



การทำนายความหยาบผิวในงานกัดเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 โดยใช้ตัวแบบสมการถดถอย

Surface Roughness Prediction of SKD11 Steel in CNC Milling Process Using Regression Model

สมเสียง จันทาลี* และศิริชัย ปั้นสมสกุล²
 Somsiang Chantasee^{1*} and Sirichai Punsomsakul²

^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี 20131

^{1,2}Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University, Muang, Chonburi, 20131

*Correspondent author: somsiang@eng.buu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวและปัจจัยที่เหมาะสมในการกัดเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายค่าความหยาบผิว โดยนำหลักการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเป็นแบบการทดลอง ปัจจัยหลักที่ศึกษาประกอบด้วย ความเร็วรอบ อัตราป้อน และระยะป้อนลึก ปัจจัยตอบสนองคือ ความหยาบผิว ผลการศึกษาพบว่าอิทธิพลหลักที่มีผลต่อความหยาบผิวคือ ความเร็วรอบและอัตราป้อน และอิทธิพลร่วมคือ ระยะป้อนลึกมีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบ ความเร็วรอบมีความสัมพันธ์กับอัตราป้อน และระยะป้อนลึก ความเร็วรอบ อัตราป้อนมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน โดยมีอิทธิพลต่อความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญ และสภาวะของระดับในแต่ละปัจจัยที่ดีที่สุดที่ให้ความหยาบต่ำสุดคือ ความเร็วรอบ 1646 รอบต่อนาที อัตราป้อน 140 มิลลิเมตรต่อนาที และระยะป้อนลึก 0.50 มิลลิเมตร

Abstract

This research aims to study the factors affecting the surface roughness of SKD11 steel and apply the regression model for predicting the surface roughness in the precision milling process by CNC machining center machine. The factorial experiment designs were conducted on 3 factors with 2 replications. Three main factors in this study were the spindle speed, feed rate and depth of cut, whereas the response factor was the surface roughness. The experimental results indicated that the main factors affecting the surface roughness were the spindle speed and feed rate. The results also showed the two-way interaction effects between the depth of cut and spindle speed, and also between the spindle speed and feed rate. There was also the three-way interaction effect among

spindle speed, feed rate and depth of cut. The regression model was developed and used to determine the minimum surface roughness with the spindle speed of 1646 revolution per minute, feed rate of 140 millimeter per minute and depth of cut of 0.50 millimeter.

คำสำคัญ: ความเร็วรอบ, อัตราป้อน, ระยะป้อนลึก, ความหยาบผิว, เหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11

Keywords: Spindle speed, Feed rate, Depth of cut, Surface roughness, SKD11 Steel

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยอยู่ในความสนใจของนักลงทุนทั้งในประเทศและต่างประเทศเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมยุทธศาสตร์ของประเทศ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ เป็นต้น ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดและรูปร่าง ที่เหมือนกันเป็นจำนวนมากของอุตสาหกรรมยุทธศาสตร์เหล่านี้ จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือช่วยในการผลิตที่สำคัญคือ แม่พิมพ์ ทั้งนี้แม่พิมพ์ช่วยให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างเหมือนกัน อุตสาหกรรมแม่พิมพ์ได้มีการพิจารณาและให้ความสำคัญเกี่ยวกับคุณภาพของแม่พิมพ์ คือ ความต้องการปรับปรุงคุณภาพให้สูงขึ้น เพื่อลดผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานและไม่ตรงตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ให้น้อยที่สุด เป็นไปตามความต้องการลูกค้า ซึ่งสถานะภาพของอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ของไทยในปัจจุบันยังไม่สามารถตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมยุทธศาสตร์ โดยสังเกตได้จากปริมาณการนำเข้าแม่พิมพ์จากต่างประเทศในปี 2546 ประมาณ 2.1 หมื่นล้านบาท และมีแนวโน้มการนำเข้าที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณความต้องการใช้แม่พิมพ์ในอุตสาหกรรมยุทธศาสตร์ที่กล่าวมาข้างต้นมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ทั้งในด้านคุณภาพ ราคา และการส่งมอบ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์คาดว่าจะมีการผลิตรถยนต์ภายในประเทศจำนวนทั้งสิ้น 1.8 ล้านคันในปี 2553 เมื่อเทียบกับปี 2546 ที่มีปริมาณการผลิตรถยนต์ภายในประเทศจำนวน 7.5 แสนคัน ซึ่งเพิ่มขึ้นในอัตราเฉลี่ยร้อยละ 10 ต่อปี(1) เพื่อให้อุตสาหกรรมแม่พิมพ์ของไทยสามารถสนับสนุนอุตสาหกรรมยุทธศาสตร์ของประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถลดการพึ่งพาแม่พิมพ์จากต่างประเทศ ผู้ผลิตหรือลูกค้า

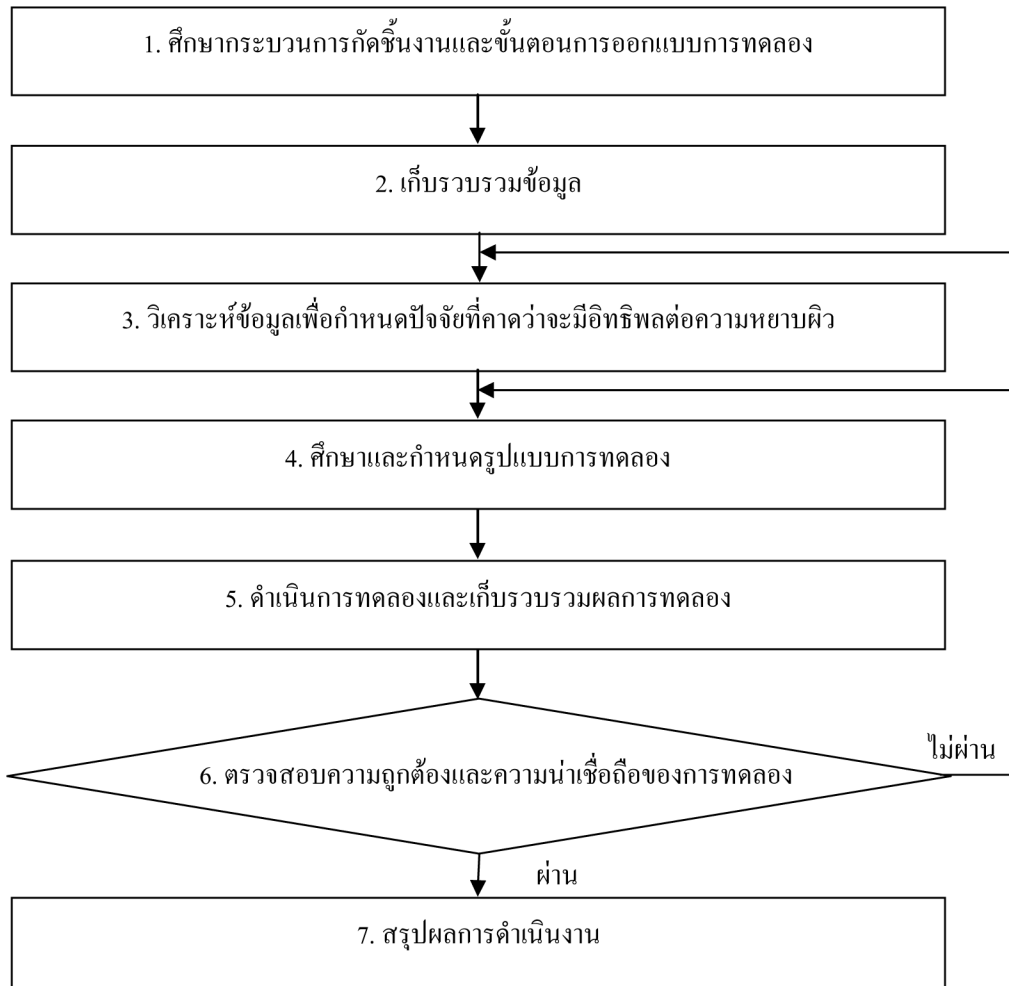
ให้ความสำคัญกับความหยาบของพื้นผิวแม่พิมพ์ โดยกระบวนการที่จะช่วยให้เกิดความมั่นใจในขั้นตอนการขึ้นรูปของแม่พิมพ์ เพื่อให้ได้ความหยาบพื้นผิวที่เหมาะสมคือ กระบวนการทำนายค่าความหยาบผิวแม่พิมพ์ก่อนผลิต สำหรับการผลิตนั้นได้นำเครื่องกัดซีเอ็นซีมาช่วยผลิต เพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตให้รวดเร็วและเที่ยงตรง การใช้เครื่องจักรกลที่ควบคุมด้วยระบบซีเอ็นซีเป็นวิธีการผลิตที่ต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ความเร็วรอบ อัตราป้อน และระยะป้อนลึก ให้สัมพันธ์กับเครื่องจักร จึงสามารถควบคุมเครื่องจักรกลให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังรวมไปถึงคุณภาพผิวของชิ้นงานสำเร็จ(2),(3),(4) ในการศึกษาเรื่องความหยาบผิวของเหล็กกล้าเครื่องมือ ด้วยการกัดเหล็กกล้าเครื่องมือชุบแข็งด้วยเครื่องกัดความเร็วสูง โดยใช้วัสดุทดลองคือเหล็กกล้าSKD61 ด้วยการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 3 ปัจจัย ละ 3 ระดับ โดยปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วย ความเร็วตัด อัตราป้อน และระยะป้อนลึก ผลวิจัยพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญ คือ ความเร็วตัด อัตราป้อน และระยะป้อนลึก เมื่อความเร็วตัดเพิ่มสูงขึ้น มีผลทำให้คุณภาพผิวดีขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราป้อนทำให้คุณภาพผิวแย่ลง ความเร็วตัดและระยะป้อนลึกก็มีความสัมพันธ์กัน มีผลต่อคุณภาพผิวอย่างมีนัยสำคัญ ความสัมพันธ์ของความเร็วตัดสูงกับระยะป้อนลึกน้อย ส่งผลให้คุณภาพผิวดีกว่าความเร็วตัดต่ำและระยะป้อนลึกตัดมาก(5),(6) และในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวในการกัดเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น D2 พบว่าความเร็วตัดและอัตราป้อน มีอิทธิพลต่อความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนระยะป้อนลึกไม่มีผลต่อความหยาบผิว(7) จากงานวิจัยดังกล่าวจะเห็นว่าปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวในการกัดเหล็กกล้าเครื่องมือ คือ

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD 11(9)

สัญลักษณ์ทางเคมี	ปริมาณส่วนผสมทางเคมี							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
ส่วนผสมคิดเป็นร้อยละ	1.4-1.6	Max 0.4	Max 0.6	Max 0.03	Max 0.03	11.0-13.0	0.8-1.2	0.2-0.5

2.2 วิธีดำเนินการทดลอง

ขั้นตอนการดำเนินงาน 7 ขั้นตอน สามารถเขียนเป็นแผนผังได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.3 การกำหนดการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้หลักการออกแบบการทดลองทั้งหมด 7 ขั้นตอน โดยสรุปดังนี้

1. ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหยาบผิวของเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 ในการกัดด้วยเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบแนวตั้ง แล้วนำผลที่ได้จากการทดลองมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายความหยาบผิวของเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11

2. เลือกผลตอบสนองสำหรับใช้ในการออกแบบแผนการทดลองของงานวิจัย โดยผลตอบสนองที่ทำการศึกษาคือ ความหยาบผิวของเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11

3. กำหนดค่าปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อความหยาบผิวของเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 ในการกัดด้วยเครื่องกัดซีเอ็นซี ประกอบด้วย 3 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบ อัตราป้อน และระยะป้อนลึก

4. ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (10)

5. กำหนดลำดับการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab 16 เป็นแบบสุ่มเพื่อเฉลี่ยผลของตัวแปรรบกวนที่ควบคุมไม่ได้ และทำการทดลองตามแผนการทดลองที่กำหนดไว้

6. วิเคราะห์ผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลด้วยการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของการทดลองตามหลักการ $\epsilon \sim NID(0, \sigma^2)$ และวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ของผลการทดลอง จากนั้นนำผลมาวิเคราะห์ด้วยแบบสมการเส้นถดถอย (Regression model) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายความหยาบผิวของเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11

7. สรุปผลและข้อเสนอแนะ โดยนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในข้อ 6 มาสรุปผลและข้อเสนอแนะ

2.4 การกำหนดปัจจัยและผลตอบสนอง

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อกำหนดปัจจัยที่คาดว่าน่าจะมีอิทธิพลต่อความหยาบผิวของเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 ในกระบวนการกัดปาดผิวหน้าด้วยเครื่อง

กัดซีเอ็นซีนั้น คือ ความเร็วตัด อัตราป้อน และระยะป้อนลึก(5,6) เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อกำหนดระดับของปัจจัยในการทดลอง พบว่าการที่จะได้คุณภาพผิวชิ้นงานสำเร็จคุณภาพสูง จำเป็นต้องเลือกใช้ค่าความเร็วรอบสูง ระยะป้อนลึกในการตัดเจ็อนน้อย และอัตราป้อนตัดต่ำ สำหรับปัจจัยแรกคือ ความเร็วรอบ กำหนดระดับของปัจจัยได้จากคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตมีดตัด ความเร็วตัดที่เหมาะสมคือ 100, 150 และ 200 เมตรต่อนาที(8) แต่เครื่องกัดซีเอ็นซีที่ใช้ในการทดลองใส่ค่าความเร็วรอบได้เท่านั้น จึงทำการแปลงความเร็วตัดเป็นความเร็วรอบจะได้ความเร็วรอบ 1098, 1646 และ 2195 รอบต่อนาทีตามลำดับ ปัจจัยที่สองคือ ระยะป้อนลึก กำหนดระดับของปัจจัยได้จากงานพ วรศรี(6) คือ 0.1, 0.3 และ 0.5 มิลลิเมตร และปัจจัยที่สามคือ อัตราป้อน กำหนดระดับของปัจจัยได้จากประพล เปี่ยมศักดิ์ชัย(7) คือ 140 และ 180 มิลลิเมตรต่อนาที

ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงกำหนดปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบ ระยะป้อนลึก และอัตราป้อน โดยความเร็วรอบและระยะป้อนลึก แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ ค่าระดับที่ต่ำ กลาง และสูง ส่วนอัตราป้อนแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ ค่าระดับที่ต่ำและสูง โดยลำดับขั้นการทดลองเป็นการสุ่ม เพื่อเฉลี่ยผลของตัวแปรรบกวนที่ควบคุมไม่ได้

รายละเอียดปัจจัยที่ศึกษามีดังนี้

1. ความเร็วรอบ 3 ระดับ คือ 1098 รอบต่อนาที, 1646 รอบต่อนาที และ 2195 รอบต่อนาที(8)
2. ระยะป้อนลึก 3 ระดับ คือ 0.1 มิลลิเมตร, 0.3 มิลลิเมตร และ 0.5 มิลลิเมตร(6)
3. อัตราป้อน 2 ระดับ คือ 140 มิลลิเมตรต่อนาที และ 180 มิลลิเมตรต่อนาที(7)

การคำนวณหาขนาดของสิ่งตัวอย่าง คือ 3x3x2 เท่ากับ 18 และจำนวนการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง เพื่อให้สามารถหาค่าผลรวมของกำลังสองที่เกิดจากความผิดพลาดได้(11) ดังนั้นขนาดของตัวอย่างในการทดลองจำนวนทั้งหมด 36 การทดลอง

3. ผลการวิจัย

เมื่อทำการทดลองตามแผนการดำเนินงานแบบสุ่มครบถ้วนแล้ว ผลการทดลองดังตารางที่ 2 นำ

ผลการทดลองทั้งหมดไปวิเคราะห์ผลและสรุปผล ซึ่งใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีการสถิติเชิงวิศวกรรม เพื่อให้ได้ผลการทดลองและข้อสรุปจากการทดลองโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน วิเคราะห์ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของความหยาบผิวชิ้นงานกัดปาดหน้าทีวัดได้จากการทดลอง (mm)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	ระยะป้อนลึก	ความเร็วรอบ	อัตราป้อน	R_a 1	R_a 2	R_a 3	R_a (avg)	RESII
8	1	1	1	0.3	1098	180	0.11	0.12	0.11	0.11	-0.025
23	2	1	1	0.1	2195	140	0.15	0.15	0.12	0.14	-0.020
35	3	1	1	0.5	2195	140	0.27	0.19	0.21	0.22	-0.005
10	4	1	1	0.3	1646	180	0.23	0.21	0.22	0.22	-0.005
22	5	1	1	0.1	1646	180	0.27	0.23	0.27	0.26	0.005
30	6	1	1	0.3	2195	180	0.17	0.13	0.14	0.14	-0.005
13	7	1	1	0.5	1098	140	0.15	0.17	0.15	0.15	-0.000
5	8	1	1	0.1	2195	140	0.19	0.18	0.18	0.18	0.020
1	9	1	1	0.1	1098	140	0.14	0.13	0.16	0.14	0.015
6	10	1	1	0.1	2195	180	0.18	0.19	0.18	0.18	0.005
15	11	1	1	0.5	1646	140	0.09	0.12	0.10	0.10	-0.040
11	12	1	1	0.3	2195	140	0.17	0.21	0.27	0.22	0.005
28	13	1	1	0.3	1646	180	0.21	0.27	0.17	0.22	0.005
32	14	1	1	0.5	1098	180	0.27	0.23	0.21	0.24	0.015
31	15	1	1	0.1	1098	180	0.13	0.16	0.12	0.13	0.010
20	16	1	1	0.1	1098	180	0.13	0.16	0.12	0.13	0.010
36	17	1	1	0.5	2195	180	0.21	0.23	0.21	0.22	0.010
14	18	1	1	0.5	1098	180	0.20	0.23	0.21	0.21	-0.015
4	19	1	1	0.1	1646	180	0.20	0.27	0.27	0.25	-0.005
29	20	1	1	0.3	2195	140	0.23	0.21	0.20	0.21	-0.005
19	21	1	1	0.1	1098	140	0.10	0.11	0.12	0.11	-0.015
17	22	1	1	0.5	2195	140	0.23	0.27	0.20	0.23	0.005
2	23	1	1	0.10	1098	180	0.11	0.13	0.11	0.11	-0.010
18	24	1	1	0.5	2195	180	0.21	0.19	0.21	0.20	-0.010
24	25	1	1	0.3	1098	180	0.13	0.17	0.19	0.16	0.025
12	26	1	1	0.3	2195	180	0.17	0.13	0.17	0.15	0.005
33	27	1	1	0.5	1646	140	0.18	0.19	0.18	0.18	0.040
16	28	1	1	0.5	1646	180	0.19	0.16	0.19	0.18	0.025
7	29	1	1	0.3	1098	140	0.15	0.17	0.16	0.16	0.020
24	30	1	1	0.1	2195	180	0.18	0.16	0.16	0.17	-0.005
25	31	1	1	0.3	1098	140	0.12	0.14	0.12	0.12	-0.020
34	32	1	1	0.5	1646	180	0.11	0.14	0.15	0.13	-0.025
9	33	1	1	0.3	1646	140	0.15	0.14	0.11	0.13	0.000
3	34	1	1	0.1	1646	140	0.14	0.14	0.16	0.13	-0.015
21	35	1	1	0.1	1646	140	0.15	0.17	0.16	0.16	0.015
27	36	1	1	0.3	1646	140	0.14	0.12	0.15	0.13	0.000

โดย StdOrder คือ ลำดับมาตรฐานที่เตรียมไว้
 RunOrder คือ ลำดับของการทดลอง
 PtType คือ Point type (General full factorial design); 0 = Center point, 1 = Corner point
 Blocks คือ ตัวแปรบล็อก (1 = ไม่มียก)
 ระยะป้อนลึก คือ ระยะป้อนลึกในการกัด (หน่วย: มิลลิเมตร)
 ความเร็วรอบ คือ ความเร็วรอบในการกัด (หน่วย: รอบต่อนาที)
 อัตราป้อน คือ อัตราป้อนในการกัด (หน่วย: มิลลิเมตรต่อนาที)
 R_a 1 คือ ค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวตามอนุกรมเลขคณิตค่าที่ 1 (หน่วย: ไมโครเมตร)
 R_a 2 คือ ค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวตามอนุกรมเลขคณิตค่าที่ 2 (หน่วย: ไมโครเมตร)
 R_a 3 คือ ค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวตามอนุกรมเลขคณิตค่าที่ 3 (หน่วย: ไมโครเมตร)
 R_a (avg) คือ ค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวตามอนุกรมเลขคณิตเฉลี่ย (หน่วย: ไมโครเมตร)
 RESII คือ ค่าเศษเหลือ (Residual)

3.1 ตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง เป็นการตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยอาศัยโปรแกรม Minitab 16 ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยมีสมมติฐานว่ารูปแบบของค่าเศษเหลือ (Residuals) ที่ได้จากข้อมูลในการทดลองเป็นไปตามหลักการ $\epsilon_{ij} \sim NID(0, \sigma^2)$ คือ ค่าเศษเหลือมีการแจกแจงแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกันและความแปรปรวนมีค่าคงตัว (Stability) จึงจะทำให้ข้อมูลจากการทดลองมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ การตรวจสอบ ϵ_{ij} ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

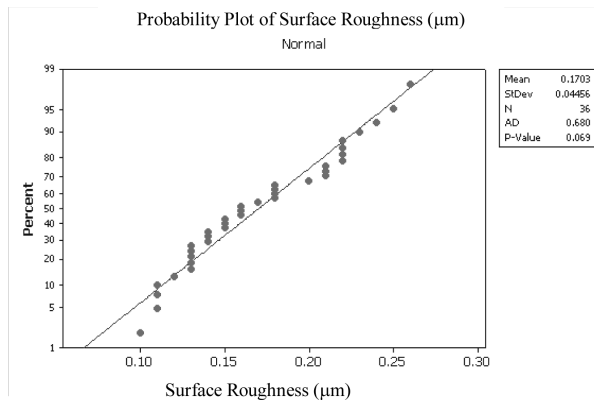
- 1) การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal distribution) ของค่าเศษเหลือ
- 2) ตรวจสอบความเป็นอิสระของค่าเศษเหลือ

3) การตรวจสอบความเสถียรของ (Variance stability)

สำหรับรายละเอียดการตรวจสอบทั้ง 3 ขั้นตอน มีดังนี้

1. การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติของค่าเศษเหลือ จากการวิเคราะห์ผลการทดลองสามารถประเมินผลการทดลองโดยการลดรูป (Reduce model) และสร้างแผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal probability plot) ของค่าเศษเหลือ พบว่าการกระจายตัวของค่าเศษเหลือมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง ดังรูปที่ 6 จึงทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อยืนยันการกระจายตัวแบบปกติของค่าเศษเหลือ โดยการตั้งสมมติฐานดังนี้

- H_0 : ค่าเศษเหลือมีการแจกแจงแบบปกติ
 - H_1 : ค่าเศษเหลือไม่มีการแจกแจงแบบปกติ
- ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (α) 0.05



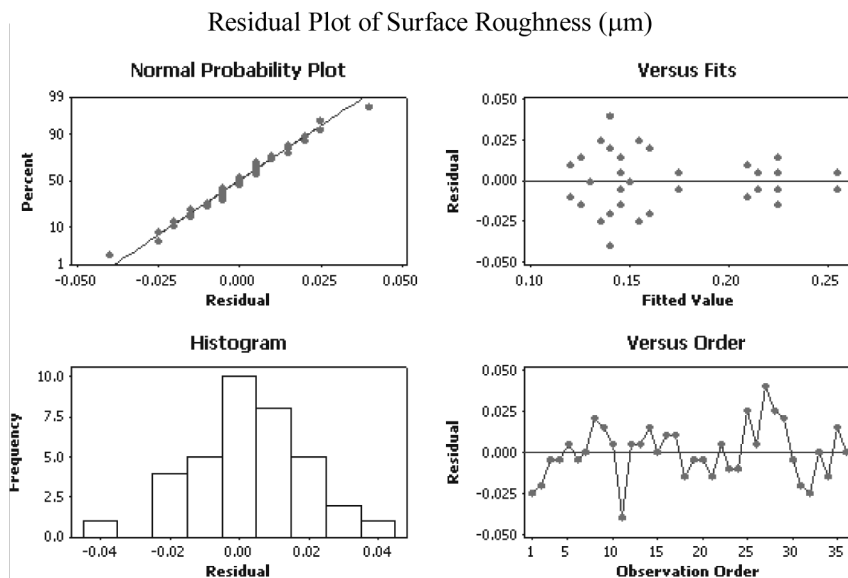
รูปที่ 6 การแจกแจงแบบปกติของค่าเศษเหลือของค่าความหยาบผิว

จากรูปที่ 6 กราฟการแจกแจงแบบปกติของค่าเศษเหลือพบว่า P-Value = 0.069 ซึ่งมีความมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จึงสามารถสรุปผลจากสมมติฐานได้ว่าการกระจายตัวของค่าเศษเหลือมีการกระจายตัวแบบปกติ

2. การตรวจสอบความเป็นอิสระของค่าเศษเหลือ จากรูปที่ 7 ล่าง-ขวา การกระจายตัวของค่าเศษเหลือเทียบกับ Observation order เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลบนแผนภูมิ พบว่าการกระจายตัวของค่าเศษเหลือมีรูปแบบที่เป็นอิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน และไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้มแต่อย่างใด แสดงว่าค่าเศษเหลือมีความเป็นอิสระต่อกัน

3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (σ^2 : Variance stability) จากรูปที่ 7 บน-ขวา การกระจายตัวของค่าเศษเหลือเทียบกับ Fitted value ของค่าความหยาบผิว พบว่าความแปรปรวนของค่าเศษเหลือมีความเสถียรอยู่ในระดับที่น่าพอใจ เนื่องจากค่าความหยาบผิวในแต่ละระดับของพารามิเตอร์มีการกระจายในด้านบวกและด้านลบมีความสมดุลกัน แสดงว่าข้อมูลที่ได้มีความแปรปรวนคงที่

ผลการวิเคราะห์ทั้งหมด พบว่าข้อมูลจากการทดลองถูกต้องและเชื่อถือได้ เป็นไปตามหลักการ $\epsilon_{ij} \sim NID(0, \sigma^2)$



รูปที่ 7 การกระจายตัวของค่าเสียหายเหลือเทียบกับ Observation order และ Fitted value

3.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

ผลการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองพบว่าข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือ จึงนำข้อมูลผลการวัดค่าความหยาบผิวมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย เพื่อตรวจสอบว่าปัจจัยที่ทำการ

ศึกษานั้นมีปัจจัยใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิวของเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซนต์ ($\alpha = 0.05$) ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab 16 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

Source	DF	SS	MS	F	P
ระยะป้อนลึก	2	0.0035	0.0017	3.34	0.0580
ความเร็วรอบ	2	0.0094	0.0047	9.02	0.0020
อัตราป้อน	1	0.0047	0.0047	8.99	0.0080
ระยะป้อนลึก*ความเร็วรอบ	4	0.0167	0.0042	8.05	0.0010
ระยะป้อนลึก*อัตราป้อน	2	0.0020	0.0010	1.96	0.1690
ความเร็วรอบ*อัตราป้อน	2	0.0131	0.0065	12.58	0.0001
ระยะป้อนลึก*ความเร็วรอบ*อัตราป้อน	4	0.0108	0.0027	5.20	0.0060
Error	18	0.0094	0.0005		
Total	35	0.0695			

R-Sq = 86.55% R-Sq(adj) = 73.84%

จากตารางที่ 3 สามารถวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหยาบผิวของเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 ได้ดังนี้

1. ค่า R^2 เท่ากับ 86.55 หมายถึง ถ้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากการทดลองทั้งหมด 100 หน่วย ความผันแปรที่เกิดจากปัจจัยที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ปัจจัยจะมีความผันแปรต่อข้อมูลที่เก็บได้ 86.55 หน่วย ซึ่งหมายถึงว่าตัวแปรต้นทั้ง 3 ตัวมีความน่าเชื่อถือในการพยากรณ์หรือมีอิทธิพล 86.55 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือไม่สามารถอธิบายได้ว่ามีความผันแปรที่เกิดจากปัจจัยดังกล่าว หรือเกิดจากความคลาดเคลื่อนอื่นๆ

2. พิจารณาค่า P-Value ที่ได้จากการวิเคราะห์การกระจายของข้อมูล นำผลที่ได้ทั้งหมดมาหาความสัมพันธ์ของระยะป้อนลึก ความเร็วรอบ และอัตราป้อนพดดังนี้

2.1 ปัจจัยที่เป็นอิทธิพลหลัก ส่งผลกระทบต่อความหยาบผิว คือ ความเร็วรอบ และอัตราป้อน เนื่องจากมีค่า P-Value เท่ากับ 0.002 และ 0.008 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ

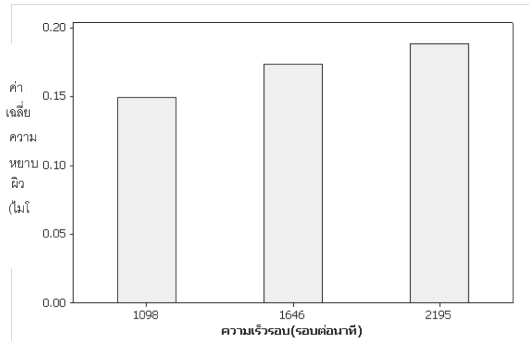
2.2 ปัจจัยที่เป็นอิทธิพลร่วมที่ส่งผลต่อความหยาบผิว คือ ระยะป้อนลึกมีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบ ความเร็วรอบมีความสัมพันธ์กับอัตราป้อน และระยะป้อนลึก ความเร็วรอบ อัตราป้อน มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน เนื่องจากมีค่า P-Value เท่ากับ 0.001, 0.0001 และ 0.006 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ

3.3 การวิเคราะห์ปัจจัยอิทธิพลหลักที่ส่งผลกระทบต่อความหยาบผิว

เมื่อพิจารณาค่า P-Value จากตารางที่ 3 ที่ได้จากการวิเคราะห์กระจายของข้อมูล นำผลที่ได้ทั้งหมดมาหาความสัมพันธ์ของความเร็วรอบ อัตราป้อน ระยะ

ป้อนลึก พบว่าปัจจัยอิทธิพลหลักที่ส่งผลกระทบต่อความหยาบผิว คือ ความเร็วรอบ และอัตราป้อน มีอิทธิพลต่อความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญ

1. ผลการวิเคราะห์ความเร็วจึงส่งผลกระทบต่อความหยาบผิว ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ค่าเฉลี่ยความหยาบผิวในแต่ละระดับของความเร็วรอบ

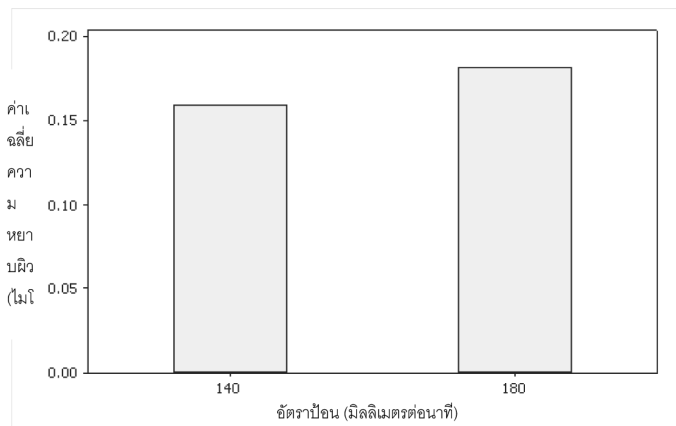
พิจารณาค่าความเร็วจึงรูปที่ 8 เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจาก 1098, 1646 และ 2195 รอบต่อนาที พบว่าค่าเฉลี่ยความหยาบผิวเพิ่มขึ้น ดังนั้นแสดงว่าความเร็วรอบมีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิว หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์แบบ LSD (Least significant difference) เพื่อพิจารณาค่าความแตกต่างของระดับความเร็วรอบที่ส่งผลกระทบต่อค่าความหยาบผิว ดังตารางที่ 4

$$\begin{aligned}
 LSD &= t_{\alpha/2, a(n-1)} \sqrt{\frac{2MSE}{n}} \\
 &= t_{0.05/2, 3(2-1)} \sqrt{\frac{2 \times 0.0005}{2}} \\
 &= t_{0.025, 3} \sqrt{0.0005} \\
 &= 3.182 \times 0.02236 \\
 &= 0.07115
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 4 ความแตกต่างของความเร็วจึงที่ส่งผลกระทบต่อความหยาบผิวโดยวิธี LSD

ความเร็วรอบที่ระดับ	2195 รอบต่อนาที	1646 รอบต่อนาที	1098 รอบต่อนาที
2195 รอบต่อนาที		549	1097
1646 รอบต่อนาที			548
1098 รอบต่อนาที			

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4 ค่าความแตกต่างของความเร็วรอบ แตกต่างต่อความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับ 1098, 1646 และ 2195 รอบต่อนาที มีค่ามากกว่า 2. ผลการวิเคราะห์อัตราป้อนที่ส่งผลกระทบต่อความหยาบผิว ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ค่าเฉลี่ยความหยาบผิวในแต่ละระดับของอัตราป้อน

พิจารณาค่าอัตราป้อนดังรูปที่ 9 เมื่ออัตราป้อน เพิ่มขึ้นจาก 140 และ 180 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าค่าเฉลี่ยความหยาบผิวเพิ่มขึ้น ดังนั้นแสดงว่าอัตราป้อนมีอิทธิพล ต่อค่าความหยาบผิวและผลการวิเคราะห์แบบ LSD เพื่อพิจารณาค่าความแตกต่างของระดับอัตราป้อนที่ส่งผลกระทบต่อค่าความหยาบผิว แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความแตกต่างของอัตราป้อนที่ส่งผลกระทบต่อความหยาบผิว โดยวิธี LSD

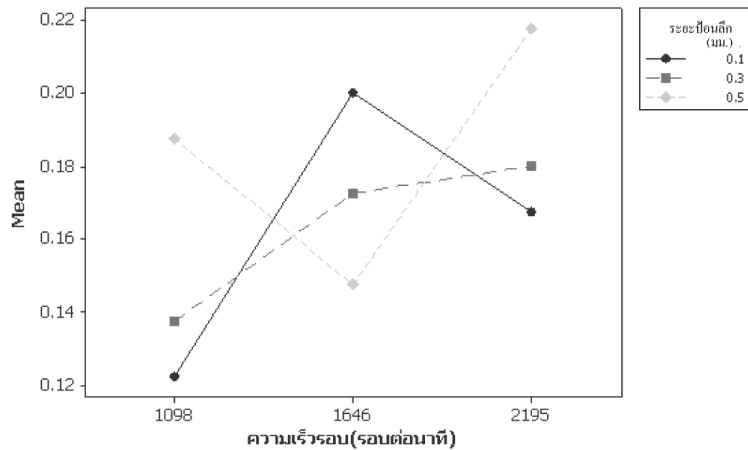
อัตราป้อนที่ระดับ	180 มิลลิเมตรต่อนาที	140 มิลลิเมตรต่อนาที
180 มิลลิเมตรต่อนาที		40
140 มิลลิเมตรต่อนาที		

เมื่อพิจารณาตารางที่ 5 ค่าความแตกต่างของอัตราป้อนที่ระดับ 140 และ 180 มิลลิเมตรต่อนาที มีค่ามากกว่าค่า LSD ที่คำนวณได้ จึงสามารถสรุปได้ว่าทุกคู่มีความแตกต่างต่อความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญ

3.4 การวิเคราะห์ปัจจัยอิทธิพลร่วมที่ส่งผลกระทบต่อความหยาบผิว

การวิเคราะห์ปัจจัยที่เป็นอิทธิพลร่วมที่ส่งผลกระทบต่อความหยาบผิว ดังรูปที่ 10

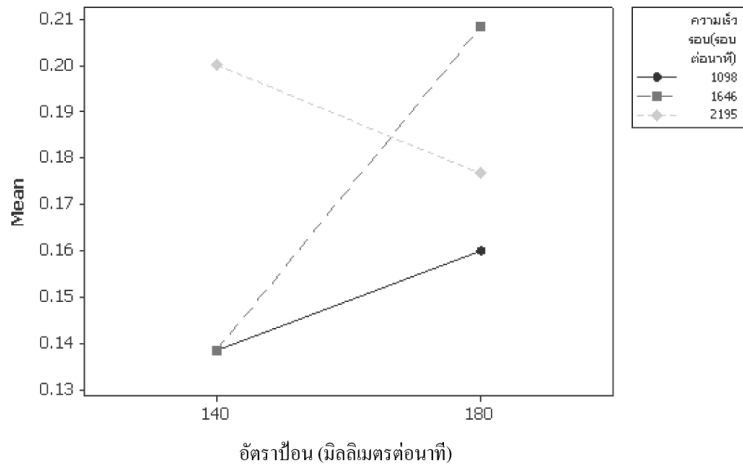
Interaction Plot for ค่าเฉลี่ยความหยาบผิว (ไมโครเมตร)



รูปที่ 10 อิทธิพลร่วมที่ส่งผลต่อความหยาบผิวระหว่างระยะป้อนลึกกับความเร็รรอบ

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 10 จากความสัมพันธ์ นาที่ และระยะป้อนลึก 0.5 มิลลิเมตร ให้ค่าความหยาบของระยะป้อนลึกและความเร็รรอบที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยผิวต่ำที่สุด อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องพิจารณาผลกระทบความหยาบผิวจะเห็นได้ว่า เมื่อใช้ระยะป้อนลึกที่ระดับ ร่วมของทั้ง 3 ปัจจัย ก่อนการสรุปผลในท้ายสุด 0.1, 0.3 และ 0.5 มิลลิเมตร ที่ความเร็รรอบ 1096 รอบต่อ

Interaction Plot for ค่าเฉลี่ยความหยาบผิว (ไมโครเมตร)



รูปที่ 11 อิทธิพลร่วมที่ส่งผลต่อความหยาบผิวระหว่างอัตราป้อนกับความเร็รรอบ

พิจารณารูปที่ 11 จากความสัมพันธ์ของอัตราป้อนและความเร็รรอบที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยความหยาบผิว จะเห็นได้ว่า ในอัตราป้อน 140 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ความเร็รรอบ 1098 และ 1646 รอบต่อนาที ให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุด

3.5 ผลการวิเคราะห์การถดถอยระหว่างปัจจัย
การทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลต่อความหยาบผิวในการกัดเหล็กกล้า SKD11 โดยกำหนดปัจจัยในการทดลองซึ่งประกอบด้วยระยะป้อนลึก 3 ระดับ ได้แก่ 0.1, 0.3 และ 0.5 มิลลิเมตร ความเร็รรอบ 3 ระดับ ได้แก่ 1098,

1646 และ 2195 รอบต่อนาที อัตราป้อน 2 ระดับ ได้แก่ 140 และ 180 มิลลิเมตรต่อนาที นำมาสร้างแบบจำลองทำนายค่าความหยาบผิว ด้วยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องกับค่าปัจจัยทดลองที่กำหนดในที่นี้จะสร้างสมการเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ในรูปการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นตรงพหุคูณเพื่อใช้ในการทำนายค่าความหยาบผิว ได้ผลดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงพหุคูณ

Predictor	Coef
ค่าคงที่	-0.250004
ความเร็วรอบ	0.000146
อัตราป้อน	0.002259
ระยะป้อนลึก*ความเร็วรอบ	0.000181
ความเร็วรอบ*อัตราป้อน	-0.000001
ระยะป้อนลึก*ความเร็วรอบ*อัตราป้อน	-0.000001

จากตารางที่ 6 แสดงค่าคงที่ของสมการและค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเชิงเส้นตรงพหุคูณ ซึ่งสามารถสรุปสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$R_a = - 0.250004 + 0.000146 (\text{ความเร็วรอบ}) + 0.002259 (\text{อัตราป้อน}) + 0.000181 (\text{ระยะป้อนลึก} \cdot \text{ความเร็วรอบ}) - 0.000001 (\text{ความเร็วรอบ} \cdot \text{อัตราป้อน}) - 0.000001 (\text{ระยะป้อนลึก} \cdot \text{ความเร็วรอบ} \cdot \text{อัตราป้อน})$$

จากผลการทดลองในตารางที่ 2 พบว่าค่าความหยาบผิวต่ำสุดคือ 0.10 ไมโครเมตร ที่ระดับของปัจจัยคือ ความเร็วรอบ 1646 รอบต่อนาที อัตราป้อน 140 มิลลิเมตรต่อนาที และระยะป้อนลึก 0.5 มิลลิเมตร และเมื่อแทนค่าระดับของปัจจัยนี้ลงสมการความหยาบผิว (R_a) ได้ดังนี้

$$R_a = - 0.250004 + 0.000146(1646) + 0.002259(140) + 0.000181(0.5 \cdot 1646) - 0.000001(1646 \cdot 140) - 0.000001(0.5 \cdot 1646 \cdot 140) = 0.11 \text{ ไมโครเมตร}$$

จากการแทนค่าระดับของปัจจัยในสมการ พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.11 ไมโครเมตร และผลการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.10 ไมโครเมตร พบว่าค่าทั้งสองมีค่าต่างกัน ดังนั้นจึงต้องทำการยืนยันผลการทดลอง ว่าค่าที่ได้จากสมการถดถอยและค่าที่ได้จากการทดลอง ว่าไม่มีความแตกต่างกันหรือไม่

3.5.1 การทดสอบยืนยันผลการทดลอง

การทดสอบยืนยันผลการทดลอง เป็นการทดสอบเพื่อยืนยันผลสรุปของค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบ 1646 รอบต่อนาที อัตราป้อน 140 มิลลิเมตรต่อนาที และระยะป้อนลึก 0.50 มิลลิเมตร โดยจะทำการทดลองกัดปาดหน้าชิ้นงานใหม่ เพื่อตรวจสอบว่าค่าความหยาบผิวที่ได้จากกระบวนการกัดปาดหน้าเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 นั้นเป็นไปตามผลการวิเคราะห์หรือไม่

จำนวนการทดลองกัดปาดหน้าชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 พิจารณาจากประชากรมีจำนวน 36 ชิ้น และความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้สูตร Yamane (1973) ดังนี้

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

โดย n คือ ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ
 N คือ ขนาดของประชากร
 e คือ ความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้ แทนค่าในสูตร

$$n = \frac{36}{1 + 36 (0.05)^2}$$

$$n = \frac{36}{1 + 0.09}$$

$$n = 33.02$$

$$n \approx 34 \text{ ชิ้นงาน}$$

ดังนั้นจะได้จำนวนชิ้นงานทดลองทั้งสิ้น 34 ชิ้นงาน เมื่อได้จำนวนการทดลอง จึงทำการทดลองได้ผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลองเพื่อยืนยันผล

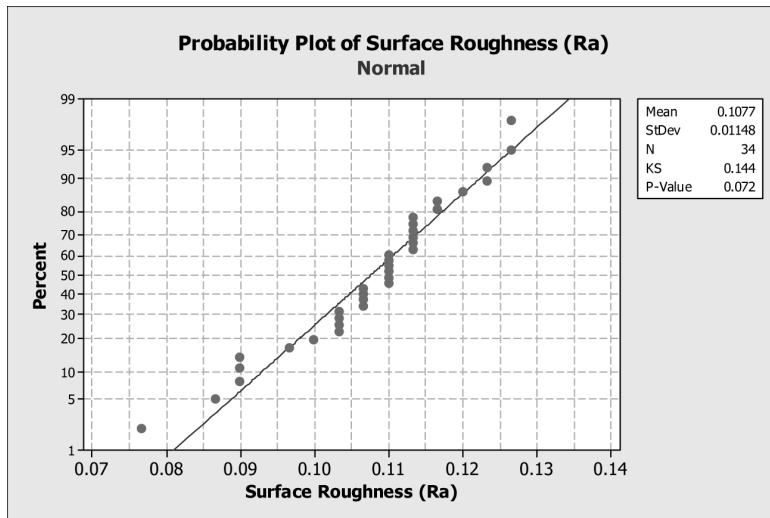
ลำดับการทดลอง	ค่าความหยาบผิวที่ได้จากการวัด (ไมโครเมตร)			
	Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃	Ra _{avg}
1	0.14	0.10	0.10	0.11
2	0.12	0.11	0.10	0.11
3	0.12	0.09	0.10	0.10
4	0.09	0.12	0.12	0.11
5	0.10	0.10	0.13	0.11
6	0.12	0.07	0.10	0.10
7	0.12	0.10	0.08	0.10
8	0.13	0.09	0.10	0.11
9	0.11	0.10	0.13	0.11
10	0.13	0.12	0.13	0.13
11	0.10	0.10	0.11	0.10
12	0.12	0.11	0.10	0.11
13	0.11	0.08	0.08	0.09
14	0.10	0.09	0.12	0.10
15	0.13	0.13	0.12	0.13
16	0.13	0.10	0.09	0.11
17	0.12	0.11	0.10	0.11
18	0.08	0.08	0.11	0.09
19	0.10	0.12	0.12	0.11
20	0.12	0.12	0.12	0.12
21	0.12	0.09	0.11	0.11
22	0.10	0.12	0.12	0.11
23	0.08	0.07	0.08	0.08
24	0.12	0.12	0.13	0.12
25	0.14	0.09	0.12	0.12
26	0.09	0.13	0.12	0.11
27	0.13	0.11	0.10	0.11
28	0.11	0.11	0.13	0.12
29	0.09	0.12	0.12	0.11
30	0.13	0.11	0.13	0.12
31	0.11	0.10	0.11	0.11
32	0.08	0.09	0.09	0.09
33	0.08	0.10	0.09	0.09
34	0.10	0.10	0.11	0.10

3.5.2 ผลการตรวจสอบเพื่อยืนยันผลการ

ทดลอง

การตรวจสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง เป็นการนำผลการทดลองที่ได้จากการทดลองในตารางที่ 7 มาวิเคราะห์เพื่อพิจารณาว่าสมการถดถอยที่สร้างขึ้นมาทำนายความหยาบผิวของเหล็กกล้า SKD11 สามารถนำมาใช้ในการทำนายความหยาบผิวได้จริงหรือไม่นั้น จะพิจารณาได้จากการแทนค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมลงในสมการถดถอย กับค่าเฉลี่ยของผลการทดลองเพื่อยืนยันสมการถดถอยว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองเพื่อยืนยันสมการถดถอย ในรูปที่ 12 พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ เนื่องจากมีค่า P-Value เท่ากับ 0.072 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 และมีค่าความหยาบผิวที่ได้จากสมการ เท่ากับ 0.11 ไมโครเมตร ซึ่งมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับค่าการทดลองเพื่อยืนยัน และการแทนค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมลงในสมการถดถอย ซึ่งยังสรุปไม่ได้ว่าสมการถดถอยที่สร้างขึ้นสามารถใช้งานได้จริง ดังนั้นต้องทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อยืนยันสมการถดถอยที่ใช้ทำนายค่าความหยาบผิว ว่าสามารถนำมาใช้งานได้จริงหรือไม่



รูปที่ 12 ผลของการแจกแจงข้อมูลจากการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง

3.5.3 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับ

ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิวของกระบวนการกัดปาดหน้าชิ้นงานเหล็กกล้า SKD11

การยืนยันสมการความสัมพันธ์ของค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลอง สามารถนำมาใช้งานได้จริงตามระดับปัจจัยที่เหมาะสมของค่าความเร็วรอบ 1646 รอบต่อนาที อัตราป้อน 140 มิลลิเมตรต่อนาที และระยะป้อนลึก 0.5 มิลลิเมตร โดยการนำค่าความหยาบผิวที่ได้จากการแทนค่าสมการของระดับปัจจัยที่เหมาะสมซึ่งเท่ากับ 0.11 ไมโครเมตร มาทำการตั้งสมมติฐานของการทดลอง เพื่อยืนยันผลการทดลองดังนี้

H_0 : ค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลองเพื่อยืนยันผล ไม่มีความแตกต่างกันกับค่าความหยาบผิวที่ได้จากการแทนค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในสมการถดถอย

H_1 : ค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลองเพื่อยืนยันผล มีความแตกต่างกันกับค่าความหยาบผิวที่ได้จากการแทนค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในสมการถดถอย

ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

นำผลการทดลองที่ได้ในตารางที่ 7 มาทดสอบ One-Sample T-test ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์ One-Sample T-test ของค่าความหยาบผิวที่ใช้ในกระบวนการกัดปาดหน้าเหล็กกล้า SKD11

One-Sample T: Surface Roughness (Ra)						
Test of mu = 0.11 vs not = 0.11						
Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	
Surface Roughness (Ra)	34	0.10775	0.01148	0.00197	(0.10374, 0.11175)	
Variable	T	P				
Surface Roughness (Ra)	-1.15	0.260				

ผลการวิเคราะห์ตารางที่ 8 พบว่าค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.260 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลองเพื่อยืนยันผลไม่มีความแตกต่างกันกับค่าความหยาบผิวที่ได้จากการแทนค่าของระดับปัจจัยที่เหมาะสมในสมการถดถอย อย่างมี

นัยสำคัญที่ระดับ 0.05 แสดงว่า สมการถดถอยที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น สามารถนำมาใช้ทำนายความหยาบผิวของกระบวนการกัดปาดหน้าเหล็กกล้า SKD11 ได้จริง และได้วิเคราะห์ความไวในการทดสอบ (Power) ของการทดลองเพื่อยืนยันผล ได้ผลแสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การวิเคราะห์ความไวในการทดสอบ ของค่าความหยาบผิวที่ใช้ในกระบวนการกัดปาดหน้าเหล็กกล้า SKD11

Power and Sample Size		
1-Sample t Test		
Testing mean = null (versus not = null)		
Calculating power for mean = null + difference		
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.01148		
	Sample	
Difference	Size	Power
0.01	34	0.99850
0.02	34	1.00000
0.03	34	1.00000

จากตารางที่ 9 จะเห็นว่า การทดลองเพื่อยืนยันผลที่ขนาดตัวอย่างจำนวน 34 ชิ้น และค่าความแตกต่างที่ต้องการตรวจจับ 0.01 นั้น จะได้ความไวในการทดสอบเท่ากับ 99.85 เปอร์เซ็นต์

4. สรุปผล

การศึกษานิติผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิวของเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 ในการกัดด้วยเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบแนวตั้ง โดยวิเคราะห์ค่า

ความหยาบผิว (R_a) เพื่อใช้ในการสร้างสมการถดถอยเพื่อทำนายค่าความหยาบผิวของเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 ได้ผลสรุปดังนี้

4.1 สรุปผลการดำเนินงาน

1. ผลการวิเคราะห์ปัจจัยอิทธิพลหลัก พบว่า ปัจจัยที่เป็นอิทธิพลหลักคือ ความเร็วรอบและอัตราป้อน มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-Value เท่ากับ 0.002 และ 0.008 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยที่ปัจจัยอื่นๆ ที่เป็นอิทธิพลหลักในช่วงที่ทำการทดลอง ไม่มีอิทธิพลต่อความหยาบผิว

2. ผลการวิเคราะห์ปัจจัยอิทธิพลร่วม พบว่า ปัจจัยที่เป็นอิทธิพลร่วมคือ ระยะเวลาป้อนลึกมีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบ ความเร็วรอบมีความสัมพันธ์กับอัตราป้อน และระยะเวลาป้อนลึก ความเร็วรอบ อัตราป้อนมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-Value เท่ากับ 0.001, 0.0001 และ 0.006 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05

3. ผลการวิเคราะห์สมการถดถอย พบว่าเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดลอง สามารถสร้างเป็นสมการความสัมพันธ์ของความหยาบผิวกับปัจจัยอิสระ สามารถเขียนเป็นสมการได้คือ

$$\text{ค่าความหยาบผิว } (R_a) = -0.250004 + 0.000146 (\text{ความเร็วรอบ}) + 0.002259 (\text{อัตราป้อน}) + 0.000181 (\text{ระยะเวลาป้อนลึก} \times \text{ความเร็วรอบ}) - 0.000001 (\text{ความเร็วรอบ} \times \text{อัตราป้อน}) - 0.000001 (\text{ระยะเวลาป้อนลึก} \times \text{ความเร็วรอบ} \times \text{อัตราป้อน})$$

เมื่อ ค่าความหยาบผิว (R_a) มีหน่วยเป็น ไมโครเมตร

ระยะเวลาป้อนลึก มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร
ความเร็วรอบ มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที
อัตราป้อน มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อนาที

4. ระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อค่าความหยาบผิว สามารถหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อกระบวนการกัดปาดหน้าเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 คือ ความเร็วรอบ 1646 รอบต่อนาที อัตราป้อน 140 มิลลิเมตรต่อนาที และระยะเวลาป้อนลึก 0.50 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด

(Response optimization) ส่งผลให้มีค่าความหยาบผิวต่ำที่สุด

4.2 ข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยในครั้งนี้มีข้อเสนอแนะคือ งานวิจัยนี้ไม่พบว่าระยะป้อนลึก มีอิทธิพลหลักต่อค่าความหยาบผิวของเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 จึงอาจกำหนดระดับของปัจจัยดังกล่าวให้มีระยะห่างมากกว่าการทดลองในครั้งนี้อาจพบว่าระยะป้อนลึกมีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคลากรของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา และศูนย์สอบเทียบเครื่องมือวัดสำหรับอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ รวมถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความหยาบผิว

6. เอกสารอ้างอิง

- (1) Mould and Die Industry Development. Mold operational manual, repair and maintenance dies of Techniques. Chonburi : Thai-German Institute. Thai.
- (2) Chalie Tragangoon. CNC Technology. 12th ed. Bangkok: Technology Promotion Association (Thailand-Japan). 2548. Thai.
- (3) M.Y. Wang, H.Y. Chang. Experimental study of surface roughness in slot end milling AL2014-T6. International Journal of Machine Tools and Manufacture .Vol. 44, no.1 (2004), pp 51-57.
- (4) G.T.,Smith, Advanced Machining. The Handbook of cutting Technology. Department of Engineering and Naval Architecture Southampton. Institute of Higher Education. Southampton. 1988.

- (5) Manop Vorasri, Komson Jirapattarasilp and Sit-tichai Kaewkuekool. The Effect of High-speed Milling on Surface Roughness of Hardened Tool Steel. World Academy of Science. Engineering and Technology 59 2011.
- (6) Manop Vorasri. A Study Factors of Milling Affecting Surface Roughness and Hardness of Tool Steel SKD61. King Mongkut's University of Technology Thonburi. 2011. Thai.
- (7) Prapon Piumsakchai. A Study of Surface Roughness using CNC Face Milling for Cold Work Tool Steel D2, King Mongkut's University of Technology Thonburi. 2008. Thai.
- (8) Sumitomo Electric Hardmetal Manufacturing (Thailand) Co.,Ltd. Performance Cutting Tools. pp. H14 Endmill inserts. Thai.
- (9) Longhai special steel - China steel suppliers. JIS SKD11 Steel Physical Properties. www.steel-grades.com Chemical composition physical Properties standard download.
- (10) Kanlaya Vanichbuncha. Principles of Statistics. Chulalongkorn University Publisher. 2010. Thai.
- (11) Parames Chutima. Design of Experiment for Engineering. Chulalongkorn University Publisher. 2002. Thai.
- (12) Montgomery, Douglass C. Applied statistics and probability for engineers. 2nd ed. John Wiley and Sons. 1999.