การประยุกต์การออกแบบการทดลองเพื่อการปรับปรุงดัชนีคุณภาพการผลิตของมุมที่กระทำระหว่างตัวงานกับฮาร์ดิสก์ในอุตสาหกรรมแขนจับยึดหัวอ่านเขียน

นางสาว อัชริยา เก็งวินิจ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544
ISBN 974-03-0949-6
ลิขสิทธิ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF EXPERIMENTAL DESIGN FOR IMPROVING KURTOSIS PROCESS CAPABILITY OF PITCH IN SUSPENSION INDUSTRY

Miss. Atchariya Kengwinit

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2001

ISBN 974-03-0949-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์การออกแบบการทดลองเพื่อการปรับปรุงดัชนีคุณภาพการผลิตของมุมที่กระทำระหว่างตัวงานกับฮาร์ดิสก์ในอุตสาหกรรม แขนจับยึดหัวอ่านเขียน
โดย	นางสาว อัชริยา เก็งวินิจ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

_____คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

_____อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา)

_____กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

_____กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัชริยา เก็งวินิจ : การประยุกต์การออกแบบการทดลองเพื่อการปรับปรุงดัชนีคุณภาพการผลิตของมุมที่กระทำระหว่างตัวงานกับฮาร์ดิสก์ในอุตสาหกรรมแขนจับยึดหัวอ่านเขียน (Application of experimental design for improving Kurtosis process capability of Pitch in Suspension Industry) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร ปารเมศ ชุติมา , 163 หน้า. ISBN 974-03-0949-6

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยมุมของแขนจับยึดหัวอ่านเขียน และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยมุมของแขนจับยึดหัวอ่านเขียนที่ทำให้ค่าเฉลี่ยมุมของแขนจับยึดหัวอ่านเขียนมีค่าใกล้เคียงกับข้อกำหนดของลูกค้ามากที่สุดโดยตัวที่จะเป็นตัววัดผลการทดลองคือค่า Cpk ของค่าเฉลี่ยมุมของแขนจับยึดหัวอ่านเขียนซึ่งเดิมมีค่าเท่ากับ 0.83

งานวิจัยเริ่มต้นจากการศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อมุมของแขนจับยึดหัวอ่านเขียน โดยนำหลักการวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตมาช่วยในการวิเคราะห์ทำให้ได้ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อมุมของแขนจับยึดหัวอ่านเขียนมา 7 ปัจจัย ประกอบด้วย ความสูง Dimple, ค่าเฉลี่ย Sag, มุมของ Wing, ความสูงของ Merge Relife, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อม, ตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกน Y, ตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกน X ปัจจัยเหล่านี้ถูกนำมาทดสอบสมมติฐาน โดยใช้หลักการทดสอบสมมติฐาน และระดับของปัจจัยที่นำมาทดสอบสมมติฐานมีปัจจัยละ 2 ระดับ พบว่ามีปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อมุมของแขนจับยึดหัวอ่านเขียน 4 ปัจจัย ประกอบด้วย ความสูง Dimple, ค่าเฉลี่ย Sag, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อม, ตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกน Y หลังจากนั้นปัจจัยทั้ง 4 นี้ถูกนำไปทำการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียลบวกค่ากลาง จากผลการทดลองพบว่าปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยมีอิทธิพลต่อมุมของแขนจับยึดหัวอ่านเขียน และเทอมของปฏิสัมพันธ์อีก 3 เทอมได้แก่ เทอมของปัจจัยร่วมระหว่างค่าเฉลี่ย Sag กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อม, ค่าเฉลี่ย Sag กับตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกน Y, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อมกับตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกน Y

จากการพยากรณ์พบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยเป็นดังนี้ ความสูง Dimple 0.075 มิลลิเมตร ค่าเฉลี่ย Sag 0.032 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อม 0.25 มิลลิเมตร ตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกน Y 2.23 มิลลิเมตร หลังจากนั้นได้ทำการตรวจสอบผลการทดลองเป็นเวลา 1 เดือน พบว่ามุมของแขนจับยึดหัวอ่านเขียนหลังเชื่อมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดไว้ และด้วยค่ามุมของแขนจับยึดหัวอ่านเขียนหลังเชื่อมค่านี้ทำให้ค่ามุมของแขนจับยึดหัวอ่านเขียนที่ตรวจสอบก่อนส่งให้ลูกค้าใกล้ข้อกำหนดโดย Cpk อยู่ที่ 1.1 เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.27

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อัชริยา เก็งวินิจ

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2544 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4371515021 : MAJOR INDUSTRY ENGINEERING
KEY WORD : SUSPENSION IN HARD DISK / DESIGN OF EXPERIMENT / THE ADDITION OF CENTER POINTS TO THE 2^K DESIGN.

ATCHARIYA KENGWINIT : APPLICATION OF EXPERIMENTAL DESIGN FOR IMPROVING KURTOSIS PROCESS CAPABILITY OF PITCH IN SUSPENSION INDUSTRY. THESIS ADVISOR : ASS. PROF. DR. PARAMES CHUTIMA , 163 PP. ISBN 974-03-0949-6

The objective of this research is to study factors that influence the angle of suspension (pitch) and identify appropriate operative conditions in order to meet customer specification.The measure of performance in this project is Cpk of the pitch.

Preliminary, the factors that influence the pitch are determined from failure mode and effect analysis (FMEA).These include dimple height, sag average, wing angle, merge relief height, weld diameter, and weld position both x and y axis. These factors are tested by hypothesis testing. It is found that there are 4 factors that have significant affect to the pitch including dimple height, sag average, weld diameter, and weld position y-axis. The 2^k full factorial design with center point is the technique used to study the effect of these factors. The result shows significant effects of 4 main factors and 3 interaction terms.The interaction are sag average interact with weld diameter, sag average interact with weld position y axis, and weld diameter interact with weld position y.

The appropriate operating condition are dimple height at 0.075 mm., sag average at 0.032 mm., weld diameter at 0.25 mm., and weld position on y axis at 2.23 mm.. After setting the line with new parameters, the pitch value meets customer specification and Cpk is at 1.1 increasing 0.27 prior to optimize the process.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Industrial Engineering
Field of study Industrial Engineering
Academic year 2001

Student's signature Atchariya Kengwinit
Advisor's signature
Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณต่อ ผศ.ดร.ปารเมศ ชุติมา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ชี้แนะและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์

และกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย ประธานกรรมการ รศ. จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงค์ และ ดร. ปวีณา เชาวลิตวงศ์ กรรมการที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่าง ๆ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณ เพื่อนร่วมงานที่ช่วยให้ข้อมูล และระดมความคิดเห็นในการทำการวิจัย ตลอดจนพนักงานในโรงงานที่ให้ความร่วมมือ

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครูอาจารย์ พี่น้อง เพื่อนนิสิต และท่านที่มิได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจแก่ผู้ทำวิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ท้ายนี้ หวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจที่จะนำไปเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิตต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง.
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ.
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ.
สารบัญ.....ช.
สารบัญตาราง.....ญ.
สารบัญรูป.....ฏ.
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....3
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....4
1.6 สรุปเนื้อหาโดยสังเขป.....4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....5
2.1 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต.....5
2.2 การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์การทดลองเชิงสถิติ.....7
บทที่ 3 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต.....24
3.1 บทนำ.....24
3.2 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต.....24
3.3 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต.....27
3.4 เลือกปัจจัยนำไปทำการทดสอบสมมติฐาน.....29
3.5 การหาค่าความแตกต่างระหว่างค่า Pitch หลังเชื่อมกับค่า Pitch ก่อนนำส่งลูกค้า.....29
3.6 สรุป.....31
บทที่ 4 การทดสอบสมมติฐาน.....32
4.1 การทดสอบสมมติฐาน.....32
4.2 การเลือกพารามิเตอร์ที่จะทำการศึกษา.....32
4.3 ตัวแปรตอบสนอง.....36
4.4 แบบการทดลอง.....37
4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล.....37
4.6 สรุปผล.....39

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน....40
5.1 บทนำ....40
5.2 จัดเตรียมวัตถุดิบในการทดสอบสมมติฐาน....40
5.3 เตรียมเครื่องมือวัด....41
5.4 ดำเนินการทดสอบสมมติฐาน....41
5.5 วัดค่าพารามิเตอร์ที่เราสนใจ....45
5.6 สรุป....45
บทที่ 6 การคำนวณและการวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมติฐาน....46
6.1 บทนำ....46
6.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมติฐาน....46
6.3 สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน....74
บทที่ 7 การออกแบบการทดลอง....75
7.1 กำหนดปัญหาที่น่าสนใจ....75
7.2 ปัจจัยที่จะทำการศึกษาและระดับของปัจจัย....75
7.3 ตัวแปรตอบสนอง....77
7.4 แบบการทดลอง....77
7.5 ดำเนินการทดลอง....77
7.6 การวิเคราะห์ข้อมูล....78
7.7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ....79
บทที่ 8 การดำเนินการทดลอง....83
8.1 บทนำ....83
8.2 จัดเตรียมวัตถุดิบในการทดลอง....83
8.3 เตรียมเครื่องมือวัด....84
8.4 ดำเนินการทดลอง....84
8.5 วัดค่าพารามิเตอร์ที่เราสนใจ....87
8.6 ไหลงานต่อไปจนสิ้นสุดกระบวนการผลิต....88
8.7 วัดค่า Pitch ของชิ้นงานสำเร็จ....91
8.8 วิเคราะห์และสรุปผล....91
บทที่ 9 การคำนวณและวิเคราะห์ผลการทดลอง....92
9.1 บทนำ....92

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

9.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง....92
9.3 สรุปผลการทดลอง....98
บทที่ 10 ประเมินผลการทดลอง....99
10.1 บทนำ....99
10.2 ค่า Pitch หลังเชื่อม....99
10.3 ผลการตรวจสอบค่า Pitch ก่อนนำส่งลูกค้า....100
10.4 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตหลังจากได้นำผลที่ได้จากการทดลองมาใช้....100
10.5 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อบกพร่องหลังปรับปรุง....103
10.6 สรุปผลการตรวจสอบ....104
บทที่ 11 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ....105
11.1 สรุปงานวิจัย....105
11.2 ข้อจำกัดในงานวิจัย....106
11.3 ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็น....107
รายการอ้างอิง....108
ภาคผนวก....109
ประวัติผู้เขียน....163

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 การตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐาน....19

2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ One-Way ANOVA....20

2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดลองแบบสุ่มในบล็อก....22

2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ Two-Factor Effect Model....23

3.1 ตาราง FMEA ของกระบวนการแขนจับยึดหัวอ่านเขียน....25

3.2 ผลการเรียงคะแนน RPN จากมากไปหาน้อย....27

3.3 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอย....30

4.1 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่จะทดสอบสมมติฐาน....36

6.1 แสดงผลการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่า Pitch หลังเชื่อมที่มาจาก ความสูงDimple....48

6.2 แสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ย Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากความสูง Dimple....49

6.3 ผลการทดสอบความเท่ากับของความแปรปรวนของค่า Pitch หลังเชื่อมที่มาจากค่าเฉลี่ย Sag.51

6.4 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ย Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากค่าเฉลี่ย Sag....53

6.5 ผลการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่า Pitch หลังเชื่อมที่มาจากมุมของ Wing.55

6.6 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ย Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากมุมของ Wing....66

6.7 ผลการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่า Pitch หลังเชื่อมที่มาจากความสูง Merge Relife....59

6.8 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ย Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากความสูงของ Merge Relif.60

6.9 ผลการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่า Pitch หลังเชื่อมที่มาจากขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อม....63

6.10 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ย Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจาก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อม....64

6.11 ผลการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่า Pitch หลังเชื่อมที่มาจาก ตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกน Y....67

6.12 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ย Pitch หลังเชื่อม ที่เกิดจากตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกนจุดเชื่อมในแนวแกน Y....68

6.13 ผลการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่า Pitch หลังเชื่อมที่มาจาก ตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกน X....71

6.14 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ย Pitch หลังเชื่อม ที่เกิดจากตำแหน่งจุดเชื่อม ในแนวแกน X....72

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า
7.1 ปัจจัยและระดับของปัจจัย.....77
7.2 สรุปแผนการออกแบบการทดลอง.....81
7.3 เมตริกการออกแบบการทดลอง.....83
9.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน.....95
9.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบลดรูป.....96
10.1 ตาราง FMEA ของกระบวนการแขนจับยึดหัวอ่านเขียนหลังการปรับปรุง.....103
10.2 แสดงผลการเรียงคะแนน RPN จากมากไปหาน้อยหลังการปรับปรุง.....105

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 แสดงการทำงานของ Suspension ในฮาร์ดดิสก์.....1
1.2 แสดงส่วนประกอบของแขนจับยึดหัวอ่านเขียน.....2
1.3 แสดงการบิดตัวของค่า Pitch.....2
2.1 แสดงอิทธิพลที่ไม่มีผลและอิทธิพลที่มีพลของปัจจัยต่อผลิตภัณฑ์.....7
2.2 แสดงปัจจัยและพารามิเตอร์ของกระบวนการ.....8
2.3 แสดงอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่ไม่มีผลและมีผล.....15
3.1 กราฟแท่งแสดงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Pitch เรียงลำดับตามค่า RPN.....28
3.2 แสดงกราฟสมการการถดถอย.....30
4.1 แสดงความสูง Dimple.....33
4.2 แสดง Sag.....33
4.3 แสดงมุมของ Wing และความสูง Merge Relife.....34
4.4 แสดงตำแหน่งของจุดเชื่อมในแนวแกน X และ Y.....36
5.1 แสดง Arm Blank.....40
5.2 แสดงแผ่นแฟรมของ TG เตรียมรอตัดที่เครื่องปั๊มขึ้นรูป.....41
5.3 แสดงเครื่องปั๊มขึ้นรูปพร้อมแม่พิมพ์ขึ้นรูป.....42
5.4 แสดงขั้นตอนการบรรจุ Plate ใส่แม่พิมพ์เชื่อม.....43
5.5 แสดงขั้นตอนการบรรจุ TG ในแม่พิมพ์เชื่อม.....44
5.6 แสดงการบรรจุ Arm ในแม่พิมพ์เชื่อม.....44
5.7 แสดงเครื่องเชื่อมพร้อมแม่พิมพ์เชื่อม.....45
6.1 กราฟแสดงการกระจายของ Pitch หลังเชื่อมของความสูง Dimple กลุ่ม 1.....47
6.2 กราฟแสดงการกระจายของ Pitch หลังเชื่อมของความสูง Dimple กลุ่ม 2.....47
6.3 แสดงกราฟทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่า Pitch หลังเชื่อม ที่เกิดจากความสูงDimple.....48
6.4 กราฟแสดงความเท่ากันของค่าเฉลี่ย Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากความสูง dimple.....49
6.5 กราฟแสดงการกระจายของ Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากค่าเฉลี่ย Sag กลุ่มที่ 1.....50
6.6 กราฟแสดงการกระจายของ Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากค่าเฉลี่ย Sag กลุ่มที่ 2.....51
6.7 แสดงกราฟทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่า Pitch หลังเชื่อม ที่เกิดจากค่าเฉลี่ย Sag.....52
6.8 กราฟแสดงความเท่ากันของค่าเฉลี่ย Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากค่าเฉลี่ย Sag.....53
6.9 กราฟแสดงการกระจายของ Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากมุมของ Wing กลุ่มที่ 1.....54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า
6.10 กราฟแสดงการกระจายของ Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากมุมของ Wing กลุ่มที่ 2.....54
6.11 แสดงกราฟการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่า Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากมุมของ Wing.....56
6.12 กราฟแสดงความเท่ากันของค่าเฉลี่ย Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากมุมของ Wing.....57
6.13 กราฟแสดงการกระจายของ Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากความสูงของ Merge Relife กลุ่มที่ 1...58
6.14 กราฟแสดงการกระจายของ Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากความสูงของ Merge Relife กลุ่มที่ 2...58
6.15 แสดงกราฟการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่า Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากความสูงของ Merge Relife.....59
6.16 กราฟแสดงความเท่ากันของค่าเฉลี่ย Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากความสูงของ Merge Relife...60
6.17 กราฟแสดงการกระจายของ Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อมกลุ่มที่1.....61
6.18 กราฟแสดงการกระจายของ Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อมกลุ่มที่2.....62
6.19 แสดงกราฟการุทดสอบความเท่ากับของความแปรปรวนของค่า Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม.....63
6.20 กราฟแสดงความเท่ากันของค่าเฉลี่ย Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม.....64
6.21 กราฟแสดงการกระจายของ Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกน Y กลุ่มที่1.....65
6.22 กราฟแสดงการกระจายของ Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกน Y กลุ่มที่2.....66
6.23 แสดงกราฟการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่า Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกน Y.....67
6.24 กราฟแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ย Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกน Y.....69
6.25 กราฟแสดงการกระจายของ Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกนX กลุ่มที่1.....70
6.26 กราฟแสดงการกระจายของ Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกนX กลุ่มที่2.....70
6.27 แสดงกราฟการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่า Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกน X.....72

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.28 กราฟแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ย Pitch หลังเชื่อมที่เกิดจากตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกน X.....73
8.1 แสดง Arm Blank เตรียมรอขึ้นรูป.....85
8.2 เตรียม Plate สำหรับเชื่อมไว้ที่เครื่อง Laser Welding.....86
8.3 แสดงแม่พิมพ์ขึ้นรูป.....87
8.4 แสดงขั้นตอนการบรรจุ Plate ใส่แม่พิมพ์เชื่อม.....87
8.5 แสดงขั้นตอนการบรรจุ TG ในแม่พิมพ์เชื่อม.....88
8.6 แสดงการบรรจุ Arm ในแม่พิมพ์เชื่อม.....88
8.7 แสดงเครื่องเชื่อมพร้อมแม่พิมพ์เชื่อม.....89
8.8 แสดงการวัดค่า Pitch หลังเชื่อมด้วยเครื่อง Voyager.....90
8.9 แสดงลักษณะชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปค่า Gram Load.....91
8.10 แสดงเครื่องล้างทำความสะอาดชิ้นงาน.....91
8.11 แสดงการติด Damper.....92
8.12 แสดงเครื่องปรับค่า Gram Load อย่างละเอียด.....92
8.13 แสดงชิ้นงานที่ผ่านการตัดแล้วนำมาวางในถาด.....93
9.1 แสดงกราฟตรวจสอบการแจกแจงปกติ.....94
9.2 แสดงกราฟทดสอบการกระจายของข้อมูล.....97
9.3 แสดงรูปแบบการกระจายตัวของค่าความคลาดเคลื่อนกับเวลา.....97
9.4 กราฟแสดงความเสถียรของความแปรปรวน.....98
9.5 แสดงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ปัจจัยและเทอมของปัจจัยร่วมต่อค่า Pitch หลังเชื่อม.....99
9.6 แสดงผลการพยากรณ์เงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Pitch หลังเชื่อม.....100
10.1 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย Pitch หลังเชื่อม.....101
10.2 แสดงค่า Pitch ก่อนส่งให้ลูกค้า.....102

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย