

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วย
เครื่องกัดอาร์คด้วยไฟฟ้า



นายก่อพงศ์ พ่วงรอดพันธุ์
นายถาวร ชาวปัญญา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**A STUDY OF PARAMETERS AFFECTING SURFACE
ROUGHNESS OF A WORKPIECE PROCESSED BY AN
ELECTRICAL DISCHARGE MACHINE**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2003**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอาร์คด้วยไฟฟ้า
A STUDY OF PARAMETERS AFFECTING SURFACE ROUGHNESS OF A
WORKPIECE PROCESSED BY AN ELECTRICAL DISCHARGE MACHINE

นักศึกษา

นายก่อพงษ์ พ่วงรอดพันธุ์

รหัสประจำตัว 44015723

นายถาวร ชาญปัญญา

รหัสประจำตัว 44015734

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท

กิม พ.

(ดร. สหิพร พิมพิสกุล)



(อาจารย์ พลชัย ไชติปราชญกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเสียหายผิวของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอาร์คด้วยไฟฟ้า
นักศึกษา	นายก่อพงศ์ พ่วงรอดพันธุ์ นายถาวร ชาติปัญญา
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร. สิทธิพร พิมพ์สกุล อาจารย์ พลชัย โขติปราชญกุล

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาค่าความเสียหายผิวของชิ้นงานที่เกิดจากการสปาร์กขึ้นรูปของขั้วอิเล็กโทรดกับชิ้นงานโลหะ (SKD11) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเสียหายผิวของชิ้นงานโลหะ เพื่อใช้ในการพยากรณ์ค่าความเสียหายผิวของชิ้นงานจากการขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอาร์คด้วยไฟฟ้าที่สภาวะการทำงานต่างกัน โดยออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) อาศัยการออกแบบการทดลองด้วยวิธีแฟกทอเรียล ในปัจจัยและระดับที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาค่าความเสียหายผิวของชิ้นงานที่เกิดขึ้น และประมวลผลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) และสร้างสมการคาดการณ์ เพื่อหาค่าความเสียหายผิว จากตัวแปรที่ส่งผลต่อความเสียหายผิวของชิ้นงาน

จากผลการทดลอง พารามิเตอร์ที่มีผลต่อความเสียหายผิวมี 6 พารามิเตอร์ คือ Main Supply Voltage, Arc Detection Level, Servo Voltage, Loran Speed and Direction, Jump - down Machining Time, Jump - up Time โดย Main Supply Voltage มีอิทธิพลต่อความเสียหายผิวมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 ส่วนพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่ไม่ส่งผลต่อความเสียหายผิวอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 ก็มีความสำคัญในด้านอื่นเช่น ถ้าไม่ทำการป้อนค่าของพารามิเตอร์อื่น ๆ ดังกล่าวเครื่องก็จะไม่ทำงาน เพราะฉะนั้นก่อนทำการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องอีดีเอ็ม ก็ควรรู้ก่อนว่าความเสียหายผิวของชิ้นงานที่ต้องการมีค่าเท่าไร ซึ่งงานวิจัยนี้ก็ได้ทำให้ผู้วิจัยรู้ว่า ถ้างานที่ต้องการความเสียหายผิวน้อยก็ควรจะต้องตั้งค่า Main Supply Voltage ไว้ที่ 90 V ส่วนงานที่ต้องการความเสียหายผิวมากก็ควรจะต้องตั้งค่า Main Supply Voltage ไว้ที่ 120 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A Study of Parameters Affecting Surface Roughness of a Workpiece Processed by an Electrical Discharge Machine
Student	Mr. Korpong Phuangrodphan Mr. Thavorn Chapunya
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2003
Thesis Advisor	Dr. Sittiporn Pimsakul Mr. Pholchai Chotiprayanakul

ABSTRACT

This thesis is about the study of surface roughness of workpieces (steel-SKD 11) sparked by an electrode. Thesis objective is to study parameters affecting surface roughness of steel workpieces in order to develop a model for forecasting surface roughness of workpieces processed by an electrical discharge machine at different working conditions using Design of Experiments. At different parameters and levels, experiments are designed and performed and a statistical analysis – Linear Regression Analysis – is applied to develop a regression equation for predicting workpiece surface roughness.

From the result of the experiments, parameters which have the most significant effect include: main supply voltage, arc detection level, servo voltage, loran speed and direction, jump-down machining time, and jump-up time. Among these parameters, the main supply voltage has the most significant effect at 0.05 significant level. Therefore, if a surface roughness of a workpiece is known, parameters affecting the surface roughness can be pre-determined. From the result of this research, if a workpiece requires a high precision of roughness, the main supply voltage should be set at 90V, on the other hands, if a workpiece requires a low precision of roughness, the main supply voltage should be set at 120V.

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร. สิทธิพร พิมพัสกุล อาจารย์ พลชัย โขติปราชญ์กุล ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัย ที่กรุณาให้คำแนะนำทางแนวคิดและคำแนะนำในการดำเนินการวิจัย ตลอดจนช่วยเหลือร่วมแก้ปัญหาต่าง ๆ อันก่อให้เกิดประโยชน์ต่องานวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณต่อ ดร. สิทธิพร พิมพัสกุล อาจารย์ พลชัย โขติปราชญ์กุล และอาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่กรุณาเข้าร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งจึงใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณอย่างซาบซึ้ง สำหรับความร่วมมือและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งที่ผู้วิจัยได้รับความกรุณาจากบริษัท โซดิก แห่งประเทศไทย ในการให้การชี้แนะเกี่ยวกับการใช้เครื่อง อีดีเอ็มวิธีการและระบบการใช้งานของเครื่อง อีดีเอ็ม ตลอดจนสิ่งต่าง ๆ ที่บริษัทให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องต่าง ๆ และขอขอบคุณเพื่อนร่วมชั้นเรียนที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยอย่างดีเสมอมา

ท้ายที่สุดขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และทุก ๆ คนที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดมา จนทำให้ผู้วิจัยเรียนจบและประสบความสำเร็จดังเช่นทุกวันนี้

นายก่อพงษ์ พ่วงรอดพันธุ์

นายถาวร ชาติปัญญา

เมษายน 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	X
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 มาตรฐานความยาว.....	3
2.2 ความหยาบผิว.....	3
2.2.1 ลักษณะการเชื่อมของผิวชิ้นงาน.....	4
2.2.2 คำจำกัดความของศัพท์เทคนิค.....	6
2.2.3 วิธีแสดงค่าความหยาบผิว.....	7
2.2.4 วิธีการวัดค่าความหยาบผิว.....	9
2.3 ปฏิกิริยาการสปาร์ก.....	10
2.3.1 สภาพที่กระแสร่มไหล.....	10
2.3.2 การสปาร์กแบบ โคโรนา.....	10
2.3.3 การสปาร์กแบบ โทลว.....	11
2.3.4 การสปาร์กแบบอาร์ก.....	11

2.4	หลักการของกรรมวิธีขึ้นรูปด้วยเครื่องอีดีเอ็ม	11
2.4.1	การใส่แรงดันไฟฟ้า	12
2.4.2	การสูญเสียความเป็นฉนวน	12
2.4.3	การสปาร์กและหลอมละลาย	12
2.4.4	การเย็นตัว	13
2.4.5	การกลับคืนสู่ความเป็นฉนวน	13
2.5	ประโยชน์ของกรรมวิธีขึ้นรูปด้วยเครื่องอีดีเอ็ม	13
2.6	พารามิเตอร์ที่มีผลต่อความหยาบผิวชิ้นงาน	13
2.7	สารไดอิเล็กตริก	14
2.8	ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง	15
2.8.1	แนวคิดและหลักการการวิเคราะห์ความแปรปรวน	16
2.8.2	การวิเคราะห์ความแปรปรวน	16
2.8.3	อิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วม	17
2.8.4	ตัวแบบทางสถิติเชิงเส้นตรง	17
2.8.5	ตัวแบบอิทธิพลคงที่	18
2.8.5.1	การประมาณค่าพารามิเตอร์ตัวแบบอิทธิพลคงที่	19
2.8.5.2	การทดสอบเชิงซ้อนด้วยวิธีการพิสัยค้นแกน	19
2.8.6	ตัวแบบอิทธิพลสุ่ม	20
2.8.6.1	การประมาณค่าพารามิเตอร์ตัวแบบอิทธิพลสุ่ม	21
2.9	ทฤษฎีการหาขนาดตัวอย่าง	21
2.9.1	ตัวแบบอิทธิพลคงที่การหาขนาดตัวอย่าง	21
2.9.2	ตัวแบบแบบอิทธิพลสุ่มการหาขนาดตัวอย่าง	22
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง		
3.1	ลักษณะในการทดลอง	23
3.2	วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	23
3.2.1	อิเล็กโทรด	23
3.2.2	ชิ้นงานทดลอง	23
3.3	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	24
3.3.1	เครื่องอีดีเอ็ม	24
3.3.2	เครื่องวัดความหยาบผิวชิ้นงาน	25
3.3.3	ไมโครมิเตอร์	25
3.4	หลักการออกในการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	25

3.4.1	ทำความเข้าใจถึงปัญหา.....	26
3.4.2	เลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต.....	26
3.4.3	เลือกพารามิเตอร์ผลตอบแทน.....	26
3.4.4	เลือกการออกแบบการทดลอง.....	26
3.4.5	ทำการทดลอง.....	26
3.4.6	วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ.....	27
3.4.7	สรุปและข้อเสนอแนะ.....	37
3.5	แผนการทดลอง.....	27
3.5.1	การทดลองขั้นตอนการกรองพารามิเตอร์.....	28
3.5.2	การทดลองหาพารามิเตอร์ตอบสนอง.....	31
3.5.3	การทดลองเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าที่ได้จากการทดลอง.....	37
3.6	ลำดับขั้นตอนการทดลอง.....	37
3.6.1	ก่อนดำเนินการทดลอง.....	37
3.6.2	ขั้นตอนระหว่างทำการทดลอง.....	38
3.6.3	หลังการดำเนินการทดลอง.....	40
บทที่ 4	ผลการทดลอง	
4.1	ผลการทดลองขั้นตอนการกรองพารามิเตอร์.....	41
4.2	ผลการทดลองหาตัวแปรตอบสนองต่อค่าความหนาผิว.....	43
4.2.1	การตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบการทดลอง.....	51
4.2.2	การพิจารณากราฟค่าสัมประสิทธิ์ของข้อมูลพล็อตกับอันดับที่ทดลอง.....	51
4.2.3	การพิจารณารูปแบบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล.....	51
4.2.4	การพิจารณาความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน.....	52
4.2.5	กราฟแสดงการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบของข้อมูล.....	52
4.2.6	สัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ.....	57
4.2.7	การวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	57
4.2.8	สมการคาดการณ์ตัวแปรตอบสนอง.....	59
4.3	ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าที่ได้จากการทดลอง.....	59
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง	
5.1	สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	65
5.1	ข้อเสนอสำหรับงานวิจัยงานอีอีเอ็ม.....	65



VII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	ภาพการเบี่ยงเบนผิวของชิ้นงาน.....	4
ตารางที่ 2.2	อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อร่องลึกความหยابผิว.....	6
ตารางที่ 2.3	วิธีการเขียน treatment combination ในการทดลองแบบแฟคทอเรียล ขนาด 2×2	15
ตารางที่ 2.4	ผลการทดลองสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	17
ตารางที่ 2.5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับค่าแบบเบี่ยงเบนที่ ประเภทจำแนกทางเดียว.....	18
ตารางที่ 3.1	ทดลองพารามิเตอร์ที่สภาวะคงที่โดยกำหนดค่าคงที่ตลอดการทดลอง.....	28
ตารางที่ 3.2	ตารางการทดลองเพื่อกรองพารามิเตอร์.....	29
ตารางที่ 3.3	การออกแบบและลำดับการทดลองหาพารามิเตอร์ตอบสนอง.....	30
ตารางที่ 4.1	ค่าความหยابผิวจากการทดลองบนกรงพารามิเตอร์.....	42
ตารางที่ 4.2	ค่าผลต่างและระดับผลต่างการทดลองบนกรงพารามิเตอร์.....	42
ตารางที่ 4.3	ค่าต่ำ ค่าสูง ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองหาตัวแปรตอบสนอง.....	44
ตารางที่ 4.4	ผลการทดลองตามลำดับการทดลองเพื่อหาพารามิเตอร์ตอบสนอง.....	44
ตารางที่ 4.5	ค่า R^2 ที่ได้จากการทดลอง.....	57
ตารางที่ 4.6	ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนองสำหรับความหยابผิว.....	58
ตารางที่ 4.7	อิทธิพลหลักที่ส่งผลต่อค่าความหยابผิว.....	59
ตารางที่ 4.8	ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าที่ทดลองจริง โดยตั้งค่า Main Supply Voltage ไว้ที่ค่าต่ำ.....	60
ตารางที่ 4.9	ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าที่ทดลองจริง โดยตั้งค่า Main Supply Voltage ไว้ที่ค่าสูง.....	62

VIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	ช่วงของการเบี่ยงเบนงานผิวชิ้นงาน.....	5
รูปที่ 2.2	ลักษณะความแตกต่างระหว่างหัวลาก กับหัวสัมผัส.....	5
รูปที่ 2.3	จำแนกลักษณะการเบี่ยงเบนผิวชิ้นงาน.....	6
รูปที่ 2.4	รูปหน้าที่เป็นผลและรูปหน้าที่คัดค้านของความหยาบ.....	7
รูปที่ 2.5	ค่าพารามิเตอร์ Ra ของค่าความหยาบผิว.....	8
รูปที่ 2.6	ค่า Rt Rz ของค่าความหยาบผิว.....	9
รูปที่ 2.7	คุณสมบัติพิเศษแรงดันไฟฟ้า - กระแสไฟฟ้าของการสปาร์ก.....	10
รูปที่ 2.8	สภาพของลำดับการสปาร์กในแต่ละครั้ง.....	11
รูปที่ 2.9	รูปร่างคลื่นของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอีดีเอ็ม.....	12
รูปที่ 2.10	รูปแบบการทดลองสำหรับการหาค่าความหยาบผิว.....	14
รูปที่ 3.1	เครื่องอีดีเอ็มที่ใช้ในการทดลอง.....	24
รูปที่ 3.2	เครื่องวัดความหยาบผิวชิ้นงาน.....	25
รูปที่ 3.3	ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง.....	37
รูปที่ 3.4	อิเล็กโทรดที่ใช้ในการทดลอง.....	38
รูปที่ 3.5	การจับอิเล็กโทรดกับหัวจับ.....	39
รูปที่ 3.6	การจับยึดชิ้นงานทดลอง.....	39
รูปที่ 4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยเหลือของค่าความหยาบผิวงานกับลำดับการทดลอง.....	53
รูปที่ 4.2	Normal Probability Plot สำหรับค่าเฉลี่ยเหลือของค่าความหยาบผิวงาน.....	53
รูปที่ 4.3	ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยเหลือของความหยาบผิวกับ Main Supply Voltage.....	54
รูปที่ 4.4	ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยเหลือของความหยาบผิวกับ Arc Detection Level.....	54
รูปที่ 4.5	ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยเหลือของความหยาบผิวกับ Servo Voltage.....	55
รูปที่ 4.6	ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยเหลือของความหยาบผิวกับ Loran Speed and Direction..	55
รูปที่ 4.7	ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยเหลือของความหยาบผิวกับ Jump-down Machining Time	56
รูปที่ 4.8	ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยเหลือของความหยาบผิวกับ Jump-up Time.....	56

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

ความหมาย

A	แอมแปร์
cm	เซนติเมตร
cm ²	ตารางเซนติเมตร
E	แรงดันไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า
G	ระยะระหว่างอิเล็กโทรด
kg	กิโลกรัม
lm	ความประเณน
le	ความยาวข้งอง
I	กระแสไฟฟ้า
Ip	ค่าสูงสุดของกระแสไฟฟ้าทนงแอมแปร์
m	เมตร
mm ²	ตารางมิลลิเมตร
min	หน่วยของเวลาเป็นนาที
P ₁	ค่าสูงที่สุดลำดับที่ 1 ของปลายแหลม
P ₂	ค่าสูงที่สุดลำดับที่ 2 ของปลายแหลม
P ₃	ค่าสูงที่สุดลำดับที่ 3 ของปลายแหลม
P ₄	ค่าสูงที่สุดลำดับที่ 4 ของปลายแหลม
P ₅	ค่าสูงที่สุดลำดับที่ 5 ของปลายแหลม
R ²	สัมประสิทธิ์การคัสติงใจ
Ra	ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ของพื้นที่ของพื้นที่หน้าตัด
Rt	ค่าสูงที่สุดของส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลง
Rz	ความสูงของส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลง 10 จุด
s	หน่วยของเวลาเป็นวินาที
SFR	ความหยาบผิว
S _m	ระยะห่างระหว่างรอยแตกของผิวงาน
W _t	ความสูงร่องลึกความหยาบผิว
X	พารามิเตอร์ที่ควบคุมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X_1	พารามิเตอร์ที่ควบคุมได้ตัวที่ 1
X_2	พารามิเตอร์ที่ควบคุมได้ตัวที่ 2
X_3	พารามิเตอร์ที่ควบคุมได้ตัวที่ 3
X_p	พารามิเตอร์ที่ควบคุมได้ตัวที่ p
Z	พารามิเตอร์ที่ควบคุมไม่ได้
Z_1	พารามิเตอร์ที่ควบคุมไม่ได้ตัวที่ 1
Z_2	พารามิเตอร์ที่ควบคุมไม่ได้ตัวที่ 2
Z_3	พารามิเตอร์ที่ควบคุมไม่ได้ตัวที่ 3
Z_q	พารามิเตอร์ที่ควบคุมไม่ได้ตัวที่ q
Y	ตัวแปรตอบสนอง
τ_{on}	เวลาดีสชาร์จหรือเวลาที่กระแสการสปาร์กไหล
τ_{off}	เวลาหยุดดีสชาร์จ
τ_w	เวลาประวิง
μm	หน่วยของความละเอียดเป็นไมโครเมตร
μs	หน่วยของเวลา
V	Main Supply Voltage
ALV	Arc Detection Level
SV	Servo Voltage
LS	Loran Speed and Direction
DN	Jump - down Machining Time
UP	Jump - up Time



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของงานวิจัย

สภาวะอุตสาหกรรมปัจจุบันได้นำเอาเทคโนโลยีใหม่ ๆ เข้ามาทดแทนเทคโนโลยีเก่าที่ล้าสมัย เพื่อเพิ่มปริมาณการผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพและลดเวลาสำหรับการทำงาน จุดมุ่งหมายที่สำคัญ คือ การทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ออกสู่ตลาดเป็นที่ยอมรับและต้องการของผู้บริโภค ด้วยเหตุนี้เครื่องจักรที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์จึงมีบทบาทที่สำคัญอย่างมากต่ออุตสาหกรรมการผลิตภายในประเทศ

หากพิจารณาถึง ชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนรถยนต์ และชิ้นส่วนของเครื่องใช้ใน ชีวิตประจำวัน ล้วนแล้วแต่ถูกผลิตจากเครื่องจักรกลที่ทันสมัย ส่วนตัวคีย์ที่ควรพิจารณาและไม่ควรมองข้าม คือ ความ หยาดของผิวชิ้นงานซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพของชิ้นงาน ถ้ามองย้อนกลับจะเห็นว่าความหยาบของผิวชิ้นงานที่ดี เริ่มต้นจากแบบหรือแม่พิมพ์ ซึ่งผิวแบบหรือแม่พิมพ์ต้องมีความละเอียดเป็นอย่างมาก

ดังนั้น เครื่องจักรสำหรับการขึ้นรูป โดยประจุไฟฟ้าหรือเครื่องอีดีเอ็ม โดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าไปทำ ให้วัสดุส่วนที่ไม่ต้องการนั้นหลุดออกไป เครื่องอีดีเอ็มถูกนำมาใช้กับอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์ เนื่องจาก สามารถผลิตชิ้นงานที่มีความยุ่งยาก และเครื่องจักรชนิดอื่นไม่สามารถทำได้ ความเรียบของผิวชิ้นงานที่ผลิตจากเครื่อง อีดีเอ็ม เป็นตัวชี้ถึงคุณภาพของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมประเภทนี้

สำหรับการทดลองและวิจัยในครั้งนี้ เป็นการศึกษาค้นคว้าความหยาบผิว ที่เกิดจากปรับเปลี่ยนค่าตัว แปรต่าง ๆ ในการทดลอง ดังนั้นเพื่อให้การใช้งานของเครื่องอีดีเอ็มเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดประโยชน์ สูงสุด จึงควรมหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวมากที่สุด และมีผลกระทบอย่างไรต่อความหยาบผิว มีความสำคัญมาก น้อยเพียงใดต่อค่าความหยาบผิว เหตุผลดังกล่าวนี้จึงเป็นที่มาของ “การศึกษาค้นคว้าความหยาบผิว จากการสปาร์กของ เครื่องอีดีเอ็มเมื่อค่าตัวแปรหรือปัจจัยด้านการผลิตเปลี่ยนไป”

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความหยาบผิวของชิ้นงานโลหะจากการขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอาร์คด้วย ไฟฟ้าที่สภาวะการทำงานต่างกัน
2. เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ใช้ในการพยากรณ์ค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน โลหะจากการขึ้นรูปด้วย เครื่องกัดอาร์คด้วยไฟฟ้า ด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments)

1.3 ขอบเขตปริญญาณิพนธ์

เพื่อเป็นการศึกษาเงื่อนไขการแปรรูปโลหะด้วยกรรมวิธีการขึ้นรูปจากเครื่องอีดีเอ็ม แบบกัดเศษฯ โดยเริ่มพิจารณาทั้งสิ้น 13 ตัวแปร และคัดให้เหลือเพียง 6 ตัวแปรที่มีผลต่อความหยาบผิวชิ้นงานมากที่สุด โดยการ ออกแบบการทดลอง ในตัวแปรที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาค้นคว้าความหยาบผิวของชิ้นงานที่เกิดขึ้น และประมวลผลทางสถิติ ด้วยการใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น การทดลองอาศัยการออกแบบการทดลองพื้นฐานด้วยวิธีแฟกทอเรียลและสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการลาการณ์ เพื่อหาค่าความหยาบผิว จากตัวแปรที่ส่งผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน นอกจากนี้ใช้โปรแกรม Minitab 13 for Windows (ฉบับ Demo), Stat Graphics Plus 2.1 และ Microsoft Excel ช่วยในการวิเคราะห์ผล การศึกษา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้มีข้อมูลการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอีดีเอ็ม ในการจ่ายค่ากระแสไฟฟ้าได้เหมาะสมที่สุด
2. สามารถนำไปพยากรณ์ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานเมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ โดยใช้เครื่องอีดีเอ็มทำ การทดลอง
3. ทำให้มีข้อมูลที่ศึกษาค่าความหยาบผิวในการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้การทำงานจริง โดยมี ทองแดงเป็นอิเล็กโทรด กับวัสดุ SKD 11



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การทำการทดลองในงานวิจัยนี้มีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมากมาย และเพื่อที่จะได้ทำการทดลองได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นทฤษฎีจึงมีความสำคัญมากและทฤษฎีที่ทำการศึกษาคือ ในงานวิจัยนี้มีดังนี้

1. มาตรฐานความยาว
2. ความหยาบผิว
3. ปราบกฎการฉีกการสปริง
4. หลักการของกรรมวิธีขึ้นรูปด้วยเครื่องอีซีเอ็ม
5. สาร ไดอิเล็กทริก
6. หลักการการออกแบบการทดลอง
7. การวิเคราะห์ความแปรปรวน
8. การหาขนาดตัวอย่าง

2.1 มาตรฐานความยาว (Standard of Length)

มาตรฐานความยาวเป็นรากฐานทางวิทยาศาสตร์ (วชิระ มีทอง, 2527) เนื่องจากมีการสับเปลี่ยนเครื่องมือทางวิศวกรรมใช้กันระหว่างนานาประเทศ และปัญหาที่มีมากขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของมาตรฐานความยาว (Christof, B et.al., 1990) กลุ่มประเทศอุตสาหกรรมขนาดใหญ่จากหลายประเทศ ได้ร่วมการจัดการประชุมเพื่อที่จะทำให้การวัดเป็นระบบมาตรฐานมากขึ้น ดังนั้นในการประชุมทั่วไปว่าด้วยเรื่องเกี่ยวกับน้ำหนักและการวัด ครั้งที่ 11 ณ กรุงปารีส ปี ค.ศ. 1960 มีการลงมติยอมรับการใช้หน่วยวัดนานาชาติ (International System of Unit) ใช้ชื่อย่อว่า SI และได้มีการสร้างกฎสำหรับหน่วยวัดต่างๆโดยเรียกสั้น ๆ ว่า SI Units พร้อมแนะนำการใช้ต่างๆ ระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ ระบบเมตริก (Metric System) ซึ่งหน่วยวัดแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ

1. หน่วยวัดพื้นฐาน
2. หน่วยเสริม
3. หน่วยที่สร้างขึ้นใหม่

โดยหน่วยวัดพื้นฐานมี 7 หน่วย หน่วยเสริม 2 หน่วย และหน่วยที่สร้างขึ้นใหม่เป็นหน่วยประกอบ โดยหน่วยวัดพื้นฐานทั้ง 7 หน่วยเป็นมาตรฐาน หน่วยที่สร้างขึ้นใหม่จะมีชื่อเฉพาะตามทีผู้สร้างขึ้นใหม่จะเป็นผู้กำหนดขึ้น (Appold et.al., 1987)

2.2 ความหยาบผิว (Surface Roughness)

หากนำเอาผิวของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการแปรรูป โดยชิ้นงานได้รับการแปรรูปจาก งานกลึง งานกัด งานไส งานเจียรระโน งานเลเซอร์ (Laser) งานที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องอีซีเอ็ม เป็นต้น ผ่านการตรวจด้วยแว่นขยายจะพบว่าผิวของชิ้นงานขรุขระเป็นลอนคลื่น ชิ้นงานใดที่มีลอนคลื่นสูงแสดงให้เห็นว่าชิ้นงานดังกล่าวมีผิวหยาบ ส่วนที่มี

เอกสสารเป็นเอกสสารที่ส่งวนไวสำหรับการศึกษาใช้แทน ไม่อนุญาตให้เข้าไปไซประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลอนคลื่นต่ำแสดงว่าผิวชิ้นงานนั้นเรียบ ความหยาบของผิวชิ้นงานมีผลต่อการใช้งานอย่างมาก เมื่อมีการผลิตคุณภาพผิวชิ้นงานไม่ตรงกับสภาพที่แท้จริงขณะทำงาน จะทำให้อายุการใช้งานของชิ้นงานสั้นลง หรือชิ้นงานบางชิ้นที่ผลิตขึ้นมาผิวที่ละเอียด แต่สภาพใช้งานจริงไม่จำเป็น เพราะจะทำให้เสียเวลาในการทำงานโดยเปล่าประโยชน์ (Parago, F.T., 1968)

2.2.1 ลักษณะการเบี่ยงเบนของผิวชิ้นงาน

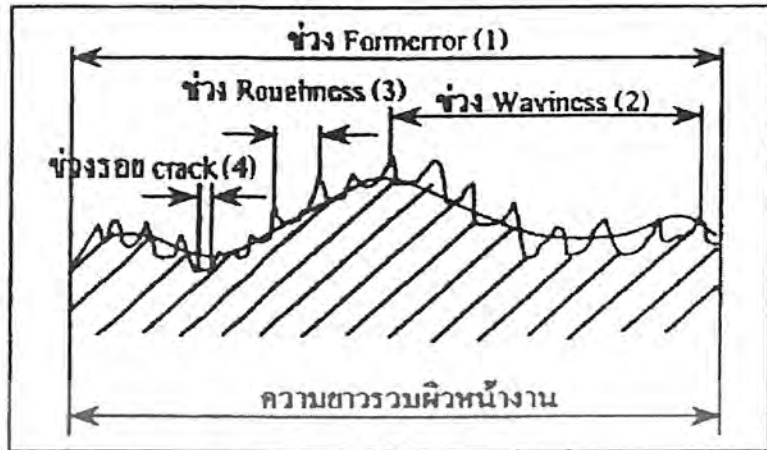
การเบี่ยงเบนของผิวชิ้นงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ คือ บกพร่องทางด้านความราบ การเบี่ยงเบนผิวชิ้นงานที่เกิดจากลอนคลื่น การเบี่ยงเบนผิวชิ้นงานจากร่องโค้ง การเบี่ยงเบนผิวชิ้นงานจากแอ่งหรือรอยแตกเป็นจุดหยาบ ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งบอกถึงสาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของผิวชิ้นงาน

ตารางที่ 2.1 ภาพการเบี่ยงเบนผิวของชิ้นงาน

รูปแสดงการเบี่ยงเบนผิวของชิ้นงาน	ตัวอย่างการเบี่ยงเบนผิวของชิ้นงาน	สาเหตุที่ทำให้เบี่ยงเบน
	Form Error	<ul style="list-style-type: none"> - ผิดพลาดจากระบบนำเคลื่อน - เครื่องมือ - การโค้งงอของเครื่องมือหรือชิ้นงาน
	Waviness	<ul style="list-style-type: none"> - การจับยึดที่เอียงศูนย์กลางของชิ้นงาน - การเบี่ยงเบนจากรูปทรงหรือการหมุนของคมตัด
	Roughness	<ul style="list-style-type: none"> - รูปร่างคมตัด - การตั้งอัตราป้อนหรือตั้งค่ากินลึกของคมตัด
		<ul style="list-style-type: none"> - การไหลหรือการขาดของเศษงาน - การเตรียมผิวด้วยกรรมวิธียิงทราย

ที่มา : (Christof, B et.al., 1990) (Appold et.al., 1987)

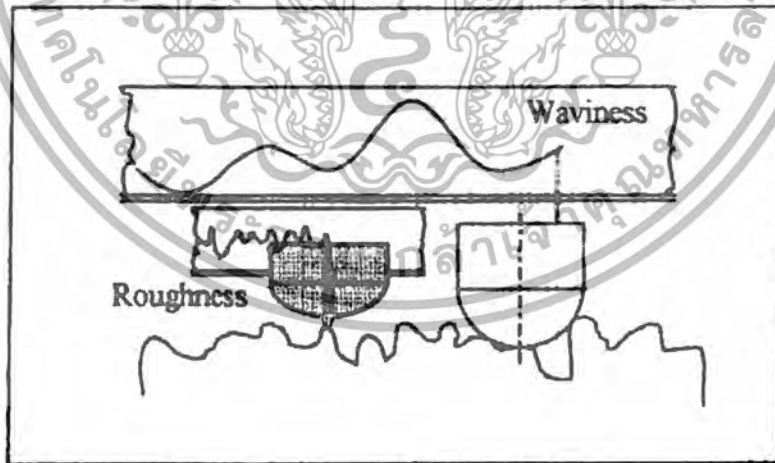
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ช่วงของการเบี่ยงเบนผิวชั้นงาน

ข้อบกพร่องของผิวหน้าชั้นงานที่มีขนาดเป็นตัวกำหนดให้มีรูปแบบความเบี่ยงเบนผิวชั้นงานแบบต่าง ๆ ดังที่แสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งจะแสดงให้เห็นลักษณะของช่วงความเบี่ยงเบนผิวชั้นงานแบบต่าง ๆ

จากตารางที่ 2.1 ลักษณะการเบี่ยงเบนผิวชั้นงานรูปแบบที่ 1 และแบบที่ 2 เป็นไปในลักษณะมหภาค (Macro) ส่วนการเบี่ยงเบนผิวชั้นงานรูปแบบที่ 3 และแบบที่ 4 เป็นไปในลักษณะจุลภาค (Micro) ซึ่งมีร่องหรือช่องความหยวบแคบมาก ดังนั้นการตรวจสอบเพื่อหาค่าที่ต้องการต้องใช้อุปกรณ์เครื่องวัดความหยวบผิว ซึ่งมีหลักการและส่วนประกอบเบื้องต้นดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งเป็นลักษณะของหัวลากกับหัวสัมผัสของเครื่องวัดความหยวบที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้

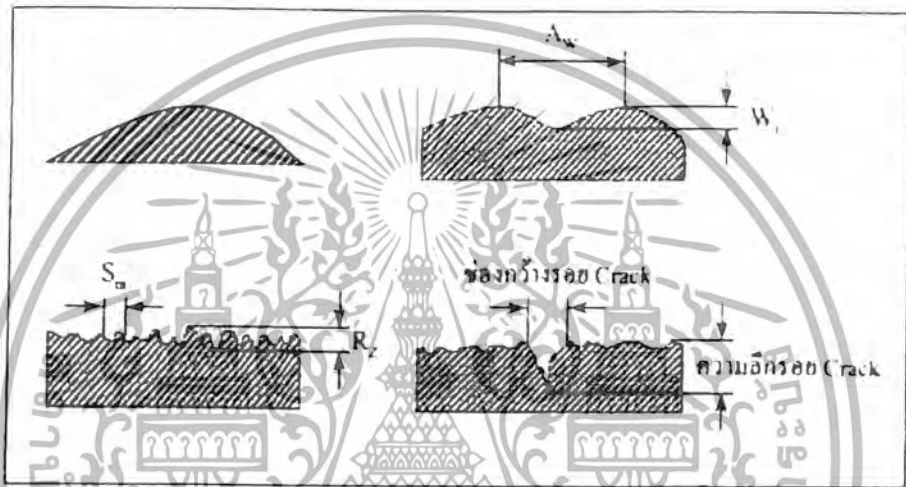


รูปที่ 2.2 ลักษณะความแตกต่างระหว่างหัวลาก (รูปด้านขวา) กับหัวสัมผัส (รูปด้านซ้าย)

ข้อบกพร่องผิวหน้าชั้นงาน เกิดมาจากกรรมวิธีการผลิตชั้นงาน ผิวหน้ามักจะมีการเบี่ยงเบนตลอดเวลาที่ทำการผลิตชั้นงาน จากความคิดที่เกี่ยวกับรูปทรงต่าง ๆ ทางเรขาคณิต ซึ่งข้อเท็จจริงทั้งหลายความเบี่ยงเบนจากรูปแบบ ไม่เป็นความจริงของผิวชั้นงานด้วยเหตุนี้ผิวชั้นงานเป็นเรื่องสำคัญ ดังนั้นหน้าที่ของชิ้นส่วนจักรกลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พฤติกรรมการกัดกร่อน ความสามารถในการแข่งขัน ความสามารถทำให้เกิดการสิ้นเปลืองการเสียดสีมักอยู่ที่การควบคุมคุณภาพผิวหน้า ซึ่งตามมาตรฐาน DIN 4760 มีการแบ่งรูปแบบการเบี่ยงเบนออกเป็น 6 แบบ สำหรับแบบที่ 5 และแบบที่ 6 เป็นองค์ประกอบที่หลุดออกอยู่ในโครงสร้างแบบที่ 1 ถึงแบบที่ 4 และเกิดเป็นโครงสร้างแบบค้ำย และไม่มีตัวอย่างอธิบายที่แน่ชัด (Christof, B et.al., 1990) ขนาดเป็นตัวกำหนดให้มีรูปแบบของการเบี่ยงเบน ซึ่งมีทั้งหมด 4 รูปแบบ อาจจะไม่เกี่ยวข้องกันกับหน้าที่ของผิวหน้า ณ เวลา ผิวหน้าที่ด้านไม่ควรจะมีหลายส่วนของรูปแบบเบี่ยงเบน ผิวหน้าต้องการความหยาบค่าผิวหน้าที่เปลี่ยนแปลงควรจะมีรูปคลื่นที่ชัดเจน

จากข้อมูลทำให้สามารถจำแนกลักษณะการเบี่ยงเบนผิวงานทั้ง 4 รูปแบบตามอัตราส่วนระหว่างความยาว (L) ต่อร่องลึก (t) ซึ่งมีหน่วยเป็น ไมโครเมตร (μm) แสดงดังรูปที่ 2.3 และตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.3 จำแนกลักษณะการเบี่ยงเบนผิวงาน

ตารางที่ 2.2 อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อร่องลึกความหยาบผิว (Christof, B et.al., 1990)

ลักษณะการเบี่ยงเบน	Form Error	Waviness	Roughness	Crack
อัตราส่วน L/t (μm)	>1000	100 - 1000	5 - 100	<5

2.2.2 คำจำกัดความของศัพท์เทคนิค

1. ความหยาบผิว (Surface Roughness)

ความหยาบผิว คือ ปริมาณของลักษณะบนพื้นผิวชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีการแปรรูปด้วยเครื่องจักร และกำหนดเป็นสเกลด้วยค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ (Arithmetical Mean Deviation) ของพื้นที่หน้าตัด (R_a) ความสูงของส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลง 10 จุด (R_z) และค่าสูงที่สุดของส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลง (R_t)

2. ความยาวอ้างอิง (Reference Length)

ความยาวอ้างอิง (l_e) กำหนดให้เป็นความยาวซึ่งจำเป็นต่อการหาค่าสูงที่สุด ระยะระหว่างจุดสูงสุด และปริมาณค่าสูงที่สุดของส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลง (R_t) หรือความสูงที่สุดของส่วนที่เปลี่ยนแปลง 10 จุด (R_z) จากพื้นที่หน้าตัดตัดแปลง ค่าความยาวของความยาวอ้างอิง ไม่มีผลต่อความเรียบของผิวชิ้นงานปกติ

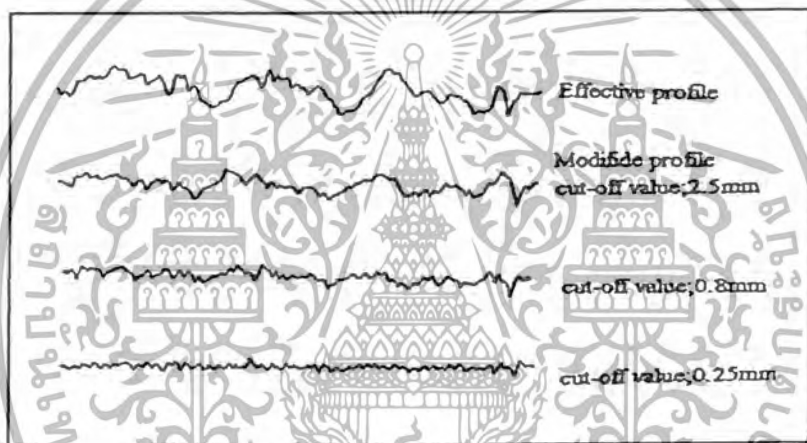
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เส้นค่าเฉลี่ย (Mean Line)

เส้นค่าเฉลี่ยถูกกำหนดให้เป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้งซึ่งเป็นผลรวมทั้งหมดของค่ายกกำลัง 2 ของความสูงจากเส้นค่าเฉลี่ยถึงส่วนโค้งจากการวัด โดยแสดงเป็นค่าต่ำสุด เส้นเฉลี่ยถูกใช้เป็นเส้นอ้างอิง เพื่อหาค่าตัวแปรของความหยาบของผิวชิ้นงาน

4. รูปร่างตัดที่เป็นผลและรูปร่างตัดดัดแปลง (Effective Profile and Modified Profile)

ลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานที่ผ่านการแปรรูปด้วยเครื่องอีดีเอ็มจะมีลักษณะนูนขึ้นเป็นแอ่งด้วยความสูง ช่วงห่าง และความเอียงแตกต่างกันมากมาย เมื่อความเรียบของผิวเหล่านี้ถูกวัดด้วยส่วนสัมผัสทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ Stylus แล้วขจัดคลื่นความถี่ออกไปด้วย รูปร่างตัดดัดแปลงจะเกิดเส้นโค้งที่ลากด้วยปลายหัว Stylus (รูปร่างตัดที่เป็นผล) ซึ่งมีความหยาบซึ่งมีความแตกต่างจากเส้นโค้งที่ลากโดยผ่าน Low Band Cut-off Filter หรือที่เรียกว่า “รูปร่างตัดดัดแปลง” ค่าของความถี่ที่ได้ค่าไว้คือออกด้วย Filter เรียกว่า “ค่าตัดออก” และรูปร่างของเส้นโค้ง มีความแตกต่างกันดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 รูปร่างตัดที่เป็นผลและรูปร่างตัดดัดแปลงของความหยาบ (มนตรี มิ่งกะลวีสติ และคณะ, 2538)

2.2.3 วิธีแสดงค่าความหยาบผิว

การศึกษาเกี่ยวกับความหยาบของผิวชิ้นงาน มีความก้าวหน้าอย่างรวดเร็วโดยได้มีการค้นพบวิธีการบันทึกและการขยายรูปร่างผิวชิ้นงานปกติโดย Schmalz ในปี ค.ศ.1929 เป็นการเริ่มนำวิธีการเชิงปริมาณ (Quantitative Method) มาใช้แสดงความหยาบผิว เป็นการเก็บค่าและการหาค่าเฉลี่ยของความแรงสัญญาณ (Amplitude) จากรูปร่างตัด และเมื่อศึกษาวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับใช้คลื่นเสียง จึงได้นำมาประยุกต์เพื่อการวิเคราะห์ค่าความหยาบของผิวชิ้นงาน

1. ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ของพื้นที่ของพื้นที่หน้าตัด (R_a)

แกน X ใช้กำหนดทิศทางเส้นค่าเฉลี่ยของเส้นโค้งจากการวัดและมีความยาวประเมิน ($l_m = 5 * l_e$) โดยการกำหนดตามแกน X ในรูปที่ 2.5 และแกน Z มีทิศทางในแนวตั้งฉากกับแกน X และรูปพื้นที่หน้าตัดดัดแปลงจะถูกอธิบายเช่น $Z = f(x)$ ค่า R_a จะหาได้จากสมการที่ 2.1

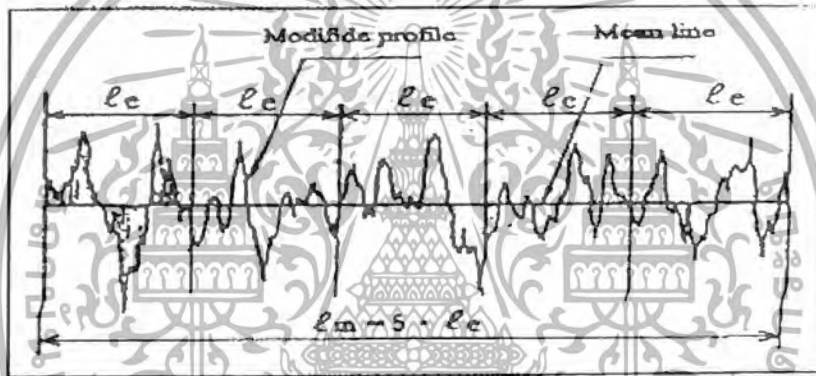
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Ra = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} |f(x)| dx \quad (2.1)$$

ค่า Ra ที่เป็นค่าประมาณหาได้จากค่าเฉลี่ยความสูงจากเส้นค่าเฉลี่ยถึงเส้นโค้งของรูปหน้าตัดตัดแปลง ดังสมการ 2.2

$$Ra = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n |f(x)| \quad (2.2)$$

โดยทั่วไปความยาวประเมิน (l_m) มีค่าเป็น 5 เท่าของความยาวอ้างอิง (l_e) ค่าตัดออก (Cut off Value) ถูกเลือกจากจำนวนต่อไปนี้ 0.08, 0.25, 0.8, 2.5, 8 และ 22 มิลลิเมตร เป็นค่ามาตรฐานที่ใช้บ่อย ๆ แสดงดังรูปที่ 2.5 และ n คือจำนวนช่วงของ l_e

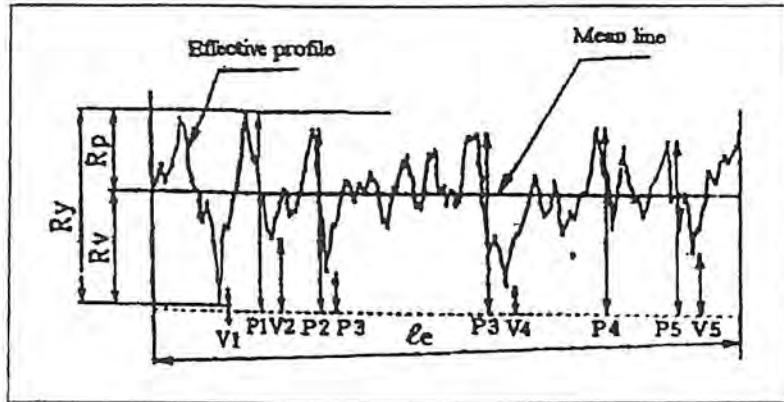


รูปที่ 2.5 ค่าพารามิเตอร์ Ra ของค่าความหยาบ (มนตรี มังคละสวัสดิ์ และคณะ, 2538)

2. ค่าสูงที่สุดของส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลง (R_t)

การตัดออกเส้นโค้งจากการวัดช่วงห่างของความยาวอ้างอิงแล้วลากเส้น 2 เส้นขนานกับเส้นค่าเฉลี่ยของรูปหน้าตัดตัดแปลงให้เส้นหนึ่งสัมผัสกับส่วนที่สูงสุดยอดแหลม (Peak) และอีกเส้นสัมผัสกับส่วนที่ลึกที่สุดของแอ่ง (Valley) ค่า R_t ได้จากระยะความยาวช่วงห่างระหว่างเส้นขนานทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ค่า Rt และค่า Rz ของค่าความหยาบผิว (มนตรี มังละสวัสดิ์ และคณะ, 2538)

3. ความสูงของส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลง 10 จุด (Rz)

ส่วนของเส้นโค้งจากการวัดตัดออกด้วยความยาวอ้างอิง ให้เลือกจุดสูงสุดของปลายแหลม 5 จุด และจุดที่ลึกที่สุดของรอยแตก 5 จุด ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ค่า Rz หาได้จากสมการที่ 2.3

$$Rz = \frac{1}{5} \left((P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5) - (V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5) \right) \quad (2.3)$$

เมื่อ P_1 เป็นค่าสูงที่สุดของปลายแหลม P_2 เป็นค่าสูงที่สุดอันดับที่สองของรอยแตก และเรียงลำดับต่อไป สำหรับ Rz คือ จุดสูงสุดและจุดต่ำสุดจำนวน 10 จุด ในความสูงของส่วนที่เปลี่ยนแปลง แสดงในรูปที่ 2.6 ลักษณะที่เสมือนภูเขาและหุบเขา ในเส้นโค้งที่ได้จากการวัด จะมียอดแหลมและก้นแต่ละส่วน 1 จุดเท่านั้น

ซึ่งระยะ R_p คือระยะจากเส้นค่าเฉลี่ยถึงจุดที่สูงที่สุดของปลายยอดแหลม และ R_v คือระยะจากเส้นค่าเฉลี่ยถึงก้นของส่วนที่ลึกที่สุดของรอยแตกดังรูปที่ 2.6 เป็นที่ทราบกันว่า R_p และ R_v มีความสำคัญต่อการสึกหรอของชิ้นส่วนของเครื่องจักร

2.2.4 วิธีการวัดค่าความหยาบผิว

เมื่อวิธีการขยายและการบันทึกค่าของผิวชิ้นงานที่มีรูปร่างเปลี่ยนแปลงถูกค้นพบ วิธีการวัดความหยาบผิวมีการพัฒนาขึ้นตามไปด้วยและแบ่งประเภทได้ดังนี้

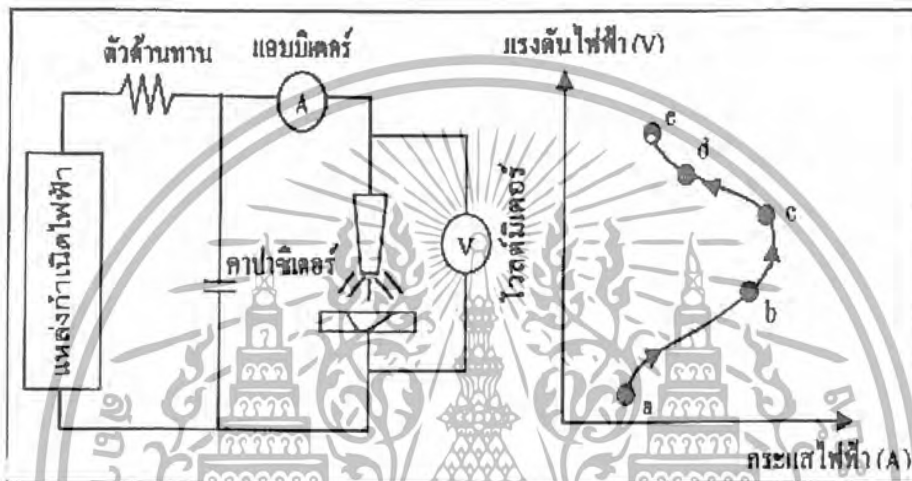
1. วิธีเปรียบเทียบ (Comparison Method)
2. วิธีการวัดภาคตัด (Measuring Method of Cross - Section)
3. วิธีการวัดขนาด 3 มิติ (Three - Dimensional Method)

ซึ่งการทดลองในงานวิจัยนี้จะนำวิธีการวัดภาคตัดมาใช้วัดค่าความหยาบผิวที่เกิดจากกรรมวิธีการผลิตแบบอีดีเอ็ม เนื่องจากชิ้นงานที่ทำการแปรรูปจากกรรมวิธีอีดีเอ็มหรือวิธีอื่น ๆ เมื่อนำชิ้นงานมาตัดบริเวณที่ทำแปรรูปและนำมาส่องด้วยแว่นขยายจะมีลักษณะเหมือนลอนคลื่น วิธีนี้จึงเหมาะที่จะใช้หาค่าความหยาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ปฏิกิริยาการสปาร์ก

ปฏิกิริยาการสปาร์กเป็นชื่อเรียกโดยรวมของปฏิกิริยาการต่าง ๆ ซึ่งเกิดขึ้นในกรณีที่ใส่แรงเคลื่อนไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าที่มีฉนวนไฟฟ้า ประเภทของแข็ง ของเหลว หรือแก๊สกึ่งกลางอยู่จนทำให้ฉนวนไฟฟ้าเหล่านี้เกิดการสูญเสียความเป็นฉนวน (Dielectric Breakdown) และเกิดมีกระแสไฟฟ้าไหลขึ้นอย่างรุนแรง การทำให้เกิดการสปาร์กโดยมนุษย์สร้างขึ้น และนำมาประยุกต์ ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์หรือหลอดนีออน ซึ่งนับว่าเป็นปฏิกิริยาการสปาร์กในสูญญากาศ และนำหลักการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในทางอุตสาหกรรม ได้แก่ การขึ้นรูปด้วยวิธีการสปาร์กในเครื่องอีดีเอ็ม การเชื่อมแบบอาร์ก เป็นต้น



รูปที่ 2.7 คุณสมบัติพิเศษแรงดันไฟฟ้า-กระแสไฟฟ้าของการสปาร์ก (Inoue, K, 1977)

จากรูปที่ 2.7 เป็นการสร้างวงจรแบบง่าย ๆ และทำให้เกิดการสปาร์กขึ้นในอากาศโดยเริ่มรับแรงดันไฟฟ้ามาจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าและทำให้เกิดการสปาร์กแบบต่าง ๆ ตามลำดับดังนี้

2.3.1 สภาพที่กระแสเริ่มไหล

จากรูปที่ 2.7 หากเพิ่มแรงดันไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า (E) คืบในวงจรให้สูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดหนึ่ง อากาศเริ่มแตกตัวเป็นประจุไฟฟ้าเล็กน้อย และอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุเป็นลบ จะถูกดึงดูดจากฝั่งขั้วลบไปสู่ขั้วบวก ในช่วงนี้จะเริ่มมีกระแสไฟฟ้าไหลขนาดเล็กมาก เราเรียกว่า “สภาพที่กระแสเริ่มไหล” (สภาพ a → b) แสดงดังรูปที่ 2.7

2.3.2 การสปาร์กแบบโคโรนา

หากเพิ่มแรงดันไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าให้สูงขึ้นไปอีก ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าบางส่วนที่เกิดสนามไฟฟ้าแรงพิเศษ จะเกิดการสูญเสียความเป็นฉนวน เรียกสภาพนี้ว่า “การสปาร์กแบบโคโรนา” (สภาพ c) แสดงดังรูปที่ 2.7 ซึ่งเป็นสภาพการสปาร์กที่ขาดเสถียรภาพอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การสปาร์กแบบโกลว

บริเวณส่วนที่เกิดการสูญเสียความเป็นฉนวน อิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบจะไหลในจุดนี้เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้กระแสไฟฟ้ามีขนาดใหญ่ขึ้นอย่างรวดเร็ว สภาพการสปาร์กที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงระยะเวลาที่สั้นมาก เราเรียกว่า “การสปาร์กแบบโกลว”

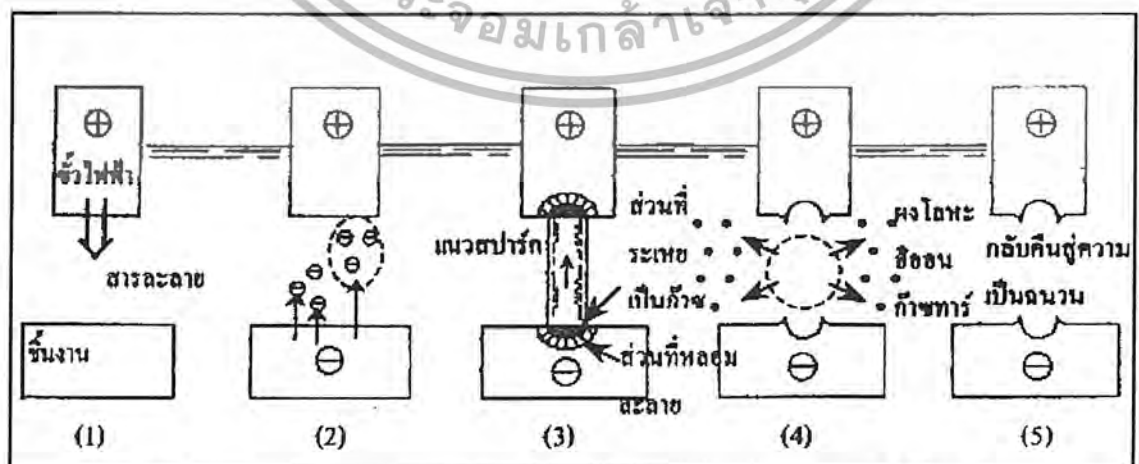
2.3.4 การสปาร์กแบบอาร์ก

หลังจากที่ประจุไฟฟ้าที่สะสมอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้าถูกปลดปล่อยออกมา และการสปาร์กแบบโกลวได้มีขนาดถึงกระแสไฟฟ้าค่าสูงสุด การสปาร์กจะเข้าสู่สภาพขั้นตอนสุดท้าย ($d \rightarrow e$) แสดงดังรูปที่ 2.7 ซึ่งหมายถึงการสปาร์กแบบอาร์ก สภาพการสปาร์กลักษณะนี้ จะเกิดขึ้นในลักษณะที่ควบคุมไม่ได้ ซึ่งเป็นสภาพที่ไม่เหมาะสมกับการขึ้นรูปด้วยวิธีการสปาร์ก ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่ต้องมีการควบคุมพลังงาน ก่อนที่จะเข้าสู่สภาพการสปาร์กแบบอาร์ก การสปาร์กที่เป็นประกายไฟ โดยทั่วไปนั้นเป็นการสปาร์กซึ่งเกิดขึ้นในระยะเวลาสั้นมาก จะมีช่วงเวลาราว $10^{-7} - 10^{-5}$ วินาที ความหนาแน่นของกระแส (Current Density) จะมีค่าถึง $10^{14} - 10^{19}$ A/cm² ดังนั้นการสปาร์กที่เป็นประกายไฟ จะปลดปล่อยพลังงานระดับสูงออกมามากมายในช่วงระยะเวลาอันสั้น

2.4 หลักการของกรรมวิธีขึ้นรูปด้วยเครื่องอิตีเอ็ม

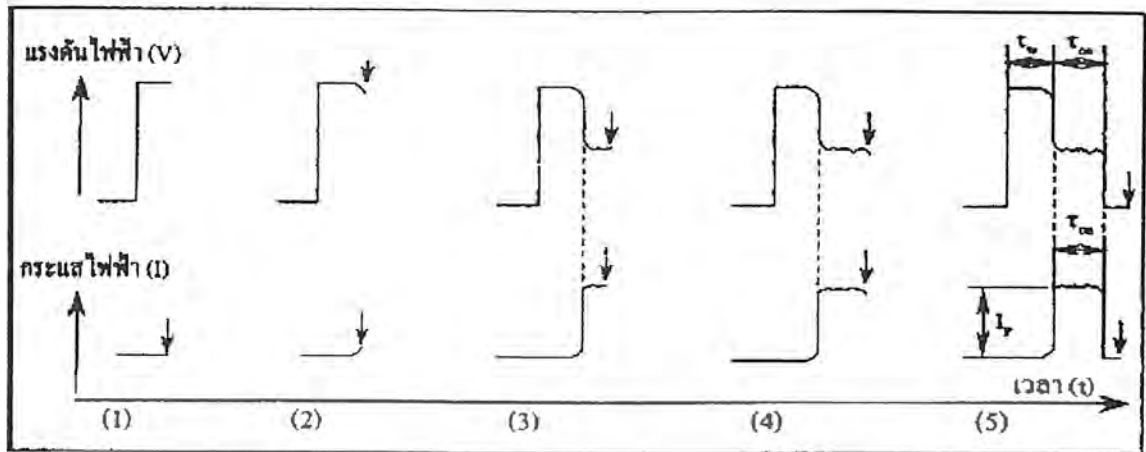
กรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยเครื่องอิตีเอ็ม ในทางปฏิบัติจะทำขึ้นภายในสารละลาย โดยใช้ทองแดง ทองเหลือง กราไฟต์ เป็นขั้วไฟฟ้าและวัสดุที่นำมาขึ้นรูปได้จะไม่เกี่ยวกับความแข็งเพียงแต่ต้องเป็นวัสดุที่ไฟฟ้าไหลผ่านได้ การขึ้นรูปจะไม่ปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลอย่างคั่งเนื่องเหมือนกับการเชื่อมแต่ต้องใช้วิธีการเปิดปิด กระแสไฟฟ้าเป็นช่วงจังหวะ เพื่อป้องกันมิให้ความร้อนจากการสปาร์กหลอมละลายวัสดุมากเกินไปจนเสียรูปทรง เครื่องอิตีเอ็มอาศัยการใช้พลังงานระดับสูงซึ่งปลดปล่อยออกมาในช่วงเวลาที่สั้นมาก ดังนั้นปัญหาที่สำคัญมาก คือทำอะไรจึงจะทำให้เกิดการสปาร์กที่เป็นประกายไฟอย่างมีเสถียรภาพและมีประสิทธิภาพสูง

ในการใช้งาน จะใช้ระบบ NC (Numerical Control) ควบคุมให้เกิดการสปาร์กหลายแสนครั้งใน 1 วินาที สภาพของพัลส์ (Pulse) แต่ละลูกของการสปาร์กจะเป็นดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 สภาพของลำดับการสปาร์กในแต่ละครั้ง (Inoue, K, 1977)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 รูปร่างคลื่นของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอีดีเอ็ม (Inoue, K, 1977)

จากรูปที่ 2.9 เป็นรูปร่างของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องอีดีเอ็ม ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่การป้อนแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไปที่อิเล็กโทรด จนเสร็จการสปาร์ก ในแต่ละครั้งจะมีลำดับการทำงานของเครื่องอีดีเอ็มดังนี้

2.4.1 การใส่แรงดันไฟฟ้า

เริ่มคั่นป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ระหว่างชิ้นงานกับขั้วไฟฟ้า (เรียกว่า ระหว่างขั้ว) โดยปกติจะใช้น้ำมันเพื่อที่จะรักษาให้ความต้านทานจนนวนระหว่างขั้วมีค่าสูง เพราะถ้าหากความต้านทานของจนนวนระหว่างขั้วสูง จะสามารถลดระยะระหว่างขั้ว (ช่องว่างการสปาร์ก) ให้แคบลงได้ ซึ่งจะมีผลคือต่อการขึ้นรูปที่มีความละเอียดสูง

2.4.2 การสูญเสียความเป็นฉนวน

เมื่ออิเล็กโทรดขยับระยะระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงานให้ใกล้เข้ามหรือย ๑ จนถึงระยะที่ต้องการ (μm) สารละลายจะเกิดการสูญเสียความเป็นฉนวน อีออนประจุลบจะถูกดึงไปสู่อิเล็กโทรดที่เป็นขั้วทำให้สูญเสียความเป็นฉนวนชั่วเวลาหนึ่ง

2.4.3 การสปาร์กและหลอมละลาย

หลังจากเกิดการสูญเสียความเป็นฉนวนขึ้น อิเล็กตรอนเป็นประจุลบจะเริ่มไหลเป็นจำนวนมากอย่างรวดเร็ว ซึ่งก็คือ การสปาร์ก บริเวณส่วนที่เกิดการสปาร์กจะมีกระแสไฟฟ้าที่มีความหนาแน่นสูงมากไหลในช่วงเวลาสั้นๆ สำหรับงานจริงนั้น กระแสไฟฟ้าจะมีขนาดตั้งแต่ 0.1 แอมแปร์ จนถึงหลายร้อยแอมแปร์ พลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมาช่วงนี้ จะทำให้บริเวณที่เกิดการสปาร์กมีอุณหภูมิสูงขึ้นมา (3,000°C ขึ้นไป) ชิ้นงานบางส่วนถูกหลอมละลาย สารละลายบริเวณที่เกิดการสปาร์กจะกลายเป็นก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 การเย็นตัว

ความดันที่เกิดขึ้นจากการสปาร์กจะทำให้ส่วนที่หลอมละลายของชิ้นงานหลุดกระเด็นไปจากบริเวณที่ถูกขึ้นรูป เมื่อส่วนที่หลอมละลายของชิ้นงานถูกสารละลายรอบข้างดูดซับความร้อนไปจะเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว กลายเป็นเศษผงชิ้นขนาดเล็ก

2.4.5 การกลับคืนสู่ความเป็นฉนวน

หลังจากที่การสปาร์กหนึ่งครั้งจบลง จะรองจนกว่าสารละลายกลับคืนสู่ความเป็นฉนวน โดยไม่มีการใส่แรงดันไฟฟ้าเข้าไป การรอช่วงนี้จะช่วยป้องกัน การเกิดการสปาร์กแบบผิดปกติ เช่น สปาร์กซ้ำหรือสปาร์กเฉพาะเป็นบางจุด อันเนื่องมาจากการสะสมหรือทับถมจับตัวกันของไอออนที่ตกค้างอยู่ระหว่างขั้วหรือเศษผงที่เกิดการสปาร์ก ภายหลังจากที่กลับคืนสู่ความเป็นฉนวนจะเริ่มทำการสปาร์กเช่นเดิมอีก

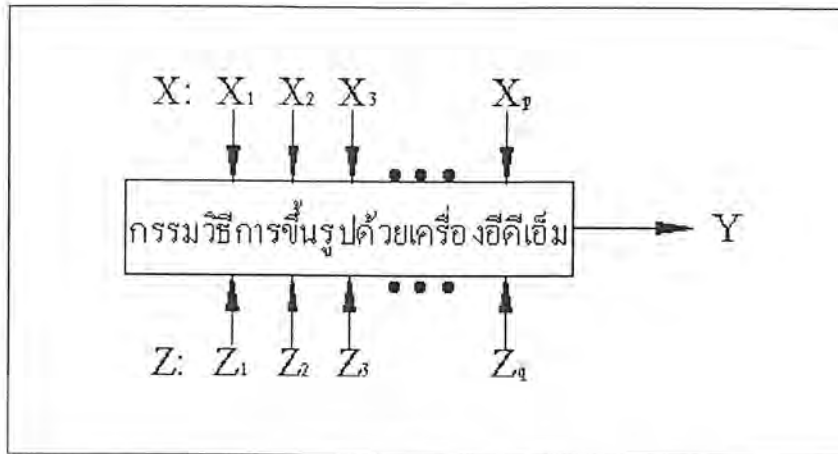
2.5 ประโยชน์ของกรรมวิธีขึ้นรูปด้วยเครื่องอิตีเอ็ม

1. ความสามารถในการแปรรูปโลหะแข็งหรือโลหะผสม ซึ่งไม่สามารถทำได้โดยวิธีการแปรรูปแบบธรรมดา กรรมวิธีขึ้นรูปด้วยเครื่องอิตีเอ็ม จึงมีบทบาทสำคัญ ในการทำแม่พิมพ์และเครื่องมือที่ทำจากวัสดุโลหะแข็ง ทั้งสเตนคาร์ไบด์ สเทลโลท
2. ความสามารถในการผลิตรูปร่างใด ๆ ได้เนื่องจากการกัดเนื้อโลหะอาศัยการดีสชาร์จ จึง ไม่ต้องการความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงานนอกจากอิเล็กโทรดเคลื่อนที่ลงมาในชิ้นงานเท่านั้น ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่แปรรูปโลหะรูปร่างใด ๆ โดยใช้เพียงอิเล็กโทรดแบบเดียว
3. พื้นผิวงานจากแปรรูปด้วยกรรมวิธีอิตีเอ็มมีลักษณะเป็นคราเตอร์ (Crater) จำนวนมากช่วยให้เก็บรักษาน้ำมันหล่อลื่นได้ดีจึงช่วยลดปัญหาเกี่ยวกับการหล่อลื่นได้
4. ในระหว่างการแปรรูปชิ้นงานจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เนื่องจากไม่มีแรงจากการสัมผัสอิเล็กโทรดหรือไม่ มี แรงทางกลทำให้สามารถแปรรูปชิ้นงานที่มีลักษณะบางได้
5. การแปรรูปด้วยกรรมวิธีขึ้นรูปด้วยเครื่องอิตีเอ็ม จะมีผลกระทบทางความร้อน แต่เป็นผลกระทบที่จะเกิดขึ้นเฉพาะที่จึงไม่ส่งผลกระทบต่อวัสดุเป็นส่วนใหญ่

2.6 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อความหยาบผิว

เนื่องจากโครงการนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองจึงนำหลักการทางสถิติเข้ามาจัดรูปแบบการทดลอง สถิติเป็นศาสตร์ที่ใช้ตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอน ดังนั้นตัวแปรของประชากร ในทางสถิติจึงมีความจำเป็นต้องมีการกำหนดพารามิเตอร์ให้อยู่ในรูปที่สามารถระบุได้ดังแสดงในรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 รูปแบบการทดลองสำหรับการหาค่าความหยาบผิว

เมื่อ: X คือ พารามิเตอร์ที่ควบคุมได้และทำการปรับระดับ เพื่อศึกษาผลกระทบในการแปรรูปด้วยกรรมวิธีขึ้นรูปด้วยเครื่องอีดีเอ็ม โดย

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_p$ คือ พารามิเตอร์ที่สามารถควบคุมได้ตัวที่ 1, 2, 3, ... ถึง p ตามลำดับ

Z คือ พารามิเตอร์ที่ไม่สามารถควบคุมได้ระหว่างการทดลอง ซึ่งมีผลกระทบในการแปรรูปด้วยกรรมวิธีขึ้นรูปด้วยเครื่องอีดีเอ็ม โดย

$Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_q$ คือ พารามิเตอร์ที่ไม่สามารถควบคุมได้ตัวที่ 1, 2, 3, ... ถึง q ตามลำดับ

Y คือ ผลลัพธ์หรือตัวแปรตอบสนอง ได้แก่

ความหยาบของผิว: ใช้วิธีวัดความหยาบของผิวเฉลี่ย 10 จุด ($Ra: \mu m$)

2.7 สารไดอิเล็กตริก

การขึ้นรูปด้วยเครื่องอีดีเอ็มนั้น จำเป็นต้องใช้สาร ไดอิเล็กตริกระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงาน ซึ่งเรื่องนี้ได้อธิบายก่อนหน้านี้อแล้ว ว่าปรากฏการณ์การเกิดดิสชาร์จจะเกิดขึ้นได้แม้แต่ในอากาศหรือสุญญากาศ แต่ถ้าค่าความต้านทานของสาร ไดอิเล็กตริกระหว่างขั้วที่มีค่าสูง ก็สามารถที่จะทำให้เกิดการดิสชาร์จด้วยแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นได้ รวมทั้งสามารถบ่งระยะเวลาระหว่างขั้วให้แคบลงได้อีกด้วย ถ้าต้องการให้เกิดการดิสชาร์จได้ผลดีสำหรับการแปรรูปนั้น จะต้องสร้างระยะห่างระหว่างขั้วในช่วงการเกิดดิสชาร์จให้แคบ ๆ ประมาณ 0.1 – 0.01 มิลลิเมตร ซึ่งการทำลักษณะนี้ จึงจำเป็นที่จะต้องใช้อิเล็กตริกระหว่างขั้วที่มีความต้านทานสูงมาก โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานของน้ำจะสูงกว่าอากาศ แต่น้ำมันจะมีค่าความต้านทานสูงกว่าน้ำ ดังนั้นจึงจะพิจารณาถึงค่าความต้านทานของสาร ไดอิเล็กตริกเป็นอันดับแรก

หน้าที่หลักของสาร ไดอิเล็กตริกที่ใช้ในเครื่องอีดีเอ็ม

1. เป็นฉนวนไฟฟ้าเพื่อลดความรุนแรงของการเกิดดิสชาร์จ
2. เป็นตัวระบายความร้อนและสิ่งสกปรกที่หลุดออกมาเมื่อเกิดดิสชาร์จ
3. ทำให้เกิดความดันสูงเพื่อผลักดันให้ผงโลหะกระเด็นหลุดออกไปจากชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนคุณสมบัติอีกข้อที่ใช้ในการพิจารณาเลือกสาร ไดอิเล็กทริก คือ คุณสมบัติด้านการไหลตัว น้ำมัน จึงถูกใช้ในเครื่องอีดีเอ็มสมัยแรก ๆ เพราะว่ามันจะมีคุณสมบัติที่มีค่าความต้านทานค่อนข้างสูงและมีอัตราการไหลตัวค่อนข้างดี ดังนั้นการใช้งานของสารไดอิเล็กทริกประเภทน้ำมันและสารไดอิเล็กทริกประเภทน้ำจึงแตกต่างกัน ดังรายละเอียดข้างล่างนี้

สารไดอิเล็กทริกประเภทน้ำมัน มีค่าความต้านทานสูงจึงสามารถที่จะช่นระยะระหว่างขั้วไฟฟ้าให้แคบลงมาก ๆ ได้ แต่กระแสไฟฟ้าที่ไหลจะมีขนาดไม่ใหญ่ ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วความเร็วในการแปรรูปจึงต่ำ แต่ในทางกลับกันผิวของชิ้นงานที่เกิดจากการแปรรูปจะละเอียดกว่า

สารไดอิเล็กทริกประเภทน้ำ ถ้าในสภาวะปกติจะมีปริมาณไอออนผสมอยู่มากจึงมีค่าความต้านทานต่ำ เวลาที่จะนำไปใช้งานจำเป็นต้องผ่านกระบวนการทำให้ความต้านทานสูงขึ้นด้วยวิธีต่างๆ เช่น วิธีการสลับเปลี่ยนไอออน (On exchange) การแปรรูปโดยปกติส่วนมากจะตั้งค่ากำหนดความต้านทานให้อยู่ในช่วง 50,000 – 100,000 Ω/cm เพราะว่ามันมีค่าความต้านทานต่ำกว่าน้ำมันจึงสามารถทำให้กระแสไฟฟ้าในการแปรรูปโดยเฉลี่ยมีขนาดใหญ่ขึ้น

ดังนั้นความเร็วในการแปรรูปจึงสูงกว่า แต่ความละเอียดในการแปรรูปจะหยาบกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สาร ไดอิเล็กทริกประเภทน้ำมัน ทั่วไปเครื่องอีดีเอ็มชนิดขดเจาะส่วนมากจะใช้สาร ไดอิเล็กทริกประเภทน้ำมัน แต่สำหรับเครื่องอีดีเอ็มชนิดตัดด้วยขดสวด ส่วนมากใช้น้ำเป็นสาร ไดอิเล็กทริก

2.8 ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments)

สำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีปัจจัยที่จะศึกษามากกว่า 1 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมีอยู่หลายระดับ (ทรีทเมนต์) ที่จะต้องดำเนินการทดลองกันควบคู่กัน ๆ กันไป ทำให้ต้องจัดการทดลองแบบแฟคทอเรียล กล่าวคือเป็นการจัดทรีทเมนต์ตั้งแต่ 2 ปัจจัยหรือมากกว่าที่ระดับต่างๆ ให้แก่หน่วยทดลองพร้อมกัน เรียกผลการจัดทรีทเมนต์เหล่านี้ว่า Treatment Combination เช่น การทดลองที่มี 2 ปัจจัย โดยที่แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ เรียกว่า การทดลองแบบแฟคทอเรียลขนาด 2×2 หรือ 2^2 ดังนั้น Combinations ทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองก็จะมีอยู่ทั้งหมด 4 Combinations

นิยมเขียนสัญลักษณ์ของปัจจัยด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ เช่น A, B, C เป็นต้น ส่วนระดับของปัจจัยจะใช้ตัวอักษรเขียนเล็ก พร้อมทั้งมีหมายเลขแสดงถึงระดับต่าง ๆ จากนั้นย่อไปหามาก หรือจากค่าไปสูง เช่น a_1, a_2, b_1, b_2 เป็นต้น แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 วิธีการเขียน Treatment Combination ในการทดลองแบบแฟคทอเรียล ขนาด 2×2

		A					
		รูปเต็ม		รูปย่อ			
B	ระดับ	a_1	a_2	a_1	a_2	a_1	a_2
	b_1	a_1b_1	a_2b_1	(1)	a	00	10
	b_2	a_1b_2	a_2b_2	b	ab	01	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 แนวคิดและหลักการการวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นการหาค่าความแปรปรวนโดยรวม แล้วแยกออกเป็นความแปรปรวนเนื่องจากทรีทเมนต์และความแปรปรวนเนื่องจากสาเหตุที่ไม่ได้รับการควบคุมซึ่งหมายถึงรีพีทะบิลิตี (Repeatability) แล้วพิจารณาความแปรปรวนเนื่องจากทรีทเมนต์ว่ามีปริมาณมากหรือไม่เมื่อเทียบกับผลจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ในระหว่างเงื่อนไขการทดลองหรือรีโพรดิวซิบิลิตี (Reproducibility)

2.8.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

มีการตัดสินใจในงานวิศวกรรมจำนวนมากที่ต้องการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับ ค่าเฉลี่ยประชากรที่มากกว่า 2 จุด (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2545) เช่น ในการทดสอบว่าวัตถุดิบจากผู้ส่งมอบแต่ละรายมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือไม่ อุณหภูมิในเตาอบมีผลต่อค่าความแข็งของงานที่อบได้หรือไม่ ส่วนผสมของวัตถุดิบมีผลต่อคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์หรือไม่ ฯลฯ โดยส่วนใหญ่จะเป็นปัญหาด้านการวินิจฉัยกระบวนการที่มีความจำเป็นต้องการออกแบบการทดลองด้วยเทคนิคที่มีความซับซ้อนยิ่งขึ้น

ในการตัดสินใจสำหรับกรณีปัญหาดังกล่าว เช่น กรณีการทดสอบวัตถุดิบจากผู้ส่งมอบแต่ละรายว่ามีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือไม่ ถ้าหากมีผู้ส่งมอบอยู่ 3 รายแล้ว การทดสอบดังกล่าวจะอยู่ภายใต้สมมติฐานในการวิจัย คือ

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \text{ หรืออย่างน้อย 1 คู่ของค่าเฉลี่ยที่ } i \text{ และ } j \text{ โดยที่ } i \neq j$$

ในการทดสอบข้างบนนี้ ถ้าหากจะดำเนินการทดสอบด้วยความมีนัยสำคัญของตัวสถิติแบบปกติ และแบบ t ก็มีความจำเป็นต้องแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 การทดสอบย่อย คือ μ_1 แยกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับ μ_2 หรือไม่ μ_1 แยกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับ μ_3 หรือไม่ และ μ_2 แยกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับ μ_3 หรือไม่ และโดยที่การทดสอบความมีนัยสำคัญดังกล่าวจะต้องได้มาจากกรกำหนดค่า α ดังนั้น ถ้าหากผู้ทดสอบตั้งใจจะทดสอบสมมติฐานด้วยระดับนัยสำคัญโดยรวมเท่ากับ 0.05 แต่เนื่องจากต้องแยกการทดสอบดังกล่าวออกเป็น 3 การทดสอบย่อย จึงต้องทำการทดสอบแต่ละการทดสอบย่อยด้วยระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งเท่ากับมีโอกาสในการตัดสินใจยอมรับ H_0 อย่างถูกต้องในแต่ละการทดสอบย่อยเท่ากับ 0.95 และโดยที่การยอมรับ $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ อย่างถูกต้อง จะต้องได้จากการตัดสินใจยอมรับ H_0 อย่างถูกต้องพร้อมกันทั้ง 3 การทดสอบย่อย จึงทำให้โอกาสในการยอมรับ H_0 อย่างถูกต้องเท่ากับ $(0.95)^3 = 0.8573$ ซึ่งหมายความว่า จะมีโอกาสผิดพลาดในการปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ที่ผิดพลาด (ซึ่งเท่ากับระดับความมีนัยสำคัญ) เท่ากับ $1 - 0.8573 = 0.1427$ ทั้ง ๆ ที่กำหนดระดับความมีนัยสำคัญโดยรวมไว้เท่ากับ 0.05 ดังนั้น ถ้าหากมีการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรที่มีจำนวนประชากรมากกว่า 2 จุดแล้ว จะมีผลเสีย คือ ทำให้ระดับความมีนัยสำคัญมีค่าสูงขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่เป็นผลดีต่อการตัดสินใจ จึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาวิธีการทดสอบใหม่เพื่อจะไม่ให้ระดับความมีนัยสำคัญสูงขึ้น ทั้งนี้ก็ด้วยการวิเคราะห์ถึงผลที่เกิดขึ้นโดยอาศัยการแยกความแปรปรวนที่เกิดขึ้นทั้งหมดออกเป็นความแปรปรวนย่อยเพื่อการตัดสินใจ จึงเรียกวิธีการดังกล่าวนี้ว่า “การวิเคราะห์ความแปรปรวน” (Analysis of Variance, ANOVA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 อิทธิพลหลัก (Main effects) และอิทธิพลร่วม (Interaction)

การวัดการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองของปัจจัยหนึ่งนั้น เป็นการวัดอิทธิพลของปัจจัย ปกติจะวัดค่าอยู่ในรูปของค่าเฉลี่ยของอิทธิพลของปัจจัยหนึ่ง ที่ระดับของอีกปัจจัยหนึ่ง เรียกว่า อิทธิพลหลักของปัจจัย นอกจากนี้ หากความแตกต่างของผลตอบสนองระหว่างของพารามิเตอร์หนึ่ง วัดที่ระดับของอีกพารามิเตอร์หนึ่งจะมีค่าไม่เท่ากับความแตกต่างระหว่างระดับของพารามิเตอร์นั้นวัดที่ระดับของอีกพารามิเตอร์หนึ่ง ความแตกต่างของผลตอบสนองดังกล่าวนี้เรียกว่า การเกิดอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย

2.8.4 ตัวแบบทางสถิติเชิงเส้นตรง

สมมุติว่า ในการศึกษาเปรียบเทียบครั้งนี้มีจำนวนทริทเมนต์ที่ต้องการเปรียบเทียบจำนวน a ทริทเมนต์ และทำการทดลองซ้ำอย่างสุ่มทริทเมนต์ละ n ตัว (เรียกการออกแบบการทดลองแบบนี้ว่าการออกแบบสมดุล (Balance Design)) จะได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2.4 ซึ่งได้อธิบายเป็นตัวแบบทางสถิติเชิงเส้นตรง (Linear Statistical Model) คือ

$$Y_{ij} = \mu_i + \epsilon_{ij} = \mu_i + \tau_{ij} + \epsilon_{ij}; i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, n \quad (2.4)$$

โดยที่ Y_{ij} = ผลจากการทดลองของทริทเมนต์ i ในการทำซ้ำครั้งที่ j
 μ_i = พารามิเตอร์ร่วมสำหรับทริทเมนต์ตัวที่ i ซึ่งหมายถึงค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์ตัวที่ i
 τ_{ij} (อ่านว่า Tau) = พารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายทริทเมนต์ตัวที่ i (โดยปกติเรียกว่า ผลจากทริทเมนต์ (Treatment Effects ที่ i))
 ϵ_{ij} = ผลจากสาเหตุด้านรีพีทหะบิลิตี้ของการทดลอง

ตารางที่ 2.4 ผลการทดลองสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2545)

ทริทเมนต์	ข้อมูลจากการทดลอง				ผลรวม	ค่าเฉลี่ย
	1	2	...	n		
1	Y_{11}	Y_{12}	...	Y_{1n}	$Y_{1.}$	$\bar{Y}_{1.}$
2	Y_{21}	Y_{22}	...	Y_{2n}	$Y_{2.}$	$\bar{Y}_{2.}$
.
.
.
A	Y_{a1}	Y_{a2}	...	Y_{an}	$Y_{a.}$	$\bar{Y}_{a.}$
	ผลรวม				$Y_{..}$	$\bar{Y}_{..}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวแบบสถิติเชิงเส้นตรงในสมการที่ 2.4 นี้มีชื่อเรียกว่า “ตัวแบบการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว” (One – Way Classification ANOVA Model) ทั้งนี้เนื่องจากมีพารามิเตอร์ที่ต้องการศึกษาเพียงตัวเดียว และตัวแบบสมการที่ 2.4 นี้ยังสามารถแยกออกได้เป็นอีก 2 ประเภทแล้วแต่การออกแบบการทดลอง กล่าวคือถ้ามีการออกแบบการทดลองด้วยการกำหนดพรีทริเมนต์ที่คงที่แน่นอน จะได้ว่า τ_j

แต่ละค่าคงที่ตามคุณสมบัติของพารามิเตอร์แต่ละตัว ในกรณีนี้จะเรียกตัวแบบตามสมการที่ 2.4 ว่าตัวแบบอิทธิพลคงที่ (Fixed Effect Model) แต่ในทางตรงข้าม ถ้ามีความจำเป็นต้องทดลองด้วยการสุ่มพารามิเตอร์ที่มีทั้งหมดมาทดลองโดยอาศัยปัจจัยตัวอย่าง ซึ่งจะมีผลทำให้ τ_j เป็นตัวแปรสุ่มขึ้นกับผลการชักสิ่งตัวอย่างพารามิเตอร์ในกรณีเช่นนี้จะเรียกตัวแบบตามสมการที่ 2.4 ว่า ตัวแบบแบบอิทธิพลสุ่ม (Random Effect Model)

2.8.5 ตัวแบบอิทธิพลคงที่

จากตัวแบบสถิติเชิงเส้นตรงในสมการที่ 2.4 เมื่อ τ_j เป็นค่าคงที่ และเป็นค่าความเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยทั้งหมด μ สูตรการคำนวณสามารถสรุปได้เป็นตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวน (เกิตศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2545) ดังตารางที่ 2.5

$$\begin{aligned} H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0 \\ H_1 : \tau_j \neq 0 : \text{อย่างน้อย 1 ค่าของ } j \end{aligned} \quad (2.5)$$

ตารางที่ 2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับตัวแบบแบบอิทธิพลคงที่ประเภทจำแนกทางเดียว

แหล่งความผันแปร	SS	DF	MS	F_0
ทริทเมนต์	$\sum \frac{Y_i^2}{n} - \frac{Y^2}{an}$	a-1	$\frac{SS_{tr}}{a-1} = MS(tr)$	$\frac{MS(tr)}{MS(E)}$
รีพีทอะบิลิตี	$SS_T - SS_{tr}$	a(n-1)	$\frac{SS_E}{a(n-1)} = MS(E)$	
ทั้งหมด	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 - \frac{Y^2}{an}$	an-1		

จากสมมติฐานในสมการที่ 2.5 ถ้าหากสมมติฐานเป็นจริง ค่าของ F จะมีค่าเข้าใกล้ 1 แต่ถ้าหากสมมติฐานไม่เป็นจริง ค่าของ F จะมีค่าที่มากเสมอ เนื่องจากเทอมผลรวมกำลังสองของ τ_j ดังนั้น การทดสอบนี้จึงเป็นวิธีการตัดสินใจแบบด้านเดียวด้านบน โดยที่จะปฏิเสธสมมติฐานเพื่อยืนยันว่าปัจจัยที่พิจารณาให้ผลอย่างมีนัยสำคัญเมื่อ

$$F_0 > F_{\alpha, a-1, a(n-1)} \quad (2.6)$$

โดย F_0 คือค่าที่คำนวณได้จากตารางที่ 2.5 แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่า F_α จากตารางความน่าจะเป็น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.5.1 การประมาณค่าพารามิเตอร์ตัวแบบอิทธิพลคงที่

สามารถหาช่วงความเชื่อมั่นของ μ_i ได้ว่า

$$\bar{Y}_i \pm t_{\frac{\alpha}{2}; a(n-1)} \sqrt{\frac{MS(E)}{n}} \quad (2.7)$$

นอกจากนี้ ยังสามารถประมาณช่วงความเชื่อมั่นของผลต่างของค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ 2 ตัวใด ๆ ได้จาก

$$\left[(\bar{Y}_i - \bar{Y}_j) \pm t_{\frac{\alpha}{2}; a(n-1)} \sqrt{\frac{2MS(E)}{n}} \right] \quad (2.8)$$

2.8.5.2 การทดสอบเชิงซ้อนด้วยวิธีการพิสัยด้นแกน

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยตัวแบบอิทธิพลคงที่ เมื่อมีการปฏิเสธสมมติฐานแล้วจะได้สารสนเทศเพียงทราบว่า มีทรีทเมนต์อย่างน้อย 1 คู่ที่มีความแตกต่างกัน แต่ยังไม่ทราบว่าทรีทเมนต์ใดบ้างที่แตกต่างกัน และควรจะเลือกทรีทเมนต์ใด

ในการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบผลจากทรีทเมนต์แต่ละคู่ จะดำเนินการเปรียบเทียบด้วยจำนวน (u) คู่จึงเรียกการศึกษานี้ว่า “การเปรียบเทียบเชิงซ้อน (Multiple Comparison Test)” และการเปรียบเทียบนี้อาจจะดำเนินการด้วยการตั้งกฎเกณฑ์การตัดสินใจไว้ก่อนการทดลองจะเกิดขึ้นก็ได้ ด้วยวิธีการคอนทราสต์ (Contrast) หรือการเปรียบเทียบเชิงซ้อนหลังจากการทดลองเสร็จสิ้นแล้ว ซึ่งจะประกอบด้วยวิธีการต่าง ๆ หลายวิธี โดยในที่นี้จะขอกล่าวเพียงวิธีการเดียวคือ วิธีการด้นแกน ทั้งนี้เพราะว่าทุกวิธีจะมีหลักการเหมือนกัน คือทำการพิจารณาว่าทรีทเมนต์แต่ละคู่ที่เปรียบเทียบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่น้อยที่สุด (Least Significant Difference) หรือ LSD เท่ากับเท่าใด แล้วทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสิ่งตัวอย่าง $(\bar{Y}_i - \bar{Y}_j)$ กับค่า LSD ดังกล่าว

หลังการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบเชิงซ้อน โดยวิธีการของด้นแกนนี้จะต้องดำเนินการภายใต้ขนาดสิ่งตัวอย่างเท่ากันในแต่ละทรีทเมนต์ และโดยที่แต่ละค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นตัวสถิติซึ่งมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ในการหาค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่น้อยที่สุดของด้นแกนนี้ จะอาศัยการกำหนดความแตกต่างให้อยู่ในรูปของพิสัย จึงอาจเรียกว่าพิสัยที่มีนัยสำคัญที่น้อยที่สุด (R_p) โดยที่

$$R_p = r_\alpha(p, f) S_{\bar{Y}_i} \quad (2.9)$$

โดย $r_\alpha(p, f)$ คือ ค่าพิสัยที่มีนัยสำคัญ (Significant Range) โดยที่ p คือจำนวนทรีทเมนต์ที่ทำการศึกษา และ f คือ ค่า DF ของตัวประมาณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.6 ตัวแบบอิทธิพลสุ่ม

ในการศึกษาทางวิศวกรรมด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนนี้ จะมีอยู่หลายกรณีด้วยกันที่ผู้ศึกษาไม่สามารถกำหนดทริทเมนต์ได้ (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2545) เนื่องจากทริทเมนต์มีจำนวนมากเกินกว่าที่จะสามารถทดสอบได้ครบ ในกรณีนี้มีความจำเป็นต้องทำการชักสิ่งตัวอย่างจากประชากรของทริทเมนต์ จึงมีผลทำให้ τ_i เป็นตัวแปรสุ่มตามทริทเมนต์ที่ได้รับการสุ่มมาศึกษา ดังนั้นตัวแบบทางสถิติเชิงเส้นตรงตามสมการที่ 2.4 จะมีตัวแปรสุ่ม 2 ตัว คือ τ_i และ ε_{ij} และจากสมการที่ 2.4 จะได้ค่าความผันแปรของข้อมูลจากการทดลอง คือ

$$\sigma_y^2 = \sigma_\tau^2 + \sigma^2 \quad (2.10)$$

โดยที่จะเรียก σ_τ^2 และ σ^2 (ซึ่งหมายถึงความผันแปรจากสาเหตุที่ได้รับการควบคุม และความผันแปรจากสาเหตุที่ไม่ได้ควบคุม โดยลำดับ) ว่าองค์ประกอบของความแปรปรวน (Variance Components) และจะเรียกตัวแบบตามสมการที่ 2.10 ว่าตัวแบบอิทธิพลสุ่ม หรือตัวแบบองค์ประกอบของความแปรปรวน (Components of Variance Model) และจะสามารถตั้งสมมติฐานสำหรับการทดสอบเพื่อยืนยันความมีผลของปัจจัยที่พิจารณาว่า

$$\begin{aligned} H_0 : \sigma_\tau^2 &= 0 \\ H_1 : \sigma_\tau^2 &> 0 \end{aligned} \quad (2.11)$$

ในการวิเคราะห์ผลจากการทดลองยังวิเคราะห์ได้เช่นเดียวกับกรณีตัวแบบอิทธิพลคงที่ แต่ในกรณีนี้ค่าที่ควรจะเป็นของ MS(tr) และ MS(E) จะเปลี่ยนไปจากเดิม

$$E(\text{MS}(\text{tr})) = \sigma^2 + n\sigma_\tau^2 \quad (2.12)$$

$$E(\text{MS}(E)) = \sigma^2 \quad (2.13)$$

$$F = \frac{\text{MS}(\text{tr})}{\text{MS}(E)} = \frac{\sigma^2 + n\sigma_\tau^2}{\sigma^2} \quad (2.14)$$

จากสมมติฐานตามสมการที่ 2.11 พบว่า ถ้าหากสมมติฐานเป็นจริง ค่าของ F ตามสมการที่ 2.14 จะมีค่าเข้าใกล้ 1 แต่ถ้าหากสมมติฐานไม่เป็นจริง ค่าของ F จะมีค่าที่มากเสมอเนื่องจากเทอม σ_τ^2 ดังนั้นการทดสอบนี้จึงเป็นวิธีการตัดสินใจแบบด้านบนด้านเดียวเหมือนกรณีตัวแบบอิทธิพลคงที่ โดยที่จะปฏิเสธสมมติฐานเพื่อยืนยันว่าปัจจัยที่พิจารณามีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อเมื่อ

$$F_0 > F_{\alpha; a-1, a(n-1)}$$

โดยค่า F_0 คือค่าที่คำนวณได้จากตาราง ANOVA ดังนั้นจึงสรุปได้ในกรณีนี้จะเหมือนกับกรณีตัวแบบอิทธิพลคงที่ตามตารางที่ 2.5 ทุกประการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.6.1 การประมาณค่าพารามิเตอร์ตัวแบบอิทธิพลสุ่ม

แม้ว่าในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแบบอิทธิพลคงที่ และตัวแบบอิทธิพลสุ่มจะเหมือนกันก็ตาม แต่การสรุปผลจะมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากว่าในขณะที่กรณีตัวแบบอิทธิพลคงที่เป็นการศึกษาที่มีการระบุถึงทริทเมนต์ที่ต้องการศึกษา ดังนั้นเมื่อมีการปฏิเสธสมมติฐานจึงต้องมีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนเพื่อหาว่าทริทเมนต์ใดแตกต่างกัน แต่สำหรับกรณีตัวแบบอิทธิพลสุ่มนั้น ทริทเมนต์ที่ศึกษาเป็นเพียงทริทเมนต์ตัวอย่างที่สุ่มได้จากประชากรของทริทเมนต์เท่านั้น เมื่อมีการปฏิเสธสมมติฐาน จึงมีความจำเป็นต้องพิจารณาว่าค่าความแตกต่างของทริทเมนต์ในประชากรทริทเมนต์มีค่าเท่าใด จึงมีความจำเป็นที่จะต้องประมาณค่าขององค์ประกอบความแปรปรวนในตัวแบบ และจะใช้การประมาณค่าด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ในบางครั้ง การประมาณค่าพารามิเตอร์ที่เป็นองค์ประกอบของความแปรปรวนนี้อาจมีค่าติดลบได้ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ในทางทฤษฎีเพราะค่าความแปรปรวนหมายถึงค่าผลรวมกำลังสอง ย่อมจะไม่สามารถติดลบได้ ในกรณีนี้อาจจะประมาณให้เท่ากับศูนย์ ถ้าหากจะอนุমানได้ว่าค่าติดลบดังกล่าวเกิดขึ้นจากความผันแปรในการแจกแจงของสิ่งตัวอย่าง แต่อย่างไรก็ดี ในบางครั้งอาจจะเกิดมาจากสาเหตุที่กำหนดให้ทริทเมนต์ที่ใช้ทดลองมีความใกล้เคียงกันมาก

2.9 ทฤษฎีการหาขนาดตัวอย่าง

ในการตัดสินใจแบบการทดสอบสมมติฐานนั้น การตัดสินใจโดยคำนึงถึงความเสี่ยงในการตัดสินใจ ทั้ง α และ β ถือเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมาก และการทดสอบสมมติฐานจะต้องควบคุมความเสี่ยงในการตัดสินใจด้วยการกำหนดให้ α คงที่ แล้วพยายามออกแบบให้ β มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งการจะทำให้ β มีค่าลดลง ก็ด้วยการพยายามให้ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานมีขนาดเล็กลง ทั้งนี้ด้วยการพิจารณาถึงค่าเหมาะสมของขนาดของสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง โดยที่ $\beta = P(\text{การยอมรับ } H_0 / H_0 \text{ ไม่ถูกต้อง})$ (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2545)

ดังนั้น ในการพิจารณา β จะต้องเริ่มต้นมาจากการใช้ความรู้ในด้านวิศวกรรม เพื่อกำหนดว่าพารามิเตอร์มีค่าเท่าใด จึงทำให้ H_0 ไม่ถูกต้อง จากนั้นจะทำการพิจารณาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมจากเส้นโค้งโอซี

2.9.1 ตัวแบบอิทธิพลคงที่การหาขนาดตัวอย่าง

ในการหาขนาดสิ่งตัวอย่างจากตัวแบบอิทธิพลคงที่ จะพิจารณาได้จากหลายวิธีด้วยกันแล้วแต่ที่ผู้ตัดสินใจมีสารสนเทศอย่างไร

1. ในการกำหนดในรูปความเบี่ยงเบนของค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์ ในกรณีนี้ ผู้ตัดสินใจจะต้องทราบถึงความเบี่ยงเบนของค่าเฉลี่ยทริทเมนต์แต่ละทริทเมนต์ที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยทั้งหมดจนทำให้เกิดการปฏิเสธ สมมติฐาน โดยสมมติให้แต่ละทริทเมนต์มีค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนไป τ/σ

2. การกำหนดในรูปความแตกต่างมากที่สุดของค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์ ทางเลือกอีกประการหนึ่งสำหรับการกำหนดความแตกต่างของทริทเมนต์จนทำให้เกิดการปฏิเสธสมมติฐาน โดยกำหนดให้ D หมายถึง ค่า ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์ใด ๆ 2 ทริทเมนต์จนทำให้เกิดการปฏิเสธสมมติฐาน

3. การกำหนดในรูปความเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่เพิ่มขึ้น ภายใต้แนวทางการหาขนาดสิ่งตัวอย่างนี้จะอาศัยแนวคิดจากสมการตัวแบบเชิงสถิติแบบเส้นโค้ง คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

หรือ $\sigma^2_Y = \sigma^2_{\tau} + \sigma^2$

2.9.2 ตัวแบบแบบอิทธิพลสุ่มการหาขนาดตัวอย่าง

ในการหาขนาดสิ่งตัวอย่างจากตัวแบบแบบอิทธิพลสุ่มจะพิจารณาได้หลายวิธีด้วยกันเหมือนกับกรณีตัวแบบแบบอิทธิพลคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าตัดสินใจมีสารสนเทศอย่างไร

1. การกำหนดค่าความผันแปรของความเบี่ยงเบนของค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ ในกรณีนี้ผู้ตัดสินใจจะต้องทราบถึงความเบี่ยงเบนของค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ในรูปของความแปรปรวนต่อค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน คือ $\sigma^2_{\tau} / \sigma^2$ ซึ่งจะทำให้สามารถกำหนดพารามิเตอร์ของเส้นโค้ง โอลซีที่ทำให้เกิดการปฏิเสธ สมมติฐาน H_0 ได้

2. การกำหนดในรูปความเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่เพิ่มขึ้น การพิจารณาในกรณีนี้จะคล้ายกับกรณีตัวแบบแบบอิทธิพลคงที่ กล่าวคือ ถ้าหากทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันแล้ว ($\sigma^2_{\tau} = 0$) ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสังเกตจากการทดลองควรมีค่าเท่ากับผลจากสาเหตุที่มีได้รับการควบคุม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

จากการทำการทดลองเกี่ยวกับการสปาร์กของเครื่องอิตีเอ็มทำให้เราทราบถึงหลักการของการทำงานของเครื่องอิตีเอ็มและยังรู้ถึงกรรมวิธีในการทดลอง วัสดุและขั้นตอนต่าง ๆ ในการทดลองซึ่งในปัจจุบันนี้ อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการทดลองล้วนแล้วแต่มีส่วนผสมและชนิดของวัสดุที่แตกต่างกันแล้วแต่จะนำไปทำการทดลองแบบไหนส่วนการทดลองโดยการสปาร์กของเครื่องอิตีเอ็มนี้ สามารถแบ่งอุปกรณ์และวิธีการทดลองได้เป็นหัวข้อย่อยได้ดังนี้

3.1 ลักษณะในการทดลอง

จากข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุที่นิยมใช้ทำหัวอิเล็กโทรด รวมถึงการขอข้อมูลจากผู้ที่ใช้งานเครื่องอิตีเอ็มในกระบวนการอุตสาหกรรม ทำให้ผู้วิจัยได้รู้ว่าวัสดุที่นิยมนำมาใช้ทำหัวอิเล็กโทรดมี 2 ชนิด คือ ทองแดงทรงกระบอก ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกใช้ทองแดงมาเป็นหัวอิเล็กโทรด โดยรูปร่างหน้าตัดของทองแดงอิเล็กโทรดจะเป็นวงกลมเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร แล้วทำการสปาร์กในรูปแบบการสปาร์กขึ้นลงโดยกินลึกลงไป 0.15 มิลลิเมตร แล้วทำการเก็บค่าความหนาผิวเพื่อหาความหนาผิวเมื่อตัวแปรต่าง ๆ มีค่าเปลี่ยนแปลงไป

3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ในกรรมวิธีการสปาร์กของเครื่องอิตีเอ็ม วัสดุที่นำมาใช้ในการทดลองในกรรมวิธีการสปาร์กของเครื่องอิตีเอ็ม นี้เป็นชิ้นงานเหล็กกล้าที่ใช้ทำแม่พิมพ์หรือเหล็กกล้า SKD 11 ซึ่งเป็นเหล็กที่มีคุณสมบัติแข็งแต่เปราะ ส่วนอิเล็กโทรดที่นำมาทำการทดลอง โดยรูปร่างหน้าตัดของทองแดงอิเล็กโทรดจะเป็นวงกลมเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร โดยวัสดุที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

3.2.1 อิเล็กโทรด

อิเล็กโทรดที่นำมาทำการทดลองในกรรมวิธีการสปาร์กของเครื่องอิตีเอ็ม จะมีหลายขนาดและหลายประเภท แต่อิเล็กโทรดที่นำมาทำการทดลองจะมีรูปร่างพื้นที่หน้าตัดวงกลมเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร หน้าสัมผัสอิเล็กโทรดกับชิ้นงานจะเป็นวงกลมอิเล็กโทรดยาว 40 มิลลิเมตร ซึ่งอิเล็กโทรดที่นำมาใช้ในการทดลองที่แตกต่างออกไปก็จะมีขนาดและรูปร่างแตกต่างออกไปด้วย เช่น อิเล็กโทรดที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสามเหลี่ยมก็จะใช้แตกต่างกันไปตามรูปทรงของอิเล็กโทรด

3.2.2 ชิ้นงานทดลอง

เหล็กกล้า SKD 11 หรือเหล็กกล้าที่ใช้ทำแม่พิมพ์ เป็นเหล็กที่มีคุณสมบัติแข็งแต่เปราะ และมีขนาดยาว 60 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร กว้าง 30 มิลลิเมตร ซึ่งเหล็กกล้า SKD นี้จะมีหลายชนิดแล้วแต่ว่าจะนำมาทำใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรรมวิธีการผลิตแบบไหน เช่น เหล็กกล้า SKD 61 ก็ให้นำมาใช้ในการทำแม่พิมพ์ที่เกี่ยวกับเครื่องจักรกลหนัก แต่ในกรรมวิธีการสปาร์กของเครื่องอีดีเอ็ม จะนำเหล็กกล้า SKD 11 มาทำการทดลองซึ่งเป็นเหล็กกล้าที่ใช้ทำแม่พิมพ์และมีรายละเอียดดังนี้คือ

1. ส่วนผสมทางเคมี C = 1.4 - 1.6%, Si = 0.15 - 0.35%, Mn = 0.3 - 0.6%, Cr = 11 - 13%, Mo = 0.8 - 1.2%, V = 0.2 - 0.5%, P = น้อยกว่า 0.025%, S = มากกว่า 0.01%
2. ความแข็ง มากกว่า 61 รีอเคลสเกล C (HRC)

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.1 เครื่องอีดีเอ็มที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 เครื่องอีดีเอ็ม

เป็นเครื่องรุ่น AQ35L มีระบบไฮดรอลิกส์ในการขับเคลื่อน แกน XYZ และระบบควบคุมโดยใช้ระบบการสัมผัสบนหน้าจอแผงควบคุม ซึ่งเป็นระบบอัตโนมัติ ขนาดของโต๊ะเซอร์รามิกซ์ 600*400 มิลลิเมตร สามารถจับยึดอิเล็กโทรดหนัก 50 กิโลกรัม รับน้ำหนักของชิ้นงานได้สูงสุด 550 กิโลกรัม ช่วงการยืดหยุ่นของชุดหัวจับจากล่างถึงบนสุด 212 ถึง 462 น้ำหนักของชุดเครื่องมือ 3900 กิโลกรัม ความดันอากาศ 0.65 เมกกะปาสกาล ความยาวการเคลื่อนที่ของแกน X = 350 มิลลิเมตร, Y = 250 มิลลิเมตร, Z = 250 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นเครื่องที่มีอยู่ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งแสดงในรูปแบบที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดความหยาบผิวชิ้นงาน

3.3.2 เครื่องวัดความหยาบผิวชิ้นงาน

เป็นเครื่องวัดความหยาบผิวของชิ้นงานที่ใช้ทำการทดสอบที่ผิวที่เกิดจากการสปาร์กของเครื่องอีดีเอ็ม และเป็นเครื่องที่สามารถวัดค่าความหยาบผิวได้ละเอียดถึง 1 ไมครอน เป็นเครื่องชื่อ Presition Devices INC, Milan, Michigan 48160 Model PDD - 400 - bo Ser.5086 เป็นเครื่องมือที่อยู่ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.2

3.3.3 ไมโครมิเตอร์

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดขนาดของชิ้นงานที่ใช้ทำการทดสอบที่เกิดจากการสปาร์กของเครื่องอีดีเอ็ม เป็นไมโครมิเตอร์ขนาด 0 - 25 มิลลิเมตร ที่มีระยะช่วงความยาวที่สามารถวัดได้ และยังใช้ทำการวัดขนาดของ อิเล็กโทรดที่ใช้ทำการทดสอบ ซึ่งในการทำการวัดขนาดของชิ้นงานที่ใช้ทำการทดสอบนี้ ชิ้นงานจะต้องทำการจับยึด ด้วยปากก้าจับชิ้นงานเพื่อไม่ให้ชิ้นงานเกิดการขยับหรือเคลื่อนที่ไปจากตำแหน่งเดิม เพราะเมื่อนำไมโครมิเตอร์มาทำการวัดจะได้ค่าที่แม่นยำของขนาดชิ้นงานทดสอบ

3.4 หลักการออกแบบการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในการออกแบบการทดสอบที่ได้จากการสปาร์กของเครื่องอีดีเอ็ม จะต้องเป็นไปตามขั้นตอนต่าง ๆ ที่ได้จัดเตรียมเอาไว้แล้วและค่าความหยาบผิวที่ได้จากกรรมวิธีการสปาร์กของเครื่องอีดีเอ็มนั้นค่าที่ได้จะนำมาทำการวิเคราะห์หาค่าตัวแปรที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวมากที่สุด เนื่องจากมีพารามิเตอร์ที่จะศึกษามากกว่า 1 ปัจจัย โดยแต่ละพารามิเตอร์มีอยู่หลายระดับ (ทรีทเมนต์) ที่จะต้องดำเนินการทดสอบ กล่าวคือ เป็นการจัดทรีทเมนต์ที่ใช้ในการทดสอบนี้มีทั้งหมด 6 ปัจจัยและเรียกผลการจัดทรีทเมนต์เหล่านี้ว่า Treatment Combination เช่น การทดสอบที่มี 6 ปัจจัย โดยที่แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ เรียกว่า การทดสอบแบบแฟกทอเรียลขนาด 2^6 ดังนั้น Combination ทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบก็จะมียู่ทั้งหมด 64 ดังนั้นหลักในการออกแบบการทดสอบมีขั้นตอนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 ทำความเข้าใจถึงปัญหา

หาแนวความคิดที่เกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องอีดีเอ็ม ในการทดลองมักจะมีปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง เช่นปัญหาเกี่ยวกับการทำงานของเครื่องอีดีเอ็ม และการไม่เข้าใจในโปรแกรมการใช้งานของเครื่องอีดีเอ็มเมื่อเกิดปัญหาเกี่ยวกับการใช้โปรแกรมของเครื่องอีดีเอ็ม

3.4.2 เลือกพารามิเตอร์ ระดับ และขอบเขต

เลือกพารามิเตอร์ที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างการทดลอง กำหนดขอบเขตที่เป็นพารามิเตอร์เหล่านี้จะเปลี่ยนแปลง และกำหนดระดับที่จะเกิดขึ้นในการทดลองและพิจารณาด้วยว่าจะควบคุมพารามิเตอร์เหล่านี้ได้อย่างไร ดังนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบดูว่า พารามิเตอร์ที่กำหนดขึ้นมาทั้งหมดมีความสำคัญหรือไม่ โดยการกรองพารามิเตอร์โดยพารามิเตอร์ที่นำมาทดลองจะมีทั้งหมด 13 พารามิเตอร์

3.4.3 เลือกตัวแปรที่ได้จากการทดลอง

ในการเลือกตัวแปรที่ได้จากการทดลองควรจะแน่ใจว่าพารามิเตอร์จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ เป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งอาจจะมีตัวแปรที่ได้จากการทดลองหลายตัวและมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องกำหนดให้ได้ว่า อะไรคือตัวแปรที่ได้จากการทดลอง และจะวัดตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไรก่อนที่จะเริ่มดำเนินการทดลอง ดังนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบดูว่าพารามิเตอร์ที่กำหนดขึ้นมาทั้งหมดมีความสำคัญหรือไม่โดยการกรองพารามิเตอร์โดยพารามิเตอร์ที่นำมาทดลองจะมีทั้งหมด 13 พารามิเตอร์ โดยจะทำการทดลองแบบกรองพารามิเตอร์ให้เหลือ 6 พารามิเตอร์ เพื่อจะทำการทดลองโดยขึ้นการกรองพารามิเตอร์จะทำการทดลอง 78 ครั้ง ที่ได้จากรายที่ 4.1 ค่าความหยาบผิวจากการทดลอง

3.4.4 เลือกการออกแบบการทดลอง

เป็นการเลือกลำดับของการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม ของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล และการตัดสินใจว่าควรจะใช้วิธีบล็อกกึ่งหรือใช้การแรนดอมไมเซชันอย่างไร โดยอย่างหนึ่งหรือไม่ ในการออกแบบการทดลองที่ได้จากการ สปร้าก ของเครื่องอีดีเอ็มจะต้องเป็นไปตามขั้นตอนต่าง ๆ ที่ได้จัดเตรียมเอาไว้แล้วและค่าความหยาบผิวที่ได้จากกรรมวิธีการ สปร้ากของเครื่องอีดีเอ็มนั้น ค่าที่ได้จะนำมาทำการวิเคราะห์หาค่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวมากที่สุด

3.4.5 ทำการทดลอง

ก่อนจะทำการทดลองจะต้องนำชิ้นงานไปทำการเจียรระโน เพื่อให้ผิวชิ้นงานมีความเรียบผิวที่เท่ากันทุกจุด แล้วนำชิ้นงานไปจับยึดโดยตัวยึดที่ตั้งไว้ทำการจับชิ้นงานให้แน่นเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน หลังจากนั้นทำการตั้งจุดศูนย์ชิ้นงานเพื่อจะทำการสปร้ากชิ้นงาน พอทำการติดตั้งทุกจุดก็ทำการสปร้ากแล้วทำการตรวจสอบหลังจากที่ทำการสปร้ากชิ้นงานเสร็จ ว่าจุดที่ตั้งไว้มีการคลาดเคลื่อนหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.6 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

ในการวิเคราะห์ข้อมูลของผลการทดลองที่ได้จากกรรมวิธีการสปาร์กของเครื่องอีดีเอ็ม ผลการทดลองที่ได้จะนำมาทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งโปรแกรม Minitab จะประมวลผลของค่าความหยาบผิวของการทดลองจากพารามิเตอร์ทั้งหมด มาคัดเลือกพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญที่สุดให้เหลือ 6 พารามิเตอร์จากทั้งหมด 13 พารามิเตอร์

3.4.7 สรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองที่ได้ทำการทดลองและทำการวิเคราะห์ข้อมูล ทำให้สามารถนำข้อมูลที่ได้มาทำการสรุปผลของการทำการทดลองได้และสามารถรู้ถึงพารามิเตอร์ตัวไหน ที่มีผลกระทบต่อความหยาบผิวของการสปาร์กของเครื่องอีดีเอ็มมากที่สุด และแนวทางในการแก้ปัญหาที่เกิดจากการทดลอง

3.5 แผนการทดลอง

การทดลองด้วยกรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยเครื่องอีดีเอ็มด้วยการแปรค่าพารามิเตอร์ เพื่อแปรรูปชิ้นงานให้มีรูบนชิ้นงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ลึก 0.15 มิลลิเมตร จำนวนครั้งสำหรับการทดลองคือ 3 ครั้ง ขั้นตอนหลัก ๆ ในการทดลองขั้นแรกเป็นการกรองพารามิเตอร์หรือการทำการทดลองเบื้องต้น ขั้นที่สองเป็นขั้นวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความหยาบผิวงานมากที่สุด 6 อันดับแรกแล้วนำข้อมูลเหล่านั้นมาประมวลหาพารามิเตอร์ตอบสนอง ขั้นสุดท้ายเป็นการทดลองเปรียบเทียบกับที่พยากรณ์ไว้หรือค่าที่มีผลกระทบต่อความหยาบผิวมากที่สุดที่ได้จากการนำผลการไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองหรือ เหล็กกล้า SKD 11 ซึ่งเป็นเหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์ และพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองจะมีทั้งหมด 13 พารามิเตอร์ โดยเวลาที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้งเฉลี่ย 3 นาที ระยะห่างของจุดกึ่งกลางที่ทำการสปาร์กมีระยะห่าง 12 มิลลิเมตร ในการทดลองจะมีการปรับตั้งค่าต่างของเครื่องอีดีเอ็ม เช่นค่า Electric Discharge Time (μsec) ที่มีการตั้งค่าที่กำหนดไว้ที่ 235 แต่เมื่อทำการทดลองจะมีการปรับเปลี่ยนค่าตั้งที่ 210 และค่าสูงที่ 260 แต่พารามิเตอร์อื่นจะตั้งไว้ที่ค่าที่กำหนดไว้ของแต่ละตัวดังแสดงในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ทดลองพารามิเตอร์ที่สภาวะคงที่โดยกำหนดค่าคงที่ตลอดการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่าต่ำ	ค่าสูง	ค่าที่กำหนด
Electric Discharge Time (μsec)	210	260	235
Electric Discharge Peak Current (A)	10.0	11.0	10.5
Servo Voltage (V)	30	40	40
Servo Speed	01	02	02
Main Supply Voltage (DC V)	90	120	120
PIKADEN pulse (V)	00	10	10
Capacitor (μF)	0.000	0.007	0.007
Arc Detection-Level	0020	0025	0023
Loran Speed and Direction	00	02	01
Jump-up Time (Sec)	10	15	13
Jump-down Machining Time (Sec)	70	80	75
Electrode Diameter (mm.)	11	12	12
Auxiliary Power Supply Circuit Control	001	000	000

3.5.1 การทดลองขั้นตอนการกรองพารามิเตอร์

การทดลองในขั้นนี้จะทำการตั้งค่าไว้ที่ค่าที่กำหนดไว้แล้วทำการเปลี่ยนค่าในแต่ละพารามิเตอร์ซึ่งในแต่ละค่าต่ำและค่าสูงจะทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เมื่อทดลองที่พารามิเตอร์ค่าใดค่าหนึ่งเสร็จแล้วก็จะทำการตั้งค่าพารามิเตอร์นั้นไว้ที่ค่าที่กำหนดไว้เหมือนเดิมแล้วเริ่มต้นที่พารามิเตอร์ใหม่ ในการทดลองจะมีการปรับตั้งค่าต่างๆ ของเครื่องอีดีเอ็ม เช่นค่า Electric Discharge Time (μsec) ที่มีการตั้งค่าไว้ที่ค่ากำหนดไว้ที่ 235 แต่เมื่อทำการทดลองจะมีการปรับเปลี่ยนค่าต่ำที่ 210 และค่าสูงที่ 260 แต่พารามิเตอร์อื่นจะตั้งไว้ที่ค่าที่กำหนดไว้ของแต่ละตัว เช่น Servo Voltage (V) จะ ตั้งค่าไว้ที่ 40 ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดไว้ และ Servo Speed จะตั้งค่าไว้ที่ 02 ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.2 ตารางการทดลองเพื่อกรองพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	ค่าต่ำ	ค่าสูง
Electric Discharge Time (μsec)	-	+
Electric Discharge Peak Current (A)	-	+
Servo Voltage (V)	-	+
Servo Speed	-	+
Main Supply Voltage (DC V)	-	+
PIKADEN pulse (V)	-	+
Capacitor (μF)	-	+
Arc Detection Level	-	+
Loran Speed and Direction	-	+
Jump-up Time (Sec)	-	+
Jump-down Machining Time (Sec)	-	+
Electrode Diameter (mm.)	-	+
Auxiliary Power Supply Circuit Control	-	+

โดยในการทดลองจะมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น Jump - up Time (Sec) จะมีค่าต่ำที่เป็นเป็นลบและค่าสูงเป็นบวก ดังนั้นเมื่อทำการทดลองก็จะทำการตั้งค่าตามตารางที่ 3.1 โดยดูที่ค่า Jump - up Time (Sec) ว่ามีค่าต่ำเป็นเท่าไร แล้วก็ทำการตั้งค่าตามตาราง ค่าสูงก็เช่นกัน แต่ค่าปัจจัยอื่นจะทำการตั้งค่าของแต่ละตัว เช่น Servo Voltage (V) จะตั้งค่าไว้ที่ 40 ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดไว้ และ Servo Speed จะตั้งค่าไว้ที่ 02 โดยค่าสูง ค่าต่ำ จะดูในตารางที่ 3.2 ร่วมกับตารางที่ 3.1

3.5.2 การทดลองหาพารามิเตอร์ตอบสนอง

ในขั้นตอนของการทดลองแบบพารามิเตอร์ตอบสนองนี้ จะแสดงถึงค่าของพารามิเตอร์ที่ได้ทำการออกแบบการทดลองโดยดูได้จากค่าบวกและลบหรือค่าสูงและค่าต่ำในตารางที่ 3.3 เช่น ค่า V (Main Supply Voltage) ที่ลำดับการทดลองที่ 1 จะมีค่าเป็นบวก ซึ่งจะมีค่าเท่ากับค่าสูงเท่ากับ 120 ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดไว้ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ส่วนค่า ALV (Arc Detection Level) จะมีค่าเป็นลบ ซึ่งจะมีค่าเป็นค่าต่ำเท่ากับ 0020 ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ดังนั้นในขั้นการทดลองจะมีการตั้งค่าการทดลองตามตารางที่ 3.3 โดยค่าพารามิเตอร์ที่ได้ออกมา 6 พารามิเตอร์ ในลำดับการทดลองได้จากการทำการทดลองเบื้องต้นที่มีพารามิเตอร์ทั้งหมด 13 พารามิเตอร์ โดยการใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 การออกแบบและลำดับการทดลองหาพารามิเตอร์ตอบสนอง

ชิ้นงาน ตัวอย่าง	ลำดับการ ทดลอง	V	ALV	SV	LS	DN	UP
98	1	+	-	-	-	-	+
159	2	-	+	+	+	+	-
95	3	-	+	+	+	+	-
131	4	-	+	-	-	-	-
91	5	-	+	-	+	+	-
62	6	+	-	+	+	+	+
127	7	-	+	+	+	+	+
72	8	+	-	+	-	-	-
33	9	-	-	-	-	-	+
135	10	-	+	+	-	-	-
41	11	-	-	-	-	-	+
116	12	-	+	-	+	+	+
139	13	-	+	-	+	-	-
157	14	-	-	+	+	+	-
138	15	+	-	-	+	-	-
50	16	+	-	-	-	+	+
97	17	-	-	-	-	-	+
88	18	+	+	+	-	+	-
46	19	+	-	+	+	-	+
168	20	+	+	+	-	-	+
128	21	+	+	+	+	+	+
54	22	+	-	+	-	+	+
120	23	+	+	+	-	+	+
99	24	-	+	-	-	-	+
167	25	-	+	+	-	-	+
154	26	+	-	-	+	+	-
78	27	+	-	+	+	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงาน ตัวอย่าง	ลำดับการ ทดลอง	V	ALV	SV	LS	DN	UP
12	28	+	+	-	+	-	-
156	29	+	+	-	+	+	-
143	30	-	+	+	+	-	-
8	31	+	+	+	-	-	-
85	32	-	-	+	-	+	-
178	33	+	-	-	-	+	+
136	34	+	+	+	-	-	-
26	35	+	-	-	+	+	-
89	36	-	-	-	+	+	-
55	37	-	+	+	-	+	+
71	38	-	+	+	-	-	-
43	39	-	+	-	-	-	+
70	40	+	-	+	-	-	-
126	41	+	-	+	+	+	+
42	42	+	-	+	+	-	+
58	43	+	-	-	+	+	+
109	44	-	-	+	+	-	+
45	45	-	-	+	+	-	+
115	46	-	+	-	-	+	+
188	47	+	+	+	+	+	+
81	48	-	-	-	-	+	-
104	49	+	+	+	-	-	+
174	50	+	-	+	+	-	+
37	51	-	-	+	-	-	+
63	52	-	+	+	+	+	+
124	53	+	+	-	+	+	+
15	54	-	+	+	+	-	-
86	55	+	-	+	-	+	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงาน ตัวอย่าง	ลำดับการ ทดลอง	V	ALV	SV	LS	DN	UP
39	56	-	+	+	-	-	+
59	57	-	+	-	+	+	+
189	58	-	-	+	+	+	+
170	59	+	-	-	+	-	+
25	60	-	-	-	+	+	-
163	61	-	+	-	-	-	+
30	62	+	-	+	+	+	-
66	63	+	-	-	-	-	-
107	64	-	+	-	+	-	+
74	65	+	-	-	-	-	-
119	66	-	+	+	-	+	+
186	67	+	-	-	-	+	+
52	68	+	+	-	-	+	+
24	69	+	+	+	+	-	-
10	70	+	-	-	+	-	-
158	71	+	-	+	+	+	+
141	72	-	-	+	+	-	-
47	73	-	+	+	+	-	+
27	74	-	+	-	+	+	-
92	75	-	-	-	+	+	-
155	76	-	+	-	+	+	-
179	77	-	+	-	-	+	+
29	78	-	-	+	+	+	-
60	79	+	+	-	+	+	+
11	80	-	+	-	+	-	-
165	81	-	-	+	-	-	+
142	82	+	-	+	+	-	-
134	83	+	-	+	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงาน ตัวอย่าง	ลำดับการ ทดลอง	V	ALV	SV	LS	DN	UP
140	84	+	+	-	+	-	-
80	85	+	+	+	+	-	-
183	86	-	+	+	-	+	+
190	87	+	-	+	+	+	+
149	88	-	-	+	-	+	-
137	89	-	-	-	+	-	-
82	90	+	-	-	-	+	-
161	91	-	-	-	-	-	+
105	92	-	-	-	+	-	+
150	93	+	-	+	-	+	-
133	94	-	-	+	-	-	-
94	95	+	-	+	-	+	-
117	96	-	-	+	-	+	-
3	97	-	+	-	-	-	-
177	98	-	-	-	-	+	+
84	99	+	+	-	+	+	-
44	100	+	+	-	+	-	-
7	101	-	+	+	-	-	-
76	102	+	+	-	+	-	-
73	103	-	-	-	+	-	-
185	104	-	-	-	+	+	+
110	105	+	-	+	+	-	+
61	106	-	-	+	+	+	+
175	107	-	+	+	+	-	+
36	108	+	+	-	-	-	+
108	109	+	+	-	+	-	+
57	110	-	-	-	+	+	+
114	111	+	-	-	-	+	+

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงาน ตัวอย่าง	ลำดับการ ทดลอง	V	ALV	SV	LS	DN	UP
182	112	+	-	+	-	+	+
67	113	-	+	-	-	-	-
75	114	-	+	-	+	-	-
122	115	+	-	-	+	+	+
171	116	-	+	-	+	-	+
176	117	+	+	+	+	-	+
145	118	-	-	-	-	+	-
187	119	-	+	-	+	+	+
23	120	-	+	+	-	+	-
18	121	+	+	-	-	+	-
132	122	+	+	-	-	-	-
180	123	+	+	-	-	+	+
9	124	-	-	-	-	-	-
146	125	+	-	-	-	+	-
2	126	+	-	-	-	-	-
68	127	+	+	-	-	-	-
96	128	+	+	+	+	+	-
21	129	-	-	+	-	-	-
162	130	+	-	-	-	-	+
153	131	-	-	-	+	+	-
56	132	+	+	+	-	+	+
79	133	-	+	+	+	-	-
101	134	-	-	+	-	-	+
147	135	-	+	-	-	+	-
169	136	-	-	-	+	-	+
129	137	-	-	-	-	-	-
13	138	-	-	+	+	-	-
28	139	+	+	-	+	+	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงาน ตัวอย่าง	ลำดับการ ทดลอง	V	ALV	SV	LS	DN	UP
16	140	+	+	+	+	-	-
166	141	+	-	+	-	-	+
173	142	-	-	+	+	-	+
164	143	+	+	-	-	-	+
125	144	-	-	+	+	+	+
100	145	+	+	-	-	-	+
191	146	-	+	+	+	+	+
112	147	+	+	+	+	-	+
51	148	-	+	-	-	+	+
48	149	+	+	+	+	-	+
130	150	+	-	-	-	-	-
144	151	+	+	+	-	-	-
35	152	-	-	+	-	+	+
53	153	-	-	+	-	+	+
14	154	+	+	+	+	-	-
192	155	+	+	+	+	+	+
40	156	+	+	+	-	-	+
4	157	+	+	-	-	-	-
118	158	+	-	+	-	+	+
148	159	+	+	+	-	+	-
5	160	-	-	+	-	-	-
20	161	+	+	-	-	+	-
69	162	-	-	+	-	-	-
184	163	+	+	+	-	+	+
49	164	-	-	-	-	+	+
17	165	-	-	-	-	+	-
151	166	-	+	+	-	+	-
93	167	-	-	+	+	+	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงาน ตัวอย่าง	ลำดับการ ทดลอง	V	ALV	SV	LS	DN	UP
152	168	+	+	+	-	+	-
160	169	+	+	+	+	+	-
123	170	-	+	-	+	+	+
102	171	+	-	+	-	-	+
111	172	-	+	+	+	-	+
22	173	+	-	+	-	+	-
65	174	-	-	-	-	-	-
64	175	+	+	+	+	+	+
19	176	-	+	-	-	+	-
87	177	-	+	-	+	+	-
90	178	+	+	-	+	+	-
38	179	+	-	+	-	-	+
113	180	-	-	-	-	+	-
77	181	-	-	+	-	-	-
103	182	+	+	+	-	-	+
172	183	+	+	-	+	-	-
121	184	-	-	-	+	+	-
106	185	+	-	+	+	-	+
31	186	-	+	+	+	+	-
181	187	-	-	+	-	+	+
32	188	+	+	+	+	+	-
6	189	+	-	+	-	-	-
34	190	+	-	-	-	-	+
83	191	-	+	-	-	+	-
1	192	-	-	-	-	-	-

จากตารางที่ 3.3 ตัวอย่างเช่น ลำดับการทดลองที่ 7 สัญลักษณ์บวกและลบจะแทนค่าสูงและค่าต่ำของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง และชิ้นงานตัวอย่างจะเป็นชิ้นงานที่ 127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 การทดลองเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าที่ได้จากการทดลอง

เป็นการทดลองที่ทำหลังจากที่ได้พารามิเตอร์ตอบสนองต่อความหยาบผิวงานแล้วนำค่าที่ได้จากสมการคาดการณ์มาทำการทดลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริงเพื่อหาความผิดพลาดระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าพยากรณ์หรือค่าที่มีผลกระทบต่อความหยาบผิวมากที่สุดที่ได้จากการนำผลการไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab

3.6 ลำดับขั้นตอนการทดลอง

ในกรรมวิธีการสปาร์กของเครื่องอิตีเอ็ม จะต้องมีการวางแผนการทดลองหรือจัดลำดับขั้นตอนของการทดลองเพื่อที่จะทำให้การทดลองเป็นไปตามขั้นตอนที่วางไว้ และในการทดลองก่อนจะทำการทดลองจะต้องนำชิ้นงานไปทำการเจียรระโน เพื่อให้ผิวชิ้นงานมีความเรียบผิวที่เท่ากันทุกจุดแล้วนำชิ้นงานไปจับยึดโดยตัวยึดที่ตั้งไว้ทำการจับชิ้นงานให้แน่นเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน และมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

3.6.1 ขั้นตอนก่อนการทดลอง

1. เตรียมชิ้นงานมาเจียรระโนก่อนการสปาร์กเพื่อให้ผิวชิ้นงานมีความเรียบผิวที่เท่ากันทุกจุด แล้วนำชิ้นงานไปจับยึดโดยตัวยึดที่ตั้งไว้ทำการจับชิ้นงานให้แน่นเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน โดยกรนำหลักกล้าที่ใช้ทำแม่พิมพ์ SKD 11 ที่มีขนาดยาว 60 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร กว้าง 30 มิลลิเมตร มาทำการทดลอง ซึ่งแสดงในรูปที่

3.3



รูปที่ 3.3 ชิ้นงานที่ใช้ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

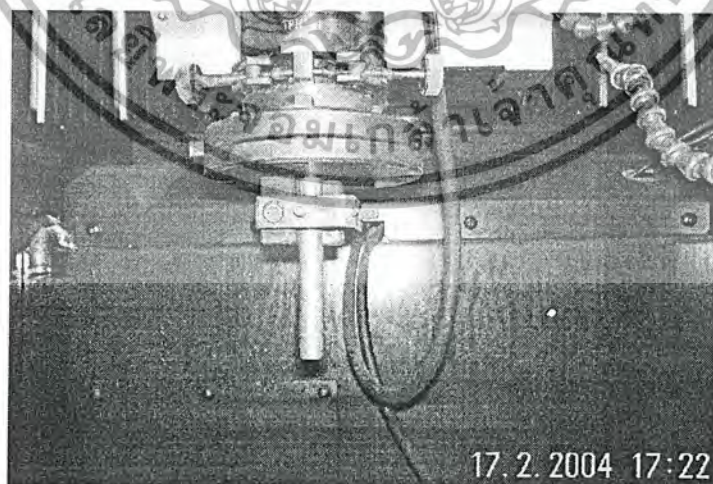


รูปที่ 3.4 อิเล็กโทรดที่ใช้ในการทดลอง

2. เตรียมอิเล็กโทรด โดยการนำแท่งทองแดงทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร ไปทำการกรัดสิ่งปาดหน้าก่อนนำมาทำการทดลองเพื่อให้ผิวหน้าตัดวงกลมเรียบเท่ากันทุกจุด ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.4

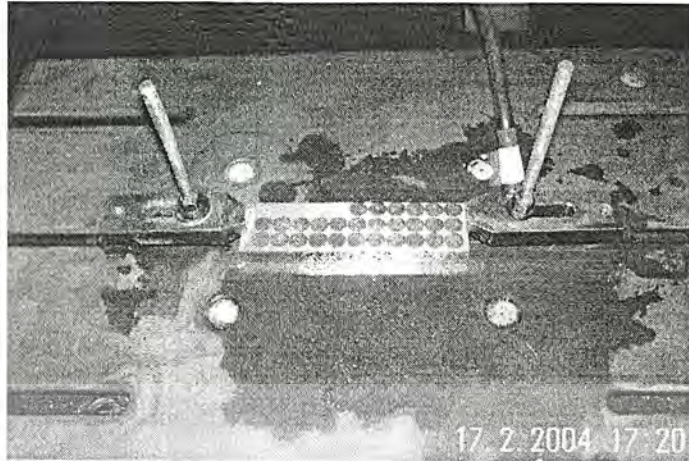
3.6.2 ขั้นตอนระหว่างการทดลอง

1. จับขั้วอิเล็กโทรดทองแดงทรงกลมเข้ากับเพลาหัวจับของเครื่องอิตีเอ็ม โดยทำการขันหัวจับให้แน่นพอทำการจับขั้วอิเล็กโทรดแน่นแล้วหลังจากนั้นก็ทำการตั้งศูนย์อิเล็กโทรดกับชิ้นงาน โดยการตั้งแกน XYZ ให้ตรงจุดที่จะทำการสปาร์กชิ้นงาน หลังจากนั้นทำการตรวจเช็คโปรแกรมที่จะทำการสปาร์กชิ้นงานพอตรวจสอบขั้นตอนต่างๆ เสร็จแล้วก็ทำการเดินเครื่องจากโปรแกรมที่ได้ตั้งค่าไว้ ซึ่งแสดงวิธีการจับอิเล็กโทรดดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การจับอิเล็กโทรดกับหัวจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การจับยึดชิ้นงานทดลอง

2. จับยึดชิ้นงานบนแท่นของเครื่องอัดรีดตรงกึ่งกลางของอ่างบรรจุสาร ไดอิเล็กทริกพร้อมยึดชิ้นงานให้แน่นไม่ให้เคลื่อนที่ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.6
3. ปลอ่ยสาร ไดอิเล็กทริกให้เข้าสู่อ่างบรรจุ ให้ระดับของสาร ไดอิเล็กทริกมีระดับที่สูงกว่าผิวหน้าของชิ้นงาน
4. ปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆตามแผนการทดลองที่ได้ออกแบบไว้
5. ดำเนินการทดลองให้เครื่องจักรทำการสปาร์กชิ้นงานลงลึกไป 0.15 มิลลิเมตร
6. ภายหลังอิเล็กโทรดทำการสปาร์กชิ้นงานลงลึกไป 0.15 มิลลิเมตร เครื่องจะหยุดการทำงานเพราะ โปรแกรมที่ได้ทำการตั้งไว้
7. ปลอ่ยระบบยาสาร ไดอิเล็กทริกตั้งตู้ตั้งเก็บ โดยเครื่องจะทำงานอัตโนมัติเพราะ โปรแกรมที่ได้ทำการตั้งไว้
8. ถอดอิเล็กโทรดออกจากเพลานหัวจับของเครื่องอัดรีดและชิ้นงานออก
9. ทำความสะอาดชิ้นงาน
10. นำชิ้นงานและอิเล็กโทรดชุดใหม่มาทำการติดตั้งและทำการทดลองต่อไป
11. ทำการทดลองจนครบแผนการทดลอง และเปลี่ยนชุดการทดลองใหม่

3.6.3 ขั้นตอนหลังการทดลอง

ในส่วนของขั้นตอนหลังการทดลองนั้น จะทำการตรวจสอบและตรวจเช็คชิ้นงานที่สปาร์กเสร็จแล้ว โดยชิ้นงานที่ทำการสปาร์กเสร็จแล้วจะมีคราบน้ำมันและเศษผงที่เกิดจากการสปาร์กเข้ามาที่เกิดจากการสปาร์ก มาทำการทำความสะอาดชิ้นงานโดยการเป่าลม แล้วจึงนำชิ้นงานไปทำการวัดค่าความหยาบผิวจากเครื่องวัดความหยาบผิว โดยจะแบ่งเป็น 2 ข้อย่อยดังนี้

1. ชิ้นงานที่ทำการสปาร์กเสร็จแล้วจะมีคราบน้ำมันและเศษผงที่เกิดจากการสปาร์ก เข้ามาที่เกิดจากการสปาร์ก โดยการนำชิ้นงานที่สปาร์กเสร็จแล้วไปทำการเป่าด้วยลมเพื่อให้คราบน้ำมัน เศษผงและเขม่าที่ติดอยู่ออกจากชิ้นงาน พอใช้ลมเป่าเสร็จแล้วหลังจากนั้นทำการ ใช้แปรงขัดเพื่อให้ผิวของชิ้นงานสปาร์กสะอาด นำชิ้นงานวัดค่าความหยาบผิวชิ้นงาน Ra (μm) ด้วยเครื่องวัดความหยาบผิว โดยนำค่าที่ได้บันทึกไว้แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วย โปรแกรม Minitab 13 for Windows (ฉบับ Demo), Stat Graphics Plus 2.1 และ Microsoft Excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิเคราะห์ค่าที่ได้จากการวัดของเครื่องวัดความหยาบผิวที่ได้จากการทดลองและประเมินผลการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab 13 for Windows (ฉบับ Demo), Stat Graphics Plus 2.1 และ Microsoft Excel



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในการดำเนินการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ ทำโดยกำหนดพารามิเตอร์ที่แปรค่า 13 พารามิเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 เพื่อทำการศึกษาค่าความหยาบผิวของชิ้นงานจากการขึ้นรูปด้วยเครื่องอดีเอ็ม โดยทำการทดลองตามแผนการทดลองที่ออกแบบไว้ในบทที่ 3

การทดลองด้วยกรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยเครื่องอดีเอ็ม ทำเพื่อขึ้นรูปชิ้นงานให้มีรูบนชิ้นงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ลึก 0.15 มิลลิเมตร จำนวนครั้งสำหรับการทำการทดลองซ้ำเป็น 3 ครั้งขึ้นตอนหลัก ๆ โดย ชั้นแรกเป็นการกรองหาพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความหยาบผิวงาน 6 อันดับแรกที่มีค่าความหยาบผิวมากที่สุด ชั้นที่สองเป็นชั้นวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความหยาบผิวงานแล้วนำข้อมูลเหล่านี้มาประมวลหาตัวแปรตอบสนอง ชั้นสุดท้ายเป็นการทดลองเปรียบเทียบกับค่าที่พหุกรรม ได้จากสมการถดถอยเชิงซ้อน เทียบตามลำดับของการทดลอง

4.1 ผลการทดลองชั้นกรองพารามิเตอร์

การทดลองในขั้นนี้จะทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ไว้ที่ค่าที่กำหนด ในตารางที่ 3.1 แล้วทำการเปลี่ยนค่าในแต่ละพารามิเตอร์ซึ่งในแต่ละค่า และ ค่าสูงจะทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เมื่อทดลองที่พารามิเตอร์ใดเสร็จแล้วก็จะทำการตั้งค่าพารามิเตอร์นั้นไว้ที่ค่าที่กำหนดเหมือนเดิมแล้วเริ่มต้นที่พารามิเตอร์ใหม่

ตารางที่ 4.1 ค่าความหยาบผิวงานจากการทดลองชั้นกรงพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	ค่าความหยาบผิว (μm)					
	ค่าต่ำ			ค่าสูง		
Electric Discharge Time (μsec)	5.18	5.42	5.30	5.50	5.42	5.68
Electric Discharge Peak Current (A)	5.95	6.88	6.41	6.58	6.78	6.45
Servo Voltage (V)	4.79	4.68	4.92	5.78	5.70	5.49
Servo Speed	5.86	5.72	6.18	6.17	5.95	5.69
Main Supply Voltage (DC V)	2.54	2.65	2.51	5.51	5.69	5.12
PIKADEN pulse (V)	5.18	5.19	4.96	4.96	4.93	4.92
Capacitor (μF)	5.03	5.28	5.21	5.22	5.13	5.12
Arc Detection Level	5.08	5.04	4.98	6.33	6.15	6.30
Loran Speed and Direction	5.52	5.25	5.74	4.80	4.94	5.21
Jump-up Time (Sec)	5.05	4.98	5.06	5.35	5.55	5.46
Jump-down Machining Time (Sec)	4.99	4.83	4.98	5.27	5.48	5.36
Electrode Diameter (mm)	4.94	5.09	5.04	5.22	5.54	5.35
Auxiliary Power Supply Circuit Control	5.43	5.29	5.08	5.50	5.70	5.28

ผลการทดลองในตารางที่ 4.1 ค่าที่ได้เน้นเป็นค่าความหยาบผิวมีหน่วยเป็น μm โดยแยกผลการทดลองออกเป็น 2 ค่าคือค่าต่ำและค่าสูง ซึ่งในแต่ละค่าต่ำ ค่าสูงจะมีผลการทดลอง 3 ครั้ง สาเหตุที่ต้องทำการทดลองซ้ำในแต่ละระดับของแต่ละพารามิเตอร์ ก็เพื่อที่จะป้องกันการเกิดความผิดพลาดอันเนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น ความผิดพลาดเนื่องจากเครื่องวัดความหยาบผิว จึงมีการทำซ้ำเพื่อที่จะให้ได้ข้อมูลที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งบางพารามิเตอร์อาจทำซ้ำมากกว่า 3 ครั้ง แต่จะนำเอาข้อมูลที่ใกล้เคียงกันมาไว้คำนวณต่อไป

ตารางที่ 4.2 ค่าผลต่างและระดับผลต่างการทดลองชั้นกรงพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (μm)			ผลต่างของค่าความหยาบผิว
	ค่าต่ำ	ค่าสูง	ผลต่าง	
Electric Discharge Time (μsec)	5.30	5.53	0.23	8
Electric Discharge Peak Current (A)	6.41	6.60	0.19	10
Servo Voltage (V)	4.80	5.66	0.86	3
Servo Speed	5.92	5.94	0.02	13
Main Supply Voltage (DC V)	2.57	5.44	2.87	1
PIKADEN pulse (V)	5.11	4.94	0.17	11
Capacitor (μF)	5.17	5.16	0.02	12
Arc Detection Level	5.03	6.26	1.23	2
Loran Speed and Direction	5.50	4.98	0.52	4
Jump-up Time (Sec)	5.03	5.45	0.42	6
Jump-down Machining Time (Sec)	4.93	5.37	0.44	5
Electrode Diameter (mm.)	5.02	5.37	0.35	7
Auxiliary Power Supply Circuit Control	5.27	5.49	0.23	9

ผลการทดลองในตารางที่ 4.2 ค่าที่ได้นั้นเป็นค่าความหยาบผิวเฉลี่ยมีหน่วยเป็น μm โดยจะนำเอาค่าความหยาบผิวในแต่ละระดับของแต่ละค่าต่ำและค่าสูงของพารามิเตอร์นั้นมาเฉลี่ยออก แล้วนำมาลบออกเพื่อหาผลต่างของความหยาบผิวซึ่งบันทึกค่าไว้ในคอลัมน์ค่าเฉลี่ยสุดในตารางที่ 4.2 และนำเอา 6 อันดับแรกที่มีผลต่างของความหยาบผิวมากที่สุดนำไปออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลในการทดลองขั้นต่อไป

4.2 ผลการทดลองหาตัวแปรตอบสนองต่อค่าความหยาบผิว

เมื่อได้พารามิเตอร์ที่มีผลต่างของความหยาบผิวมากที่สุด 6 ตัวได้แก่ Main Supply Voltage, Arc Detection Level, Servo Voltage, Loran Speed and Direction, Jump - down Machining Time, Jump - up Time แล้วก็นำเอาพารามิเตอร์เหล่านี้ไปทำการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2^6 และทำซ้ำในแต่ละ Combination อีก 3 ครั้งจำนวนการทดลองทั้งหมดจึงมี $2^6 * 3 = 192$ ครั้ง ของการทดลองดังแสดงตารางที่ 4.4 และในแต่ละ Combination ได้ตั้งค่าของแต่ละพารามิเตอร์สำหรับการทดลองไว้ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งเป็น Condition ของ 6 พารามิเตอร์ที่มีความสำคัญต่อความหยาบผิวมากที่สุด

ตารางที่ 4.3 ค่าต่ำ ค่าสูง ของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองหาตัวแปรตอบสนอง

พารามิเตอร์	ค่าต่ำ	ค่าสูง
Main Supply Voltage : V (DC V)	90	120
Arc Detection Level : ALV	0020	0025
Servo Voltage : SV (V)	30	40
Loran Speed and Direction : LS	01	00
Jump-down Machining Time : DN (sec)	70	80
Jump-up Time : UP (sec)	10	15

เมื่อได้พารามิเตอร์มาแล้วก็ทำการออกแบบเป็นดังตารางที่ 4.4 เครื่องหมายลบ และบวกหมายถึงค่าต่ำและค่าสูงตามลำดับที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 เมื่อทำการทดลองเสร็จในแต่ละ Combination ก็จะทำการวัดค่าความหยาบผิว μm และก็ทำการบันทึกค่าที่ได้ไว้ในคอลัมน์ขวาสุดในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองตามลำดับการทดลองเพื่อหาพารามิเตอร์ตอบสนอง

ลำดับการทดลอง	V	ALV	SV	LS	DN	UP	ค่าความหยาบผิว (μm)
1	+	-	-	-	-	+	5.50
2	-	+	+	+	+	-	2.76
3	-	+	+	+	+	-	2.64
4	-	+	-	-	-	-	3.51
5	-	+	-	+	+	-	3.04
6	+	-	+	+	+	+	4.39
7	-	+	+	+	+	+	2.81
8	+	+	+	-	-	-	4.95
9	-	-	-	-	-	+	2.53
10	-	+	+	-	-	-	2.83
11	-	-	-	+	-	+	2.77
12	+	+	-	-	+	+	5.25
13	-	+	-	+	-	-	3.07
14	-	-	+	+	+	-	2.64
15	+	-	-	+	-	-	4.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับการทดลอง	V	ALV	SV	LS	DN	UP	ค่าความหยาบผิว (μm)
16	+	-	-	-	+	+	4.86
17	-	-	-	-	-	+	2.71
18	+	+	+	-	+	-	5.13
19	+	-	+	+	-	+	5.03
20	+	+	+	-	-	+	5.37
21	+	+	+	+	+	+	4.80
22	+	-	+	-	+	+	5.93
23	+	+	+	-	+	+	5.45
24	-	+	-	-	-	+	2.31
25	-	+	+	+	-	+	5.14
26	+	-	-	-	+	-	4.61
27	+	-	+	-	-	-	5.38
28	-	+	-	+	-	-	5.24
29	+	+	-	+	+	-	4.22
30	-	+	+	+	-	-	2.62
31	+	+	+	-	-	-	4.57
32	-	-	+	-	+	+	2.58
33	+	-	+	+	+	+	5.79
34	+	+	+	-	-	-	5.52
35	+	-	-	+	+	-	5.63
36	-	-	-	-	+	-	2.70
37	-	+	+	-	+	+	3.31
38	-	+	+	-	-	-	2.58
39	-	+	-	+	-	+	2.68
40	+	-	+	-	-	-	5.74
41	+	-	+	+	+	+	5.85
42	+	-	-	+	-	+	4.19
43	+	-	-	+	+	+	4.60
44	-	-	+	+	-	+	2.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับการทดสอบ	V	ALV	SV	LS	DN	UP	ค่าความหยาบผิว (μm)
45	-	-	+	+	-	+	2.63
46	-	+	-	-	+	+	2.98
47	+	+	-	+	+	+	5.61
48	-	-	-	-	+	-	2.55
49	+	+	+	-	-	+	5.48
50	+	-	+	+	-	+	5.18
51	-	-	+	-	-	+	2.74
52	-	+	+	+	+	+	2.91
53	+	+	-	+	+	+	5.24
54	-	+	+	+	-	-	2.38
55	+	-	+	-	+	-	5.05
56	-	+	+	-	-	+	2.42
57	+	+	-	+	+	+	2.81
58	-	-	+	+	+	+	2.70
59	+	-	-	+	-	+	5.29
60	-	-	+	+	+	-	3.19
61	+	+	-	-	-	+	2.52
62	+	-	+	+	+	-	5.55
63	+	-	-	-	-	-	5.71
64	-	+	-	+	-	+	2.95
65	+	-	-	-	-	-	5.16
66	-	+	+	-	+	+	3.10
67	+	-	-	+	+	+	5.32
68	+	+	-	-	+	+	5.37
69	+	+	+	-	+	-	5.21
70	+	-	-	+	-	-	5.60
71	+	-	+	+	+	-	5.94
72	-	-	+	+	-	-	2.85
73	-	+	+	+	-	+	2.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับการทดลอง	V	ALV	SV	LS	DN	UP	ค่าความหยาบผิว (µm)
74	-	+	-	+	+	-	3.10
75	+	+	-	+	+	-	5.24
76	-	+	-	+	+	-	2.69
77	-	+	-	-	+	+	2.86
78	-	-	+	+	+	-	2.56
79	+	+	-	+	+	+	5.24
80	-	+	-	+	-	-	2.76
81	-	-	+	-	-	+	3.00
82	+	-	+	+	-	-	5.63
83	+	-	-	-	-	-	5.72
84	+	+	+	+	-	-	5.76
85	+	+	+	+	-	-	5.41
86	+	+	+	+	+	+	3.06
87	+	-	+	+	+	+	5.11
88	-	-	+	+	-	-	2.41
89	-	-	-	+	-	-	2.72
90	+	-	-	-	+	+	5.79
91	-	-	-	-	+	+	2.56
92	-	-	-	+	-	+	2.25
93	+	-	+	-	+	-	5.59
94	-	-	+	-	-	-	2.61
95	+	-	+	+	+	-	5.13
96	-	-	+	-	+	+	2.75
97	-	+	-	-	-	-	2.91
98	-	-	-	-	+	+	2.23
99	+	+	-	-	+	-	5.39
100	+	+	-	+	-	+	5.85
101	-	+	+	-	-	-	2.26
102	+	+	-	+	-	-	5.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับการทดลอง	V	ALV	SV	LS	DN	UP	ค่าความหยาบผิว (µm)
103	-	-	-	+	-	-	2.27
104	-	-	-	+	+	+	2.77
105	+	-	+	+	-	+	5.22
106	-	-	+	+	+	+	2.90
107	-	+	+	+	-	+	3.10
108	+	+	-	-	-	+	4.93
109	+	+	-	+	-	+	5.42
110	-	-	-	+	+	+	2.33
111	+	-	-	-	+	+	5.75
112	+	-	+	+	+	+	5.93
113	-	+	-	-	-	-	3.07
114	-	+	-	+	-	-	2.55
115	-	+	-	+	+	+	5.67
116	-	+	-	+	-	+	2.52
117	+	+	+	+	-	+	5.01
118	-	-	-	+	+	-	2.77
119	-	+	+	+	+	+	2.69
120	-	+	+	-	+	-	2.76
121	+	-	-	-	+	-	5.45
122	+	+	-	-	-	-	5.21
123	+	+	+	+	+	+	5.51
124	-	-	-	+	-	-	2.88
125	+	-	-	-	+	-	5.78
126	+	-	-	-	-	-	5.92
127	+	+	-	-	-	-	5.46
128	+	+	+	+	+	-	5.42
129	-	-	+	-	+	-	2.17
130	+	-	-	-	-	+	5.39
131	-	-	-	+	+	-	2.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับการทดลอง	V	ALV	SV	LS	DN	UP	ค่าความหยาบผิว (μm)
132	+	+	+	-	+	+	5.23
133	-	+	+	+	-	-	2.94
134	-	-	+	-	-	+	2.66
135	-	+	-	-	+	-	3.08
136	-	-	-	+	-	+	2.89
137	-	-	-	-	-	-	2.62
138	-	-	+	+	-	-	3.13
139	+	+	-	+	+	-	5.70
140	+	+	+	+	-	-	5.62
141	+	-	+	-	-	+	5.40
142	-	-	+	+	-	+	2.00
143	+	+	-	-	-	+	5.48
144	-	-	+	+	+	+	2.20
145	+	+	-	-	-	+	5.54
146	-	+	+	+	+	+	2.63
147	+	+	+	+	+	+	5.68
148	-	+	-	-	+	+	2.45
149	+	+	+	+	-	+	5.93
150	+	-	-	-	-	-	5.53
151	+	+	+	+	-	-	5.22
152	-	+	-	-	-	+	2.89
153	-	-	+	-	+	+	2.81
154	+	-	+	+	-	-	5.33
155	+	+	+	+	+	+	6.09
156	+	+	+	-	-	+	5.22
157	+	+	-	-	-	-	5.24
158	+	-	+	-	+	+	5.15
159	+	+	-	-	+	-	5.24
160	-	-	+	-	-	-	2.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับการทดลอง	V	ALV	SV	LS	DN	UP	ค่าความหยาบผิว (μm)
161	+	+	-	-	+	-	5.36
162	-	-	+	-	-	-	2.30
163	+	+	+	-	+	+	4.85
164	-	-	-	-	+	+	2.31
165	-	-	-	-	+	-	3.03
166	-	+	+	-	+	-	2.81
167	-	-	+	+	+	-	3.09
168	+	+	+	-	+	-	5.69
169	+	+	+	+	+	-	5.70
170	-	+	-	+	+	+	2.81
171	+	+	+	-	-	+	5.29
172	+	+	+	+	+	+	2.63
173	+	-	+	-	+	-	4.80
174	+	-	-	-	-	+	2.75
175	+	+	+	+	+	+	5.17
176	-	+	-	-	+	-	3.13
177	+	+	+	-	+	-	2.56
178	+	-	-	+	+	-	5.16
179	+	-	+	-	-	+	5.35
180	-	-	-	-	+	+	2.79
181	-	-	+	+	-	-	2.84
182	-	+	+	-	-	+	3.07
183	+	+	-	+	-	+	5.37
184	-	-	-	+	+	+	2.90
185	+	-	-	+	-	+	5.38
186	-	+	+	+	+	-	3.36
187	-	-	+	-	+	+	3.05
188	+	+	+	+	+	-	5.02
189	+	-	+	-	-	-	5.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับการทดลอง	V	ALV	SV	LS	DN	UP	ค่าความหยาบผิว (μm)
190	+	-	-	-	-	+	5.25
191	-	+	-	-	+	-	2.92
192	-	-	-	-	-	-	2.60

4.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบการทดลอง

การวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นโดยอาศัยการแยกความแปรปรวนที่เกิดขึ้นทั้งหมดออกเป็นความแปรปรวนย่อยเพื่อการตัดสินใจที่เรียกว่าการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และจะได้นำเอาพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลไปสร้างสมการคาดการณ์ค่าตัวแปรตอบสนอง หรือรูปแบบการจำลองทางคณิตศาสตร์ต่อไป เริ่มต้นจากการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลก่อนว่าได้เก็บมาจากสถานะควบคุมหรือไม่ ด้วยการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบการทดลอง แล้วจึงตรวจสอบรูปแบบการทดลองด้วย R - Square ซึ่งจะอธิบายต่อไปในหัวข้อ 4.2.6 แล้วจึงวิเคราะห์ ANOVA หรือตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลผ่านการวิเคราะห์ค่าเศษเหลือ (Residual Analysis) โดยค่าเศษเหลือหมายถึงค่าเบี่ยงเบนของข้อมูลจากค่าคาดหวังหรือค่าที่ควรจะเป็น ดังนั้นค่าเศษเหลือจึงเป็นตัวสะท้อนถึงความผันแปรของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยจะต้องพิจารณาว่าข้อมูลที่ได้มามีความอิสระต่อกัน (Independent) อันเนื่องมาจากความสุ่ม (Randomization) หรือไม่ จะตรวจสอบความสุ่มของค่าเศษเหลือของข้อมูลโดยนำค่าเศษเหลือ พล็อตเทียบกับลำดับที่ของการทดลอง ในการทดลองซ้ำนั้นข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ จะตรวจสอบการกระจายตัวแบบสุ่มปกติโดยนำค่าเศษเหลือของข้อมูลมาพล็อตลงบนกราฟทดสอบการแจกแจงปกติ และความแปรปรวนที่เกิดจากสาเหตุที่ควบคุมไม่ได้ภายใต้แต่ละเงื่อนไขการทดลองมีค่าคงที่หรือไม่ (Variance Stability) ซึ่งการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลนั้นต้องอาศัยการวิเคราะห์ผ่านกราฟต่างๆ ที่ได้จากการใช้โปรแกรม Minitab 13 for Windows (ฉบับ Demo), Stat Graphics Plus 2.1, Microsoft Excel ซึ่งใช้ในการประกอบการวิเคราะห์ดังนี้

4.2.2 การพิจารณากราฟค่าเศษเหลือของข้อมูลพล็อตกับอันดับที่ทดลอง

เพื่อพิจารณาว่าข้อมูลมีลักษณะสุ่มอยู่ภายในหรือไม่ โดยที่กราฟจะมีความหมายต่อเมื่อมีการป้อนข้อมูลตามลำดับของการทดลองมีละนั้นจะไม่สามารถตีความหมายลักษณะสุ่มได้และเมื่อข้อมูลแสดงลักษณะไม่สุ่มจะต้องค้นหาสาเหตุแล้วดำเนินการแก้ไขก่อน มิฉะนั้นจะต้องแก้ไขการปรับตั้งของระดับก่อน

4.2.3 การพิจารณารูปแบบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล

ข้อมูลที่มีความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติ (Common Cause) นอกจากมีลักษณะสุ่มแล้ว จะมีลักษณะการกระจายอย่างสมมาตรรอบค่าปรับตั้งค่าหนึ่ง ซึ่งเรียกการกระจายตัวอย่างสมมาตรว่า การกระจายตัวแบบปกติ (Normal Shape) ถ้าหากข้อมูลมิได้มีรูปแบบปกติแล้วจะทำให้วิเคราะห์ข้อมูลไม่ได้ ดังนั้นถ้าหากข้อมูลมิได้เป็นตัวแปรสุ่มปกติแล้วแสดงว่าได้มาจากกระบวนการที่มีได้กำหนดเป็นมาตรฐาน จึงจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุเพื่อการแก้ไขก่อนการวิเคราะห์ สำหรับการพิจารณาการกระจายตัวแบบสุ่มปกติทำได้โดยนำค่าเศษเหลือของข้อมูล พล็อตลงบนกราฟทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Paper, NOPP) หรือตีความหมายจากฮิสโตแกรม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Histogram) หากกราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรงหรือประมาณเกือบเป็นเส้นตรง แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือข้อมูลที่มีมากกว่า 30 ข้อมูลหากพบว่าฮิสโตแกรมเป็นรูปประฆังคว่ำแบบสมมาตร แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

4.2.4 การพิจารณาความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

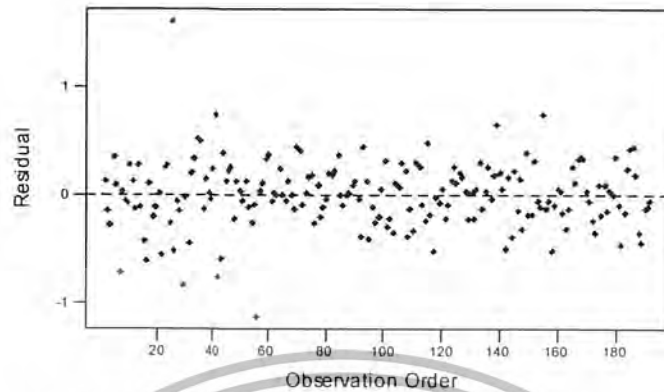
ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนหมายความว่า ข้อมูลจะต้องได้รับการเก็บมาจากกระบวนการที่ได้มีการจัดทำเป็นมาตรฐาน จึงจะทำให้ความแตกต่างของข้อมูลเกิดมาจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Chance Cause) ในระบบการเก็บรวบรวมข้อมูลเท่านั้น ดังนั้นหากข้อมูลมีค่าความแปรปรวนที่ไม่เสถียรภาพแล้ว แสดงว่าข้อมูลเกิดจากสาเหตุที่ควบคุมได้แต่ไม่ได้รับการควบคุม (Assignable Cause) การพิจารณาว่าค่าความแปรปรวนของพารามิเตอร์ที่ควบคุมไม่ได้ระหว่างการทดลองว่ามีเสถียรภาพหรือไม่ ทำได้โดยนำค่าเศษเหลือของข้อมูลไปพล็อตเทียบกับระดับ (Treatment) ของแต่ละพารามิเตอร์ หากแต่ละพารามิเตอร์มีค่าความแปรปรวนคงที่ กราฟจะไม่มีรูปแบบปรากฏให้เห็น และไม่มีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์รวมทั้งข้อมูลด้วย แต่หากค่าเศษเหลือเพิ่มขึ้นขณะที่ข้อมูลมีค่าเพิ่มขึ้น กราฟมีการกระจายของข้อมูลมาก แสดงว่าพารามิเตอร์นั้น ๆ มีค่าความแปรปรวนมาก

4.2.5 กราฟแสดงการตรวจความถูกต้องของตัวแบบของข้อมูล

การตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบของข้อมูล ที่ทำด้วยวิธีที่ตีความหมายง่ายที่สุด คือตีความหมายผ่านรูปภาพหรือกราฟต่าง ๆ ดังนี้ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษเหลือ (Residual) กับลำดับที่ (Observation Order) ของการทดลองจากตารางที่ 4.4 จะแสดงในรูปที่ 4.1 ส่วนกราฟทดสอบการแจกแจงแบบปกติโดยใช้กระดาษการแจกแจงแบบปกติ แสดงในรูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษเหลือ (Residual) กับระดับของพารามิเตอร์จะแสดงในรูปที่ 4.3 ถึงรูปที่ 4.8 สำหรับความหยาบผิวงานที่ระดับของพารามิเตอร์แต่ละตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

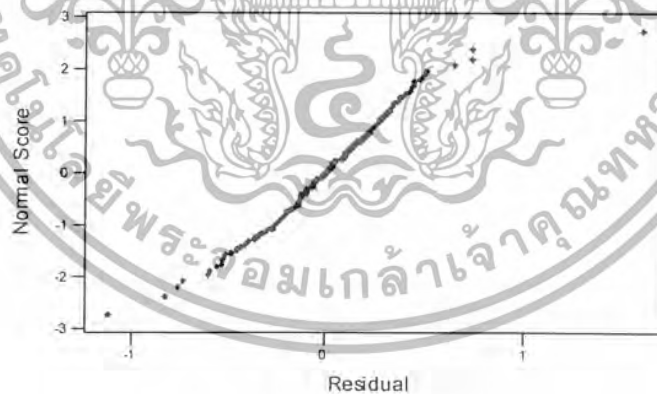
Residuals Versus the Order of the Data
(response is Surface Roughness)



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษเหลือของค่าความหยาบผิวงานกับลำดับการทดลอง

จากแผนภาพการกระจายในรูปที่ 4.1 จะพบว่าค่าเศษเหลือของความหยาบผิวงานมีรูปแบบที่ไม่แน่นอนหรือการกระจายตัวของค่าเศษเหลือที่ได้จากการทดลองมีลักษณะแบบสุ่มกระจาย แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน หรือกล่าวได้ว่าค่าเศษเหลือของความหยาบผิวงานเกิดขึ้นอย่างสุ่มเมื่อเทียบกับลำดับการทดลอง

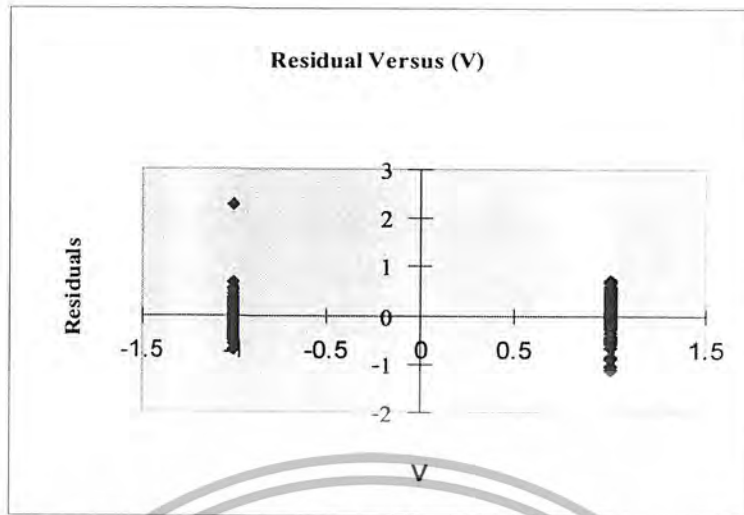
Normal Probability Plot of the Residuals
(response is Surface Roughness)



รูปที่ 4.2 Normal Probability Plot สำหรับค่าเศษเหลือของค่าความหยาบผิวงาน

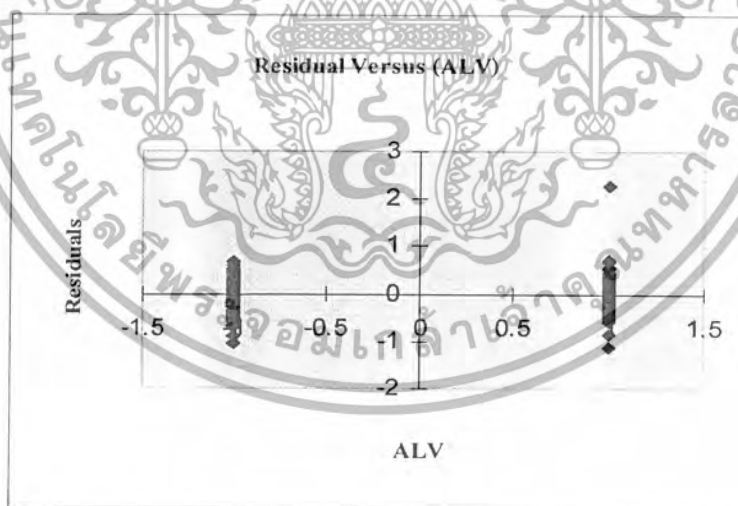
จากกราฟในรูปที่ 4.2 จะพบว่าค่าเศษเหลือของความหยาบผิวงานเมื่อพล็อตลงบน NOPP แล้วจะมีลักษณะประมาณเกือบจะเป็นเส้นตรง แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีลักษณะการกระจายเป็นแบบปกติ หรือกล่าวได้ว่าข้อมูลของผลลัพธ์หรือตัวแปรตอบสนองสำหรับค่าเศษเหลือของค่าความหยาบผิวงาน มีการกระจายแบบปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของค่าเศษเหลือของความหยาบผิวกับ Main Supply Voltage (V)

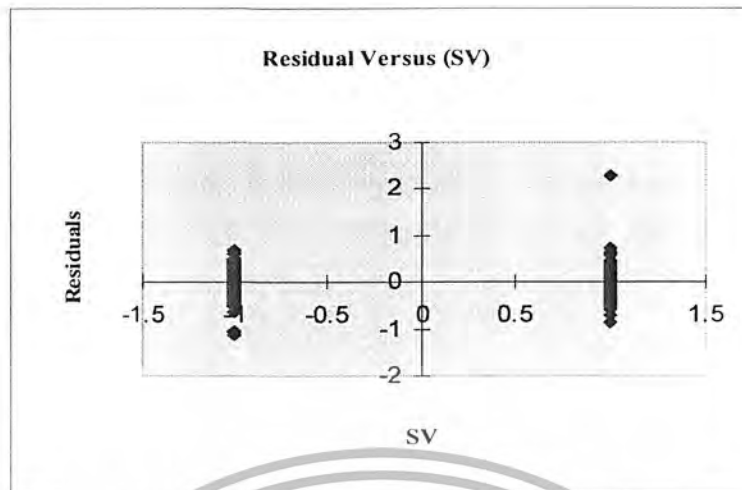
จากกราฟในรูปที่ 4.3 จะพบว่าค่าเศษเหลือของความหยาบผิวงาน เมื่อพล็อตเทียบกับ Main Supply Voltage โดยลำดับ กราฟไม่แสดงลักษณะการกระจายตัวเข้าและออก แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองไม่มีความแตกต่างของความแปรปรวน หรือกล่าวได้ว่าเมื่อทำการเปลี่ยนค่าในการทดลอง จากค่าต่ำไปค่าสูงทำให้ได้ค่าความหยาบผิวไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของค่าเศษเหลือของความหยาบผิวกับ Arc Detection Level (ALV)

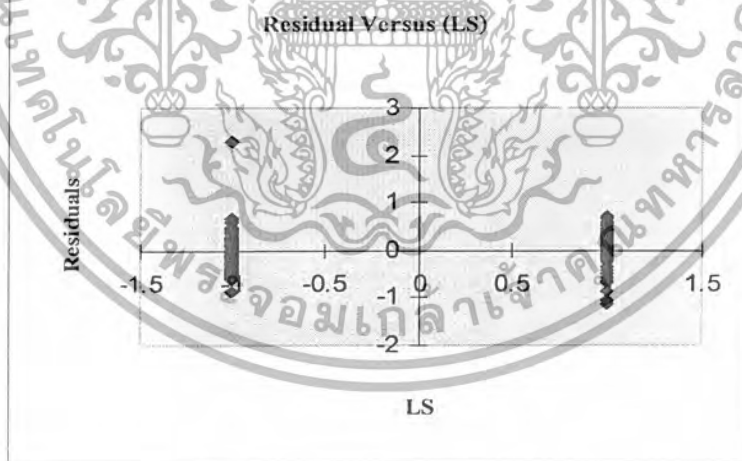
จากกราฟในรูปที่ 4.4 จะพบว่าค่าเศษเหลือของความหยาบผิวงาน เมื่อพล็อตกับ Arc Detection Level โดยลำดับ กราฟไม่แสดงลักษณะการกระจายตัวเข้าและออก แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองไม่มีความแตกต่างของความแปรปรวน หรือกล่าวได้ว่าเมื่อทำการเปลี่ยนค่าในการทดลอง จากค่าต่ำไปค่าสูงทำให้ได้ค่าความหยาบผิวไม่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของค่าเศษเหลือของความหยาบผิวกับ Servo Voltage (SV)

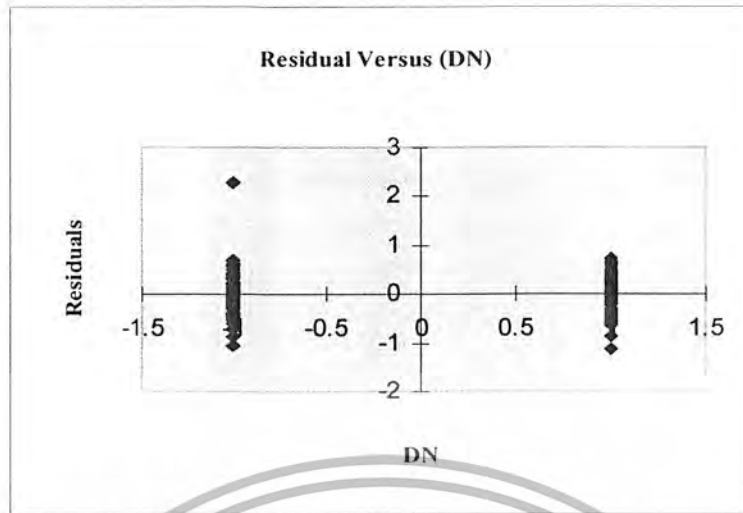
จากกราฟในรูปที่ 4.5 จะพบว่าค่าเศษเหลือของความหยาบผิวงาน เมื่อพล็อตกับ Servo Voltage โดยลำดับ กราฟไม่แสดงลักษณะการกระจายตัวเข้าและออก แสดงว่าข้อมูลที่ได้อาจการทดลองไม่มีความแตกต่างของความแปรปรวน หรือกล่าวได้ว่าเมื่อทำการเปลี่ยนค่าในการทดลอง จากค่าต่ำไปค่าสูงทำให้ได้ค่าความหยาบผิวไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของค่าเศษเหลือของความหยาบผิวกับ Loran Speed and Direction (LS)

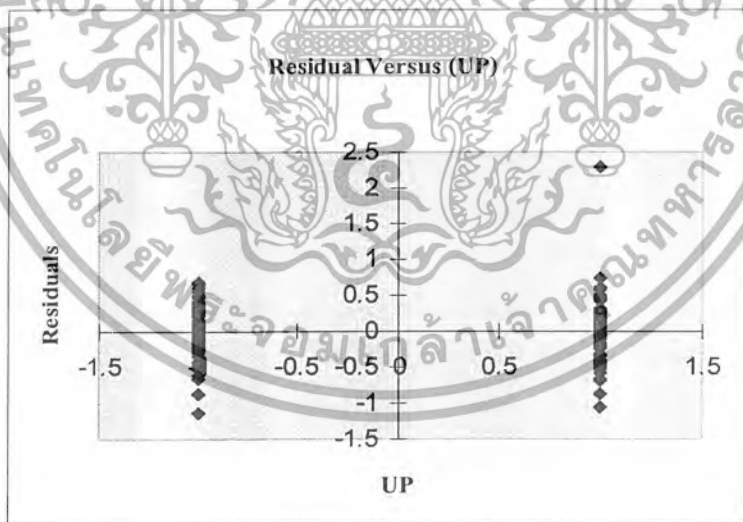
จากกราฟในรูปที่ 4.6 จะพบว่าค่าเศษเหลือของความหยาบผิวงาน เมื่อพล็อตกับ Loran Speed and Direction กราฟไม่แสดงลักษณะการกระจายตัวเข้าและออก แสดงว่าข้อมูลที่ได้อาจการทดลองไม่มีความแตกต่างของความแปรปรวน หรือกล่าวได้ว่าเมื่อทำการเปลี่ยนค่าในการทดลอง จากค่าต่ำไปค่าสูงทำให้ได้ค่าความหยาบผิวไม่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของค่าเศษเหลือของความหยาบผิวกับ Jump-down Machining Time (DN)

จากกราฟในรูปที่ 4.7 จะพบว่าค่าเศษเหลือของความหยาบผิวงาน เมื่อพล็อตกับ Jump - down Machining Time โดยลำดับ กราฟไม่แสดงลักษณะการกระจายตัวเข้าและออก แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองไม่มีความแตกต่างของความแปรปรวน หรือกล่าวได้ว่าเมื่อทำการเปลี่ยนค่าในการทดลอง จากค่าต่ำไปค่าสูงทำให้ได้ค่าความหยาบผิวไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของค่าเศษเหลือของความหยาบผิวกับ Jump-up Time (UP)

จากกราฟในรูปที่ 4.8 จะพบว่าค่าเศษเหลือของความหยาบผิวงาน เมื่อพล็อตกับ Jump - up Time โดยลำดับ กราฟไม่แสดงลักษณะการกระจายตัวเข้าและออก แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองไม่มีความแตกต่างของความแปรปรวน หรือกล่าวได้ว่าเมื่อทำการเปลี่ยนค่าในการทดลอง จากค่าต่ำไปค่าสูงทำให้ได้ค่าความหยาบผิวไม่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 สัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ

หลังการวิเคราะห์ความถูกต้องของตัวแบบและแสดงผลแล้วว่าข้อมูลได้รับการเก็บรวบรวมในสถานะควบคุมตามแผนการทดลองแล้ว ทำการวิเคราะห์ R^2 ซึ่งเกิดจากความผันแปรทั้งหมดของข้อมูลว่าเกิดความผันแปรจากทรีตเมนต์เท่าใด โดยอาศัยการพิจารณาถึงสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) ซึ่งนิยามได้จาก

$$R^2 = \frac{\text{ความผันแปรที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบทดลอง}}{\text{ความผันแปรทั้งหมด}}$$

เมื่อ R^2 แทนสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ โดยค่า R^2 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้า R^2 มีค่าค่อนข้างสูง แสดงว่าความผันแปรในข้อมูลโดยส่วนใหญ่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบทดลอง ส่วนปริมาณที่เหลืออีกเล็กน้อยไม่สามารถอธิบายได้เนื่องมาจากพารามิเตอร์ที่ไม่ได้รับการควบคุม ตารางที่ 4.5 แสดงค่า R^2 สำหรับการทดลองนี้

ตารางที่ 4.5 ค่า R^2 ที่ได้จากการทดลอง

R^2	0.924432
Adjusted R^2	0.921981

จากผลการทดลองพบว่าค่า R^2 ของค่าความหายตัว มีค่า 0.924432 แสดงว่าตัวแบบในการทดลองดีแล้ว ในกรณีที่ R^2 มีค่าต่ำจะต้องกลับไปออกแบบการทดลองใหม่โดยเพิ่มหลักการบล็อก (Blocking) ในการกันแหล่งความผันแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ออกไป

จากการวิเคราะห์ค่าเศษเหลือ และการพิจารณาถึงสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจของข้อมูลพบว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้เป็นตัวแปรสุ่มปกติ ที่ค่าความแปรปรวนมีเสถียรภาพทุกพารามิเตอร์และความแปรปรวนที่เกิดขึ้นโดยส่วนใหญ่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบทดลอง จึงสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีคุณภาพเพียงพอต่อการนำไปวิเคราะห์หาสารสนเทศต่อไปได้

4.2.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวนคือการหาความผันแปร โดยรวม แล้วแยกออกเป็นความแปรปรวนเนื่องจากทรีตเมนต์ (Treatment) สำหรับแต่ละแฟคเตอร์หลักและแฟคเตอร์ร่วมและความแปรปรวนเนื่องจากสาเหตุที่ไม่ได้รับการควบคุม แล้วพิจารณาความผันแปรเนื่องจากทรีตเมนต์ว่ามีปริมาณมากหรือไม่ เมื่อเทียบกับสาเหตุที่ไม่ได้รับการควบคุมได้ในระหว่างเงื่อนไขการทดลอง แล้วนำมาสร้างเป็นตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Table) โดยการศึกษาความหมายผลการวิเคราะห์จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน จะเริ่มจากการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญ (Significant) ของอิทธิพลร่วมที่ระดับสูง ๆ ก่อน ซึ่งถ้าพบว่าอิทธิพลร่วมมีนัยสำคัญ หมายความว่าถ้าเปลี่ยนระดับของพารามิเตอร์ตัวหนึ่งโดยให้พารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ คงที่แล้ว จะส่งผลให้ตัวแปรตอบสนองเปลี่ยนไปด้วย ซึ่งกล่าวได้ว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์หลักที่เกิดจากพารามิเตอร์ร่วม จะมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้วยนั่นเอง ดังนั้นในกรณีที่อิทธิพลร่วมมีนัยสำคัญแล้วก็ไม่มีความจำเป็นต้องตีความจากอิทธิพลหลักอีก เพราะว่าแม้อิทธิพลหลักจะดูเหมือนมีผลอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่แท้จริงแล้วมีอิทธิพลมาก

จากการใช้โปรแกรม Minitab 13 for Windows (ฉบับ Demo) สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนของพารามิเตอร์ตอบสนองสำหรับความหยาบผิวงานจะได้ตาราง ANOVA ดังนี้ จากตารางที่ 4.6 จะพิจารณาค่า P-Value ถ้าพบว่าค่า P-Value มีค่าน้อยมาก (น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ต้องการทดสอบสมมติฐานในการทดลองนี้กำหนดไว้ที่ 0.05) แสดงว่าตัวสถิติทดสอบ F หรือ Variance Ratio มีค่าสูง และเนื่องจากความผันแปรในรูป Variance ของความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่ จึงแสดงว่าค่าความแปรปรวนของทรีตเมนต์มีค่ามากอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้าพบว่าค่า P-Value มีค่าสูงแสดงว่าค่าความแปรปรวนของทรีตเมนต์มีค่าแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.6 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนองสำหรับความหยาบผิว

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P-Value
Main Effects	6	318.301	318.301	53.0501	376.23	0
2-Way Interactions	15	2.107	2.107	0.1404	1.00	0.463
3-Way Interactions	20	4.255	4.255	0.2127	1.51	0.089
4-Way Interactions	15	1.117	1.117	0.0745	0.53	0.921
5-Way Interactions	6	0.475	0.475	0.0791	0.56	0.760
6-Way Interactions	1	0.018	0.018	0.0178	0.13	0.723
Residual Error	128	18.049	18.049	0.1410		
Pure Error	128	18.049	18.049	0.1410		
Total	191	344.32				

ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการทดลองดังตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่ามี Main Effects มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งการทดลองในขั้นตอนนี้ได้กำหนดความเชื่อมั่นที่ 95 % เพราะฉะนั้น Main Effects จึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ขึ้นต่อมาจึงนำเฉพาะ Main Effects มาวิเคราะห์ด้วยวิธีการถดถอยเชิงซ้อน (Multiple Regression Analysis) ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 อิทธิพลหลักที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวงาน

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
Constant	4.0531	0.0270653	149.755	0
V	1.2863	0.0270653	47.5258	0
ALV	0.04734	0.0270653	1.74924	0.0819
SV	0.01026	0.0270653	0.379098	0.7050
LS	-0.0297	0.0270653	-1.09881	0.2732
DN	0.00161	0.0270653	0.059655	0.9524
UP	-0.003	0.0270653	-0.10969	0.9127

เมื่อทำการวิเคราะห์ เฉพาะ Main Effects จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของ Constant กับ Main Supply Voltage หรือ V มีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งการทดลองในขั้นตอนนี้ได้กำหนดความเชื่อมั่นที่ 95 % จึงนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์เฉพาะ Constant กับ Main Supply Voltage มาสร้างสมการตัวแปรตอบสนอง ดังจากสมการที่ 4.1

4.2.8 สมการคาดการณ์ตัวแปรตอบสนอง

การคาดการณ์ค่าตัวแปรตอบสนองหรือสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นค่าสังเกตตัวใหม่ที่สอดคล้องกับค่าตัวแปรทดลองที่กำหนดเพื่อดำเนินการตัดสินใจเชิงป้องกันต่อไปในที่จะสร้างสมการเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรตอบสนองกับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในรูปการวิเคราะห์การถดถอยเชิงซ้อน (Multiple Regression Analysis) ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้

1. การคาดการณ์ค่าตัวแปรตอบสนองสำหรับความหยาบผิวงาน

จากผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ถดถอยเชิงซ้อนตารางที่ 4.8 สำหรับตัวแปรตอบสนองทางด้านความหยาบผิว เมื่อกำหนด SFR แทนค่าความหยาบผิวงาน หน่วยเป็น Ra: μm สามารถคาดการณ์ค่าตัวแปรตอบสนองได้ดังนี้

$$\text{SFR} = 4.0531 + 1.2863 V \quad (4.1)$$

เมื่อดูจากตารางที่ 4.7 จะเห็นว่าเฉพาะ Constant กับ Main Supply Voltage มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จึงนำเฉพาะค่า Estimate ของ 2 ตัวแปรนี้มาเขียนเป็นสมการ

4.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าที่ได้จากการทดลอง

จากทดลองที่ผ่านมาทำให้ได้ตัวแปรตอบสนองที่ส่งผลต่อความหยาบผิวงานอย่างมีนัยสำคัญมาหนึ่งปัจจัย คือ Main Supply Voltage ทำให้สามารถพยากรณ์ความหยาบผิวงานได้โดยแทนค่า -1 และ 1 ในสมการที่ 4.1 จะได้ค่าความหยาบผิวงานสองค่าคือ 5.3394 μm และ 2.7668 μm จึงได้ทำการทดลองเพื่อทำการเปรียบเทียบระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพยากรณ์กับค่าที่ทดลองจริงเพื่อหาความผิดพลาดระหว่างค่าจริงกับค่าพยากรณ์แสดงในตารางที่ 4.8 และตารางที่ 4.9 ซึ่งการออกแบบการทดลองในขั้นนี้ได้กำหนดค่า V ไว้ที่ค่าต่ำและค่าสูง ทำให้มีจำนวนเท่ากับ $2^5 = 32$

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าที่ทดลองจริงโดยตั้งค่า Main Supply Voltage ไว้ที่ค่าต่ำ

ลำดับ การ ทดลอง	ALV	SV	LS	DN	UP	ค่าความ หยาบผิว พยากรณ์ (μm)	ค่าความ หยาบผิว ทดลอง (μm)	ค่าความ ผิดพลาด
1	-	-	-	-	-	2.7668	2.62	0.1468
2	+	-	-	-	-	2.7668	3.06	0.2932
3	-	+	-	-	-	2.7668	2.52	0.2468
4	+	-	+	-	-	2.7668	2.58	0.1868
5	-	+	-	+	-	2.7668	2.65	0.1168
6	+	-	+	+	-	2.7668	2.75	0.0168
7	-	+	-	+	-	2.7668	2.85	0.0832
8	+	+	-	+	-	2.7668	2.78	0.0132
9	-	+	+	+	-	2.7668	2.65	0.1168
10	+	-	-	+	-	2.7668	3.05	0.2832
11	-	+	+	+	-	2.7668	2.35	0.4168
12	+	+	-	+	-	2.7668	2.76	0.0068
13	-	-	+	+	-	2.7668	2.60	0.1668
14	+	-	+	+	-	2.7668	3.10	0.3332
15	-	+	+	+	-	2.7668	2.63	0.1368
16	+	+	+	+	-	2.7668	2.64	0.1268
17	-	-	-	-	+	2.7668	2.55	0.2168
18	+	-	-	-	+	2.7668	2.43	0.3368
19	-	+	-	-	+	2.7668	2.68	0.0868
20	+	+	-	-	+	2.7668	2.35	0.4168
21	-	-	+	-	+	2.7668	2.79	0.0232
22	+	-	+	-	+	2.7668	2.68	0.0868
23	-	+	+	-	+	2.7668	2.65	0.1168

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ การ ทดลอง	ALV	SV	LS	DN	UP	ค่าความ หยาบผิว พยากรณ์ (μm)	ค่าความ หยาบผิว ทดลอง (μm)	ค่าความ ผิดพลาด
24	+	+	+	-	+	2.7668	2.87	0.1032
25	-	-	-	+	+	2.7668	2.43	0.3368
26	+	-	-	+	+	2.7668	2.85	0.0832
27	-	+	-	+	+	2.7668	2.81	0.0432
28	+	+	-	+	+	2.7668	3.10	0.3332
29	-	-	+	+	+	2.7668	2.90	0.1332
30	+	-	+	+	+	2.7668	2.81	0.0432
31	-	+	+	+	+	2.7668	2.70	0.0668
32	+	+	+	+	+	2.7668	2.63	0.1368

จากการทดลองเพื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าที่ทดลองจริง โดยตั้งค่า Main Supply Voltage ไว้ที่ค่าที่ได้ความผิดพลาดเฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยดังนี้

$$\text{ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย} = \frac{0.1468 + 0.2932 + 0.2468 + \dots + 0.1368}{32} = 0.1642$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ย} = \frac{0.1642}{2.7668} \times (100) = 5.9347$$

ฉะนั้นการทดลองที่ตั้งค่า Main Supply Voltage ไว้ที่ค่าค่า มีค่าผิดพลาดค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับสมการคาดการณ์ สรุปได้ว่าสมการคาดการณ์สามารถนำมาใช้พยากรณ์ค่าความหยาบผิวได้ ค่อนข้างแม่นยำเมื่อตั้งค่า Main Supply Voltage ไว้ที่ค่าค่า ซึ่งเหมาะกับการผลิตชิ้นงานที่มีความหยาบผิวประมาณ $2.7668 \mu\text{m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าที่ทดลองจริงโดยตั้งค่า
Main Supply Voltage ไว้ที่ค่าสูง

ลำดับ การ ทดลอง	ALV	SV	LS	DN	UP	ค่าความ หยาบผิว พยากรณ์ (μm)	ค่าความ หยาบผิว ทดลอง (μm)	ค่าความ ผิดพลาด
1	-	-	-	-	-	5.3394	5.54	0.2006
2	+	-	-	-	-	5.3394	5.25	0.0894
3	-	+	-	-	-	5.3394	5.65	0.3106
4	+	+	-	-	-	5.3394	4.75	0.5894
5	-	-	+	-	-	5.3394	5.55	0.2106
6	+	+	+	-	-	5.3394	5.24	0.0994
7	-	+	+	-	-	5.3394	5.36	0.0206
8	+	+	+	-	-	5.3394	5.23	0.1094
9	-	-	-	+	-	5.3394	5.69	0.3506
10	+	+	-	+	-	5.3394	5.39	0.0506
11	-	+	+	+	-	5.3394	5.11	0.2294
12	+	+	-	+	+	5.3394	5.22	0.1194
13	-	-	+	+	-	5.3394	5.57	0.2306
14	+	-	+	+	-	5.3394	5.15	0.1894
15	-	+	+	+	-	5.3394	5.56	0.2206
16	+	+	+	+	-	5.3394	5.53	0.1906
17	-	-	-	-	+	5.3394	5.25	0.0894
18	+	-	-	-	+	5.3394	5.48	0.1406
19	-	+	-	-	+	5.3394	5.31	0.0294
20	+	+	-	-	+	5.3394	5.37	0.0306
21	-	-	+	-	+	5.3394	5.29	0.0494
22	+	-	+	-	+	5.3394	5.55	0.2106
23	-	+	+	-	+	5.3394	5.03	0.3094
24	+	+	+	-	+	5.3394	5.84	0.5006
25	-	-	-	+	+	5.3394	5.79	0.4506

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ การ ทดลอง	ALV	SV	LS	DN	UP	ค่าความ หยาบผิว พิกอร์น (μm)	ค่าความ หยาบผิว ทดลอง (μm)	ค่าความ ผิดพลาด
26	+	-	-	+	+	5.3394	5.51	0.1706
27	-	+	-	+	+	5.3394	5.92	0.5806
28	+	+	-	+	+	5.3394	5.40	0.0606
29	-	-	+	+	+	5.3394	5.32	0.0194
30	+	-	+	+	+	5.3394	5.24	0.0994
31	-	+	+	+	+	5.3394	5.75	0.4106
32	+	+	+	+	+	5.3394	5.01	0.3294

จากการทดลองเพื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกอร์นกับค่าที่ทดลองจริงโดยตั้งค่า Main Supply Voltage ไว้ที่ค่าสูง ได้ความผิดพลาดเฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยดังนี้

$$\text{ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย} = \frac{0.2006 + 0.0894 + 0.3106 + \dots + 0.3294}{32} = 0.2091$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ย} = \frac{0.1642}{2.7668} \times (100) = 3.9169$$

ฉะนั้นการทดลองที่ตั้งค่า Main Supply Voltage ไว้ที่ค่าสูงมีค่าผิดพลาดน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง สรุปได้ว่าผลการทดลองที่ตั้งค่า Main Supply Voltage ไว้ที่ค่าสูง มีความแม่นยำสูงเหมาะสำหรับการทำงานที่ต้องการความหยาบผิวงานประมาณ 5.3394 μm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

สำหรับการทดลองและวิจัยในครั้งนี้ใช้การสปาร์กของขั้วอิเล็กโทรดกับชิ้นงานทดสอบเพื่อศึกษาหา ค่าความหยابผิว ที่เกิดจากปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ ในการทดลอง ดังนั้นเพื่อให้การ ใช้งานของเครื่องอีดีเอ็มเป็นไป อย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดประโยชน์สูงสุด จึงควรหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความหยابผิวว่าปัจจัยตัวใดที่มีผลต่อ ค่าความหยابผิว และมีผลกระทบอย่างไร มีความสำคัญมากน้อยเพียงใดต่อค่าความหยابผิว เหตุผลดังกล่าวนี้จึงเป็น ที่มาของ “การศึกษาค่าความหยابผิวจากการสปาร์กของเครื่องอีดีเอ็มเมื่อค่าตัวแปรหรือปัจจัยด้านการผลิตเปลี่ยน ไป” วัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ

1. เพื่อศึกษาความหยابผิวของชิ้นงานโลหะจากการขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอาร์คด้วย ไฟฟ้าที่สภาวะการทำงานต่างกัน
2. เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ใช้ในการพยากรณ์ค่าความหยابผิวของชิ้นงาน โลหะจากการขึ้นรูปด้วย เครื่องกัดอาร์คด้วยไฟฟ้า ด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง

เครื่องมือวัสดุและอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการทดลองประกอบด้วย

1. อิเล็กโทรดที่นำมาทำการทดลองในกรณีวิธีการสปาร์กของเครื่องอีดีเอ็มจะมีหลายขนาดและหลายประเภท แต่ อิเล็กโทรดที่นำมาทำการทดลองจะมีรูปร่างพื้นที่หน้าตัดวงกลมเป็นทรงทรงแบบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร หน้าสัมผัสอิเล็กโทรดกับชิ้นงานจะเป็นวงกลมอิเล็กโทรดยาว 40 มิลลิเมตร
2. เหล็กกล้า SKD 11 หรือเหล็กกล้าที่ใช้ทำแม่พิมพ์ เป็นเหล็กที่มีคุณสมบัติแข็งแต่เปราะและมีขนาดยาว 60 มิลลิเมตร หน้า 10 มิลลิเมตร กว้าง 30 มิลลิเมตร
3. เครื่องวัดความหยابผิวของชิ้นงานที่ใช้ทำการทดลองที่ผิวเกิดจากการสปาร์กของเครื่องอีดีเอ็มและเป็นเครื่องที่ สามารถวัดค่าความหยابผิวได้ละเอียดถึง 1 ไมครอน เป็นยี่ห้อ Presition Devices INC, Milan, Michigan 48160 Model PDD – 400 - bo Ser.5086

จากการทดลองด้วยอิเล็กโทรดทรงระบอก กับชิ้นงานทดลองเหล็กเครื่องมือ SKD 11 ด้วยการ แปรค่าปัจจัยต่างๆ ได้แก่ Main Supply Voltage, Arc Detection Level, Servo Voltage, Loran Speed and Direction, Jump - down Machining Time, Jump - up Time ที่มีอิทธิพลต่อคุณลักษณะของการแปรรูปด้วย กรรมวิธีอีดีเอ็มแบบกัดเซาะ คือ ความหยابผิว ซึ่งวิธีการวัดค่าความหยابผิวที่ใช้ในการทดลองจะเป็นวิธีแบบ การวัด ภาคตัด และสำหรับ วิธีการขึ้นรูปด้วยเครื่องอีดีเอ็มในทางปฏิบัติจะทำการขึ้นภายในสารไดอิเล็กตริก โดยใช้ทองแดง ทรงระบอกเป็นขดลวดอิเล็กโทรด เป็นขั้วไฟฟ้าและวัสดุที่นำมาขึ้นรูปได้จะไม่เกี่ยวกับความแข็งเพียงแต่ต้องเป็นวัสดุ ที่ไฟฟ้าไหลผ่านได้ การขึ้นรูปจะไม่ปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลอย่างต่อเนื่องเหมือนกับการเชื่อม แต่ต้องใช้วิธีการเปิด/ปิด กระแสไฟฟ้าเป็นช่วงจังหวะ เพื่อป้องกันมิให้ความร้อนจากการสปาร์กหลอมละลายวัสดุมากเกินไปจนเสียรูปทรง เครื่องอีดีเอ็มอาศัยการใช้พลังงานระดับสูง ซึ่งปลดปล่อยออกมาในช่วงเวลาที่สั้นมาก ดังนั้นปัญหาที่สำคัญมาก คือทำ อย่างไรจึงจะทำให้เกิดการสปาร์กที่เป็นประกายไฟอย่างมีเสถียรภาพและมีประสิทธิภาพสูง และความสามารถในการ ผลิตรูปร่างใด ๆ ได้เนื่องจากการกัดเนื้อโลหะอาศัยการคิสราร์จ จึงไม่ต้องการความสัมพันธของการเคลื่อนที่ระหว่าง อิเล็กโทรดกับชิ้นงานนอกจากอิเล็กโทรดเคลื่อนที่ลงมาในชิ้นงานเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองทั้งหมดมี 13 พารามิเตอร์ แล้วทำการคัดเลือกให้เหลือ 6 พารามิเตอร์ โดยการทำการทดลองเบื้องต้น ซึ่งมีดังนี้คือ Main Supply Voltage, Arc Detection Level, Servo Voltage, Loran Speed and Direction, Jump - down Machining Time, Jump - up Time ค่าความหยาบผิวของพารามิเตอร์แต่ละตัวที่ได้จากการทดลอง ซึ่งค่าความหยาบผิวที่ได้จะนำไปวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ค่า P-Value ของแต่ละพารามิเตอร์ Main Supply Voltage เท่ากับ 0 Arc Detection Level เท่ากับ 0.0819 Servo Voltage เท่ากับ 0.7050 Loran Speed and Direction เท่ากับ 0.2732 Jump - down Machining Time เท่ากับ 0.9524 Jump - up Time เท่ากับ 0.9127 ซึ่งผลของค่า P-Value ของ Constant กับ Main Supply Voltage มีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งได้กำหนดค่าความเชื่อมั่นที่ 95 % แสดงว่าค่า Main Supply Voltage มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิวมากที่สุดเพราะค่า P-Value เท่ากับ 0 ซึ่งน้อยกว่า 0.05

5.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากทดลองเราสามารถคาดการณ์พารามิเตอร์ตอบสนองจากผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ถดถอยเชิงซ้อนสำหรับตัวแปรตอบสนองทางค่าความหยาบผิว ได้ดังนี้

$$\text{Surface Roughness} = 4.053 + 1.286 V$$

จากการทดลองเพื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าที่ทดลองจริงโดยตั้งค่า Main Supply Voltage ไว้ที่ค่าต่ำได้ความผิดพลาดเฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยดังนี้

$$\text{ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย} = 0.1642$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ย} = 5.9347$$

ฉะนั้นการทดลองที่ตั้งค่า Main Supply Voltage ไว้ที่ค่าต่ำ มีค่าผิดพลาดค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับสมการคาดการณ์ สรุปได้ว่าสมการคาดการณ์สามารถนำมาใช้พยากรณ์ค่าความหยาบผิวได้ ค่อนข้างแม่นยำเพราะค่าความผิดพลาดค่อนข้างน้อยเมื่อตั้งค่า Main Supply Voltage ไว้ที่ค่าต่ำ ซึ่งเหมาะกับการผลิตชิ้นงานที่มีความหยาบผิวประมาณ 2.7668 μm

จากการทดลองเพื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าที่ทดลองจริงโดยตั้งค่า Main Supply Voltage ไว้ที่ค่าสูงได้ความผิดพลาดเฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยดังนี้

$$\text{ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย} = 0.2091$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ย} = 3.9169$$

ฉะนั้นการทดลองที่ตั้งค่า Main Supply Voltage ไว้ที่ค่าสูงมีค่าผิดพลาดน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง สรุปได้ว่าค่าการทดลองที่ตั้งค่า Main Supply Voltage ไว้ที่ค่าสูง มีความแม่นยำสูงเพราะมีความผิดพลาดและความคลาดเคลื่อนของค่าความหยาบผิวน้อยมาก เหมาะสำหรับการทำงานที่ต้องการความหยาบผิวงานประมาณ 5.3394 μm

5.2 ข้อเสนอสำหรับงานวิจัยงานอิตีเอ็ม

การทดสอบโดยการสร้างตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคาดการณ์ผลลัพธ์ที่ต้องการ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ในรูปแบบของโปรแกรมไม่เชิงเส้น สามารถนำไปพยากรณ์ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานเมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, (2539), “ สถิติสำหรับงานวิศวกรรม ”, เล่ม 1, สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), หน้า 9 - 47
2. กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, (2545), “ สถิติสำหรับงานวิศวกรรม ”, เล่ม 2, สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), หน้า 1- 295, 367 - 411
3. บรรเลง ศรีนิต และ ประเสริฐ ก้วยสมบูรณ์ (2524), “ ตารางงานโลหะ ”, สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, หน้า 91
4. มนตรี มังคละสวัสดิ์, ก่อสุชน ศาตะโยธิน และ ประเสริฐ ปรากฏประยูร, (2538), “ การวัดทางวิศวกรรม ”, โรงพิมพ์สุรสภาลาดพร้าว, หน้า 6, 10, 199 - 302
5. วชิระ มีทอง, (2527), “ วิศวกรรมกลึงโลหะ ”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 213 - 229
6. Christof, B., Manfred, E., Reinhard and et.al., (1990) Fachkenntnisse M. Hamburg, Handwerk und Techink, pp. 478 - 480
7. Hans Appold, Kurt Feiler, Alfred Reinhard and Paul Schmidt, (1987), New Delhi, Wiley Eastern Limited, pp. 301 - 302
8. Inoue, K., (1977), “ *Fundamentals of Electrical Discharge Machining* ”, Tokyo, Society of Non - Traditional Technology, pp. 270
9. Montgomery, D.C., and G.C Runger (1999), “ *Applied Statistics and Propability for Engineers* ”, 2nd edition. Wiley, New York, pp. 430 - 684
10. Montgomery, D.C., (2001), “ *Desigh and Analysis of Experiments* ”, 5th edition. Wiley, New York, pp.170 - 271
11. Parago, F.T., (1968), “ *Hand Book of Dimensional Measurement* ”, New York, Industrial Press, pp. 372 - 395