ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247138

# กระบวนแบบธรรมดองเพื่อลดปริมาณขี้หนอกหรือประเภทน็อตเพื่อมหนุด ในกระบวนการย้อมความด้วยแบบอุณ

นายอาทิตย์ ศิริพงษ์วิวัฒน์

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2554

b00252785

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247138

# การออกแบบการทดลองเพื่อลดปริมาณข้อบกพร่องประเภทน็อตเชื่อมหลุด ในกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุด

นายอาทิตย์ ติรณสวัสดิ์ วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ)

โครงงานวิจัยอุตสาหกรรมนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2554

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

คณะกรรมการสอบโครงงานวิจัยอุตสาหกรรม

..... ประธานกรรมการสอบโครงงานวิจัยอุตสาหกรรม
(ผศ.ดร.ไชยา ดำคำ)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานวิจัยอุตสาหกรรม
(ดร.ช่อแก้ว จตุรานนท์)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานวิจัยอุตสาหกรรมร่วม
(อ.สุจินต์ ธงถาวรสุวรรณ)

..... กรรมการ
(ผศ.ดร.เตือนใจ สมบูรณ์วิวัฒน์)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

| | |
|---|---|
| หัวข้อโครงงานวิจัยอุตสาหกรรม | การออกแบบการทดลองเพื่อลดปริมาณข้อบกพร่องประเภทน๊อตเชื่อมหลุดในกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุด |
| หน่วยกิต | 6 |
| ผู้เขียน | นายอาทิตย์ ติรณสวัสดิ์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ดร.ช่อแก้ว จตุรานนท์ |
| | อาจารย์สุจินต์ ธงถาวรสุวรรณ |
| หลักสูตร | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมระบบการผลิต |
| ภาควิชา | วิศวกรรมอุตสาหการ |
| คณะ | วิศวกรรมศาสตร์ |
| พ.ศ. | 2554 |

247138

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยอุตสาหกรรมนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องจากข้อเรียกร้องของลูกค้า จากปัญหาประเภทน๊อตเชื่อม M5x0.8 หลุดของผลิตภัณฑ์คานกันชนหลังรถกระบะ ในกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุด โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม เพื่อหาสภาวะของปัจจัยในกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดได้อย่างเหมาะสม โดยปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดน๊อตเชื่อมหลุดอย่างมีนัยสำคัญมีอยู่ 3 ปัจจัย คือ ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงานหรือเวลาในการเชื่อม และแรงกดของหัวทิปที่ใช้ในการเชื่อม จากการทดลองพบว่าก่อนการปรับปรุงโดยค่าพารามิเตอร์ของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 11 kA เวลาในการเชื่อมเท่ากับ 7 Cycles และแรงกดของหัวทิปเท่ากับ 6 kN จะได้ค่าเฉลี่ยของแรงดึงที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อมระหว่างน๊อตกับชิ้นงานเท่ากับ 5,967.9 N ภายหลังการปรับปรุงโดยการปรับค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 16 kA เวลาในการเชื่อมเท่ากับ 6 Cycles และแรงกดของหัวทิปเท่ากับ 4 kN จะได้ค่าเฉลี่ยของแรงดึงที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อมระหว่างน๊อตกับชิ้นงานเท่ากับ 11,012.8 N จากผลการทดลองที่ได้สามารถนำค่าของปัจจัยที่เหมาะสมไปทำการปรับปรุงกระบวนการ ส่งผลให้สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทน๊อตเชื่อม M5x0.8 หลุดจากข้อเรียกร้องของลูกค้าลดลงจาก 2 ชิ้นหรือคิดเป็นร้อยละ 0.0011 ลดลงเหลือศูนย์ชิ้นทำให้ไม่มีข้อบกพร่องประเภทน๊อตเชื่อมหลุดเกิดขึ้น และสามารถเพิ่มความสามารถของกระบวนการ (Cpk) จากเดิมเท่ากับ 0.50 เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.51

คำสำคัญ: น๊อตเชื่อมหลุด / กระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุด / ออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม

| | |
|---|---|
| Industrial Research Project Title | Design of Experiments to Reduce Nuts Weld Separated Defect in the Resistance Spot Welding Process |
| Industrial Research Project Credits | 6 |
| Candidate | Mr. Artit Tiranasawat |
| Industrial Research Project Advisors | Dr. Chorkaew Jaturanonda |
| | Lect. Sujin Tongthavornsuwan |
| Program | Master of Engineering |
| Field of Study | Manufacturing Systems Engineering |
| Department | Production Engineering |
| Faculty | Engineering |
| B.E. | 2554 |

247138

Abstract

The objective of this industrial research project is to reduce the defects from customer's warranty claims. The defect concerns nut weld separated size M5x0.8 of pick-up truck's sill ass'y cross no.9. This industrial research project applies Design of Experiments technique to reduce such defect. The result found that there are 3 factors consisting of current, welding time, and electrode's load that influence to strength of nuts weld. Before conducting the experiments, the values of parameter are 11 kA for current, 7 cycles for welding time, and 6 kN for electrode's load and the loading tension of resulting from push out load is 5.97 kN. After improvement by adjusting parameters to be 16 kA for current, 6 cycles for welding time, and 4 kN for electrode's load, the loading tension is increased to be 11.01 kN. According to this experiment, the optimized parameter values can be applied to improve resistance spot welding process. As a result of this improvement, the customer's warranty claims concerning nuts weld separated size M5x0.8 of pick-up truck's sill ass'y cross no.9 is reduced from 0.0011 to 0.00 percent and Process Capability Kurtosis (Cpk) is increased from 0.50 to 2.51.

Keywords: Nuts Weld Separated / Resistance Spot Welding / Design of Experiment

# กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.ช่อแก้ว จตุรานนท์ และ อาจารย์สุจินต์ ธงถาวรสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานวิจัยและอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานวิจัยร่วม ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำในการทำโครงงานวิจัยในครั้งนี้อย่างละเอียด ทั้งในภาคทฤษฎีการออกแบบการทดลอง หลักการทางสถิติต่างๆ และแนะแนวทางการทดลองในส่วนของภาคปฏิบัติ รวมไปถึงการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ จนกระทั่งผู้วิจัยสามารถทำโครงงานวิจัยนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.เตือนใจ สมบูรณ์วิวัฒน์ และ ผศ.ดร.ไชยา ดำคำ ที่ได้ให้เกียรติสละเวลามาเป็นกรรมการสอบในการทำโครงงานวิจัยอุตสาหกรรมในครั้งนี้ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการจัดทำโครงงานวิจัยฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วง

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา – มารดา ที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือในทุก ๆ สิ่งเสมอมา รวมทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสาทวิชาแก่ผู้ศึกษา และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคน สำหรับความช่วยเหลือและกำลังใจที่ให้เสมอมา

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค
กิตติกรรมประกาศ ง
สารบัญ จ
รายการตาราง ซ
รายการรูปประกอบ ญ
รายการสัญลักษณ์ ฑ
ประมวลศัพท์และคำย่อ ฒ

**บทที่**

**1. บทนำ** **1**
1.1 ที่มาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย 2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

**2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** **4**
2.1 ทฤษฎีการเชื่อมด้วยความต้านทานแบบจุด 4
2.2 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) 18
2.3 การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Experiment) 19
2.4 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง 20
2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) 22
2.6 การวิเคราะห์ความถดถอยและสหสัมพันธ์เชิงซ้อน 22
( Multiple Regression and Correlation Analysis )
2.7 การวิเคราะห์ความถูกต้องของข้อมูล 23
2.8 เครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง 24
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 29

**3. การศึกษาสภาพของปัญหาในปัจจุบัน** **34**

3.1 ข้อมูลของสถานประกอบการที่เข้าร่วมโครงการ 34

3.2 ผลิตภัณฑ์ของบริษัท ซีเอชโอโตพาร์ต จำกัด 34

3.3 สภาพปัญหาปัจจุบัน 36

3.4 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์จากข้อร้องเรียนของลูกค้าเพื่อระบุสภาพปัญหา 37

3.5 กระบวนการผลิตชิ้นส่วนคานกันชนหลังรถกระบะ 49

3.6 การบ่งชี้ลักษณะผลิตภัณฑ์บกพร่อง 53

3.7 วิเคราะห์สาเหตุของการเกิดปัญหาข้อบกพร่องประเภทน็อตเชื่อมหลุดในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลัง 53

3.8 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง 62

3.9 การตั้งเป้าหมายในการลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทน็อตเชื่อมหลุดในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลัง 63

3.10 การกำหนดระดับของปัจจัยในการทดลอง 63

**4. การดำเนินการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง** **69**

4.1 การดำเนินการทดลอง 69

4.2 บันทึกผลการทดลอง 74

4.3 วิเคราะห์ผลจากการทดลองที่ได้จากการปรับค่าพารามิเตอร์ 79

4.4 ประมวลผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง 88

4.5 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล 90

4.6 การเลือกใช้ตัวแปรของแต่ละปัจจัยในการทดลอง 93

4.7 สรุปผลการทดลอง 94

4.8 การทดสอบและยืนยันผลทดสอบตัวแปรของปัจจัยที่เลือกนำมาปรับปรุง 95

4.9 การเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง 95

4.10 ผลที่ได้รับจากการปรับปรุงให้พนักงานปฏิบัติตามขั้นตอนของการทำงาน 105

4.11 การวางแผนควบคุมระดับปัจจัย 107

**5. สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ** **109**

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย 109

5.2 ข้อเสนอแนะ 111

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการดำเนินงานวิจัย 112

**เอกสารอ้างอิง** **113**

**ภาคผนวก**

ก. ตารางคะแนนการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากลักษณะข้อบกพร่อง 116

ข. ผลทดสอบตัวแปรของปัจจัยที่เลือกนำมาปรับปรุงในกระบวนการเชื่อม ความต้านทานแบบจุด 121

ค. ใบรับรองการสอบเทียบเครื่องวัดขนาดของชิ้นงานแบบ Portable CMM และ ใบรับรองการสอบเทียบเครื่องวัดแรงดึงและแรงกด (Universal Testing Machine) 126

**ประวัติผู้วิจัย** **132**

# รายการตาราง

**ตาราง** **หน้า**


2.1 ตาราง ANOVA สำหรับทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแบบเชิงเส้นตรง 22

2.2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 32

3.1 การวิเคราะห์ลักษณะปัญหาของชิ้นงานที่มีข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ที่มีผลต่อสายการประกอบของลูกค้า 41

3.2 เกณฑ์การประเมินอัตราความรุนแรง (Severity :S) ของผลกระทบ 42

3.3 เกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ที่จะเกิดปัญหา (Occurrence : O) 43

3.4 เกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบปัญหา (Detection : D) ของระบบควบคุม โดยมองการตรวจจับผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องที่หลุดไปที่ลูกค้า 44

3.5 ผลการทดลองของการวัดความสูงของน๊อตหลังทำการเชื่อมความต้านทานแบบจุด 59

3.6 ระดับของปัจจัยในการทดลอง 68

4.1 แผนการทดลองการศึกษาความแข็งแรงของรอยเชื่อมของน๊อตโดยการทดสอบด้วยแรงดึง (Push Out Load Testing) ตามลำดับการสุ่มที่กำหนดและนำค่าที่ได้จากการทดลองมาบันทึกผล 75

4.2 ค่าของแรงดึงที่ได้จากการทดลองตามระดับปัจจัยที่ได้ออกแบบการทดลอง 87

4.3 เปรียบเทียบสัดส่วนของผลิตภัณฑ์บกพร่องที่มีข้อเรียกร้องให้มีการแลกเปลี่ยนชิ้นงานจากลูกค้าในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลังก่อนและหลังการปรับปรุง 101

4.4 เปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องก่อนและหลังการปรับปรุงโดยวัดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทน๊อตเชื่อม M.5x0.8 หลุดในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลังจากข้อเรียกร้องของลูกค้าให้มีการแลกเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่อง 102

4.5 เปรียบเทียบสัดส่วนของผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทอื่นในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลังก่อนและหลังการปรับปรุง โดยวัดจากการตรวจสอบชิ้นงานก่อนที่จะทำการส่งให้กับลูกค้า 103

4.6 การเปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องที่เกี่ยวข้องในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลังก่อนและหลังการปรับปรุง โดยวัดผลิตภัณฑ์บกพร่องจากการตวรจสอบก่อนที่จะส่งให้กับลูกค้า (ผลิตภัณฑ์บกพร่องภายใน) 105

4.7 การเปรียบเทียบสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องทั้งหมดในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลังก่อนและหลังการปรับปรุงโดยวัดผลิตภัณฑ์บกพร่องจากการตรวจสอบก่อนที่จะส่งให้กับลูกค้า (ผลิตภัณฑ์บกพร่องภายใน) 106

4.8 แนวทางการแก้ไขและป้องกันการเกิดปัญหาข้อบกพร่องประเภทน๊อตเชื่อมขนาด M5x0.8 หลุดในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลัง 107

5.1 เปรียบเทียบผลที่ได้รับก่อนและหลังการปรับปรุง 110

5.2 เปรียบเทียบหาระดับปัจจัยก่อนและหลังการปรับปรุง 111

ก.1 เกณฑ์การประเมินอัตราความรุนแรง (Severity : S) ของผลกระทบ 117

ก.2 เกณฑ์การประเมินโอกาสการเกิด (Occurrence : O) ของผลกระทบ 118

ก.3 เกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับ (Detection : D) ของระบบควบคุม 119

ก.4 เกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบปัญหา (Detection : D) ของระบบควบคุม โดยมองการตรวจจับผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องที่หลุดไปที่ลูกค้า 120

ข.1 ผลการทดลอง $2^3$ แฟคทอเรียลของการทดสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อมของน๊อต โดยการทดสอบด้วยแรงดึง (Push-Out Load Testing) 122

# รายการรูปประกอบ

รูป หน้า


2.1 วงจรพื้นฐานเครื่องเชื่อมความต้านทาน 6

2.2 การกระจายอุณหภูมิและการเกิดความต้านทานในตำแหน่งต่างๆ 6

2.3 ผลของความร้อนที่เกิดจากความต้านทานของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านชิ้นงาน ที่ยึดติดกันด้วยแรงกดอิเล็คโทรดแล้วเกิดการหลอมละลายติดกันในขณะทำการเชื่อมความต้านทานแบบจุด 7

2.4 ลักษณะการทำงานของการเชื่อมน๊อตโดยเครื่องเชื่อมความต้านทาน 8

2.5 เทคนิคในการสมดุลความร้อน 10

2.6 ภาพตัดของรอยเชื่อม 12

2.7 วงจรเครื่องเชื่อมแบบเฟสเดียว 13

2.8 เครื่องเชื่อมความต้านทาน 14

2.9 ระบบกลไกการกดงานและส่วนประกอบ 15

2.10 อิเล็คโทรด (หัวทิป) 16

2.11 รูปร่าง ความกว้าง ความยาวของน๊อตเชื่อม 16

2.12 ขนาดต่างๆของน๊อตเชื่อม (Nuts Weld) สำหรับการเชื่อมความต้านทานแบบจุด 17

2.13 ลักษณะการทำงานของเครื่องทดสอบแรงบิด 17

2.14 ลักษณะการทดสอบด้วยแรงกด 18

2.15 แผนผังพาเรโต 25

2.16 ลักษณะแผนผังสาเหตุและผล 27

3.1 ชิ้นงานปั๊ม 34

3.2 ชิ้นงานตัวถังรถยนต์รถบรรทุก 35

3.3 ชิ้นงานตัวถังรถยนต์รถบรรทุกที่ทำสี EDP 35

3.4 อัตราการแลกเปลี่ยนชิ้นงานที่มีข้อบกพร่องจากข้อเรียกร้องของลูกค้าเทียบกับปริมาณการส่งผลิตภัณฑ์ให้กับลูกค้าตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2553 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2554 36

3.5 ปริมาณการแลกเปลี่ยนชิ้นงานที่บกพร่องตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2553 ถึง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 37

3.6 ประเภทของชิ้นงานที่มีข้อบกพร่องจากข้อเรียกร้องของลูกค้าในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2553 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2554 38

3.7 แผนภาพพาเรโตของผลคะแนนของค่าความเสี่ยงในการเลือกลักษณะของปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสายการประกอบของลูกค้า 45
3.8 กระบวนการผลิตรถยนต์ของลูกค้า 47
3.9 ตัวอย่างชิ้นงานที่มีข้อบกพร่องที่ลูกค้านำออกมาจากสายการผลิตเพื่อรอการแก้ไข 48
3.10 ตัวอย่างชิ้นงานคานกันชนหลังที่ไม่มีข้อบกพร่องประเภทน็อตเชื่อมหลุด 49
3.11 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์คานกันชนหลัง 50
3.12 ขั้นตอนการนำเหล็กแผ่นมาทำการปั๊มขึ้นรูป 50
3.13 ชิ้นส่วนต่างๆของผลิตภัณฑ์คานกันชนหลัง 51
3.14 กระบวนการเชื่อมน็อตขนาดต่างๆให้ยึดติดกับชิ้นส่วนต่างๆของผลิตภัณฑ์คานกันชนหลัง 52
3.15 การประกอบชิ้นส่วนต่างๆโดยใช้แขนหุ่นยนต์ทำการประกอบ 52
3.16 ชิ้นส่วนคานกันชนหลังรถกระบะที่ผ่านการบรรจุใส่พาเลตเพื่อเตรียมจัดส่งให้กับลูกค้า 53
3.17 ลักษณะน็อตเชื่อมขนาด M5x0.8 หลุดของชิ้นงานคานกันชนหลังรถกระบะ 53
3.18 แผนภาพก้างปลาของความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลของปัญหา 54
3.19 มาตรฐานการทดสอบน็อตเชื่อมขนาดต่างๆด้วยแรงบิดของลูกค้าตามมาตรฐาน TSB1503G 55
3.20 ผลการทดสอบน็อตขนาด M5x0.8 ด้วยแรงบิด (Breakaway Torque) 55
3.21 มาตรฐานการทดสอบน็อตเชื่อมขนาดต่างๆด้วยแรงดึงของลูกค้าตามมาตรฐาน GM6435M 56
3.22 ผลการทดสอบน็อตขนาด M5x0.8 ด้วยแรงดึง (Push-Out Load Testing) 56
3.23 ลักษณะรอยเชื่อมของชิ้นงานที่ไม่ผ่านมาตรฐานการทดสอบด้วยแรงดึง 57
3.24 ลักษณะรอยเชื่อมของชิ้นงานที่ผ่านมาตรฐานการทดสอบด้วยแรงดึง 57
3.25 กระบวนการเชื่อมน็อต M5x0.8 กับชิ้นส่วนเพิ่มความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์คานกันชนหลัง 58
3.26 การกำหนดตำแหน่งในแต่ละมุมของน็อตและทำการวัดความสูงของน็อต 58
3.27 ผล One-way ANOVA ของค่าที่วัดได้จากความสูงของน็อตตำแหน่งที่ 1 ถึง 4 61
3.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับค่าทดสอบแรงดึง ซึ่งใช้แรงกดของหัวทิปเท่ากับ 6 kN และใช้เวลาในการเชื่อม 7 cycles 64
3.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับค่าทดสอบแรงดึง ซึ่งใช้แรงกดของหัวทิปเท่ากับ 4 kN และใช้เวลาในการเชื่อม 6 cycles 65
3.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดของหัวทิปกับค่าทดสอบแรงดึง ซึ่งใช้กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 12 kA และใช้เวลาในการเชื่อม 6 cycles 66

3.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเชื่อมกับค่าทดสอบแรงดึง ซึ่งใช้แรงกดของหัวทิปเท่ากับ 4 kN และใช้กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 12 kA 67
3.32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเชื่อมกับค่าทดสอบแรงดึง ซึ่งใช้แรงกดของหัวทิปเท่ากับ 6 kN และใช้กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 16 kA 68
4.1 การหาค่าอำนาจของการทดสอบจากค่าความแตกต่างมากที่สุดที่ต้องการตรวจจับ 70
4.2 การปรับตั้งค่ากระแสไฟฟ้า (Current) กับเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน (Weld Time) 72
4.3 การปรับตั้งค่าแรงกดของหัวทิป (Electrode Force) โดยการปรับค่าของแรงดันลม 73
4.4 ชิ้นส่วนแผ่นเพิ่มความแข็งแรงที่เชื่อมน๊อตขนาด M5x0.8 ตามค่าระดับของปัจจัยที่กำหนดไว้ตามการออกแบบการทดลอง 73
4.5 การทดสอบแรงดึง (Push Out Load Testing) 74
4.6 ตัวอย่างผลการทดสอบแรงดึง 74
4.7 ค่าของแรงดึง (Push Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 12 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงาน 2 Cycles และแรงกดของหัวทิป 4 kN 79
4.8 ค่าของแรงดึง (Push Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 16 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงาน 2 Cycles และแรงกดของหัวทิป 4 kN 80
4.9 ค่าของแรงดึง (Push Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 12 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 6 Cycles และแรงกดของหัวทิป 4 kN 81
4.10 ค่าของแรงดึง (Push Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 16 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 6 Cycles และแรงกดของหัวทิป 4 kN 82
4.11 ค่าของแรงดึง (Push Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 12 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 2 Cycles และแรงกดของหัวทิป 6 kN 83
4.12 ค่าของแรงดึง (Push Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 16 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 2 Cycles และแรงกดของหัวทิป 6 kN 84
4.13 ค่าของแรงดึง (Push Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 12 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 6 Cycles และแรงกดของหัวทิป 6 kN 85
4.14 ค่าของแรงดึง (Push Out Load Testing) ที่ใช้ในการทดสอบที่กระแสไฟฟ้า 16 kA เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 6 Cycles และแรงกดของหัวทิป 6 kN 86
4.15 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ 88
4.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวน 88

4.17 ค่าความสัมพันธ์ของความแข็งแรงของรอยเชื่อมด้วยวิธีการ 89
เชื่อมความต้านทานแบบจุดของน๊อตเชื่อมขนาด M5x0.8 กับชิ้นส่วนเพิ่มความแข็งแรง
ในชิ้นงานคานกันชนหลังกับกระแสไฟฟ้า(Current) เวลาที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน
(Welding Time) และแรงกดของหัวทิป (Electrode Force) แบบ Uncoded Units)
4.18 แผนภาพ Residual Plots 90
4.19 แผนภาพ Versus Order 91
4.20 แผนภาพ Normal Probability Plot ของผลการทดสอบแบบ $2^k$ แฟคทอเรียล 91
4.21 แผนภาพ Residual Versus the Fitted Value 92
4.22 กราฟของอิทธิพลแต่ละปัจจัย 93
4.23 กราฟของอิทธิพลหลักของ 3 ปัจจัย 94
4.24 กราฟของอิทธิพลร่วม 2 ระดับ 94
4.25 ความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุง 96
4.26 ความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุง 96
4.27 ผลการทดสอบแรงบิด (Torque Testing) ของกระบวนการก่อนการปรับปรุง 97
4.28 ผลการทดสอบแรงบิด (Torque Testing) ของกระบวนการหลังการปรับปรุง 97
4.29 การวิเคราะห์ความแตกต่างของความแปรปรวน 99
ของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง
4.30 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแรงดึง (Push Out Load Testing) 100
ที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงของแนวเชื่อมของน๊อต M5x0.8 ก่อนและหลังการปรับปรุง
4.31 ผลิตภัณฑ์บกพร่องของชิ้นงานคานกันชนหลังที่มีข้อเรียกร้องจากลูกค้า 101
ให้มีการแลกเปลี่ยนชิ้นงานก่อนการปรับปรุง (เดือนมิถุนายน-พฤศจิกายน พ.ศ. 2553)
4.32 ข้อบกพร่องประเภทน๊อตเชื่อม M5x0.8 หลุดในผลิตภัณฑ์คานกันชนหลัง 102
4.33 ประมวลผลสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องในผลิตภัณฑ์คานคานกันชนหลัง 106
จากการตรวจสอบก่อนที่จะส่งชิ้นงานให้กับลูกค้าก่อนและหลังการปรับปรุง
ค.1 ใบรับรองการสอบเทียบเครื่องวัดขนาดของชิ้นงานแบบ Portable CMM 127
ค.2 ใบรับรองการสอบเทียบเครื่องวัดแรงดึงและแรงกด (Universal Testing Machine) 128

# รายการสัญลักษณ์

| | | |
|---|---|---|
| $2^k$ | = | การทดสอบแบบ k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยแบ่งเป็น 2 ระดับ |
| $H_0$ | = | สมมติฐานหลัก |
| $H_1$ | = | สมมติฐานอื่น |
| n | = | จำนวนของข้อมูล |
| N | = | จำนวนประชากร |
| $\overline{p}$ | = | ค่าสัดส่วนของข้อมูล |
| R | = | พิสัย |
| $R^2$ | = | สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ |
| S | = | ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
| SS | = | ผลรวมกำลังสอง |
| $X_i$ | = | ค่าวัดของข้อมูลตัวที่ i |
| $\overline{X}$ | = | ค่าเฉลี่ย |
| $\widetilde{X}$ | = | ค่ามัธยฐาน |
| y | = | ค่าของข้อมูลทางสถิติ |
| Z | = | ตัวแปรสุ่มแบบปกติมาตรฐาน |
| $\alpha$ | = | ค่าความเสี่ยงของการตัดสินใจผิดพลาดแบบที่ 1 |
| $\beta$ | = | ค่าความเสี่ยงของการตัดสินใจผิดพลาดแบบที่ 2 |

# ประมวลศัพท์และคำย่อ

| | | |
|---|---|---|
| Alterative Hypothesis | = | สมมติฐานอื่น |
| Analysis of Variance | = | การวิเคราะห์ความแปรปรวน |
| Acceptance Quality Control | = | การควบคุมคุณภาพเพื่อการยอมรับ |
| Assembly | = | การประกอบ |
| Average | = | ค่าเฉลี่ย |
| Blocking | = | การสกัดกั้น |
| Brainstorming | = | การระดมสมอง |
| Burr | = | รอยครีบ |
| Cause and Effect Diagram | = | แผนภาพสาเหตุและผล |
| Common Cause | = | ความผันแปรตามธรรมชาติ |
| Confirmation Testing | = | การทดลองเพื่อยืนยันผล |
| Current | = | กระแสไฟฟ้า |
| Current Process Control | = | การควบคุมกระบวนการในปัจจุบัน |
| Data | = | ข้อมูล |
| Deform | = | การเสียรูป |
| Design of Experiment | = | การออกแบบการทดลอง |
| Detection | = | การตรวจพบ |
| Discrete Data | = | ข้อมูลแบบช่วง |
| Electrode Force | = | แรงกดของหัวทิป |
| Experiment Error | = | ความผิดพลาดในการทดลอง |
| Factorial Experiment | = | การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล |
| Failure Mode Effect Analysis | = | การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ |
| Fish Bone Diagram | = | แผนภาพก้างปลา |
| Hemming | = | พับขอบงาน |
| Hot dipped Zinc Plate | = | แผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีด้วยวิธีจุ่มร้อน |
| Hypothesis | = | สมมติฐาน |
| Independent Sample Method | = | วิธีการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว |
| Independent Test | = | การทดสอบความเป็นอิสระ |
| Input | = | ด้านเข้า |

| | | |
|---|---|---|
| Input Variable | = | การเปลี่ยนแปลงกับตัวแปรขาเข้า |
| Interaction Effect | = | อิทธิพลร่วม |
| Intrinsic Technology | = | เทคโนโลยีเฉพาะด้าน |
| Key Process Input | = | ปัจจัยที่ป้อนเข้าที่มีผลสำคัญต่อกระบวนการ |
| Linearity | = | คุณสมบัติเชิงเส้นตรง |
| Linearity Index | = | ดัชนีเชิงเส้นตรง |
| Main Effect | = | อิทธิพลหลัก |
| Master | = | ค่าอ้างอิง |
| Mean | = | ค่ามัชฌิม |
| Median | = | ค่ามัธยฐาน |
| Mode | = | ค่าฐานนิยม |
| Model Adequacy Checking | = | การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง |
| Most Likely Failure | = | ปัญหาที่มีโอกาสเกิด |
| Normality Test | = | การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล |
| Null Hypothesis | = | สมมติฐานหลัก |
| Nut Weld Separate | = | น็อตเชื่อมหลุด |
| Observe Value | = | ค่าสังเกต |
| Occurrence | = | โอกาสในการเกิด |
| Output | = | ด้านออก |
| Output Variable | = | การเปลี่ยนแปลงกับตัวแปรขาออก |
| Pareto Diagram | = | แผนภาพพาเรโต |
| Potential Effect of Failure | = | ลักษณะผลกระทบของข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มว่าจะเกิด |
| Potential Failure Mode | = | ลักษณะข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มว่าจะเกิด |
| Power of the Test | = | อำนาจในการทดสอบ |
| Precision | = | ความเที่ยงตรง |
| Predictor | = | ตัวทำนาย |
| Probability | = | ความน่าจะเป็น |
| Push-Out Load Testing | = | ทดสอบแรงดึง |
| Randomization | = | การสุ่ม |
| Range | = | พิสัย |
| Ratio | = | อัตราส่วน |

| | | |
|---|---|---|
| Regression | = | การวิเคราะห์การถดถอย |
| Replication | = | การทำซ้ำภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน |
| Residual Analysis | = | การวิเคราะห์เศษเหลือ |
| Response Variable | = | ตัวแปรตอบสนอง |
| Resistance Spot Welding | = | การเชื่อมความต้านทานแบบจุด |
| Risk Priority Number | = | ตัวเลขแสดงลำดับความเสี่ยง |
| Sample | = | สิ่งตัวอย่าง |
| Sample Size | = | ขนาดของสิ่งตัวอย่าง |
| Screen Design | = | การออกแบบเพื่อกรองปัจจัยต่าง ๆ |
| Screening Factor | = | การกรองปัจจัยที่มีผลกระทบ |
| Severity | = | ความรุนแรง |
| Significant Level | = | ระดับนัยสำคัญ |
| Special Cause | = | ความผันแปรจากความผิดปกติ |
| Specification | = | ข้อกำหนดเฉพาะ |
| Statistical Analysis | = | การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ |
| Statistic Design of Experiment | = | การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ |
| Statistical Hypothesis | = | สมมติฐานเชิงสถิติ |
| Statistical Process Control | = | การควบคุมกระบวนการโดยอาศัยสถิติ |
| Stability | = | ความมีเสถียรภาพ |
| Standard Deviation | = | ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
| Strong Conclusion | = | การตัดสินใจแบบยืนยัน |
| Test of Hypothesis | = | การทดสอบสมมติฐาน |
| Torque Testing | = | ทดสอบแรงบิด |
| Uncontrollable Factor | = | ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ |
| Variable | = | ตัวแปร |
| Variance | = | ความแปรปรวน |
| Visual inspection | = | การตรวจสอบโดยใช้สายตา |
| Welding Time | = | เวลาในการเชื่อม |