 41 (2010), p. 84-98.
- [20] M. A. Khan, A. S. Kumar, S. T. Kumaran, M. Uthayakumar, and T. J. Ko: *Silicon*. Vol. 11 (2019), p. 153-158.
- [21] H. F. Mark: *Encyclopedia of polymer science and technology, concise*. John Wiley & Sons.(2013)
- [22] W. K. Goertzen and M. Kessler: *Composites Part B: Engineering*. Vol. 38 (2007), p. 1-9.

-
- [23] N. Hameed, P. Sreekumar, B. Francis, W. Yang, and S. Thomas: Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol. 38 (2007), p. 2422-2432.
- [24] W. Koenig, C. Wulf, P. Grass, and H. Willerscheid: CIRP Annals, Vol. 34 (1985), p. 537-548.
- [25] N. S. Kalsi, R. Sehgal, and V. S. Sharma: Bulletin of Materials Science, Vol. 37 (2014), p. 327-335.
- [26] A. Sert and O. N. Celik: Materials Characterization, Vol. 150 (2019), p. 1-7.
- [27] P. HV and D. Girish: Journal of Engineering Research and Studies, Vol. 3 (2012), p. 105-107.



ประวัติผู้เขียน

นายอมรินทร์ ชาญปริยวาทีวงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 15 มกราคม พ.ศ. 2538 เกิด ณ อำเภอเมือง นครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา เริ่มการศึกษาในระดับประถมศึกษาชั้นปีที่ 1-6 ณ โรงเรียน อัสสัมชัญ จังหวัดนครราชสีมา ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ณ โรงเรียนอัสสัมชัญ จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต เมื่อปี พ.ศ. 2560 จากนั้นได้ศึกษาต่อ ระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ ณ สถาบันการศึกษาเดิม

ประสบการณ์การทำงาน

- สหกิจศึกษา ณ บริษัท สี่มาเทคโนโลยี จำกัด จังหวัดนครราชสีมา (ระยะเวลา 4 เดือน)
- ปฏิบัติงานตำแหน่งผู้ช่วยสอนและวิจัย สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา (ระยะเวลา 2 ปี พ.ศ. 2561-2564)

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้นำความรู้ ความเข้าใจในด้านการสึกหรอของเครื่องมือตัดไปนำเสนอผลงานทางวิชาการในหัวข้อ Tool Wear Characteristics of TiCN/Al₂O₃ Coated Carbide Inserts while Turning Glass Fiber Reinforced Epoxy Resin under Cryogenic Cooling ในการสัมมนาวิชาการ International Conference on Engineering Materials ครั้งที่ 2 เมื่อวันที่ 25-27 ธันวาคม พ.ศ.2563 ณ มณฑลเหิงตู สาธารณรัฐประชาชนจีน (นำเสนอแบบทางไกล)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี