การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19
19-21 ตุลาคม 2548 จังหวัดสงขลา

อิทธิพลของชนิดสารเคลือบผิวต่อการสึกหรอของมีดกัดเหล็กกล้ารอบสูง

Effect of the coating type on the flank wear of the slot drills high speed steel

สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ
ศูนย์เทคโนโลยีเครื่องจักรกลอัตโนมัติ วิทยาเขตพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 1381 ถนนพิบูลสงคราม
เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 โทร 0-29132424 โทรสาร 0-25859175 E-mail : saharat_w@yahoo.com

saharat wongsisa
CNC Technology center , Rajamangala University of Technology Phra Nakhon , North Bangkok Campus
1381 Piboonsongkhram Rd, Bangsui Bangkok 10800 E-mail : saharat_w@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการต้านทานต่อการสึกหรอของมีดกัดร่อง (Slot drills) มาตรฐาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. จำนวน 2 คมตัด มีดกัดร่องหลายตราผลิตภัณฑ์ผู้ผลิตจะเพิ่มความสามารถในการใช้งานโดยการเคลือบผิวแข็ง (Coating) ด้วยสารเคลือบชนิด TiAlN , TiCN และ TiN ผลการศึกษาย้อนรอยพบว่าวัสดุมีดกัดร่องมีส่วนผสมทางเคมีต่างกัน แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ M41 และ M42 มีดกัดที่ศึกษา มีมุมคายเศษ 9 -15 องศา มุมหลบ 10 - 14 องศา มุมเฉียง 24 -33 องศา ความแข็งภายในของมีดกัดอยู่ในช่วง 934 – 978 HV ส่วนความแข็งผิวเคลือบ TiAlN , TiCN และ TiN แตกต่างกัน คือ 1,644 – 1,834 HV 1,507 – 1,602 HV และ 1183 - 1834 HV ตามลำดับ ความหนาผิวเคลือบอยู่ในช่วง 1.75 – 3.75 μm ผลการตัดเฉือน(Metal removal) ปรากฏว่าระยะการสึกหรอที่ผิวหลบแตกต่างกันสูงถึง 5 เท่า พบว่ามีดกัดที่มีความสามารถต้านทานต่อการสึกหรอได้ดีกว่าใช้สารเคลือบชนิดเดียวกันกับมีดกัดที่เกิดการสึกหรอสูงกว่าแสดงว่าความสามารถของกระบวนการผลิตและการเคลือบผิวแตกต่าง มีดกัดที่ต้านทานต่อการสึกหรอได้ดีขณะที่อัตราการตัดสูงสุดจะมีราคาสูงกว่าเช่นกัน และพบว่าความสามารถในการตัดกับความต้านทานต่อการสึกหรอของคมตัดแปรผันตามราคาจำหน่าย คือ คุณภาพดีราคาสูงสอดคล้องกับมีดกัดบางรหัสเท่านั้น

คำหลัก : มีดกัดร่อง เหล็กกล้ารอบสูง เคลือบผิว สึกหรอที่ผิวหลบ

Keywords: Slot drills, High speed steels, Coating, Flank wear

Abstract

This research aims to compare the wear resistance of the slot drills with 12 mm. diameter and 2 teeth for metal removal of steel. There are various different brands of standard slot drills which the manufacturers can increase the capacity of slot drills by coating with three coating substances such as TiAlN, TiCN, and TiN. The result of the study is found that the slot drills have the different chemical alloys in two types: M41 and M42. The slot drills studied can be divided into 9-15 degree of rake angle, 10-14 degree of relief angle, and 24-33 degree of helix angle. The hardness range of the solid slot drills is between 934-978 HV whereas the tin film of TiAlN, TiCN, and TiN are different significantly, that is, 1,644-1,834 HV, 1507-1620 HV, and 1,183-1,834 HV respectively. The thickness of the coating layer is 1.75-3.75 μm. The result of the metal removal in the flank wear is highly different in five times. The ultimate wear resistance and the least one use the same coating substance, which show that the coating process makes them different. The slot drills with high wear resistance and high rate of cutting are high in price as well. Moreover the machining ability the wear resistance of the cutting tools and the price which are variable in the save way with only some slot drills.

1. บทนำ

มีดกัดร่องเหล็กกล้ารอบสูง (High speed steels) นิยมเคลือบผิวแข็ง (Coating) มากขึ้นเพื่อใช้กับงานกัดอัตโนมัติ(CNC Milling) สารเคลือบผิวมีดกัดร่องมีหลายชนิด ได้แก่ ไททาเนียมไนไตร์(TiN) ไททาเนียมคาร์โบไนไตร์ (TiCN) และไททาเนียมอลูมิเนียมไนไตร์ (TiAlN) เป็นต้น สารเคลือบเหล่านี้มีสมบัติเพื่อเพิ่มความสามารถในการต้านทานต่อการสึกหรอของคมตัดให้ใช้งานได้ยาวนานกว่ามีดกัดชนิดที่ไม่เคลือบผิว ความสามารถในการเคลือบผิวแข็งแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน โดยพิจารณาจากความสามารถการใช้งานและราคาจำหน่ายที่แตกต่างกันถึง 2 เท่า เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นกับกระบวนการผลิตและเทคโนโลยีในการผลิตของผู้ผลิตแต่ละราย ซึ่งส่วนใหญ่แล้วนำเข้าจากต่างประเทศและปัจจุบันการผลิตมีดกัดร่องและการเคลือบผิวแข็งใน

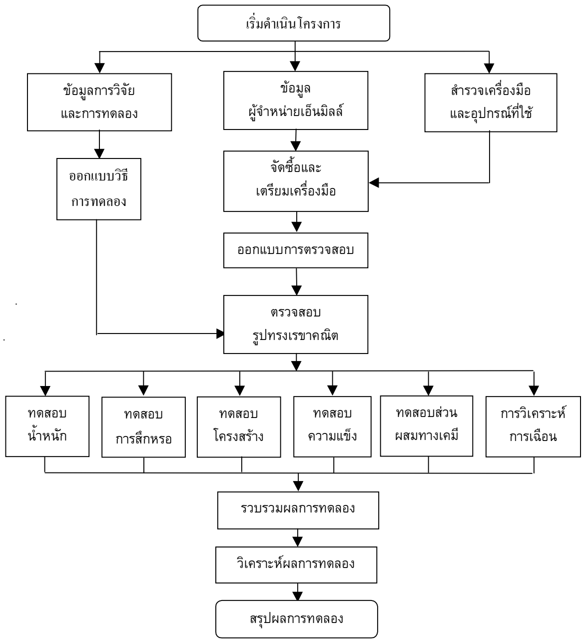
ประเทศมีมากขึ้นและเริ่มพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต เพื่อให้สามารถแข่งขันกับสินค้านำเข้า จากสาเหตุของราคาจำหน่ายที่ต่างกันและการนำเข้าเครื่องมือตัดเหล่านี้เป็นจำนวนมากโดยพิจารณาจากการเติบโตของอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ชิ้นส่วน อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ทำให้ผู้ใช้เครื่องมือตัดในประเทศต้องตระหนักถึงความคุ้มค่าในการเลือกซื้อมากขึ้นและที่ผ่านมาผู้ใช้ส่วนหนึ่งอาศัยประสบการณ์พิจารณาตัดสินใจเลือกใช้ คำแนะนำจากผู้ขายและส่วนหนึ่งพิจารณาจากความเคยชิน ซึ่งการตัดสินใจอาจจะไม่เหมาะสมทั้งด้านการใช้งานและความคุ้มค่าต่อการลงทุนซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากขาดข้อมูลเชิงลึก และข้อมูลพื้นฐานสำคัญ เพื่อประกอบการตัดสินใจที่ดี ซึ่งเทคโนโลยีการเคลือบผิวพัฒนาไปมาก คุณภาพของเครื่องมือตัดที่นำเข้าแตกต่างจากผลิตในประเทศอย่างไร ในปัจจุบันไม่มีข้อมูลสนับสนุนเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการตัด ราคาและอื่น ๆ เป็นพื้นฐานประกอบการศึกษา การเลือกใช้ และการพัฒนากระบวนการผลิต ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงเริ่มศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับมีดกัดร่องมาตรฐานเคลือบผิวแข็ง เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร จำนวน 2 คมตัด สำหรับกัดผิวงานละเอียด เป็นโครงการนำร่องเพื่อศึกษาเปรียบเทียบชนิดสารเคลือบผิว ราคา รูปทรงเรขาคณิต ความแข็งและประสิทธิภาพการต้านทานการสึกหรอ สำหรับมีดกัดร่องจำหน่ายในประเทศจำนวน 7 ชุด โดยทดสอบการตัดเฉือน(Machining) กับวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ PDS-5 ความแข็ง 32 HRC เริ่มจากศึกษาราคาจำหน่าย คุณลักษณะด้านรูปทรงเรขาคณิต เงื่อนไขในการตัดเฉือน(Cutting condition) และสมบัติต่างๆ รวมถึงความสามารถการเคลือบผิว เพื่อประกอบการกำหนดปัจจัยในการทดสอบ จากนั้นตรวจสอบความต้านทานการสึกหรอ [1] โดยใช้ปัจจัยการตัดเฉือนตามมาตรฐานที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด นำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบในเชิงสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยประชากรฐานนิยม การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง [2] ประเมินผลการทดลองและสรุปผล ผลจากการวิจัยจะเป็นข้อมูลพื้นฐานของมีดกัดร่องเคลือบผิวแข็งที่ใช้งานในปัจจุบัน เพื่อใช้ประกอบการศึกษา พัฒนา และเลือกการใช้งานสำหรับผู้ผลิตแม่พิมพ์ ผลิตชิ้นส่วนและสถานประกอบการณ์ที่ทำการเคลือบผิวแข็งต่อไป

ตารางที่ 1 คุณสมบัติสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ของมีดกัดร่อง [4]

Microshield Coating	TiN	TiCN	TiAlN	TiAlN
Microhardness (HV 0.05)	2300	3000	3000	3500
Coefficient of Friction	0.4	0.4	0.4	0.4
Coating Thickness (μm)	1-4	1-4	1-4	1-3
Max. Working Temperature	1100°F	750°F	1470°F	1470°F
Coating Color	Gold	Blue/ Gray	Purple/Gray	Purple/Gray

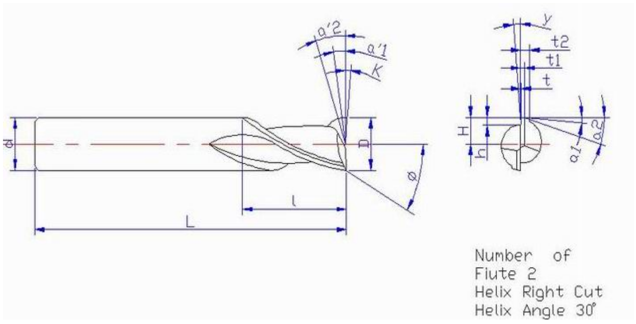
2. วิธีการวิจัย

การวิจัย ดำเนินการเป็นลำดับตามแผนที่กำหนดไว้แต่ละขั้นตอน โดยเขียนเป็นแผนภูมิขั้นตอนการทำงานตั้งแต่เริ่มต้น จนจบโครงการมีรายการต่าง ๆ ตามรูปที่ 1 โดยใช้เวลาในการวิจัยประมาณ 6 เดือน



รูปที่ 1 ผังดำเนินโครงการวิจัย

ศึกษารูปทรงเรขาคณิตของมีดกัดร่อง แสดงในรูปที่ 2 ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญ ได้แก่ มุมคายเศษในแนวรัศมี (Radial Rake Angle ; γ) มุมหลบในแนวแกน (Axial Relief Angle ; K') มุมหลบหลักในแนวรัศมี (Radial Relief Angle ; α^1)มุมหลบรองในแนวรัศมี (Secondary Relief Angle ; α^2) มุมเอียงของคมตัดด้านปลายมีด (End Cutting Edge Concavity Angle ; α'^1) มุมหลบด้านปลายมีด (Corner Angle ; α'^2) และมุมเฉียง (Helix Angle ; ϕ) เป็นต้น



รูปที่ 2 ขนาดและรูปทรงเรขาคณิตของมีดกัดร่อง 2 คมตัด

กำหนดขนาดมีดกัดร่องตามมาตรฐานและตรวจสอบขนาดต่าง ๆ ด้วยเครื่องมือวัดละเอียด ได้แก่ Profile projector ความละเอียด 1.00 μm Measuring microscope ความละเอียด 0.10 μm และไมโครมิเตอร์

เป็นต้น โดยสำรวจมีดกัดร่องจากผู้ขายแต่ละรายและรวบรวมข้อมูลด้านราคาจำหน่ายทำให้ทราบราคาของมีดกัดร่องรวม 7 ตราผลิตภัณฑ์ แสดงตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ราคาจำหน่ายและประเทศผู้ผลิตมีดกัดร่อง

ลำดับ	รหัส	ประเทศผู้ผลิต	ราคา/หน่วย
1	A	ญี่ปุ่น	742
2	B	ญี่ปุ่น	950
3	C	อังกฤษ	950
4	D	เยอรมัน	1,500
5	E	เกาหลี	820
6	F	ญี่ปุ่น	637
7	G	เยอรมัน	885

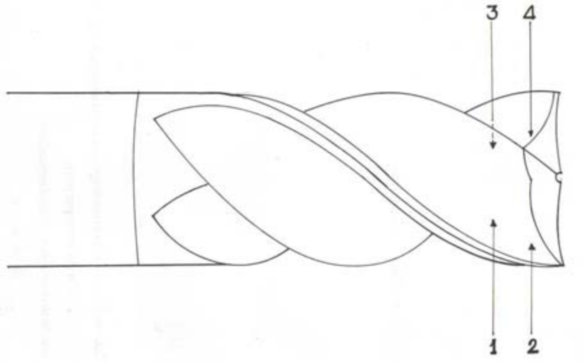
ตารางที่ 3 ข้อกำหนดของมีดกัดร่องชนิดเคลือบผิวแข็ง สำหรับการวิจัย

รหัส	ชนิด สาร เคลือบ	Feed Velocity mm/min	Cutting Speed (m/min)	Depth of Cut (mm)	Material (JIS)
A	TiN	57	20	0.25D	PDS-5
B	TiN	48	19	0.25D	PDS-5
C	TiCN	116	38	0.25D	PDS-5
D	TiCN	127	48	0.25D	PDS-5
E	TiCN	65	19	0.25D	PDS-5
F	TiAlN	71	23	0.25D	PDS-5
G	TiAlN	85	32	0.25D	PDS-5

ข้อมูลตามตารางที่ 3 เป็นปัจจัยในการตัดเฉือนของแต่ละตราผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย ความเร็วตัด ความเร็วป้อน ระยะกัดลึก และชนิดของวัสดุชิ้นงาน ดังนั้นการทดลองจะเลือกใช้ตามตารางดังกล่าวนี้

รูปที่ 3 ลักษณะของมีดกัดร่องเหล็กกล้ารอบสูงเคลือบผิวแต่ละรหัส

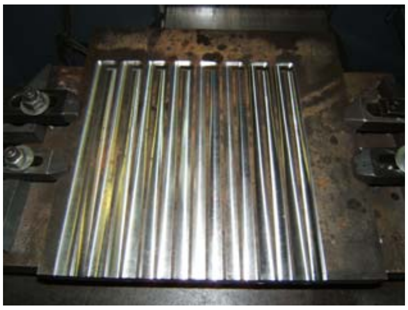
หลังจากการตรวจสอบรูปทรงเรขาคณิตแล้วพิจารณาองค์กระกอบที่สำคัญเพื่อเลือกมีดกัดร่องสำหรับทดสอบการตัดเฉือน องค์ประกอบที่ใช้ ได้แก่ ราคา ความเร็วตัดและความเร็วป้อน เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ชี้บ่งถึงความสามารถในการผลิต มุมคาย มุมหลบ เป็นต้น จากนั้นกำหนดวิธีการทดลองและการตรวจสอบการสึกหรอที่บริเวณคมตัดโดยเฉพาะที่ผิวหลบ(Flank wear) วัดระยะการสึกหรอโดยตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัดละเอียด และตรวจสอบน้ำหนักที่สูญหายจากการสึกหรอ



รูปที่ 4 ทดสอบความแข็งที่ผิวเคลือบของมีดกัดร่อง

ออกแบบวิธีการตัดเฉือนโดยใช้เครื่องกัดอัตโนมัติ(CNC Milling machine) โปรแกรมการทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติ สำหรับการตรวจสอบความสามารถในการตัดเฉือนของมีดกัดร่อง โดยเน้นที่ผลการสึกหรอที่ผิวหลบ น้ำหนักของมีดกัดร่องและข้อมูลอื่น ๆ ที่สำคัญ ณ บริเวณการตัด รวมถึงเศษตัด(Chip) เป็นต้น โดยการตรวจสอบเป็นช่วง ๆ ตลอดความยาวในการตัดรวม 3,000 มิลลิเมตร เพื่อศึกษาแนวโน้มในด้านต่าง ๆ ทำการทดสอบในลักษณะเดียวกันกับมีดกัดร่องแต่ละรหัส โดยใช้เครื่องจักรและชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 5 และ 6

รูปที่ 5 เครื่องกัดอัตโนมัติ(CNC Milling machine)



รูปที่ 6 ชิ้นงานเหล็กกล้าและลักษณะการกัดร่อง

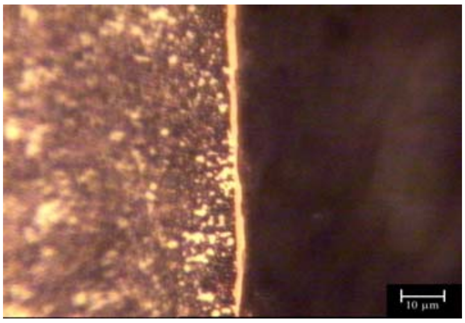
3. ผลการวิจัย

ผลการตรวจสอบรูปทรงเรขาคณิตของมีดกัดร่อง ได้ผลตามตารางที่ 4

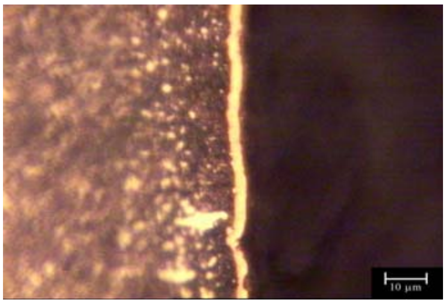
ตารางที่ 4 ขนาดมีดกัดร่อง

รหัส	ผลการวัดขนาดของมีดกัดร่อง				
	D	L	l	มุมคายเศษ	มุมเฉียง
A	11.994	80.156	25.216	13º29'05"	29º57'18"
B	11.940	95.121	31.236	15º25'42"	28º58'17"
C	11.963	73.320	20.517	9º06'07"	24º15'13"
D	11.908	73.158	16.620	14º25'51"	24º39'08"
E	11.982	90.370	32.620	13º46'29"	29º16'26"
F	11.984	80.236	24.962	13º17'29"	29º17'29"
G	11.938	72.718	17.757	10º00'25"	33º30'57"

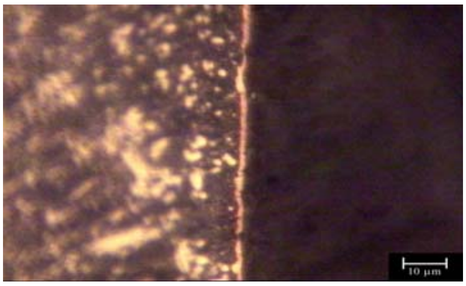
มุมคายเศษอยู่ในช่วง 9 – 15 องศา มุมเฉียงอยู่ในช่วง 24 – 33 องศา ค่าฐานนิยม จะเป็นมุม 29 องศา พบว่าส่วนผสมทางเคมีของมีดกัดร่อง ธาตุคาร์บอนอยู่ในช่วง 1.03 – 1.16 % โคบอลด์อยู่ในช่วง 8.15 – 9.14 % และโมลิบดินั่มอยู่ในช่วง 5.06 – 9.09 % เมื่อเทียบมาตรฐานแล้วมีดกัดร่องที่สำรวจผลิตจากเหล็กกล้า 2 ชนิด คือ M41 และ M42 ตามมาตรฐาน AISI



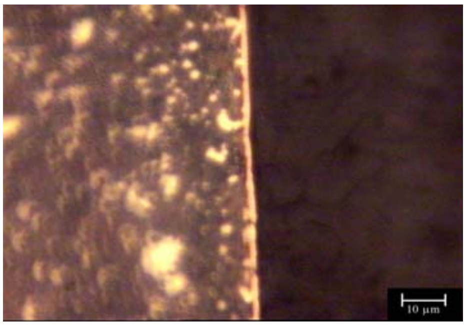
รูปที่ 7 ความหนาผิวเคลือบมีดกัดร่องระหัส A



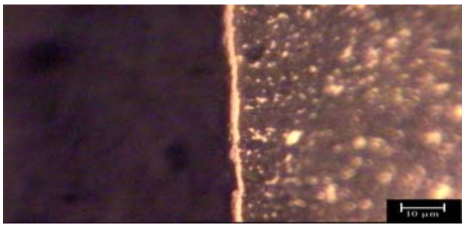
รูปที่ 8 ความหนาผิวเคลือบมีดกัดร่องระหัส B



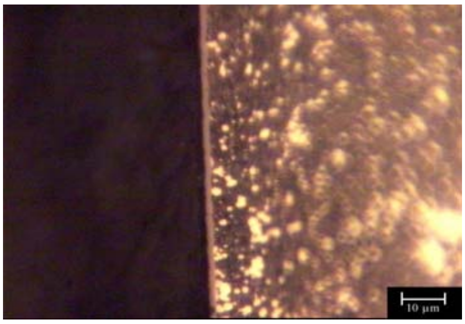
รูปที่ 9 ความหนาผิวเคลือบมีดกัดร่องระหัส C



รูปที่ 10 ความหนาผิวเคลือบมีดกัดร่องระหัส D

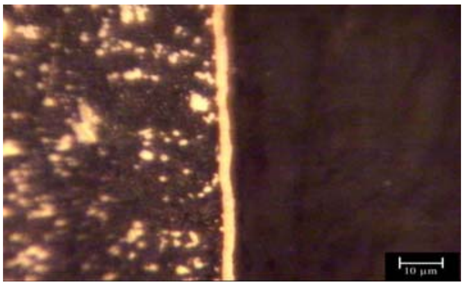


รูปที่ 11 ความหนาผิวเคลือบมีดกัดร่องระหัส E

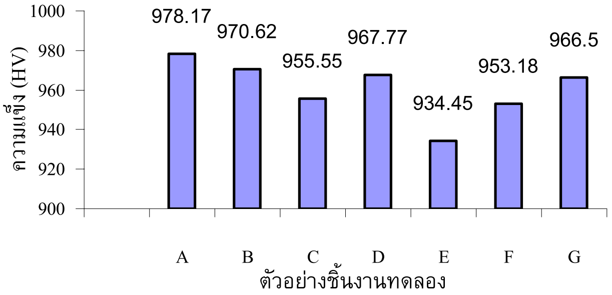


รูปที่ 11 ความหนาผิวเคลือบมีดกัดร่องระหัส F

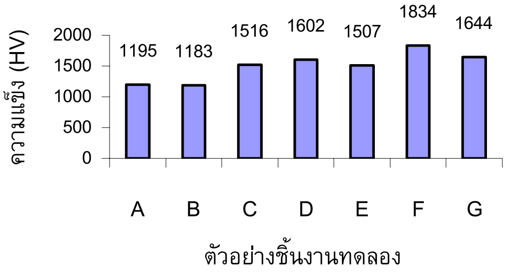
ผลการตรวจสอบผิวเคลือบของมีดกัดร่อง พบว่าความหนาชั้นผิวเคลือบแตกต่างกัน ได้แก่ รหัส A ประมาณ 2.0 µm. รหัส B ประมาณ 4.0 µm รหัส C ประมาณ 1.5.0 µm รหัส D ประมาณ 1.75 µm รหัส E ประมาณ 1.2 µm รหัส F ประมาณ 1.0 µm และ รหัส G ความหนาประมาณ 4.0 µm



รูปที่ 12 ความหนาผิวเคลือบมีดกัดร่องระหัส G



รูปที่ 14 ความแข็งแกนกลางของมีดกัดร่อง

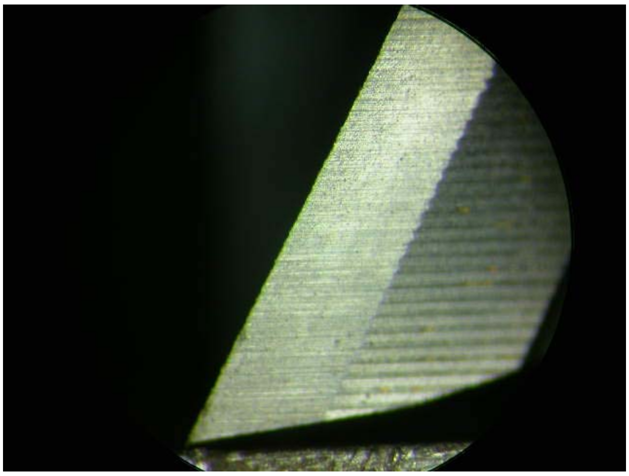


รูปที่ 13 ความแข็งผิวเคลือบของมีดกัดร่อง

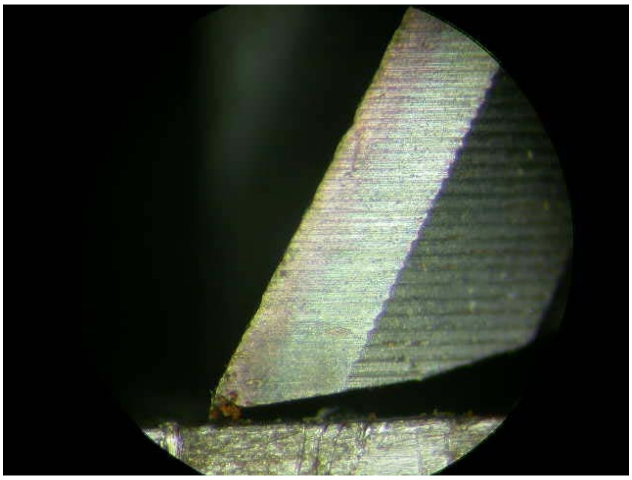
ตารางที่ 5 ผลการวัดระยะการสึกหรอที่ผิวหลบของมีดกัดร่อง

รหัส	การสึกหรอตามระยะทางในการตัดเฉือน (มม.)		
	1,000 มม.	2,000 มม.	3,000 มม.
A	0.1383	0.1625	0.1632
B	0.2177	0.2463	0.2801
C	0.1279	0.1580	0.1744
D	0.0379	0.0512	0.0571
E	0.1795	0.1980	0.2825
F	0.1485	0.178	0.1875
G	0.1763	0.2016	0.2243

จากตารางที่ 5 ปรากฏว่าที่ระยะทางการตัดเฉือน 3000 มม. การสึกหรอที่ผิวหลบของ มีดกัดร่องรหัส D น้อยกว่ารหัสอื่น ส่วนรหัส B และ E เกิดการสึกหรอมากที่สุด พบว่าสารเคลือบชนิดเดียวกันมีความสามารถในการตัดต่างกัน เช่น รหัส C D และ E และเมื่อเปรียบเทียบด้านราคาและความสามารถในการตัดพบว่าที่รหัส D ราคาสูงสุดและความสามารถต้านทานต่อการสึกหรอดีกว่า เช่นกัน



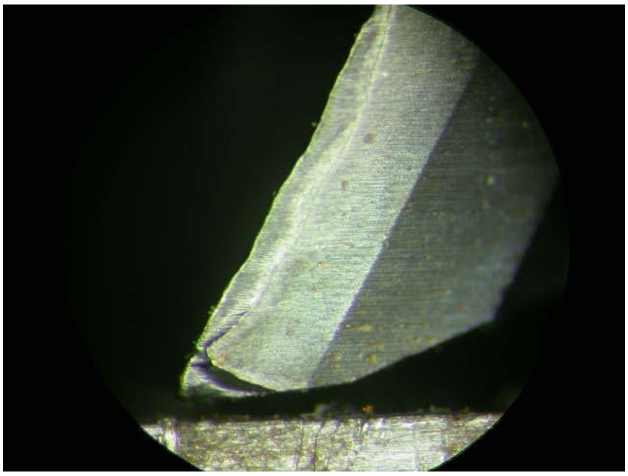
รูปที่ 15 ลักษณะของคมตัดรหัส D ก่อนการตัดเฉือน



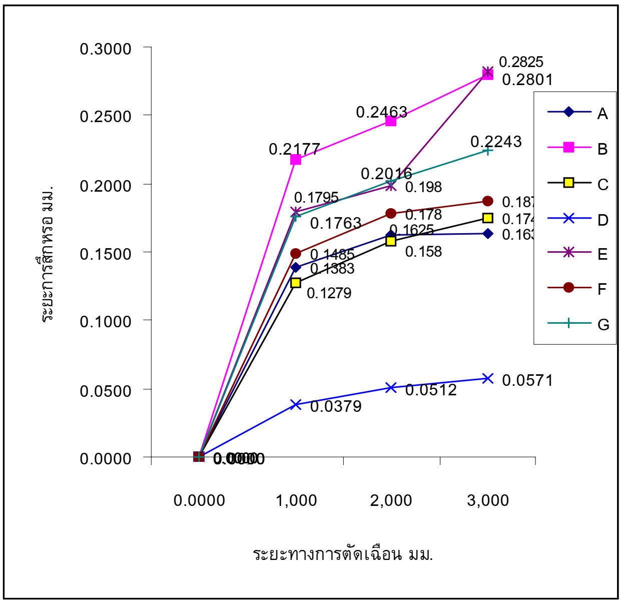
รูปที่ 16 ลักษณะของคมตัดรหัส D หลังการตัดเฉือน

ตามรูปที่ 15 และ 16 กำลังขยาย 63 เท่า เป็นมีดกัดร่องรหัส D ก่อนการใช้งานและผ่านการตัดเฉือนไปเป็นระยะทาง 3,000 มิลลิเมตร ตามลำดับ ลักษณะการสึกหรอที่ผิวหลบจะแตกต่างจากระยะการตัดเท่ากันของระหัส E ดังรูปที่ 17 ซึ่งเป็นมีดกัดร่องที่เคลือบด้วยสารเคลือบชนิดเดียวกัน ดังนั้นการเลือกใช้งานต้องพิจารณาที่ความคุ้มค่าในการผลิตโดยคำนวณจากปริมาณงานรวม เพราะราคาต่างกันมาก

นอกจากนั้นควรตรวจสอบด้านสภาวะการตัดเฉือนเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาตรการตัดโดยพิจารณาจาก ความเร็วตัด ความเร็วป้อนและความลึกในการตัด เป็นต้น



รูปที่ 17 ลักษณะของคมตัดของรหัส E ที่ระยะการตัด 3,000 มม.



รูปที่ 18 การสึกหรอที่ผิวหลบของมีดกัดร่อง

4. อภิปรายผลการวิจัย

ผลการตรวจสอบตัวอย่างชิ้นงานแต่ละรหัส พบว่า ราคาจำหน่ายต่างกันมากกว่า 2 เท่า ในช่วง 637 - 1,500 บาท เฉลี่ยเท่ากับ 926.28 บาท มีดกัดร่องที่สึกหรอมากกว่าคือรหัส B และ E ราคา 820 และ 950 บาท ใกล้เคียงกับราคาเฉลี่ย ขนาดความแข็งของวัสดุผลิตมีดกัดร่อง มีค่าน้อยกว่าคือ 934.45 HV (สำหรับรหัส E) ความหนาผิวเคลือบประมาณ 1.2 μm ผิวเคลือบไม่สม่ำเสมอทำให้สึกหรอเร็วถึงแม้ว่าผิวเคลือบจะเป็นชนิดเดียวกับรหัส D ที่มีความสามารถต้านทานการสึกหรอดีกว่าก็ตามและเมื่อพิจารณาชนิดสารเคลือบพบว่า TiN ความแข็ง 1,183 – 1195 HV สารเคลือบ TiCN ความแข็ง 1507 – 1602 HV และชนิด TiAlN ความแข็งอยู่ในช่วง 1644 - 1,834 HV พบว่าความแข็งผิวเคลือบน้อยกว่าสึกหรอมากกว่า เช่น รหัส B ดังนั้น การสึกหรอที่คมตัดมีบางรหัสไม่แปรผันตามราคาหมายถึงราคาสูงกว่าคุณภาพควรจะดีกว่า เป็นต้น ด้านรูปทรงเรขาคณิตของมีดกัดร่อง พบว่าฐานนิยมของมุมคายเศษอยู่ที่ 13-14 องศา มุมเฉียงอยู่ที่ 28-29 องศา แต่ผลการตัดเฉือนปรากฏว่ามีดกัดที่ต้านทานการสึกหรอได้ดีกว่าจะมีมุมคายเป็น 14 องศา มุมเฉียง 24 องศา และผลจากการวิจัยนี้เป็นการทดลองแบบไม่ใช้สารหล่อเย็นเนื่องจากข้อจำกัดด้านต่าง ๆ เช่น เวลา และค่าใช้จ่าย มีดกัดร่องที่ใช้ในการวิจัยเป็นสินค้าที่นำเข้าจากต่างประเทศ 100 % โดยผลการวิจัยมีเป้าหมายเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาและพัฒนา รวมถึงการนำไปเป็นพื้นฐานด้านการผลิตมีดกัดร่องในประเทศที่เริ่มมีนักธุรกิจไทยให้ความสนใจ เพื่อทำการผลิตทั้งในปัจจุบันและในอนาคต

5. สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจับสรุปได้ว่า มีดกัดร่องผลิตจากเหล็กกล้ารอบสูง 2 ชนิด คือ M41 และ M42 ความสามารถในการเคลือบผิวแข็งของผู้ผลิตแต่ละรายแตกต่างกันเนื่องจากสารเคลือบชนิดเดียวกันให้ผลการทดลองด้านความสามารถต้านทานต่อการสึกหรอต่างกันมาก พบว่าความสามารถต้านทานต่อการสึกหรอไม่ขึ้นกับความหนาของผิวเคลือบ และพบว่าความสามารถในการตัดของมีดกัดร่องและราคาจำหน่ายแปรผันในทิศทางเดียวกันอย่างชัดเจนมีจำนวน 1 รหัส เท่านั้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์เทคโนโลยีเครื่องจักรกลอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ให้การสนับสนุนด้านต่าง ๆ และขอบคุณ นายวิเชียร ธีรสกลภาพ ผู้ช่วยวิจัย ที่ทำงานด้วยความอุตสาหะจนกระทั่งงานสำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Frydery E. Corczyca, Application of metal cutting theory, 1978

[2] ธิดาเดียว มยุรีสวรรค์ *สถิติสำหรับงานวิศวกรรม และวิทยาศาสตร์* สำนักพิมพ์ ศูนย์ผลิตตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ. 2544 หน้า 20-27

[3] J.R. Davis & Associates “ASM Specialty Handbook Tool Materials” first Printing, Printed in the United States of America, April 1995

[4] www.nigaracutter.com