เงื่อนไขการกลึงเหล็กหล่อสีเทาด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวและมีดกลึงเซรามิก

นายสุขชีพ โลพันธ์ศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-769-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17227446

TURNING CONDITIONS OF GREY CAST IRON WITH CARBIDE COATED AND CERAMIC CUTTING TOOLS

Mr. Sukcheep Lophansri

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Industrial Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1996

ISBN 974-636-769-2

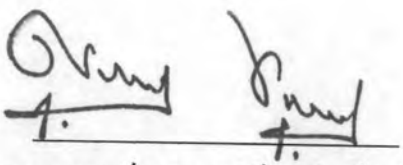
หัวข้อวิทยานิพนธ์ เงื่อนไขการกลึงเหล็กหล่อสีเทาด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวและมีดกลึงเซรามิก (TURNING CONDITIONS OF GREY CAST IRON WITH CARBIDE COATED AND CERAMIC CUTTING TOOLS)

โดย นายสุขชีพ โลพันธ์ศรี

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

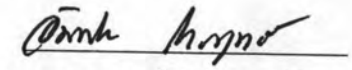
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

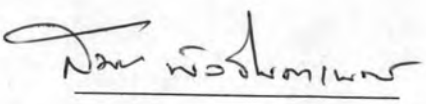


(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์) คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

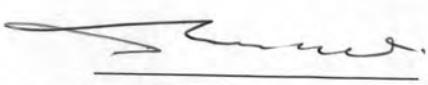
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



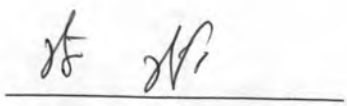
(ศาสตราจารย์ อัมพิกา ไกรฤทธิ์) ประธานกรรมการ



(อาจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร) อาจารย์ที่ปรึกษา



(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก) กรรมการ



(รองศาสตราจารย์ จันทนา จันทโร) กรรมการ

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สุชีพ โลพันธ์ศรี : เงื่อนไขการกลึงเหล็กหล่อสีเทาด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวและมีดกลึงเซรามิก (TURNING CONDITIONS OF GREY CAST IRON WITH CARBIDE COATED AND CERAMIC CUTTING TOOLS) อ. ที่ปรึกษา : ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร, 120 หน้า. ISBN 974-636-769-2

การวิจัยครั้งนี้ศึกษาถึงการใช้เม็ดมีดกลึงสำเร็จรูปที่เป็นวัสดุคาร์ไบด์เคลือบผิวและวัสดุเซรามิก ในการกลึงชิ้นงานที่เป็นวัสดุเหล็กหล่อสีเทาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาผลกระทบของอัตราป้อนและความเร็วตัดของมีดกลึงที่มีต่อความสึกหรอของใบมีดและความเรียบผิวของชิ้นงานสำหรับงานกลึงละเอียด 2) ศึกษาอายุการใช้งานที่กำหนดจากความสึกหรอของมีดกลึงและความเรียบผิวของชิ้นงาน เพื่อให้ได้จุดที่สภาวะเงื่อนไขการตัดที่ให้ผลตอบแทนสูงสุด

การวิจัยได้ใช้วัสดุชิ้นงานเป็นเหล็กหล่อสีเทาชนิด FC25 ตามมาตรฐาน JIS G 5501 ที่ สภาวะเงื่อนไขการตัดต่าง ๆได้แก่ ความเร็วตัดในช่วง 150 ถึง 350 เมตรต่อนาที และอัตราป้อนใบมีดในช่วง 0.1 ถึง 0.4 มิลลิเมตรต่อรอบ โดยระยะลึกของการตัดคงที่เท่ากับ 0.3 มิลลิเมตร ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของความสึกหรอของมีดกลึง ความเรียบผิวของชิ้นงานและอายุใช้งานของมีดกลึง เพื่อนำไปหาสภาวะการตัดที่ให้ผลกำไรมากที่สุด โดยคำนึงถึงต้นทุนในการตัดต่อชิ้นงานต่ำสุดและอัตราการผลิตสูงสุด

จากการทดลองพบว่า ความเร็วตัดและอัตราป้อนใบมีดจะมีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึงกล่าวคือเมื่อเพิ่มความเร็วตัดและอัตราป้อนเพิ่มขึ้น การสึกหรอก็จะเพิ่มมากขึ้นโดยอัตราป้อนใบมีดมีผลกระทบน้อยกว่าความเร็วตัด นอกจากนี้อัตราป้อนใบมีดยังมีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงานคือเมื่ออัตราป้อนใบมีดเพิ่มขึ้น จะมีผลให้ชิ้นงานมีความเรียบผิวที่มีแนวโน้มลดลง

ผลการทดลองโดยใช้มีดกลึงด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบจะได้ค่าพารามิเตอร์สำหรับสมการ Taylor ดังนี้คือค่าคงที่ (n) เท่ากับ 0.251 ความเร็วตัด (Vr) เท่ากับ 8.5 เมตรต่อวินาทีที่อายุการใช้งานเท่ากับ 60 วินาทีและมีดกลึงเซรามิกจะได้ค่าคงที่ (n) เท่ากับ 0.301 และความเร็วตัด (Vr) เท่ากับ 9.0 เมตรต่อวินาทีที่อายุการใช้งานใบมีดเท่ากับ 60 วินาที นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์กับงานในสายการผลิตหนึ่ง เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดโดยเปรียบเทียบจากผลกำไรต่อเวลาการผลิต สำหรับการกลึงด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวที่เงื่อนไขการกลึงความเร็วตัดเท่ากับ 234 เมตรต่อนาที จะให้ผลกำไรต่อเวลาการผลิตสูงสุดเท่ากับ 0.037 บาทต่อวินาที และการกลึงชิ้นงานด้วยมีดกลึงเซรามิกที่เงื่อนไขการกลึงความเร็วตัดเท่ากับ 186 เมตรต่อนาที จะให้ผลกำไรต่อเวลาการผลิตสูงสุดเท่ากับ 0.019 บาทต่อวินาที โดยมีเงื่อนไขราคาขายของชิ้นงานเท่ากับ 37.5 บาทต่อชิ้น

จากการเปรียบเทียบจากผลกำไรในการกลึงของมีดกลึงทั้งสอง พบว่าการตัดด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวจะให้ผลตอบแทนสูงกว่ามีดกลึงเซรามิก

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C616622 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEY WORD: GREY CAST IRON/CUTTING TOOLS

SUKCHEEP LOPHANSRI : TURNING CONDITIONS OF GREY CAST IRON WITH CARBIDE COATED AND CERAMIC CUTTING TOOLS. THESIS ADVISOR : SOMCHAI PUAJINDANETR , Ph.D. 120 pp.
ISBN 974-636-769-2.

This research studied turning conditions of grey cast iron using cutting tools being carbide coated and ceramic. The objectives were 1) to study the influence of feed rate and cutting speed on cutting tool wear and workpiece's surface roughness in finishing cut, 2) to study tool life criterion considered by tool wear and workpiece roughness in order to find the optimal point being maximum profit.

This research used workpiece material as grey cast iron FC25 standard by JIS G 5501 on different conditions such as cutting speed 150 to 350 m/min. and feed rate between 0.1 to 0.4 mm/rev. at constantly depth of cut 0.3 mm and study relative of tool wear and workpiece roughness and the life of tool with time to find out turning conditions with maximum profit and considering base on minimum production cost and maximum production rate.

The results showed that cutting speed and feed rate were effect on the tool life. Tool wear increased with cutting speed and feed rate. However, the feed rate was effect on workpiece's surface roughness : increasing with feed rate, increasing with roughness.

The experimental results of the carbide tools found that the parameters used for the Taylor's equation were 0.251 of constant (n), 8.5 m/sec of cutting speed (Vr) for 60 seconds of tool life. Whereas, the results of ceramic tools provided the parameters that the constant (n) was 0.301 and the cutting speed (Vr) for 60 seconds of tool life was 8.5 m/sec. The optimal cutting speed for carbide coated tool and ceramic tool was 234 m/min with the maximum profit rate of 0.037 baht/second, and 186 m/min with the maximum profit rate of 0.01 baht/second,respectively, where the sale price of workpiece was 37.5 baht. Therefore, the carbide coated tool provided the profit more than ceramic tool.

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการวิจัยมาด้วยดีมาตลอด และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนให้การเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

.....

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญภาพ ..... ฐ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ด

บทที่

1. บทนำ 1
2. ทฤษฎีและการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
3. วิธีการทดลอง 28
4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล 36
5. วิจารณ์ผลการทดลอง 103
6. สรุปและข้อเสนอแนะ 105

รายการอ้างอิง 107
ภาคผนวก ก. เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย 109
ประวัติผู้เขียน 120

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อการตัดโลหะ 16
3.1 แสดงเงื่อนไขในการทดลองกลึงด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ 29
3.2 แสดงเงื่อนไขในการทดลองกลึงด้วยมีดกลึงเซรามิก 29
4.1 แสดงปริมาณเปอร์เซนต์ของธาตุในชิ้นงานเหล็กหล่อในงานทดลอง 37
4.2 แสดงผลการวัดค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบ 39
4.3 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ ที่สภาวะv=150m/min,f=0.1mm/rev 41
4.4 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ ที่สภาวะ v=150m/min, f=0.2mm/rev 41
4.5 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ ที่สภาวะ v=150m/min, f=0.3mm/rev 42
4.6 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ ที่สภาวะ v=150m/min, f=0.4mm/rev 42
4.7 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ ที่สภาวะ v=200m/min, f=0.1mm/rev 43
4.8 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ ที่สภาวะ v=200m/min, f=0.2mm/rev 43
4.9 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ สภาวะ v=200m/min, f=0.3mm/rev 44
4.10 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ ที่สภาวะ v=200m/min, f=0.4mm/rev 44
4.11 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ ที่สภาวะ v=250m/min, f=0.1mm/rev 45
4.12 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ ที่สภาวะ v=250m/min, f=0.2mm/rev 45
4.13 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ ที่สภาวะ v=250m/min, f=0.3mm/rev 46
4.14 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ ที่สภาวะ v=250m/min, f=0.4mm/rev 46

4.15 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ
ที่สภาวะ v=350m/min, f=0.1mm/rev 47
4.16 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ
ที่สภาวะ v=350m/min, f=0.2mm/rev 47
4.17 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ
ที่สภาวะ v=350m/min, f=0.3mm/rev 48
4.18 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ
ที่สภาวะ v=350m/min, f=0.4mm/rev 48
4.19 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงเซรามิก
ที่สภาวะ v=150m/min, f=0.1mm/rev 48
4.20 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงเซรามิก
ที่สภาวะ v=150m/min, f=0.2mm/rev 49
4.21 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงเซรามิก
ที่สภาวะ v=150m/min, f=0.3mm/rev 49
4.22 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงเซรามิก
ที่สภาวะ v=150m/min, f=0.4mm/rev 50
4.23 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงเซรามิก
ที่สภาวะ v=200m/min, f=0.1mm/rev 50
4.24 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงเซรามิก
ที่สภาวะ v=200m/min, f=0.2mm/rev 51
4.25 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงเซรามิก
ที่สภาวะ v=200m/min, f=0.3mm/rev 51
4.26 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงเซรามิก
ที่สภาวะ v=200m/min, f=0.4mm/rev 52
4.27 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงเซรามิก
ที่สภาวะ v=250m/min, f=0.1mm/rev 52
4.28 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงเซรามิก
ที่สภาวะ v=250m/min, f=0.2mm/rev 53
4.29 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงเซรามิก
ที่สภาวะ v=250m/min, f=0.3mm/rev 53
4.30 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงเซรามิก
ที่สภาวะ v=250m/min, f=0.4mm/rev 54
4.31 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงเซรามิก
ที่สภาวะ v=350m/min, f=0.1mm/rev 54
4.32 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงเซรามิก

ที่สภาวะ v=350m/min, f=0.2mm/rev 55
4.33 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงเซรามิก
ที่สภาวะ v=350m/min, f=0.3mm/rev 55
4.34 แสดงผลของ flank wear และความเรียบผิว ที่กลึงด้วยมีดกลึงเซรามิก
ที่สภาวะ v=350m/min, f=0.4mm/rev 55
4.35 แสดงอายุใช้งานของมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบโดยที่ความเร็วตัดเปลี่ยน
และอัตราป้อนเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ.. 93
4.36 แสดงอายุใช้งานของมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบโดยที่ความเร็วตัดเปลี่ยน
และอัตราป้อนเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตรต่อรอบ.. 93
4.37 แสดงอายุใช้งานของมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบโดยที่ความเร็วตัดเปลี่ยน
และอัตราป้อนเท่ากับ 0.3 มิลลิเมตรต่อรอบ.. 93
4.38 แสดงอายุใช้งานของมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบโดยที่ความเร็วตัดเปลี่ยน
และอัตราป้อนเท่ากับ 0.4 มิลลิเมตรต่อรอบ.. 94
4.39 แสดงอายุใช้งานของมีดกลึงเซรามิกโดยที่ความเร็วตัดเปลี่ยน
และอัตราป้อนเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ.. 94
4.40 แสดงอายุใช้งานของมีดกลึงเซรามิกเคลือบโดยที่ความเร็วตัดเปลี่ยน
และอัตราป้อนเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตรต่อรอบ.. 94
4.41 แสดงอายุใช้งานของมีดกลึงเซรามิกเคลือบโดยที่ความเร็วตัดเปลี่ยน
และอัตราป้อนเท่ากับ 0.3 มิลลิเมตรต่อรอบ.. 95
4.42 แสดงอายุใช้งานของมีดกลึงเซรามิกเคลือบโดยที่ความเร็วตัดเปลี่ยน
และอัตราป้อนเท่ากับ 0.4 มิลลิเมตรต่อรอบ.. 95
4.43 แสดงความเร็วตัด(V)ในช่วง Vc ถึง Vp และอัตรากำไร(profit rate)
ของมีดกลึงมีดคาร์ไบด์เคลือบ..... 95
4.44 แสดงความเร็วตัด(V)ในช่วง Vc ถึง Vp และอัตรากำไร(profit rate)
ของมีดกลึงเซรามิก..... 96
4.45 แสดงการคำนวนความเร็วตัดที่ต้นทุนการผลิตต่ำสุด(Vc)และอัตราการผลิตสูงสุด(Vp)
สำหรับมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิว..... 101
4.46 แสดงการคำนวนความเร็วตัดที่ต้นทุนการผลิตต่ำสุด(Vc)และอัตราการผลิตสูงสุด(Vp)
สำหรับมีดกลึงเซรามิก..... 102

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงกรรมวิธีการผลิตเหล็กความเร็วรอบสูง (high speed steel)..... 4
2.2 แสดงกรรมวิธีกระบวนการผลิต (carbide tool)..... 5
2.3 แสดงของข่ายของงาน machining..... 6
2.4 แสดงลักษณะและชื่อของส่วนประกอบต่าง ๆของเครื่องมือตัด..... 7
2.5 แสดงลักษณะการเกิดของเศษโลหะแบบต่าง ๆ..... 8
2.6 แสดงลักษณะการสึกหรอที่เกิดบนมีดกลึง..... 10
2.7 แสดงการสึกหรอแบบ crater wear และ flank wear..... 10
2.8 แสดงการดำเนินไปของ flank wear กับเวลาของมีดกลึงคาร์ไบด์ที่ความเร็วตัด 1 m/s 11
2.9 แสดงความเรียบผิวทางอุดมคติในลักษณะของมีดกลึงที่เป็นมุมคม..... 13
2.10 แสดงความเรียบผิวทางอุดมคติในลักษณะของมีดกลึงที่เป็นมุมโค้ง..... 14
2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง tool life และ cutting speed ของ Taylor โดยที่ n เป็นค่าคงที่..... 19
2.12 แสดงแผนภาพการประมาณค่าของความเร็วตัด เมื่ออายุการใช้งานของมีดกลึง Tr = 60 s..... 19
2.13 แสดงตัวแปรที่มีผลต่อต้นทุนการผลิตรวม..... 21
2.14 แสดงผลของความเร็วตัดที่มีต่อเวลาในการผลิตเฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน..... 22
2.15 แสดงผลของเวลาการผลิตเฉลี่ยต่ออัตราการผลิต..... 23
2.16 แสดงช่วงความเร็วตัดในการกลึงงานที่เหมาะสม..... 23
3.1 แสดงลักษณะของการจับยึดชิ้นงานด้วย CHUCK บนเครื่องกลึง CNC turning..... 31
3.2 แสดงลักษณะตำแหน่งที่ตรวจวัดความแข็ง..... 32
3.3 แสดงการตรวจวัดระยะความสึกหรอ (flank wear)ของเม็ดมีดด้วยกล้องจุลทรรศน์... 33
3.4 แสดงระยะความกว้างของการสึกหรอของ flank wear 34
3.5 แสดงลักษณะของหัววัดความเรียบผิวที่ติดบน turret สำหรับตรวจความเรียบผิว ในเครื่องกลึง CNC..... 35
4.1 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานทดสอบที่กำลังขยาย 50 เท่า..... 37
4.2 แสดงผลการวัดค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบ 40
4.3 แสดงผลของอัตราป้อนที่มีต่อ flank wear เมื่อ V=150m/min และ f=0.1,0.2,0.3,0.4mm/rev ของมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ..... 56
4.4 แสดงผลของอัตราป้อนที่มีต่อ flank wear เมื่อ V=200m/min และ f=0.1,0.2,0.3,0.4mm/rev

ของมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ..... 57
4.5 แสดงผลของอัตราป้อนที่มีต่อ flank wear เมื่อ V=250m/min และ f=0.1,0.2,0.3,0.4mm/rev ของมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ..... 58
4.6 แสดงผลของอัตราป้อนที่มีต่อ flank wear เมื่อ V=350m/min และ f=0.1,0.2,0.3,0.4mm/rev ของมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ..... 59
4.7 แสดงผลของอัตราป้อนที่มีต่อ flank wear เมื่อ V=150m/min และ f=0.1,0.2,0.3,0.4mm/rev ของมีดกลึงเซรามิก 60
4.8 แสดงผลของอัตราป้อนที่มีต่อ flank wear เมื่อ V=200m/min และ f=0.1,0.2,0.3,0.4mm/rev ของมีดกลึงเซรามิก 61
4.9 แสดงผลของอัตราป้อนที่มีต่อ flank wear เมื่อ V=250m/min และ f=0.1,0.2,0.3,0.4mm/rev ของมีดกลึงเซรามิก 62
4.10 แสดงผลของอัตราป้อนที่มีต่อ flank wear เมื่อ V=350m/min และ f=0.1,0.2,0.3,0.4mm/rev ของมีดกลึงเซรามิก 63
4.11 แสดงผลของอัตราป้อนที่มีต่อความเรียบผิวเมื่อ V=150m/min และ f=0.1,0.2,0.3,0.4mm/rev ของมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ 64
4.12 แสดงผลของอัตราป้อนที่มีต่อความเรียบผิวเมื่อ V=200m/min และ f=0.1,0.2,0.3,0.4mm/rev ของมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ 65
4.13 แสดงผลของอัตราป้อนที่มีต่อความเรียบผิว เมื่อ V=250m/min และ f=0.1,0.2,0.3,0.4mm/rev ของมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ 66
4.14 แสดงผลของอัตราป้อนที่มีต่อความเรียบผิวเมื่อ V=250m/min และ f=0.1,0.2,0.3,0.4mm/rev ของมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ 67
4.15 แสดงผลของอัตราป้อนที่มีต่อความเรียบผิว เมื่อ V=150m/min และ f=0.1,0.2,0.3,0.4mm/rev ของมีดกลึงเซรามิก 68
4.16 แสดงผลของอัตราป้อนที่มีต่อความเรียบผิวมื่อ V=200m/min และ f=0.1,0.2,0.3,0.4mm/rev ของมีดกลึงเซรามิก 69
4.17 แสดงผลของอัตราป้อนที่มีต่อความเรียบผิวเมื่อ V=250m/min และ f=0.1,0.2,0.3,0.4mm/rev ของมีดกลึงเซรามิก 70
4.18 แสดงผลของอัตราป้อนที่มีต่อความเรียบผิว เมื่อ V=350m/min และ f=0.1,0.2,0.3,0.4mm/rev ของมีดกลึงเซรามิก 71
4.19 แสดงผลของความเร็วตัดที่มีต่อ flank wear เมื่อ f=0.1mm/rev และ V= 150,200,250,350 m/min ของมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ 72
4.20 แสดงผลของความเร็วตัดที่มีต่อ flank wear เมื่อ f=0.2mm/rev และ V= 150,200,250,350 m/min ของมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ..... 73
4.21 แสดงผลของความเร็วตัดที่มีต่อ flank wear เมื่อ f=0.3mm/rev และ V= 150,200,250,350 m/min ของมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ 74
4.22 แสดงผลของความเร็วตัดที่มีต่อ flank wear เมื่อ f=0.4mm/rev และ V= 150,200,250,350 m/min ของมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ 75

4.23 แสดงผลของความเร็วตัดที่มีต่อ flank wear เมื่อ f=0.1mm/rev และ V= 150,200,250,350 m/min ของมีดกลึงเซรามิก 76
4.24 แสดงผลของความเร็วตัดที่มีต่อ flank wear เมื่อ f=0.2mm/rev และ V= 150,200,250,350 m/min ของมีดกลึงเซรามิก 77
4.25 แสดงผลของความเร็วตัดที่มีต่อ flank wear เมื่อ f=0.3mm/rev และ V= 150,200,250,350 m/min ของมีดกลึงเซรามิก 78
4.26 แสดงผลของความเร็วตัดที่มีต่อ flank wear เมื่อ f=0.4mm/rev และ V= 150,200,250,350 m/min ของมีดกลึงเซรามิก 79
4.27 แสดงผลของความเร็วตัดที่มีต่อความเรียบผิว เมื่อ f=0.1 mm/rev และ V= 150,200,250,350 m/min ของมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ 80
4.28 แสดงผลของความเร็วตัดที่มีต่อความเรียบผิว เมื่อ f=0.2 mm/rev และ V= 150,200,250,350 m/min ของมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ 81
4.29 แสดงผลของความเร็วตัดที่มีต่อความเรียบผิว เมื่อ f=0.3 mm/rev และ V= 150,200,250,350 m/min ของมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ 82
4.30 แสดงผลของความเร็วตัดที่มีต่อความเรียบผิว เมื่อ f=0.4 mm/rev และ V= 150,200,250,350 m/min ของมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ 83
4.31 แสดงผลของความเร็วตัดที่มีต่อความเรียบผิว เมื่อ f=0.1 mm/rev และ V= 150,200,250,350 m/min ของมีดกลึงเซรามิก 84
4.32 แสดงผลของความเร็วตัดที่มีต่อความเรียบผิว เมื่อ f=0.2 mm/rev และ V= 150,200,250,350 m/min ของมีดกลึงเซรามิก 85
4.33 แสดงผลของความเร็วตัดที่มีต่อความเรียบผิว เมื่อ f=0.3 mm/rev และ V= 150,200,250,350 m/min ของมีดกลึงเซรามิก 86
4.34 แสดงผลของความเร็วตัดที่มีต่อความเรียบผิว เมื่อ f=0.4 mm/rev และ V= 150,200,250,350 m/min ของมีดกลึงเซรามิก 87
4.35 แสดงลักษณะเงื่อนไขใช้งานที่แตกต่างกันของมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบและเซรามิก 88
4.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบและความเร็วตัด 97
4.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของมีดกลึงเซรามิกและความเร็วตัด 98
4.38 แสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตัดและอัตรากำไร ณ. ราคาขาย 37.5 บาท ของมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบ 99
4.39 แสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตัดและอัตรากำไร ณ. ราคาขาย 37.5 บาท ของมีดกลึงเซรามิก 100

คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อ

A	แทนด้วยค่าคงที่ของสมการเส้นตรง
AC	แทนด้วยเกรดของมีดกลึงทังสเตนคาร์ไบด์
Al	แทนด้วยธาตูอะลูมิเนียม
Al2O3	แทนด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์
B	แทนด้วยค่า slope ของสมการเส้นตรง
C	แทนด้วยค่าคงที่ที่ความเร็วตัดใด ๆณ. อายุใช้งาน 1 นาที
CBN	แทน่วยคิวบิกโบรอนไนไตรด์ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ทำมี่ดตัดสมัยใหม่แบบหนึ่ง
CNC	ย่อมาจาก Computer Numerical Control
Co	แทนด้วยธาตุโคบอลล์
Cpr	แทนด้วยต้นทุนของการผลิตเฉลี่ยของแต่ละชิ้นงาน
Cpr,c	แทนด้วยต้นทุนของการผลิตรวมของแต่ละชิ้นงานที่ต่ำที่สุด
Cpr,p	แทนด้วยต้นทุนของการผลิตเฉลี่ยของแต่ละชิ้นงานที่อัตราการผลิตสูงสุด
Ct	แทนด้วยต้นทุนของมีดกลึง 1 หน่วย
Cu	แทนด้วยธาตุทองแดง
Dw	แทนด้วยเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงาน
f	แทนด้วยอัตราป้อน
FC25	แทนด้วยชั้นมาตรฐานเหล็กหล่อสีเทาตาม JIS
HB	แทนด้วยหน่วยของความแข็งคือ บริเนล
ISO	ย่อมาจาก International Organization for Standardization
JIS	ย่อมาจาก JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD
K	แทนด้วยค่าคงที่สำหรับการกลึงงานนั้น ๆหรือระยะทางที่มีดกลึงตัด
K′rc	แทนด้วยมุม working minor cutting edge angle
Krc	แทนด้วยมุม working major cutting edge angle
KT	แทนด้วย crater depth
L	แทนด้วยอัตราค่าแรงคนงาน
LD	แทนด้วยหน่วยที่ใช้วัดความแข็งจากเครื่องวัดแบบอิเลคโทรนิคส์
Lw	แทนด้วยความยาวของการกลึงตัดงาน

M	แทนด้วยอัตราค่าใช้งานเครื่องจักรและคนงานรวมค่าโสหุ้ย
Mt	แทนด้วยอัตราเสื่อมราคาของเครื่องจักร
n	แทนด้วยค่าคงที่ในสมการอายุการใช้งานของมีดกลึงของ Taylor
Nb	แทนด้วยจำนวนของชิ้นงานใน 1 batch
NB	แทนด้วยเกรดของมีดกลึงเซรามิก
Nt	แทนด้วยจำนวนมุมของมีดกลึง
Nw	แทนด้วยความเร็วรอบของชิ้นงาน
Pr	แทนด้วยอัตรากำไร
Ra	แทนด้วย Center Line Mean Roughness หรือ Arithmetical Mean Value of surface roughness
rc	แทนด้วยรัศมีของมุมมีดกลึง
Rmax	แทนด้วยระยะความสูงที่สุดของช่วงความยาวที่สนใจ
S	แทนด้วยราคาขายชิ้นส่วน
SI	ย่อมาจาก International System of Units
T	แทนด้วยอายุการใช้งานของมีดกลึง
Tc	แทนด้วยอายุการใช้งานมีดกลึงที่ใช้ต้นทุนต่ำที่สุด
Tct	แทนด้วยเวลาในการเปลี่ยนมีดกลึง
Ti	แทนด้วยธาตุไททาเนียม
TiC	แทนด้วยสารประกอบไททาเนียมคาร์ไบด์
TiN	แทนด้วยสารประกอบไททาเนียมไนไตรด์
Tl	แทนด้วยเวลาที่ใช้ในการนำงานเข้าและนำงานออก
Tm	แทนด้วยเวลาที่ใช้ในการกลึง
Tm,c	เวลาที่ใช้ในการกลึงชิ้นงานที่ต้นทุนต่ำที่สุด
Tm,p	เวลาที่ใช้ในการกลึงชิ้นงานที่อัตราการผลิตสูงสุด
Tp	แทนด้วยอายุการใช้งานมีดกลึงที่ใช้เวลาในการผลิตต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานน้อยที่สุด
Tpr	แทนด้วยเวลาการผลิตรวมต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน
Tpr,c	แทนด้วยเวลาการผลิตรวมต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานในกรณีต้นทุนต่ำที่สุด
Tpr,p	แทนด้วยเวลาการผลิตรวมต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานในกรณีอัตราการผลิตสูงสุด
Tr	แทนด้วยอายุการใช้งานของมีดกลึงที่ความเร็วตัด Vr
V	แทนด้วยความเร็วตัด

Vb	แทนด้วยความกว้างเฉลี่ยของ flank wear ที่บริเวณ zone B
Vb max	แทนด้วยความกว้างมากที่สุดของ flank wear ที่บริเวณ zone B
Vc	แทนด้วยความกว้างของ flank wear ที่บริเวณ
Vc	แทนด้วยความเร็วตัดที่ต้นทุนรวมต่อชิ้นต่ำสุด
Vn	แทนด้วยความกว้างของ flank wear ที่บริเวณ zone C
Vp	แทนด้วยความเร็วตัดที่ใช้เวลาในการกลึงตัดงานน้อยที่สุดหรืออัตราการผลิตสูงสุด
Vr	แทนด้วยความเร็วตัดอายุการใช้งาน Tr
WC	แทนด้วยสารประกอบทังสเตนคาร์ไบด์