

การปรับปรุงกลไกการตัดขึ้นรูปวัสดุด้วยวิธีการลดแรงเสียดทานบน Rake face ของเครื่องมือตัด

Improvement of Cutting Mechanism by Reducing Friction on Tool's Rake Face

ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ^{1*} ชัญญาพันธ์ วิรุฬห์ศรี¹ และศรัณย์ กิรติหัตถยากORN¹¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330โทร. 0-2218-6610 โทรสาร 0-2218-6610 *อีเมล: bio2mech@gmail.comPairat Tangpornprasert^{1*}, Chanyaphan Virulsri¹ and Saran Keeratihattayakorn¹¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Pathumwan, Bangkok 10330Tel: 0-2218-6610, Fax: 0-2218-6610, *E-mail: bio2mech@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงกลไกในการตัดขึ้นรูปวัสดุเพื่อลดแรงตึงที่เกิดขึ้นบน rake face ของเครื่องมือตัดด้วยวิธีการลดแรงเสียดทานที่หน้าสัมผัสระหว่าง rake face ของเครื่องมือตัดกับเศษกลึง โดยในการทดลองได้อาศัยเทคนิค abrasive polishing ในการลดแรงเสียดทานที่ rake face ของเครื่องมือตัดก่อนนำมิดตัดไปทดลองกลึงชิ้นงาน mild steel ผลการทดลองปรากฏว่าการลดแรงเสียดทานด้วยวิธีดังกล่าวสามารถลดแรงในการตัดลงได้ เนื่องจากการลดค่าแรงเสียดทานส่งผลโดยตรงต่อมุม shear angle ทำให้แรงในการตัดลดลงจากการทดลองพบว่ามิดกลึงที่ผ่านกระบวนการ abrasive polishing ได้เศษกลึงที่มีขนาดบางกว่าเศษกลึงที่ได้จากมิดกลึงที่ไม่ผ่านกระบวนการขัดผิวส่งผลให้แรงในการตัด cutting force และ thrust force ลดลง 27.28% และ 73.84% ตามลำดับ ดังนั้นเทคนิคการลดแรงเสียดทานที่ rake face ของมิดกลึงจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการเพิ่มอายุการใช้งานของเครื่องมือตัด

คำชี้ : กระบวนการขึ้นรูป , การสึกหรอของเครื่องมือตัด, การขัดผิว

Abstract

This research paper presents tool friction reduction technique which improves cutting mechanism in machining process. The experiment is set up by preparing the polished tool in which friction at tool's rake face is reduced by abrasive polishing technique and then the polished tool is used to machine mild steel workpiece. Results show that chips from polished tool are thinner than chips from unpolished tool and increasing in shear angle leads to reduction of cutting force and thrust force by 27.28% and 73.84%, respectively. These results show promising trend in increasing tool life

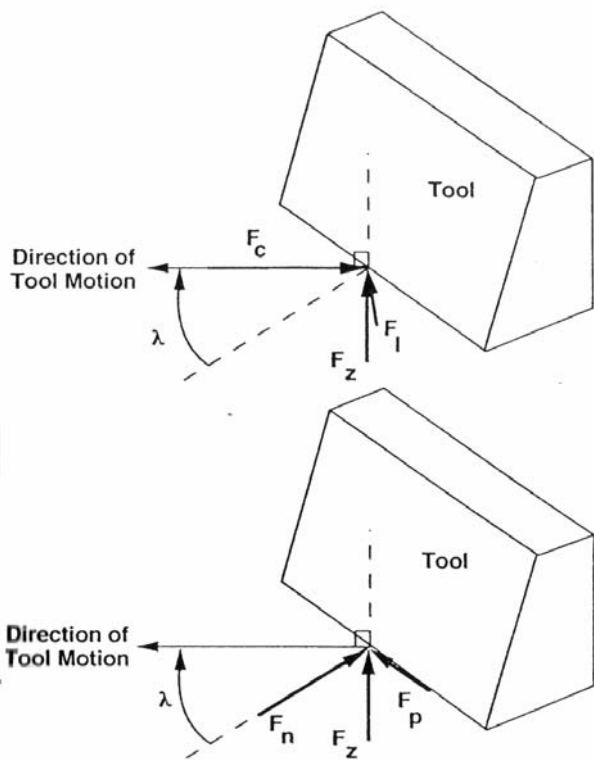
Keywords : machining process, tool-wear ,abrasive polishing

บทนำ

ปัญหาที่พบในงานกระบวนการขึ้นรูปวัสดุมีอยู่ด้วยกันหลายประการตัวอย่างเช่นในกระบวนการกลึงชิ้นงานจะประสบกับปัญหาการสึกหรอของเครื่องมือตัด ปัญหาคุณภาพผิวของชิ้นงานที่ไม่ราบเรียบ และปัญหาการสั่นสะเทือนระหว่างการตัด เป็นต้น ซึ่งปัญหาที่สำคัญที่สุดในงานผลิตเชิงอุตสาหกรรมคือปัญหาด้านการสึกหรอของเครื่องมือตัดซึ่งส่งผลโดยตรงต่อค่าใช้จ่ายในการผลิต และยังก่อให้เกิดปัญหาคูณภาพผิวและการสั่นสะเทือนตามมาอีกด้วย ปัญหาการสึกหรอของเครื่องมือตัดเกิดจากหลายปัจจัยเช่นเกิดจากแรงในการตัดระหว่างคมมิดกับชิ้นงานที่ส่งผลให้เกิดการสึกหรอ หรือเกิดจากอุณหภูมิในการตัดที่มากเกินไปทำให้มิดตัดเกิดการอ่อนตัวและแตกหักง่าย เป็นต้น เมื่อพิจารณาถึงกลไกในการตัดจะพบว่าแรงเสียดทานเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ก่อให้เกิดแรงตึงและความร้อนบนเครื่องมือตัดซึ่งส่งผลให้เกิดการสึกหรอตามมาดังนั้นการลดแรงเสียดทานจะนำไปสู่การลดการสึกหรอของเครื่องมือตัดในที่สุด โดยในงานวิจัยจะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงในการตัดกับแรงเสียดทาน

1. กลไกในการตัด (cutting mechanism)[1],[2]

ในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานนั้นสามารถแบ่งได้เป็นหลายวิธีการ เช่นกระบวนการกลึง กระบวนการการ milling และกระบวนการเจาะ เป็นต้น ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ถึงแม้ว่าจะใช้เครื่องมือตัดที่มีรูปร่างที่แตกต่างกันแต่ก็อาศัยหลักการเดียวกันในการตัดเฉือนชิ้นงาน ซึ่งก็คือการตัดแบบตั้งฉาก (orthogonal cutting) โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของคมมิดตั้งฉากไปบนชิ้นงานทำให้เกิดการตัดเฉือนเนื้อของชิ้นงานให้หลุดออกไป แต่เมื่อพิจารณาการตัดที่ซับซ้อนยิ่งขึ้นโดยพิจารณาการตัดในสามมิติจะเป็นการตัดแบบเฉียง (oblique cutting) ดังแสดงในรูปที่ 1

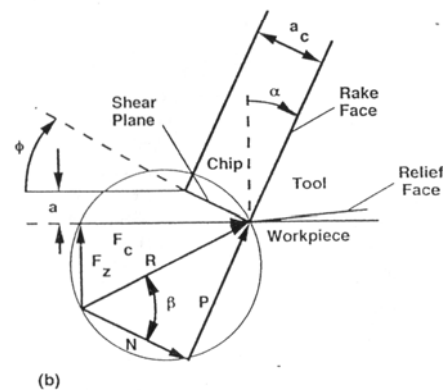
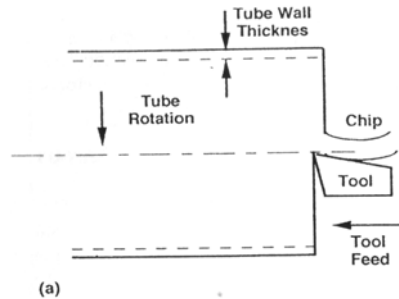


รูปที่ 1 แรงที่เกิดขึ้นในการตัดแบบเฉือน

ในการพิจารณาแรงที่เกิดขึ้นบนเครื่องมือตัดจะพิจารณาแรงได้ดังนี้ แรง F_n คือแรงที่ตั้งฉากกับขอบการตัด, F_c คือแรงที่ขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด, F_p คือแรงที่ขนานกับขอบตัด, F_z คือแรงที่ตั้งฉากกับระนาบของแรง F_n และ F_p ; F_i คือแรงที่ตั้งฉากกับระนาบของแรง F_c และ F_z โดยแรง F_c, F_i, F_n และ F_p มีความสัมพันธ์กันโดยมุมเอียง λ ตามสมการที่ (1)

$$\begin{aligned} F_n &= F_c \cdot \cos \lambda + F_i \cdot \sin \lambda \\ F_p &= -F_c \cdot \sin \lambda + F_i \cdot \cos \lambda \\ F_c &= F_n \cdot \cos \lambda - F_p \cdot \sin \lambda \\ F_i &= F_n \cdot \sin \lambda + F_p \cdot \cos \lambda \end{aligned} \quad (1)$$

แรงที่ใช้ในการตัด (cutting force) เป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการพิจารณาถึงพลังงานและภาระโหลดที่ส่งผลถึงการเปลี่ยนรูปของเครื่องมือตัดและวัสดุ การวัดค่าแรงที่ใช้ในกระบวนการตัดมักจะถูกนำไปใช้ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติการขึ้นรูป (machinability) โดยแรงที่ใช้ในการตัดจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการตัด (cutting speed), อัตราการป้อน (feed rate), ระยะกินลึก (depth of cut), รูปร่างของเครื่องมือตัด (tool geometry) และคุณสมบัติของวัสดุและเครื่องมือตัด เป็นต้น โดยในกระบวนการตัดจะเกิดความเค้นเฉือนขึ้นตามแนว shear plane ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 a) การกลึงชิ้นงานประเภทท่อด้วยการตัดแบบตั้งฉาก b) ทฤษฎี shear plane ของ Ernst และ Merchant ในการตัดแบบตั้งฉาก

ในการพิจารณาการตัดแบบตั้งฉากซึ่งเสนอโดย Piispänen, Ernst และ Merchant [1] เสนอว่าเศษกลึงเกิดจากความเค้นตามแนวระนาบที่มุม ϕ เรียกว่าค่ามุมเฉือน (shear angle) โดยค่า ϕ สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2)

$$\tan \phi = \frac{r_c \cdot \cos \alpha}{1 - r_c \cdot \sin \alpha} \quad (2)$$

โดย r_c คืออัตราส่วนการตัด

$$r_c = \frac{a}{a_c} = \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \alpha)} \quad (3)$$

โดย a คือค่า ความหนาเศษกลึงก่อนการตัด (uncut chip thickness)

a_c คือความหนาเศษกลึง (chip thickness)

α คือค่ามุม rake angle

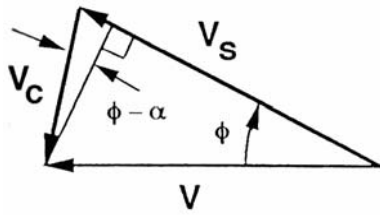
แรงรวมที่ปลายมีด, R จะกำหนดให้กระทำในมุม β ซึ่งเรียกว่าค่ามุมเสียดทาน (friction angle) โดยมีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานดังสมการที่ (4)

$$\tan \beta = \mu_e = \frac{P}{N} \quad (4)$$

โดย P คือแรงในแนวขนานกับ Rake face

N คือแรงในแนวตั้งฉากกับ Rake face

ต่อมาจะพิจารณาถึงความเร็วตามแนว Shear plane, V_s และความเร็วตามแนวมุมคายของเครื่องมือตัด, V_c ดังรูปที่ 3 ค่า V_s และ V_c สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (5)



รูปที่ 3 ทิศความเร็วในการตัดแบบตั้งฉาก

$$\frac{V}{\cos(\phi - \alpha)} = \frac{V_s}{\cos \alpha} = \frac{V_c}{\sin \phi} \quad (5)$$

โดย V คือความเร็วของเครื่องมือตัดที่เคลื่อนที่ไปขณะทำการตัดเฉือน จากกฎการอนุรักษ์มวลจะได้ว่า

$$V \cdot a = V_c \cdot a_c \quad (6)$$

ภายใต้ข้อกำหนดเหล่านี้ค่าแรงในการตัด F_c และแรงในแนวแกน F_z สามารถหาได้จากสมการที่ (7)

$$F_c = \frac{k \cdot a \cdot b \cdot \cos(\beta - \alpha)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \alpha)} \quad (7)$$

$$F_z = \frac{k \cdot a \cdot b \cdot \sin(\beta - \alpha)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \alpha)}$$

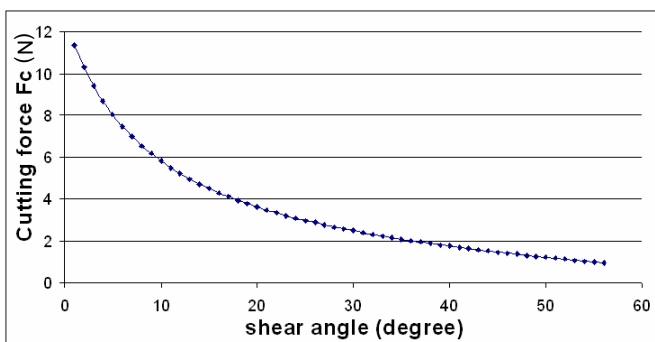
โดยค่า k คือ flow stress และค่า b คือ ความหนาของเศษ กลึงซึ่งในการหาค่า ϕ เพื่อใช้ในการคำนวณแรงที่ใช้ในการตัด Merchant ได้กำหนดให้กำลังในการตัด (cutting power) สามารถหาได้จาก $V \cdot F_c$ และค่า ϕ จะมีค่าที่ทำให้ใช้กำลังน้อยสุด หากค่า k และ β ไม่ขึ้นกับ ϕ จะได้ความสัมพันธ์ตามสมการ

$$\phi = 45^\circ - \frac{\beta}{2} + \frac{\alpha}{2} \quad (8)$$

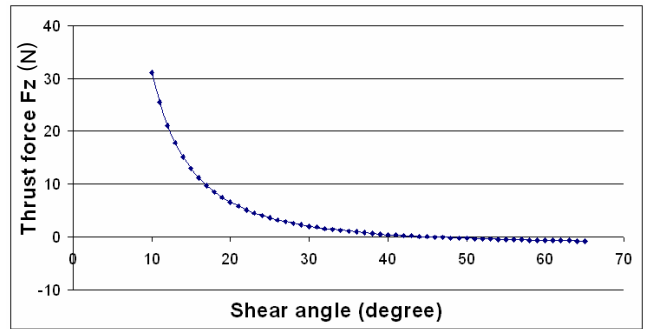
ภายใต้ข้อกำหนดนี้ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ Shear plane

2. การทดลองเพื่อศึกษาผลของแรงเสียดทานกับ shear angle

จากการพิจารณาหลักของการตัดจะพบว่าแรงที่เกิดขึ้นในขณะที่ตัด จะขึ้นกับค่ามุมเฉือน ϕ ตามสมการที่ (7) ซึ่งเมื่อพล็อตค่า F_c และ F_z เทียบกับค่า ϕ โดยให้ค่า a, b, k, α และ β เป็นค่าคงตัวจะได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมเฉือน ϕ กับค่าแรงขนานในแนว การตัด cutting force, F_c

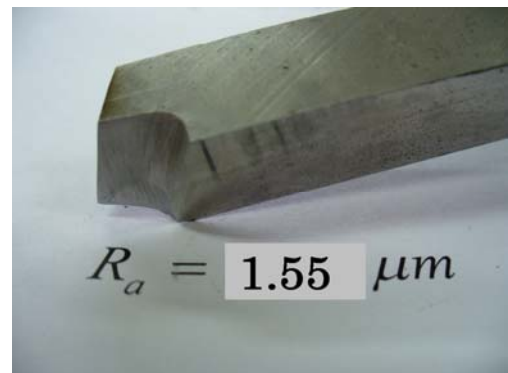


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมเฉือน ϕ กับค่าแรงตั้งฉากในแนว การตัด thrust force, F_z

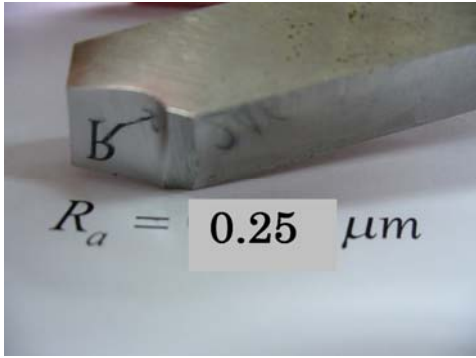
จากกราฟจะเห็นได้ว่ายิ่งค่ามุมเฉือน ϕ เพิ่มขึ้นจะยิ่งทำให้แรงในการตัดลดลงและเนื่องจากค่ามุมเฉือนกับค่ามุมเสียดทาน β มีความสัมพันธ์กันตามสมการที่ (8) ซึ่งจะพบว่าค่ามุมเฉือนจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่ามุมเสียดทาน β ลดลงดังนั้นในการทดลองจะอาศัยเทคนิค abrasive polishing ทำให้ความหยาบผิวที่บริเวณผิวสัมผัส (tool/chip interface) ลดลงเพื่อลดแรงเสียดทานหรือ β ให้ลดลงนั่นเอง

3. ขั้นตอนการทดลอง

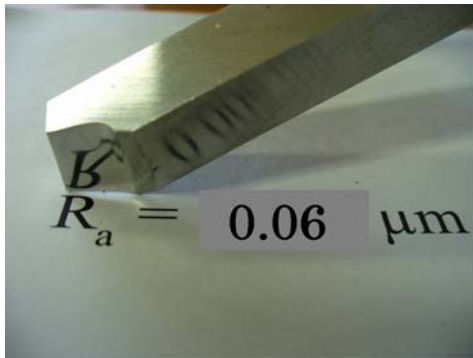
ในการทดลองจะเริ่มต้นจากการเจียรมีดกลึงคาร์ไบด์ให้มีมุมคาย (rake angle) และมุมหลบ (clearance angle) เท่ากับ 15° และ 8° ตามลำดับจำนวนสามเล่ม จากนั้นจึงนำมีดกลึงเล่มที่หนึ่งไปทำการขัดผิวที่บริเวณ rake face ด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 800 และ 1200 ตามลำดับ และมีดกลึงที่สองขัดผิวที่บริเวณ rake face ด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 800 และ 1200 ใช้แปรงขัดชุบผงอลูมินาขนาด $1 \mu m$ ในการขัดผิว จากนั้นนำมีดกลึงทั้งสามเล่มไปทำการวัดความหยาบพื้นผิวด้วยเครื่องวัดความหยาบผิว (SurfTest SJ-201 P/M 10 นาโนเมตร) โดยทำการลากหัว stylus ไปบนชิ้นงานเป็นระยะทาง 0.25 มิลลิเมตร ที่ตำแหน่งต่างๆ 5 ตำแหน่งจากนั้นจึงนำผลที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ยซึ่งพบว่ามีดกลึงที่ได้จากการเจียรผิวจะมีค่าความหยาบ $R_a = 1.55 \mu m$ มีดกลึงที่ผ่านการขัดผิวด้วยกระดาษทรายจะมีค่า $R_a = 0.25 \mu m$ และมีดกลึงที่ผ่านการขัดผิวด้วยกระดาษทรายและผงอลูมินาจะมีค่า $R_a = 0.06 \mu m$ ดังรูปที่ 6 7 และ 8 ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 6 มีดกลึงที่ได้จากการเจียรผิว ($R_a = 1.55 \mu m$)



รูปที่ 7 มีดกลึงที่ผ่านการขัดผิวด้วยกระดาษทราย ($R_a = 0.25 \mu m$)



รูปที่ 8 มีดกลึงที่ผ่านการขัดผิวด้วยกระดาษทรายและผงอลูมิน่า ($R_a = 0.06 \mu m$)

ตารางที่ 1 กระบวนการเตรียมและความหยาบผิวของมีดกลึง

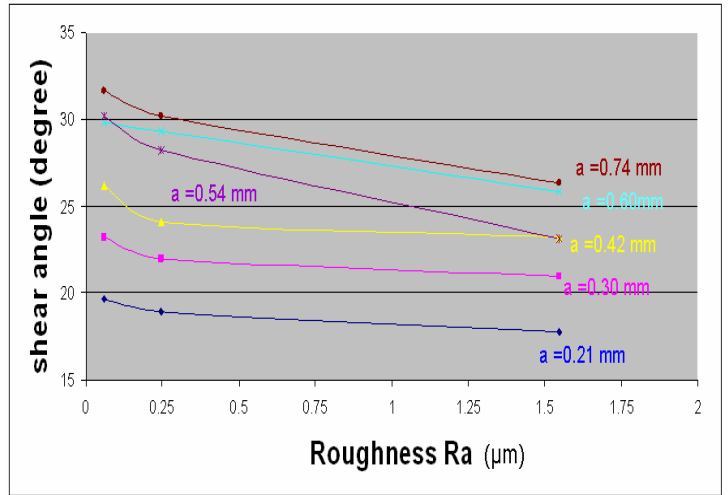
มีดกลึงเล่มที่	กระบวนการเตรียม	ความหยาบผิว R_a (μm)
1	ไม่ผ่านกระบวนการขัดผิว	1.55
2	ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 800 และ 1200	0.25
3	ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 800 และ 1200 และ ผงอลูมิน่า ขนาด $1 \mu m$	0.06

ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทดลองนำมีดไปกลึงชิ้นงาน mild steel (111 HB) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm เพื่อนำเศษกลึงมาหาขนาดความหนาเศษกลึง (chip thickness), a_c โดยทำการตั้งสภาวะการตัด (cutting condition) ของเครื่องกลึงแบบกึ่งอัตโนมัติของ Win Ho Technology Industrial Co.,Ltd ไว้ที่ความเร็วการหมุน 170 rpm ระยะกินลึก (depth of cut), b 2 มิลลิเมตร, มุมตัด (approach angle) 90° uncut chip thickness, a ที่ระยะ 0.21 0.30 0.42 0.54 0.60 และ 0.74 ตามลำดับและเป็นการตัดแบบ dry cut จากนั้นทำการวัดความหนาของ

เศษกลึงด้วยไมโครมิเตอร์ (Mitutoyo 0.01 mm) โดยทำการวัดขนาดบนตัวเศษกลึง 3 จุดต่อ 1 ชิ้นและทำการหาค่าเฉลี่ยและนำไปคำนวณค่ามุมเฉือน ϕ ด้วยความสัมพันธ์ตามสมการ (2) และ (3) ตามลำดับ

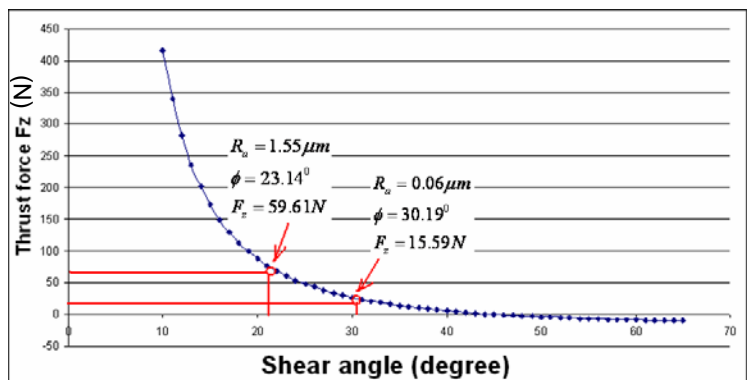
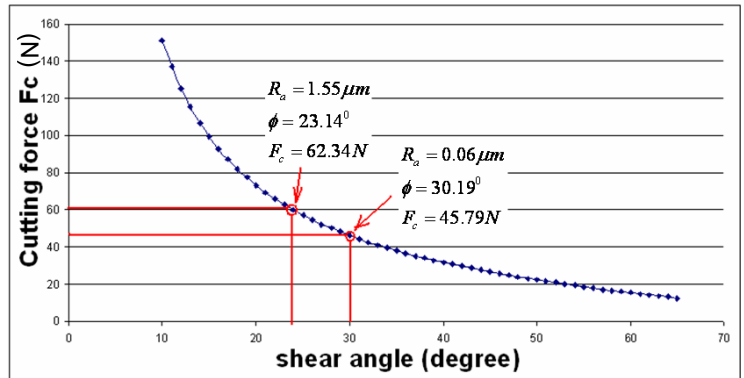
4.ผลการทดลอง

ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 9



"a" is uncut chip thickness

รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบผิวกับความหยาบผิวกับมุม shear angle



รูปที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรง cutting force, F_c และ thrust force F_z ที่ความลึกตัด $a = 0.6$ mm

-เมื่อพิจารณาผลการทดลองจากรูปที่ 9 พบว่ามีดกลึงที่มีค่าความหยาบผิวน้อยจะทำให้เกิดเศษกลึงที่มีค่ามุมเฉือนมากกว่าซึ่งส่งผลให้แรงที่ใช้

ในการตัดน้อยกว่า โดยเมื่อพิจารณาค่าแรงที่ใช้ในการตัดจะพบว่า มีดกึ่งที่ผ่านการขัดผิว ($R_a = 0.06 \mu m$) จะเกิดแรงในการตัดน้อยกว่า มีดกึ่งที่ไม่ผ่านการขัดผิว ($R_a = 1.55 \mu m$) เช่นเมื่อพิจารณาที่ความลึกตัด 0.6 mm (รูปที่ 10) ค่าแรงตัด F_c และ F_z ลดลง 27.28% และ 73.84% ตามลำดับ

-การใช้เทคนิค abrasive polishing ในการขัดผิวมีดกึ่งจะส่งผลให้ความหยาบผิวของมีดบริเวณ rake face ลดลง เมื่อพิจารณาถึงแรงเสียดทานบริเวณหน้าสัมผัสระหว่างมีดกึ่งกับเศษกึ่งแล้วจะพบว่า มีดกึ่งที่ผ่านการขัดผิวจะมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานน้อยกว่ามีดกึ่งที่ไม่ได้ผ่านการขัดผิวเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานขึ้นอยู่กับความหยาบระหว่างผิวของวัตถุ 2 ชนิด[3] ดังนั้นการลดค่าความหยาบจึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลงซึ่งส่งผลต่อ ϕ ดังความสัมพันธ์ตามสมการที่ (8)



รูปที่ 11 แสดงเศษกึ่งที่ได้จากการทดลอง a) มีดกึ่ง $R_a = 1.55 \mu m$ b) มีดกึ่ง $R_a = 0.06 \mu m$

-จากการพิจารณาถึงเศษกึ่งที่เกิดขึ้นจะพบว่าที่ความลึกตัด 0.42-0.74 mm เศษกึ่งที่เกิดจากมีดกึ่งที่ไม่ผ่านการขัดผิว ($R_a = 1.55 \mu m$) จะเกิดเศษกึ่งชนิดไม่ต่อเนื่องแบบ Long ear type แต่ในขณะที่มีดกึ่งที่ผ่านการขัดผิว ($R_a = 0.06 \mu m$) ยังมีลักษณะเป็นเศษกึ่งแบบต่อเนื่องอยู่ดังแสดงในรูปที่ 11 ซึ่งเศษกึ่งประเภทนี้เป็นเศษกึ่งในแบบที่ต้องการ[4],[5] แสดงให้เห็นถึง cutting machinability ของมีดกึ่งที่ผ่านการขัดที่ดีกว่ามีดกึ่งที่ไม่ผ่านการขัดผิว

6.สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสรุปได้ว่าการลดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสหน้า rake face กับเศษกึ่งมีผลทำให้ค่ามุมเฉือนลดลงตามทฤษฎี และเมื่อพิจารณาถึงค่ามุมเฉือนที่เพิ่มขึ้นที่ความลึกตัด 0.6 mm ซึ่งเป็นค่าความลึกที่มีดกึ่งที่ผ่านการขัดมีค่ามุมเฉือนเพิ่มขึ้นมากที่สุดคือ 7.051° ส่งผลให้ค่าแรงตัด F_c และ F_z ลดลง 27.28 % และ 73.84% ตามลำดับ

7.เอกสารอ้างอิง

- [1].David A. Stephenson and John S. Agapiou, *Metal cutting theory and practice*, Marcel Dekker, Inc New York, 1997
- [2]. A. Molinari, A. Moufki, *The Merchant's model of orthogonal cutting revisited: A new insight into the modeling of chip formation*, International Journal of Mechanical Sciences 50 (2008) page 124-9

[3].Gwidon W.Stachowiak and Andrew W.Batchelor, *Engineering Tribology Third Edition*, Elsevier, Inc Burlington USA, 2005

[4]. Roy A.Lindberg, *Processes and materials of manufacture*, Prentice-Hall, inc Englewood Cliffs, New Jersey ,2003

[5].Milton C.Shaw, *Metal cutting principle*, Oxford University Press, Newyork, 1984