

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ฌ
รายการสัญลักษณ์	ฎ
ประมวลคำศัพท์และคำย่อ	ฐ

บทที่

1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย (Objective Purpose of the Study)	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากการวิจัย (The Importance of Research)	2
1.4 สมมุติฐานการวิจัย (Hypothesis of Study)	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย (Scope of the Study)	3
1.6 ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย	3
1.7 คำนิยามศัพท์เฉพาะ	3
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 เครื่องกัด CNC Milling Machining center	5
2.2 ความหยาบละเอียดของผิวงาน	17
2.3 น้ำมันหล่อเย็น	21
2.4 เครื่องมือตัดสำหรับงานกัด	23
2.5 วัสดุที่ใช้ผลิตเครื่องมือตัด	26
2.6 การอบชุบความร้อนเหล็กกล้าคาร์บอน	29
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3. วิธีดำเนินการวิจัย	38
3.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น	38
3.2 วัสดุ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	38
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	41
3.4 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	42
3.5 ขั้นตอนในการเตรียมชิ้นงาน	42
3.6 ขั้นตอนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น	45
3.7 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง	46
3.8 ขั้นตอนดำเนินการทดลอง	48
3.9 ขั้นตอนการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล	49
3.10 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์	52
4. ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง	55
4.1 ผลของการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)	55
4.2 ผลของการทดลอง	57
4.3 ผลการวิเคราะห์การทดลองทางสถิติ	60
4.4 การวิเคราะห์ Response Surface Regression	62
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุปผลการทดลอง	66
5.2 อภิปรายผลการทดลอง	68
5.3 ข้อเสนอแนะ	71
เอกสารอ้างอิง	72

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	
ก. ตารางบันทึกผลการทดลอง	75
ข. ตารางวิเคราะห์ผลข้อมูล	82
ค. ภาพประกอบขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย	86
ง. ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่	95
 ประวัติผู้วิจัย	 99

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงค่าความเร็วตัดของวัสดุชนิดต่างๆ	13
2.2 แสดงค่าอัตราป้อนของวัสดุชนิดต่างๆ(นิ้วฟุต)	13
2.3 ค่า UHP สำหรับวัสดุชนิดต่างๆ	15
2.4 แสดงค่าและชั้นความหยาบของผิวงาน ตามมาตรฐานของ ISO 1302-1978	19
2.5 แสดงขอบเขตความเรียบผิวงานของกระบวนการการผลิต	20
3.1 ผลการทดสอบส่วนผสมเคมีของชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045	42
3.2 แสดงแผนการทดลองเบื้องต้นจำนวน 12 ชั้น	446
3.3 แผนการทดลองกำหนดให้เงื่อนไขละ 2 Replicates	46
3.4 การสุ่มเลือกชิ้นงานสำหรับการทดลอง	49
3.5 ผลการทดสอบส่วนผสมเคมีของชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045	50
3.6 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความแข็งของชิ้นงานทดลอง	50
4.1 ค่าความเรียบผิวงานกลึง (μm) ที่วัดได้จากการทดลองเบื้องต้น(Pilot Study)	56
4.2 ข้อมูลค่าเฉลี่ยความเรียบผิวงานกัด (μm) ที่วัดได้จากการทดลอง	57
4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ของค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความเรียบผิวของงานกัด	60
4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ ถดถอยพหุคูณเพื่อทำนายความสัมพันธ์ของตัวแปรต้น	63
4.5 แสดงค่าพยากรณ์ความเรียบผิวงานกัดที่ได้จากสมการถดถอย	63
ก.1 ตารางบันทึกค่าความแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (AISI 1045) หน่วย HB	76
ก.2 ตารางบันทึกค่าความเรียบผิวของชิ้นงานที่ใช้ในทดลองเบื้องต้น (12 ชั้น) หน่วย μm	79
ก.3 ตารางบันทึกค่าความเรียบผิวของชิ้นงานที่ใช้ในทดลอง (42 ชั้น) หน่วย μm	79
ข.1 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ของค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความเรียบผิว	84
ข.2 แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสภาพของชิ้นงาน (Heat treatment) เป็นรายคู่	84
ข.3 แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความเร็วตัดเป็นรายคู่	85
ข.4 แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของอัตราป้อนเป็นรายคู่	85
ข.5 แสดงผลการวิเคราะห์ ถดถอยพหุคูณ	86
ข.6 แสดงผลการวิเคราะห์ ถดถอยพหุคูณเพื่อทำนายความสัมพันธ์ของตัวแปรต้น	86

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
2.1 เครื่องกัด CNC Milling Machining center	5
2.2 Indexing Table	6
2.3 CNC แบบ 3 แกน	6
2.4 เครื่อง Machining Center 5 แกนเคลื่อนที่ในแกน X, Y, Z และการหมุนในแกน A และ C	7
2.5 ชุดควบคุมทำงานต่างๆ	8
2.6 บอลสกรู (ball screw) และการเคลื่อนที่โต๊ะงาน	9
2.7 อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่เชิงเส้น ลิเนียร์สเกล (linear scale)	9
2.8 แสดงชุดเปลี่ยนทูลอัตโนมัติ แบบ Arm type tool changer	10
2.9 แสดงชุดเปลี่ยนทูลอัตโนมัติ แบบ Armless type tool changer	10
2.10 แสดงความลึก และความกว้างของการตัดเฉือนในงานกัด	14
2.11 ภาพขยายของผิวชิ้นงาน	17
2.12 การวัดค่า Rt	18
2.13 การวัดค่า Ra	19
2.14 การวัดค่า Rz	21
2.15 เครื่องมือวัดค่าความหยาบผิวงาน	21
2.16 เอ็นด์มิลล์แบบปลายหน้าตัดตรง	23
2.17 เอ็นด์มิลล์แบบปลายครึ่งวงกลม	23
2.18 ตัวอย่างของเฟรมิลล์ที่สำหรับปาดผิวชิ้นงาน	24
2.19 รูปร่างของเม็ดยินเสิร์ด (Insert) แบบต่าง ๆ	25
2.20 ตัวอย่างอุปกรณ์จับยึดเครื่องมือตัดสำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบต่าง ๆ	25
2.21 ปลอกจับ (collet) เครื่องมือตัดขนาดต่างๆ	26
2.22 เปรียบเทียบค่าความแข็งของวัสดุเครื่องมือตัดที่อุณหภูมิต่าง ๆ	28
2.23 วัสดุคมตัดแบบเพชร	29

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
2.24	วัสดุคมตัดแบบ CBN
2.25	ช่วงอุณหภูมิต่างๆ ของการอบชุบความร้อนเหล็กกล้าคาร์บอน
2.26	ขั้นตอนการอบอ่อนและการอบนอร์มอลไลซ์ (ก) เหล็กกล้าไฮโปยูเทกตอยด์ (ข) ไฮเปอร์ยูเทกตอยด์
2.27	ผลของคาร์บอนและกระบวนการอบชุบที่มีต่อสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอน
2.28	ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างบนแผนภาพ I-T ของการชุบแข็ง และทำเทมเปอร์
3.1	CNC FACE MILLING รุ่น Chevalier (CP2060-L)
3.2	เครื่องวัดความเรียบผิวงาน
3.3	เครื่องทดสอบหาค่าความแข็ง
3.4	เครื่องทดสอบหาค่าส่วนผสมทางเคมี
3.5	เมตต์มีดกัดที่ใช้ในการทดสอบ
3.6	ค้ำมีดที่ใช้ในการทดสอบ
3.7	วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ
3.8	เตาอบชิ้นงานชนิดไฟฟ้า ยี่ห้อ Linn Therm
3.9	ขั้นตอนการอบอ่อนและการอบนอร์มอลไลซ์
3.10	รูป (ก) โครงสร้างจุลภาคเหล็ก AISI 1045 รูป (ข) โครงสร้างจุลภาคเหล็ก AISI 1045 ที่อบ Annealing รูป (ค) โครงสร้างจุลภาคเหล็ก AISI 1045 ที่อบ Normalizing
3.11	ตำแหน่งที่ทำการทดสอบส่วนผสมเคมี
3.12	ตำแหน่งที่ทำการทดสอบหาค่าความแข็ง
3.13	ตำแหน่งและทิศทางการกัดปาดผิวชิ้นงาน
3.14	ตำแหน่งและทิศทางการวัดความเรียบงานกัด
4.1	การทดสอบการแจกแจงปกติของการทดลองเบื้องต้น
4.2	ความเรียบผิวงาน

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป		หน้า
4.3	การทดสอบการแจกแจงปกติของการทดลอง	59
4.4	กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของตัวแปร ระหว่าง สภาพความแข็งชิ้นงานที่ผ่าน การอบด้วยความร้อนกับความเร็วตัด	61
4.5	กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของตัวแปร ระหว่างความเร็วตัดกับอัตราป้อน	62
4.6	แสดงผลการพยากรณ์ค่าความเรียบของผิวงาน	65
5.1	พฤติกรรมการตัดเฉือนของดอกกัดเมื่อเพิ่มความเร็วตัด	69
5.2	พฤติกรรมการตัดเฉือนของดอกกัดเมื่อลดความเร็วตัด	69
ค.1	นำวัสดุชิ้นงานไปทดสอบคุณสมบัติทางเคมีเพื่อตรวจสอบวัสดุ	87
ค.2	ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีเหล็ก AISI 1045	87
ค.3	การกัดชิ้นงานขึ้นงานตามขนาดที่กำหนด	88
ค.4	ชิ้นงานที่ผ่านการอบด้วยความร้อนประกอบด้วย Annealing 1 ชุด Normalizing 18 ชุดและไม่ผ่านการอบ 18 ชุด	88
ค.5	เตาอบที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงาน	89
ค.6	การเตรียมชิ้นงาน โดยนำชิ้นงานผ่านการอบด้วยความร้อน (Heat treatment) เพื่อลดระดับความแข็ง	90
ค.7	การปรับเปลี่ยนมุมของเม็ดมีด ตามเงื่อนไข	90
ค.8	เปลี่ยนน้ำหล่อเย็นให้สะอาดเพื่อไม่ให้มีผลในการกัดขึ้นทดลอง	90
ค.9	เตรียมเม็ดมีดสำหรับกลึงขึ้นทดลอง	91
ค.10	เตรียมอุปกรณ์สำหรับจับยึดเม็ดมีด	91
ค.11	เครื่องกัดที่ใช้ในการทดลองตัวแปร การศึกษาความเรียบผิวในการกัดเหล็ก AISI 1045	92
ค.12	ทำการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ตามตัวแปรของชิ้นงานตามสุ่มลำดับการทดลอง	92
ค.13	ชิ้นงานที่ผ่านการทดลองตามลำดับที่ได้ออกแบบการทดลองไว้และทำการวัดค่าความเรียบผิวด้วยเครื่องวัดความเรียบผิวชนิดพกพา	93
ค.14	ชิ้นงานที่ผ่านการทดลองจะลงรหัสสุ่มการทดลองและบรรจุถุงแต่ละชิ้น	93
ค.15	ชิ้นงานที่ผ่านการทดลองปาดผิวหน้างานแล้ว	94

รายการสัญลักษณ์

a	=	จุดตัดแกน Y
b	=	ค่าความชันหรือสัมประสิทธิ์ความถดถอย
x	=	ตัวแปรอิสระ
$\hat{y}$	=	ค่าพยากรณ์
α	=	ค่านัยสำคัญทางสถิติ
p-value	=	ค่าความน่าจะเป็นทางสถิติ
R-Sq	=	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ
$\bar{X}$	=	ค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่าง
S.D.	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
σ	=	ค่าความแปรปรวน
Ra	=	คุณภาพผิวงาน
μm	=	ไมโครเมตร
V	=	ความเร็วตัด(เมตร/นาที)
f	=	อัตราป้อน(มิลลิเมตร/นาที)
ft	=	อัตราป้อน(นิ้ว/ฟัน)
f_m	=	อัตราป้อน(นิ้วต่อนาที)
CS_m	=	ความเร็วตัด(ฟุต/นาที)
3^k	=	การออกแบบเชิงแฟกตอเรียล
N	=	ความเร็วรอบ(รอบ/นาที)
D	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือตัด
Fz	=	จำนวนฟันของมีดกัด
Hp_c	=	กำลังแรงม้าที่เครื่องกัด
MRR	=	อัตราการตัดเนื้อผิวชิ้นงาน
C	=	ค่าแฟกเตอร์ของป้อน
UHP	=	หน่วยกำลังแรงม้า
W	=	ความกว้างของการตัดเนื้อ
H	=	ความลึกของการตัดเนื้อ

ประมวลคำศัพท์และคำย่อ

Quenching	=	การชุบแข็ง
Toughness	=	ความเหนียว
Wear resistance	=	การเสียดสี
Mach inability	=	การกลึงไส
Resistance	=	การสูญเสียคาร์บอน
Non deformation properties	=	มีความต้านทานต่อการไม่เปลี่ยนรูปร่างหรือ ขนาด
Heat treatment	=	การอบชุบด้วยความร้อน
Hypothesis of study	=	สมมุติฐานการวิจัย
Scope of the study	=	ขอบเขตการวิจัย
Cutting speed	=	ความเร็วตัด
Feed Rate	=	อัตราป้อน
Coolant	=	สารหล่อเย็น
Normal	=	สภาพชิ้นงานปกติ
Annealing	=	การอบอ่อน
Normalizing	=	การอบปกติ
Surface roughness	=	ความเรียบผิว
Pilot Study	=	การทดลองเบื้องต้น
Water Solute Oil	=	น้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำ
CNC Milling Machining center	=	เครื่องกัด CNC เปลี่ยนรูปแบบการทำงานได้
Controller	=	ชุดควบคุมการทำงาน
Drive Mechanisms	=	ระบบกลไกการเคลื่อนที่
Machine Body	=	ตัวเครื่องจักร
Automatic Tool Changer	=	อุปกรณ์เปลี่ยนทูลอัตโนมัติ
Feed	=	อัตราป้อน
Spindle	=	แกนหมุน
Servo Motor	=	มอเตอร์ควบคุมตำแหน่งและความเร็ว
Ball Screw	=	สกรูขับเคลื่อนแบบเม็ดลูกป็น

ประมวลคำศัพท์และคำย่อ (ต่อ)

Ceramics	=	วัสดุเครื่องมือตัดแบบเซรามิก
Cast Cobalt Alloys	=	โคบอลท์หล่อผสม
Cement Carbide	=	ซีเมนต์คาร์ไบด์
Allotropy	=	สภาพอัญรูป
Parameters	=	ตัวแปร
Measure of Variability	=	การวัดการกระจายของข้อมูล
Standard deviation	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
Experiments Research	=	การวิจัยเชิงทดลอง
Hardness Testing Machine	=	เครื่องทดสอบหาค่าความแข็ง
Calibrate	=	การสอบเทียบ
Reference Surface	=	ผิวงานอ้างอิงมาตรฐาน
Accessories	=	อุปกรณ์ช่วยงานอื่นๆ