

ST-024

การศึกษารูปแบบการสึกหรอของเครื่องมือตัดเอ็นมิลล์ชนิดเคลือบผิว TiCN ในกระบวนการกัด โลหะแบบแห้ง

A Study of Tool Wear of End Mill TiCN Coated in Dry Condition in Metal Milling Process

ธนศ ตาปราบ^{1,*}, ตั้งเฮง ยนต์สถิตย์กุล², สมเดช อิงคะวะระ³ และ อุกฤษฏ์ ธนทรัพย์ทวี⁴

Thanet Taprap^{1,*}, Tangheng Yonsathitkun², Somdech Ingkawara² and Ukrit Thanasuptawe³

^{1,2}สาขาวิชาวิศวกรรมยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีพนมวัน

³สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

⁴สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

^{1,2}Automotive Engineering Faculty of Engineering Phnomwan College of Technology

³Industrial Engineering Faculty of Engineering Pathumwan Institute of Technology

⁴Industrial Engineering Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Lanna (Tak Campus)

Corresponding author's e-mail: thanet_ame-sut@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการสึกหรอของเครื่องมือตัดเอ็นมิลล์ชนิดเคลือบผิว TiCN ในกระบวนการกัดโลหะแบบแห้ง เครื่องกัดอัตโนมัติแบบ 3 แกนถูกนำมาใช้ร่วมกับเครื่องมือตัดเอ็นมิลล์เคลือบผิวด้วย TiCN แบบ 4 คมตัด ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ในการกัดวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางเกรด ANSI 1050 โดยปราศจากน้ำหล่อเย็น รูปแบบการสึกหรอของเครื่องมือตัดเอ็นมิลล์เคลือบผิวด้วย TiCN จะเกิดขึ้นบริเวณ พื้นผิวด้านข้าง ในลักษณะ การสึกหรอตามแนวข้าง และการสึกหรอบริเวณมุม โดยค่าเฉลี่ยการสึกหรอของ การสึกหรอตามแนวข้าง จะมีค่าน้อยกว่า การสึกหรอบริเวณมุม ในทุก ๆ ระดับการตัดเอ็นมิลล์ เมื่อศึกษาความสัมพันธ์รูปแบบการสึกหรอทั้งสองแบบ การสึกหรอตามแนวข้าง และการสึกหรอบริเวณมุม พบว่า ที่ระดับพบว่ารูปแบบการสึกหรอทั้งสองแบบมีความสัมพันธ์กัน อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแนวโน้มการสึกหรอจะลดลงเมื่อลดความเร็วรอบลดลงจาก 1,250 รอบต่อนาที เป็น 600 รอบต่อนาที อย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: เครื่องจักรซีเอ็นซี, รูปแบบการสึกหรอ, เครื่องมือตัดเอ็นมิลล์ชนิดเคลือบผิว TiCN

ABSTRACT

The objective of this research is to study the wear pattern of TiCN coated end mill cutting tools in a dry metal milling process. A 3-axis automatic mill is used with a 10 mm diameter TiCN-coated 4-edged end mill. Milling of medium carbon steel grade ANSI 1050 without coolant, the wear patterns of the cutting tools were observed using a light microscope at a magnification of 5 times. The analysis revealed that the wear of the TiCN coated end mills occurred on the tool flank surface in the form of flank wear and corner wear. At all cutting levels, when studying the relationship between the two wear patterns, flank wear and corner wear, it was found that at the found level, the two wear patterns were significantly which the wear trend decreased when decreasing the speed (S) from 1,250 rpm to 600 rpm Significantly.

Keywords: CNC machine, Tool wear pattern, TiCN coated end mill cutting tools

บทนำ

ปัจจุบันกระบวนการกัดขึ้นรูป เป็นกระบวนการตัดเฉือนวัสดุอีกหนึ่งวิธีการที่นิยมใช้ในการกัดขึ้นรูป นับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องทางด้านเทคโนโลยีการผลิตและการพัฒนาด้านบุคลากรของอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ เช่นการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ แม่พิมพ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติก รวมไปถึงการผลิตเครื่องมือทางการแพทย์ ซึ่งปฏิเสธไม่ได้ว่าอุตสาหกรรมเหล่านี้มีส่วนสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ

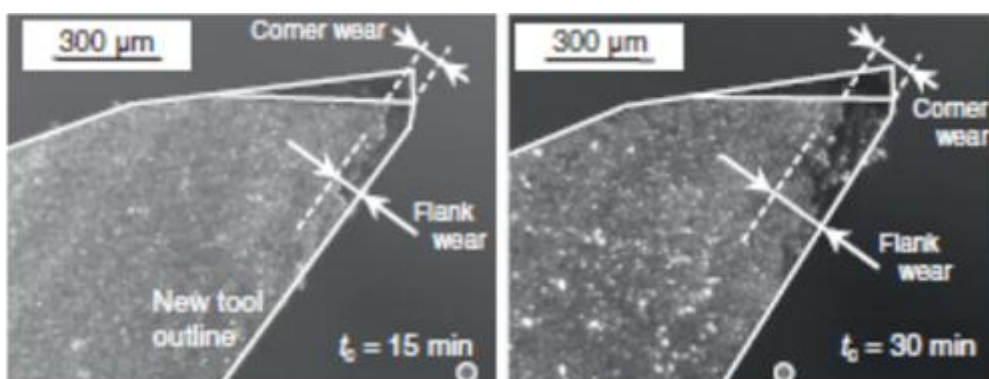
การสึกหรอของเครื่องมือตัดเฉือนคือการเปลี่ยนรูปร่างของเครื่องมือตัดเฉือนจากรูปร่างเดิม เกิดการสูญเสียเนื้อของวัสดุ และยังส่งผลต่อประสิทธิภาพในกระบวนการตัดเฉือน และอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดเฉือน รูปแบบการสึกหรอของการวัดการสึกหรอของเครื่องมือตัดเฉือนสามารถจำแนกวิธีการวัดออกเป็น 2 รูปแบบใหญ่ๆได้แก่ การวัดทางตรง และการวัดทางอ้อม วิธีการวัดทางตรงจะวัดที่ขอบคมตัดของเครื่องมือตัดเฉือนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope) และแมชชีนวิชัน (Machine Vision) และวิธีการวัดทางอ้อมจะวัดระดับการสึกของเครื่องมือตัดเฉือนด้วยการประมวลผลจากสัญญาณที่วัดได้จากกระบวนการตัดเฉือน อาทิเช่น การวัดแรง การวัดแรงบิดของสปินเดิล (Spindle) ที่เกิดขึ้นจากการตัดเฉือนเป็นต้น (Ali Abbar Khleif et al.,2015)

สาเหตุการสึกหรอของเครื่องมือตัดเฉือนขึ้นกับเงื่อนไขการตัดเฉือน ขึ้นงาน วัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือ รวมถึงรูปร่างรูปทรงของเครื่องมือตัดเฉือน ในกรณีการสึกหรอของเครื่องมือตัดเฉือนที่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการตัด (Cutting Condition) จะประกอบไปด้วยความเร็วในการตัด (Cutting speed: V) และความหนาของเศษตัด

บางครั้งอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดเฉือนอาจลดลงอย่างรวดเร็วถ้ามีการเพิ่มระยะการป้อนลึก (Depth of cut) โดยใช้ความเร็วในการตัดเฉือนที่ต่ำซึ่งจะทำให้อัตราการคายเศษตัด (Chip) ต่ำ ซึ่งจะทำให้เครื่องมือตัดเฉือนเกิดการสึกหรอที่บริเวณต่างๆต่อไปนี้ Nose wear เกิดจากการเสียดสีส่งผลให้มุม rake negative เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ความคมของเครื่องมือตัดเฉือนจะหายไป และการสึกหรอแบบ Nose wear จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการตัดที่ใช้ทั้งหมด Flank wear เป็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นจากการขัดถูอย่างรุนแรงของ clearance face เครื่องมือตัดเฉือนกับพื้นผิวที่เกิดขึ้นใหม่ของชิ้นงาน อัตราการสึกหรอจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเข้าสู่สภาวะการสึกหรอคงที่ และจะเกิดขึ้นอีกครั้งเมื่อหมดอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดเฉือนซึ่งนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการตัดเฉือน Crater wear เป็นผลมาจากอุณหภูมิจากการตัดเฉือนและแรงเฉือนที่เพิ่มขึ้นบน rake face เป็นผลกระทบจากการสึกหรอแบบ Crater wear ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Dimla E et al., 1999)

กระบวนการตัดเฉือนภายใต้ภาวะการตัดเฉือนแบบแห้งจำเป็นต้องอาศัยการหล่อเย็นที่ถูกต้องด้วยกฎหมายด้านชีวอนามัยและความปลอดภัย ซึ่งข้อดีของภาวะการตัดเฉือนแบบแห้งเพิ่มอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดเฉือนโดยลดการเกิดเทอร์มอลช็อก (thermal shocks) ที่เกิดขึ้นจากน้ำหล่อเย็น ลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อสารหล่อเย็น ความร้อนของเศษตัด 80-90% จะกระจายตัวไปยังชิ้นงานซึ่งจะทำให้ตัดเฉือนได้ง่ายขึ้น และไม่มีสารตกค้างง่ายต่อกระบวนการทำความสะอาด K. Aruna Prabha et al. (2018).

รูปแบบการสึกหรอของเครื่องมือตัดเฉือนด้วยวิธีวัดแบบทางตรงโดยใช้ optical stereo microscope ในการวัดการสึกหรอของเครื่องมือตัดเฉือนโดยวัด flank wear และ corner wear บนตำแหน่งที่ 2 ของ tool flank surface ขนาดการสึกหรอจะถูกวัดจากเส้นอ้างอิงที่สร้างขึ้นบน tool flank surface เข้าไปหาจุดที่เกิดการสึกหรอมาก (Paolo C. Priarone etc., 2018) และยังพบว่า อัตราการป้อนลึกคือปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่ออายุการใช้งานของเครื่องมือตัดเฉือน (Khairi Yusuf et al., 2010).



ภาพที่ 1 การวัดการสึกหรอของเครื่องมือตัดเฉือนโดยวัด การสึกหรอตามแนวข้าง (flank wear) และ การสึกหรอบริเวณมุม (corner wear) บนตำแหน่งที่ 2 ของพื้นผิวด้านข้างของเครื่องมือตัด (tool flank surface)

(Khairi Yusuf et al., 2010).

วิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลจะสามารถหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสึกหรอของเครื่องมือตัดเฉือนได้ ซึ่ง (สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ และอังศุมนรินทร์ ประภาสพงษ์, 2560) ได้กำหนดปัจจัยในการตัดเฉือน 4 ปัจจัย ได้แก่ อัตราป้อนต่อฟัน, ความเร็วตัดเฉือน, ความลึกของการตัดในแนวรัศมี และความลึกของการตัดในแนวแกน ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลหลักต่อการสึกหรอของเครื่องมือตัดเฉือนคือ อัตราการป้อนลึกในแนวแกนและรัศมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยจึงสนใจจะศึกษารูปแบบการสึกหรอของเครื่องมือตัดเฉือน และหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการสึกหรอของเครื่องมือตัดเฉือน โดยการทดลองนี้จะศึกษาในวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เกรด ANSI 1050 กัดแบบแห้ง วิเคราะห์ด้วยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 23 แฟคทอเรียล การสึกหรอของเครื่องมือตัดเฉือนจะถูกตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงที่มีกำลังขยาย 5 เท่า โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองคือการกำหนดปัจจัยการตัดเฉือนให้เหมาะสมกับกระบวนการตัดเฉือน ซึ่งคาดว่าจะช่วยลดต้นทุนในการผลิต และเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษารูปแบบการสึกหรอของเครื่องมือตัดเอ็นมิลล์ชนิดเคลือบผิว TiCN ในกระบวนการกัดโลหะแบบแห้ง
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของรูปแบบการสึกหรอ

กรอบแนวคิดการวิจัย

1. ตัวแปรควบคุม
 - เครื่องกัดที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ (CNC) แบบ 3 แกน
 - วัสดุทดสอบเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด ANSI 1050 ขนาด 64x64x24 มิลลิเมตร
 - เครื่องมือตัดเฉือนไฮสปีดเอ็นมิลล์ (HSE) แบบ 4 คมตัด ชนิดเคลือบผิว TiCN เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ความยาวคมตัด 24 มิลลิเมตร
 - การตัดเฉือนแบบแห้ง (Dry Cutting Condition)
 - ระยะป้อนลึกในแนวแกน (Axial Depth of Cut : A_p) ที่ระยะ 10 มิลลิเมตร
 - การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^3 แฟคทอเรียล ทำการทดลอง 2 ซ้ำ
 - ความเร็วรอบ (Spindle Speed) 800 และ 1,270 รอบต่อนาที
 - อัตราการป้อน (Feed Rate) 20 และ 60 มิลลิเมตรต่อนาที
 - ระยะป้อนลึกในแนวรัศมี (Radial Depth of Cut : A_e) 2.5 และ 5 มิลลิเมตร

2. ตัวแปรที่ทำการศึกษา

รูปแบบการศึกษหรือที่เกิดขึ้นบน tool flank surface

วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือ อุปกรณ์และวัสดุ

1. เครื่องจักร การปฏิบัติการกัดขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบถูกดำเนินการด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ CNC Vertical Machining Center รุ่น VMC 500-16 เคลื่อนที่แบบ 3 แกน
2. กล้องจุลทรรศน์แบบแสงยี่ห้อ Olympus รุ่น BX51M-BD-Motorized ที่มีกำลังขยาย 5 เท่า
3. เครื่องมือตัดเฉือน ดอกกัดไฮสปีดเอ็นมิล (HSE Co 8%) แบบ 4 คมตัด เคลือบผิวด้วยไทเทเนียมคาร์ไบด์-ไนไตร (TiCN) เส้นผ่านศูนย์กลาง (D) 10 มิลลิเมตร ความยาวคมตัด (l) 25 มิลลิเมตร ความโตด้ามจับ (d) 10 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมด (L) 75 มิลลิเมตร
4. วัสดุทดสอบ เหล็กกล้าคาร์บอน เกรด ANSI 1050 จัดเป็นกลุ่มเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางที่นิยมใช้ในงานผลิตชิ้นส่วนพื้นฐาน งานโครงสร้าง งานอุปกรณ์การเกษตร งานเครื่องจักรกล งานแม่พิมพ์ ชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ เป็นต้น โดยทั่วไปเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด ANSI 1050 ที่มีคุณสมบัติที่ดีในหลายด้านเช่น ด้านความแข็งแรงที่มีค่าความแข็งอยู่ที่ 235 HB ความเหนียวแกร่ง และที่สำคัญมีราคาถูก และถูกทำให้มีขนาด กว้าง 64 มิลลิเมตร ยาว 64 มิลลิเมตร และหนา 24 มิลลิเมตร

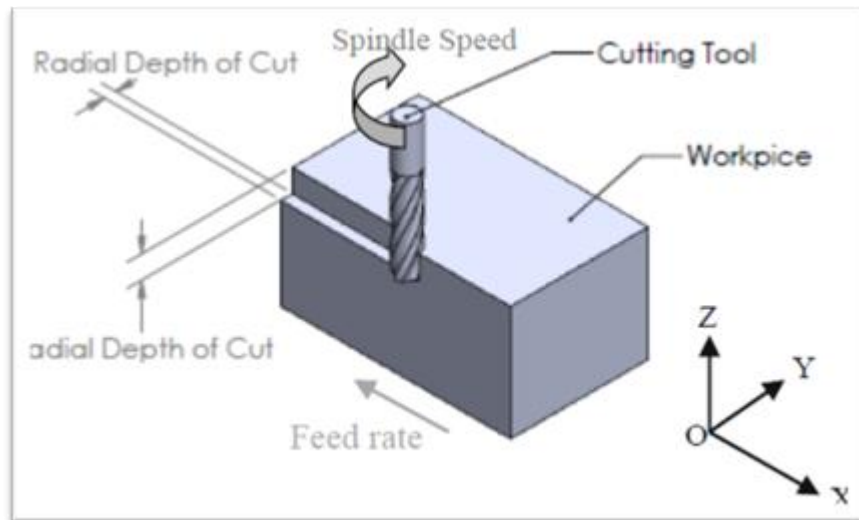
วิธีการวิจัย

1. การออกแบบการทดลอง ในการศึกษาครั้งนี้วิธีการออกแบบการทดลอง 2k แฟคทอเรียลถูกนำมาใช้เพื่อหาจำนวนปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย ความเร็วรอบ (spindle speed), อัตราการป้อน (Feed rate), ระยะป้อนลึกในแนวรัศมี (Radial Depth of Cut) ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งจะได้ 23=16 แฟคทอเรียล 2 ซ้ำ

ตารางที่1 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

Factor	Symbol	Level		Unit
		Low (-)	High (+)	
Spindle Speed	S	800	1270	rpm
Feed rate	F	20	60	mm/min
Radial Depth of Cut	Ae	2.5	5	mm
Axial Depth of Cut	Ap	10	10	mm

2. การกำหนดรูปแบบการตัดเฉือน (Tool path operation) ในการศึกษาการเลือกใช้รูปแบบการตัดเฉือนจะมีลักษณะการตัดเฉือนเป็นแบบ งานกัททวน คือทิศทางการหมุนของเครื่องมือตัดเฉือนจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน



ภาพที่ 2 การกำหนดรูปแบบการตัดเฉือน

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของรูปแบบการสึกหรอทั้งสองแบบ flank wear และ corner wear พบว่า ที่ระดับพบว่ารูปแบบการสึกหรอทั้งสองแบบมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแนวโน้มการสึกหรอจะลดลงเมื่อลดความเร็วรอบ (S) จาก 1,250 rpm เป็น 600 rpm อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 95%

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดลอง

ตารางที่ 2 ค่าการสึกหรอของเครื่องมือตัดเฉือน (Tool wear)

StdOrder	S (Rpm)	F (mm/min)	Ae (mm)	Ap (mm)	flank wear (μ m)	corner wear (μ m)
1	800	20	2.5	10	37.63	137.81
2	1270	20	2.5	10	121.74	384.95
3	800	60	2.5	10	60.50	182.48
4	1270	60	2.5	10	63.43	283.76

ตารางที่ 2 (ต่อ)

StdOrder	S (Rpm)	F (mm/min)	Ae (mm)	Ap (mm)	flank wear (μ m)	corner wear (μ m)
5	800	20	5	10	64.90	224.67
6	1270	20	5	10	106.15	219.94
7	800	60	5	10	66.84	166.59
8	1270	60	5	10	47.33	189.95
9	800	20	2.5	10	39.03	126.82
10	1270	20	2.5	10	101.97	292.49
11	800	60	2.5	10	61.97	170.28
12	1270	60	2.5	10	55.62	187.78
13	800	20	5	10	53.67	167.48
14	1270	20	5	10	86.36	286.43
15	800	60	5	10	65.60	170.52
16	1270	60	5	10	68.80	177.74

จากตารางที่ 2 ค่าที่แสดงในตารางเกิดจากการวัดค่าการสึกหรอของเครื่องมือตัดเฉือนเอ็นมิลล์ที่มี 4 คมตัดหมายความว่าเครื่องมือตัดเฉือน 1 ชิ้น จะถูกวัดค่าการสึกหรอทุกคมตัดแล้วนำค่าที่ได้มาเฉลี่ยกัน จะเห็นได้ว่าการสึกหรอบริเวณมุม จะมีค่ามากกว่า การสึกหรอตามแนวข้าง

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของรูปแบบการสึกหรอ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของรูปแบบการสึกหรอ การสึกหรอตามแนวข้าง (flank wear) และการสึกหรอบริเวณมุม (corner wear) ด้วยวิธีการ Regression Analysis พบว่า การสึกหรอตามแนวข้าง และการสึกหรอบริเวณมุม จะได้ฟังก์ชันคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์กัน $\text{flank wear} = 9.0 + 0.284 \text{ corner wear}$ ที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) = 67.0% แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 Regression Analysis: flank wear versus corner wear

The regression equation is flank wear = 9.0 + 0.284 corner wear					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	9.05	1.76	0.77	0.455	
corner wear	0.28394	0.05325	5.33	0.000	
S = 14.1546 R-Sq = 67.0% R-Sq(adj) = 64.6%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	5696.4	5696.4	28.43	0.000
Residual Error	14	2804.9	200.4		
Total	15	8501.3			

การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการสึกหรอ

การสึกหรอของเครื่องมือตัดเฉือนที่เกิดขึ้นทั้งสองแบบ การสึกหรอตามแนวข้าง (flank wear) และการสึกหรอบริเวณมุม (corner wear) พบว่าความเร็วรอบ (S) คือปัจจัยหลักหลักที่ทำให้เกิดการสึกหรอของเครื่องมือตัดเฉือนอย่างมีนัยสำคัญ แสดงในตารางที่ 4 และตารางที่ 5

ตารางที่ 4 Analysis of Variance corner wear

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	3471.67	3471.67	1157.22	12.90	0.002
S	1	2531.47	2531.47	2531.47	28.21	0.001
F	1	920.52	920.52	920.52	10.26	0.013
Ae	1	19.68	19.68	19.68	0.22	0.652
2-Way Interactions	3	4084.97	4084.97	1361.66	15.18	0.001
S*F	1	3621.93	3621.93	3621.93	40.37	0.000
S*Ae	1	462.20	462.20	462.20	5.15	0.053
F*Ae	1	0.84	0.84	0.84	0.01	0.925
3-Way Interactions	1	226.58	226.58	226.58	2.53	0.151
S*F*Ae	1	226.58	226.58	226.58	2.53	0.151
Residual Error	8	717.83	717.83	89.73		
Pure Error	8	717.83	717.83	89.73		
Total						

S = 9.47251	PRESS = 2871.31
R-Sq = 91.56%	R-Sq(pred) = 66.22%
	R-Sq(adj) = 84.17%

ตารางที่ 5 Analysis of Variance flank wear

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	36321.6	36321.6	12107.2	7.48	0.010
S	1	28595.9	28595.9	28595.9	17.67	0.003
F	1	6064.0	6064.0	6064.0	3.75	0.089
Ae	1	1661.7	1661.7	1661.7	1.03	0.341
2-Way Interactions	3	18624.8	18624.8	6208.3	3.84	0.057
S*F	1	8913.8	8913.8	8913.8	5.51	0.047
S*Ae	1	9350.5	9350.5	9350.5	5.78	0.043
F*Ae	1	360.5	360.5	360.5	0.22	0.650
3-Way Interactions	1	2767.1	2767.1	2767.1	1.71	0.227
S*F*Ae	1	2767.1	2767.1	2767.1	1.71	0.227
Residual Error	8	12944.4	12944.4	1618.0		
Pure Error	8	12944.4	12944.4	1618.0		
Total	15	70657.9				

S = 40.2249	PRESS = 51777.4
R-Sq = 81.68%	R-Sq(pred) = 26.72% R-Sq(adj) = 65.65%

ข้อเสนอแนะ

รูปแบบสึกหรอของเครื่องมือตัดเฉือนมีรูปแบบการสึกหรอที่เกิดขึ้นหลายหลาย และการวัดการสึกหรอมีวิธีการวัดทั้งทางตรงและทางอ้อม ดังนั้นการวัดการสึกหรอของเครื่องมือตัดเฉือนควรจะได้รับการวัดที่หลากหลาย และนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับว่าผลที่ได้สอดคล้องกันหรือไม่

เอกสารอ้างอิง

- สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ และ อังศุมนรินทร์ ประภาสพงษ์. (2560). การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวและการสึกหรอของเครื่องมือตัดในกระบวนการกัดด้วยวัสดุอลูมิเนียมหล่อแบบกึ่งของแข็ง A356 (รายงานวิจัย). นครราชสีมา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- Ali, A. K., & Mostafa, A. A. (2016). Computer aided flank wear measurement in end milling cutting tool. *Engineering and Technology Journal*, 34(A5), 959–972.
- Dimla, E., & Dimla, Snr. (1999). Sensor signals for tool-wear monitoring in metal cutting operations: A review of methods. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 40, 1073–1098.
- Aruna Prabha, K., Srinivasa Prasad, B., & Srilatha, N. (2018). Comparative study of wear patterns of both coated and uncoated tool inserts in high speed turning of EN36 steel. *Materials Today: Proceedings*, 5, 4368–4375.

- Yusuf, K., Nukman, Y., Yusof, T. M., Dawal, S. Z., Yang, H. Q., Mahlia, T. M. I., & Tamrin, K. F. (2010). Effect of cutting parameters on the surface roughness of titanium alloys using end milling process. *Scientific Research and Essays*, 5(11), 1284–1293.
- Paoletti, C. P., Riva, M., Settineri, L., & Teti, V. (2014). Milling and turning of titanium aluminides by using minimum quantity lubrication. In New production technologies in aerospace industry – 5th Machining Innovations Conference (MIC 2014). *Procedia CIRP*, 24, 62–67.