

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



246182



สารบัญ

และรายการใช้ของสัตว์ในไลบรารีแห่งชาติกว่า 500

วิจิตร วัฒนานนท์

พิมพ์ครั้งที่ ๑

พิมพ์ที่ศูนย์วิจัยสัตว์ป่าและนก กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช

มีลิขสิทธิ์โดย สำนักพิมพ์กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช

สงวนลิขสิทธิ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. ๒๕๕๔

600251943

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



246182

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิว
และอายุการใช้งานของมีดคาร์ไบด์ในการกัดเหล็กกล้าคาร์บอน S50C

ว่าที่ร้อยเอก วรพงศ์ พงศ์ภัทรฐิติ ค.อ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหกรรมเครื่องมือกล)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2554



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

(ดร.ถนัด จินตโกศล)

ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์

.....

(รองศาสตราจารย์ คมสัน จิระภัทรศิลป์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย แก้วเกื้อกุล)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....

(ดร.สมภพ ปัญญาสมพรรค)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวและอายุการใช้งานของมิดคาร์ไบด์ ในการกัดเหล็กกล้าคาร์บอน S50C
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	ว่าที่ร้อยเอก วรพงศ์ พงศ์ภัทรวุฒิ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. กมสัน จิระภัทรศิลป์ รศ. ดร. สิทธิชัย แก้วเกื้อกูล
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม
ภาควิชา	ครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คณะ	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
พ.ศ.	2554

บทคัดย่อ

246182

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวและอายุการใช้งานของมิดคาร์ไบด์ วัสดุที่ใช้ในการทดลองเป็นเหล็ก S50C ชุบแข็งซึ่งมีความแข็งระหว่าง 56 ± 2 HRC และใช้มิดคาร์ไบด์ ชนิดเคลือบ PVD ปัจจัยที่ใช้ศึกษาประกอบด้วย ความเร็วตัด อัตราป้อน และ แรงดันลมในการหล่อเย็น ผลการทดลองพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวได้แก่ปัจจัยที่เป็นอิทธิพลร่วมคือ แรงดันลมในการหล่อเย็นที่ความสัมพันธ์กับความเร็วตัดและแรงดันลมในการหล่อเย็นที่ความสัมพันธ์กับอัตราป้อนที่ส่งผลต่อความเรียบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเพิ่มความเร็วตัดพร้อมแรงดันลมให้สูงขึ้นมีผลทำให้ค่าความเรียบผิวของชิ้นงานเพิ่มมากขึ้น และเมื่อลดอัตราป้อนเพิ่มแรงดันลมมีผลทำให้ค่าความเรียบผิวของชิ้นงานเพิ่มมากขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการใช้งานของมิดคาร์ไบด์ได้แก่ปัจจัยที่เป็นอิทธิพลร่วมคือ แรงดันลมในการหล่อเย็น ความเร็วตัด และ อัตราป้อน ส่งผลต่ออายุการใช้งานของมิดคาร์ไบด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเพิ่มความเร็วตัดและอัตราป้อนให้สูงขึ้นจะส่งผลให้อายุการใช้งานของมิดคาร์ไบด์ลดลง

คำสำคัญ : งานกัด / ความเรียบของผิว / อายุการใช้งาน / ความเร็วตัด / อัตราป้อน /
แรงดันลมในการหล่อเย็น / เหล็กกล้าคาร์บอน S50C

Thesis Title	A Study of Factors Influenced Surface Roughness of Workpiece and Tool Life of Carbide Cutting Tool in Milling of Carbon Steel Grade S50C
Thesis Credits	12
Candidate	Acting Captain Worapong Phongphattrawut
Thesis Advisors	Asoc. Prof. Komson Jirapattarasilp Asoc. Prof. Dr. Sittichai Kaewkuekool
Program	Master of Science in Industrial Education
Field of Study	Production Engineering
Department	Production Technology Education
Faculty	Industrial Education and Technology
B.E.	2554

Abstract

246182

The objectives of this research were to study factors that affect to surface roughness and tool life of carbide cutting tool. Material used in the experiment was carbon steel grades S50C which had hardness between 56 ± 2 HRC. The cutting tool carbide was used by PVD carbide tool. Factors were consisted of cutting speeds, feed rates and air cooling pressures. Results revealed that interaction factors air coolant pressure related to the cutting speed and air cooling pressure with feed rate. There were related to the surface roughness that affect the statistical significance level of .05. The higher cutting speed with higher air cooling pressure was increased surface roughness of the workpiece. When decreasing the feed rate and increasing the air cooling pressure were effected to the lower of surface roughness of the workpiece. The interaction factors were air cooling pressure ,cutting speed and feed rate. There was related to the tool life a statistical significance level of .05. Increasing cutting speed and feed rate to higher would effect to a decreasing a tool life carbide.

Keywords : Milling / Surface Roughness / Tool Life /Cutting Speed /Feed Rate /
Air Pressure in the Coolant / Carbon Steel Grade S50C

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ได้สำเร็จล่วงไปด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคคล และหน่วยงานหลายฝ่ายที่เกี่ยวข้อง อันได้แก่ รศ.คมสัน จิระภัทรศิลป์ ประธานที่ปรึกษา และรศ.ดร. สิทธิชัย แก้วเกื้อกูล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งได้ให้คำแนะนำและชี้ข้อบกพร่องต่าง ๆ รวมทั้ง ตรวจสอบและแก้ไขเพื่อให้เกิดความสมบูรณ์และถูกต้องยิ่งขึ้น รวมทั้ง ดร.ถนัด จินตโกศล ที่ได้ กรุณาเป็นประธานในการสอบและ ดร.สมภพ ปัญญาสมพรรค ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณ รศ.สันติรัฐ นันสะอางที่อนุญาตให้นำกล้องสเตอริโอมาใช้ที่วิทยาลัยเทคนิค ขอนแก่นพร้อมคำแนะนำที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง อาจารย์ธีระพงษ์ มณีเพ็ญ ที่ให้คำแนะนำและ อนุญาตให้ใช้เครื่องทดสอบความเรียบผิว ขอขอบพระคุณวิทยาลัยเทคนิคขอนแก่นโดย ผอ.พงษ์ศักดิ์ เวียงเพิ่ม ที่ให้การสนับสนุนอนุญาตให้ใช้ครุภัณฑ์ นายกริช แก้วกระจ่าง หัวหน้าแผนกช่างกล โรงงาน ที่ให้ความสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ทุกเรื่อง นายวีระมิตร ไชยชาติ ที่ให้ความ อนุเคราะห์เสียสละเวลาอันมีค่าช่วยในการควบคุมเครื่อง CNC Milling จนจบกระบวนการ รวมทั้ง บุคลากรอีกหลายท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามในวิทยาลัยเทคนิคขอนแก่น และขอขอบคุณภาควิชาครุศาสตร์ อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรีที่สนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ด้วย

สุดท้ายนี้ขอใช้งานวิทยานิพนธ์เล่มนี้ซึ่งแทนความสำเร็จอีกก้าวหนึ่งเป็นการทดแทนพระคุณของ บิดา มารดาและครู อาจารย์ ผู้มีพระคุณทั้งหลาย ตลอดจนนางนัทธ์หทัย พงศ์ภัทรุฒิ ภรรยาที่คอยให้ กำลังใจ และสนับสนุนต่อผู้จัดทำอย่างมั่นคงและสม่ำเสมอ จนทำให้งานวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ฉ
รายการสัญลักษณ์	ฏ
ประมวลคำศัพท์และคำย่อ	ฒ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 สมมติฐานงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.6 นิยามศัพท์	4
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด S50C	6
2.2 งานกัด	7
2.3 อิทธิพลที่มีต่อการตัดเฉือนโลหะ	14
2.4 วัสดุที่ใช้ผลิตเครื่องมือตัด	16
2.5 การสึกหรอของมีดกัด (Tool Wear)	18
2.6 ข้อกำหนดเกี่ยวกับการสึกหรอคมตัดตามมาตรฐาน ISO3685:1993	21
2.7 อายุของมีดกัด (Tool Life)	23
2.8 ความเรียบผิวงาน	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.9 การวัดความหยาบละเอียดผิวงาน	28
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
3. วิธีการดำเนินการวิจัย	33
3.1 ศึกษาข้อมูลของงานวิจัย	33
3.2 วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	33
3.3 ชิ้นงานและเครื่องมือตัด	36
3.4 ขั้นตอนในการเตรียมชิ้นงาน	37
3.5 ขั้นตอนการดำเนินการก่อนการทดลอง	37
3.6 การออกแบบการทดลอง	38
3.7 ขั้นตอนดำเนินการทดลอง	40
3.8 ขั้นตอนการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล	42
3.9 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	44
4. ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	45
4.1 ผลของการทดลองเบื้องต้น(Pilot Study) ของความเรียบผิว	45
4.2 ผลการทดลองของความเรียบผิว	47
4.3 ผลการวิเคราะห์การทดลองทางสถิติ	49
4.4 ผลของการทดลองเบื้องต้น(Pilot Study) ของอายุการใช้งานของ คมมีดคาร์ไบด์	51
4.5 ผลการทดลองของของอายุการใช้งานของคมมีดคาร์ไบด์	53
4.6 ผลการวิเคราะห์การทดลองทางสถิติ	56
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	61
5.1 สรุปผลการทดลอง	61
5.2 อภิปรายผลการทดลอง	63
5.3 ข้อเสนอแนะ	64

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	66
ภาคผนวก	
ก. ตารางบันทึกผลการทดลอง	69
ข. ตารางวิเคราะห์ผลข้อมูล	78
ค. ภาพถ่ายของลักษณะความเรียบผิวชิ้นงานและอายุใช้งานของคมมีดคาร์ไบด์	86
ง. กราฟแสดงอายุใช้งานของคมมีดคาร์ไบด์	105
จ. ภาพประกอบขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย	115
ฉ. ผลงานที่ได้รับการเผยแพร่ทางวิชาการ	121
ประวัติผู้วิจัย	125

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
3.1 แสดงส่วนผสมทางเคมีของเหล็ก S50C	37
3.2 ตารางการทดลองก่อนการทดลองจริง	38
3.3 แผนการทดลองกำหนดให้เงื่อนไขละ 2 Replicates	34
3.4 สุ่มชิ้นงานสำหรับการทดลอง	41
3.5 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความแข็งของชิ้นงาน	43
4.1 ค่าความเรียบผิวงานกัด (μm) ที่วัดได้จากการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)	46
4.2 ข้อมูลค่าเฉลี่ยความเรียบผิวงานกัด (μm) ที่วัดได้จากการทดลอง	47
4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ของค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความเรียบผิวของงานกัด	49
4.4 อายุการใช้งานของมีดคาร์ไบด์ (นาทิจ) สำหรับการสึกหรอที่ระดับ $V_{B\text{MAX}} = 0.60$ มม. ค่าที่วัดได้จากการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)	51
4.5 ข้อมูลอายุการใช้งานของมีดคาร์ไบด์ (นาทิจ) สำหรับการสึกหรอที่ระดับ $V_{B\text{MAX}} = 0.60$ มม. ในการกัดที่วัดได้จากการทดลอง	55
4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ของค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของมีดคาร์ไบด์	57
ก.1 ตารางบันทึกการทดลองหาค่าความแข็งของชิ้นทดลอง	70
ก.2 ตารางบันทึกการทดลองหาค่าความเรียบผิวชิ้นทดลอง	73
ก.3 ข้อมูลค่าเฉลี่ยความเรียบผิวงานกัด (μm) ที่วัดได้จากการทดลอง	76
ก.4 ตารางการบันทึกระยะเวลาของการสึกหรอของมีดคาร์ไบด์ที่ระดับ $V_{B\text{MAX}} = 0.60$ มม.	77
ข.1 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ของค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความเรียบผิวของงานกัด	81
ข.2 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ของค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของมีดคาร์ไบด์	82

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
2.1 ลักษณะของการกัด	7
2.2 หลักการของเครื่องจักร CNC	7
2.3 หลักการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกล CNC	9
2.4 หลักการของกฎมือขวา	9
2.5 โคออร์ดิเนตของการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรง X , Y , Z และการเคลื่อนที่เชิงมุม A , B , C	10
2.6 หลักการของกฎมือขวาในการกำหนดทิศทางบวกของมุม A หมุนรอบแกน X	10
2.7 แนวแกนการเคลื่อนที่เครื่องกัด CNC	10
2.8 ลักษณะการเคลื่อนที่ของโต๊ะงานและสปินเดินของเครื่องกัด CNC	10
2.9 เครื่องกัด CNC แนวนอน	11
2.10 แนวแกนเครื่องกัด CNC แนวนอน	1
2.11 เอ็นมิลล์แบบปลายหน้าตัดตรง	11
2.12 เอ็นมิลล์แบบปลายครึ่งวงกลม	11
2.13 ตัวอย่างของเฟรมิลล์ที่สำหรับปาดผิวชิ้นงาน	12
2.14 รูปร่างของมิลคาร์ไบด์(Carbide) แบบต่างๆ	12
2.15 ตัวอย่างอุปกรณ์จับยึดเครื่องมือสำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบต่างๆ	13
2.16 ปลอกจับ(Collet) เครื่องมือตัดขนาดต่างๆ	13
2.17 ความเร็วรอบของเพลานในงานกัดและงานเจาะ	14
2.18 แสดงลักษณะของการสึกหรอบนผิวหลบ (Flank Wear)	20
2.19 แสดงลักษณะของการสึกหรอบนผิวคาย (Crater Wear)	20
2.20 การสึกหรอที่ปลายมีดบนผิวคาย (Nose Wear)	21
2.21 แสดงเขตของการสึกหรอตามมาตรฐานสากล ISO	22
2.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของพัฒนาการของการสึกหรอของการสึกหรอบนผิวหลบ (Flank Wear) กับการกำหนดอายุการใช้งานของใบมีด	25
2.23 แสดงการพัฒนาของการสึกหรอ Waer land ช่วง A เป็นจุดเริ่มต้น และช่วง C เป็นจุดสุดท้ายของการสึกหรอ	26
2.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอายุการใช้งานของใบมีดกับความเร็วดัดที่เปลี่ยนไปเมื่อกำหนด Critical Flank = 0.50 มม.	27

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
2.25 การวัดค่า Rt	28
2.26 การวัดค่า Ra	29
2.27 การวัดค่า Rz	29
2.28 เครื่องมือวัดค่าความหยาบผิวงาน	29
3.1 เครื่อง CNC Milling รุ่น WF 21 D MIKRON	34
3.2 เทาชุบแข็ง	34
3.3 เครื่องทดสอบหาค่าความแข็ง	33
3.4 เครื่องวัดความเรียบผิว	35
3.5 อุปกรณ์หาขนาดการสึกหรอของคมตัดมีดคาร์ไบด์	35
3.6 ชี้นงานทดลอง	36
3.7 มีดคาร์ไบด์	36
3.8 ค้ำสำหรับใส่มีดคาร์ไบด์	37
3.9 ตำแหน่งที่ทดสอบหาค่าความแข็ง	42
4.1 การทดสอบการแจกแจงปกติของการทดลองเบื้องต้น	45
4.2 ภาพถ่ายความเรียบผิวของชิ้นงาน	46
4.3 การทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลจากการทดลองความเรียบผิว	48
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองความเรียบผิว ระหว่างแรงดันลมและความเร็วตัด	50
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองความเรียบผิว ระหว่างแรงดันลมและอัตราป้อน	50
4.6 การทดสอบการแจกแจงปกติของการทดลองเบื้องต้น	52
4.7 ภาพถ่ายการสึกหรอของมีดคาร์ไบด์	52
4.8 กราฟแสดงอายุการใช้งานของมีดคาร์ไบด์	53
4.9 การทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลจากการทดลอง อายุการใช้งานของมีดคาร์ไบด์	55
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองระยะเวลาในการสึกหรอ ระหว่างอัตราป้อนและความเร็วตัดที่ระดับแรงดันลมในการหล่อเย็นที่ 2 บาร์	57

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองระยะเวลาในการสีกหรือระหว่างอัตราป้อนและความเร็วตัดที่ระดับแรงดันลมในการหล่อเย็นที่ 4 บาร์	58
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองระยะเวลาในการสีกหรือระหว่างอัตราป้อนและความเร็วตัดที่ระดับแรงดันลมในการหล่อเย็นที่ 6 บาร์	58
ข.1 กราฟแสดงข้อมูลการทดสอบการแจกแจงปกติของการทดลองเบื้องต้นของความเรียบของผิวงานมีการแจกแจงแบบปกติค่า P-Value มากกว่า 0.05	79
ข.2 กราฟแสดงการทดสอบการแจกแจงปกติของการทดลองของความเรียบของผิวงานมีการแจกแจงแบบปกติค่า P-Value มากกว่า 0.05	79
ข.3 กราฟแสดงข้อมูลการทดสอบการแจกแจงปกติของการทดลองเบื้องต้นของอายุการใช้งานของคมมีดคาร์ไบด์มีการแจกแจงแบบปกติค่า P-Value มากกว่า 0.05	80
ข.4 กราฟแสดงการทดสอบการแจกแจงปกติของการทดลองของอายุการใช้งานของคมมีดคาร์ไบด์มีการแจกแจงแบบปกติค่า P-Value มากกว่า 0.05	80
ข.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองความเรียบผิวระหว่างแรงดันลมและความเร็วตัด	83
ข.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองความเรียบผิวระหว่างแรงดันลมและอัตราป้อน	83
ข.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองระยะเวลาในการสีกหรือระหว่างอัตราป้อนและความเร็วตัดที่ระดับแรงดันลมในการหล่อเย็นที่ 2 บาร์	84
ข.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองระยะเวลาในการสีกหรือระหว่างอัตราป้อนและความเร็วตัดที่ระดับแรงดันลมในการหล่อเย็นที่ 4 บาร์	84
ข.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองระยะเวลาในการสีกหรือระหว่างอัตราป้อนและความเร็วตัดที่ระดับแรงดันลมในการหล่อเย็นที่ 6 บาร์	85
ค.1 ภาพถ่ายแสดงความเรียบผิวตามตัวแปรที่แตกต่างกัน	87
ค.2 ภาพถ่ายแสดงการสีกหรือของคมมีดคาร์ไบด์ตามตัวแปรที่แตกต่างกัน	96

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
ง.1 กราฟแสดงอายุเฉลี่ยการใช้งานมีดคาร์ไบด์ในงานกัดที่การหล่อเย็นที่ระดับ 2 บาร์ ความเร็วตัด 50 ม./นาที	106
ง.2 กราฟแสดงอายุเฉลี่ยการใช้งานมีดคาร์ไบด์ในงานกัดที่การหล่อเย็นที่ระดับ 2 บาร์ ความเร็วตัด 100 ม./นาที	17
ง.3 กราฟแสดงอายุเฉลี่ยการใช้งานมีดคาร์ไบด์ในงานกัดที่การหล่อเย็นที่ระดับ 2 บาร์ ความเร็วตัด 150 ม./นาที	108
ง.4 กราฟแสดงอายุเฉลี่ยการใช้งานมีดคาร์ไบด์ในงานกัดที่การหล่อเย็นที่ระดับ 4 บาร์ ความเร็วตัด 50 ม./นาที	109
ง.5 กราฟแสดงอายุเฉลี่ยการใช้งานมีดคาร์ไบด์ในงานกัดที่การหล่อเย็นที่ระดับ 4 บาร์ ความเร็วตัด 100 ม./นาที	110
ง.6 กราฟแสดงอายุเฉลี่ยการใช้งานมีดคาร์ไบด์ในงานกัดที่การหล่อเย็นที่ระดับ 4 บาร์ ความเร็วตัด 150 ม./นาที	111
ง.7 กราฟแสดงอายุเฉลี่ยการใช้งานมีดคาร์ไบด์ในงานกัดที่การหล่อเย็นที่ระดับ 6 บาร์ ความเร็วตัด 50 ม./นาที	112
ง.8 กราฟแสดงอายุเฉลี่ยการใช้งานมีดคาร์ไบด์ในงานกัดที่การหล่อเย็นที่ระดับ 6 บาร์ ความเร็วตัด 100 ม./นาที	113
ง.9 กราฟแสดงอายุเฉลี่ยการใช้งานมีดคาร์ไบด์ในงานกัดที่การหล่อเย็นที่ระดับ 6 บาร์ ความเร็วตัด 150 ม./นาที	114
จ.1 กลึงขึ้นรูปเหล็ก S50C ให้ได้ขนาดความกว้าง 50 มิลลิเมตร ความยาว 150 มิลลิเมตร และความหนา 20 มิลลิเมตร	116
จ.2 เจียรนัยราบเหล็ก S50C เพื่อลดขนาดความกว้าง 50 มิลลิเมตร ความยาว 150 มิลลิเมตร และความหนา 20 มิลลิเมตร	116
จ.3 เคาชุบแข็งเครื่องมือการกัด Rushstrat KG 3401 Lenglear รุ่น KKD 30/50 ใช้สำหรับชุบแข็งชิ้นทดลองให้ได้ความแข็ง 56 ± 2 HRC	117

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
จ.4 ทดสอบความแข็งของชิ้นงานทดสอบเพื่อให้ได้ความแข็งที่ 56 ± 2 HRC	117
จ.5 ทำการกัดชิ้นทดสอบเหล็ก S50C โดยเครื่อง CNC Milling เพื่อหาค่าความเรียบผิวทั้ง 54 ชิ้น	118
จ.6 กัดผิวหน้าชิ้นทดสอบเหล็ก S50C โดยเครื่อง CNC Milling	118
จ.7 นำชิ้นทดสอบเหล็ก S50C มาทดสอบหาค่าความเรียบผิว	119
จ.8 ภาพแสดงความเรียบผิวของชิ้นทดสอบ	119
จ.9 มีดคาร์ไบด์เคลือบ TiAlN ₂ ที่ใช้ในการทดสอบการกัดงานแข็ง 56 - 62 HRC	120
จ.10 ทำการทดสอบหาอายุการใช้งานของคมมีดคาร์ไบด์ ที่ระดับการสึกหรอ $V_{B\text{MAX}} = 0.60$ มม.	120
จ.11 ทำการวัดค่าความสึกหรอของคมมีดคาร์ไบด์ด้วยเครื่องโปรไฟล์ โปรเจคเตอร์	120

รายการสัญลักษณ์

d	=	ความลึกในการป้อน
D	=	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของเพลงาน
f	=	อัตราป้อน
V_c	=	ความเร็วตัด
n	=	ความเร็รรอบ
π	=	พาย เป็นค่าคงที่เท่ากับ 3.14
f	=	ความเร็วของโต๊ะงาน
f_n	=	อัตราป้อนต่อรอบ
z	=	จำนวนฟันของเครื่องมือตัด
P-Value	=	ค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ
S.D.	=	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
\bar{X}	=	ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง
α	=	นัยสำคัญทางสถิติ
μ	=	ค่าเฉลี่ยของประชากร
ρ	=	แทนการตั้งสมมติฐานทางสถิติ
σ	=	ความแปรปรวนของประชากร
Σ	=	การรวมข้อมูลทางตัวเลข
R	=	รัศมีปลายคมตัด (มิลลิเมตร)

ประมวลศัพท์และคำย่อ

Air Pressure in the Coolant	=	แรงดันลมในการระบายความร้อน
Carbide	=	เป็นสารประกอบระหว่างโลหะและคาร์บอน
Carbon Steel	=	เหล็กคาร์บอน
Cutting Speed	=	ความเร็วตัด
Cutting Tools	=	เครื่องมือตัด
Depth of Cut	=	ความลึกในการป้อน
Edge Effect	=	ผลกระทบที่เกิดจากมีดตัดไม่คม
Experiments Research	=	การวิจัยเชิงทดลอง
Factorial Design	=	การออกแบบการทดลอง
Feed Rate	=	อัตราป้อน
Flank Face	=	ผิวด้านข้าง
Flank Wear	=	การสึกหรอผิวด้านข้าง
Flaw	=	รอยมลทิน
Hardness Rockwell Scale	=	มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบความแข็ง
Hard Metal	=	โลหะแข็ง
High Speed Steel	=	เหล็กกล้าความเร็วรอบสูง
Initial Wear	=	การสึกหรอบริเวณช่วงเริ่มต้น
Interaction Effect	=	อิทธิพลร่วม
Main Effect	=	อิทธิพลหลัก
Measure of Variability	=	การวัดการกระจายของข้อมูล
Pilot Study	=	การทดลองเบื้องต้น
Physical Vapour Deposition	=	การตกตะกอน ของไอสาร โดยวิธีการทางฟิสิกส์
Plastic Deformation	=	การเปลี่ยนรูปร่างจากการหลอมละลาย
Polycrystalline Diamond	=	เพชรหลายผลึก
Primary Deformation Zone	=	เขตการแปรรูปหลัก
Profile	=	เส้นขอบ
Rake Face	=	ผิวด้าน
Replicates	=	การทดลองซ้ำ

ประมวลศัพท์และคำย่อ (ต่อ)

Rough Cutting	=	การตัดหยาบ
Secondary Deformation Zone	=	เขตการแปรรูปรอง
Secondary Shearing Process	=	กระบวนการตัดเฉือนรอง
Spindle	=	เพลาหมุน
Standard Deviation	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
Surface Profile	=	เส้นขอบของพื้นผิว
Surface Quality	=	คุณภาพผิว
Surface Roughness	=	ความขรุขระของพื้นผิว
Tool Life	=	อายุการใช้งานของมีดกลึง
Tool Wear	=	การสึกหรอของเครื่องมือตัด
Type of Materials	=	ชนิดของวัสดุ
ANOVA	=	Analysis of Variance
CNC	=	Computer Numerical Control
HRC	=	Hardness Rockwell Scale C
HSS	=	High Speed Steel
mm.	=	Millimeter
Ra	=	Arithmetic Average
$V_{B \text{ average}}$	=	การสึกหรอบนผิวหยาบที่มีค่าเฉลี่ย
$V_{B \text{ max}}$	=	การสึกหรอบนผิวหยาบที่มีค่ามากที่สุด
$\mu\text{m.}$	=	Micron