# การปรับปรุงคุณภาพสำหรับกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร ในอุตสาหกรรมการผลิตแผงวงจรรถยนต์แบบอ่อน

นางสาว ดุจเดือน ทองคณารักษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม ศูนย์ระดับภูมิภาคทางวิศวกรรมระบบการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-1501-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# QUALITY IMPROVEMENT FOR IMAGE PRINTING PROCESS IN AUTOMOBILE FLEXIBLE PRINTED CIRCUIT MANUFACTURING

Miss Dudduern Tongkanaraksa

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Engineering Management

The Regional Centre of Manufacturing Systems Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-1501-3

Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---|---|
| Thesis Title | Quality Improvement for Image Printing Process in Automobile Flexible Printed Circuit Manufacturing |
| By | Ms. Dudduern Tongkanaraksa |
| Field of study | Engineering Management |
| Thesis Advisor | Assistant Professor Prasert Akkharaprathomphong |
| Thesis Co-Advisor | Mr. Wichit Wiwidhaworarat |

---

Accepted by the Faculty of Engineering, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree

.....Dean of Faculty of Engineering

( Professor Somsak Panyakeow , D.Eng.)

THESIS COMMITTEE

.....Chairman

(Professor Sirichan Thongprasert , Ph.D.)

.....Thesis Advisor

(Assistant Professor Prasert Akkharaprathomphong, M.Eng.)

.....Thesis Co-advisor

(Mr. Wichit Wiwidhaworarat, M.Eng.)

.....Member

(Associate Professor Jirapat Ngaprasertwong, M.Eng.)

ดุจเดือน ทองคณารักษ์: การปรับปรุงคุณภาพสำหรับกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรในอุตสาหกรรมการผลิตแผงวงจรรถยนต์แบบอ่อน (Quality Improvement for Image Printing Process in Automobile Flexible Printed Circuit Manufacturing) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ประเสริฐ อัครประถมพงศ์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : นาย วิชิต วิวิธวรรัตน์, 65 หน้า. ISBN 974-17-1501-3

วิทยานิพนธ์นี้ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในการสร้างเส้นลายวงจร ในอุตสาหกรรมการผลิตแผงวงจรรถยนต์แบบอ่อน โดยเริ่มต้นจากการพิจารณาหาปัจจัยปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการด้วยแผนภาพแสดงสาเหตุและผล (Cause and effect diagram) จากการวิเคราะห์แผนภูมิดังกล่าว ทำให้ทราบว่ามี 7 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการ และปัจจัยดังกล่าวนี้เป็นปัจจัยที่สามารถเปลี่ยนแปลงและควบคุมได้ง่าย โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายในการผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมากมายแต่ประการใด ปัจจัยเหล่านี้ประกอบด้วย ความแข็งของไม้ปาด ค่ามุมของไม้ปาดหมึก ค่ามุมตัดของไม้ปาดหมึก ความหนาของการเคลือบอิมัลชั่นที่สกรีน ความดันในการพิมพ์ และความเร็วในการพิมพ์

การออกแบบการทดลองวิธี Orthogonal array $L_{18}(2^1 \times 3^6)$ ได้นำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดที่มีผลกระทบต่อ ค่าความหนาของหมึกเฉลี่ย พบว่ามีเพียง 3 ปัจจัยเท่านั้น คือ ความหนาของการเคลือบอิมัลชั่นที่สกรีน ความดันในการพิมพ์ และความเร็วในการพิมพ์ หลังจากนั้นได้นำการทดลองทีละปัจจัยมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าที่ดีที่สุดของแต่ละปัจจัย และสามารถสรุปได้ว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมในการควบคุมปัจจัยผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในการสร้างเส้นลายวงจร คือ ความเร็วในการพิมพ์ 4 m/s ความดันในการพิมพ์ 28 Kgf/cm$^2$ และความหนาของการเคลือบอิมัลชั่นที่สกรีน 2 microns เมื่อทำการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงปัจจัยที่มีผลกระทบ ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่า ค่าความหนาของหมึกเฉลี่ยลดลง 3 microns จาก 11.1 microns เหลือ 10.8 microns คิดเป็น 2.70% ดังนั้นจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในการสร้างเส้นลายวงจรได้

| | |
|---|---|
| ศูนย์ระดับภูมิภาคทางวิศวกรรมการผลิต | ลายมือชื่อนิสิต.....T Dudduem..... |
| สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม | ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... |
| ปีการศึกษา 2545 | ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... |

## 4271617221 : MAJOR ENGINEERING MANAGEMENT
KEY WORD : QUALITY IMPROVEMENT/ IMAGE PRINTING PROCESS/ AUTOMOBILE FLEXIBLE PRINTED CIRCUIT MANUFACTURING/ CAUSE AND EFFECT DIAGRAM

DUDDUERN TONGKANARAKSA: QUALITY IMPROVEMENT FOR IMAGE PRINTING PROCESS IN AUTOMOBILE FLEXIBLE PRINTED CIRCUIT MANUFACTURING. THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR PRASERT AKKHARAPRATHOMPHONG, THESIS CO-ADVISOR : MR. WICHIT WIWIDHAWORARAT, 65 pp. ISBN 974-17-1501-3

The objective of the thesis is to determine the optimum condition for controlling the image printing defects in image printing process of Automobile Flexible Printed Circuit Manufacturing. This thesis research starts from using cause and effect diagram to explore all the potential influence factors. Commencing from brainstorming session and knowledge from various relevant documents, all selected factors should be adjustable and controllable without investing additional production cost strongly. These factors are consisted of squeegee hardness, squeegee angle, squeegee cut angle, emulsion thickness, printing pressure, and printing speed.

Due to methodology for thoroughly studying the factors, which affect the process, it will take a long time to research and large cost. So the influence factors were analysed with orthogonal array method $L_{18}$ ($2^1 \times 3^6$) amount 18 runs with 2 replicates and 3 factor levels. The experiment shows that only three factors which were of significant influence. These are emulsion thickness, printing pressure, and printing speed. In additional, the optimum condition for controlling the image printing defects in image printing process will be determined using one-factor-at-a-time (OFAT) experiment with 21 different runs. The experiment reveals that the appropriate condition as a function of three factors can be set at printing speed 4 m/s, printing pressure 28 Kgf/cm$^2$, and emulsion thickness 2 microns. Finally, confirmation experiment is performed to confirm the result of the experiment between original condition and after improvement condition. As a result, the average ink thickness after improvement is thinner than the average ink thickness before improvement 0.3 microns from 11.1 microns to be 10.8 microns or 2.70%. Therefore, it can implement for controlling the image printing defects in image printing process.

The Regional Centre for Manufacturing Systems Engineering
Field of study Engineering Management
Academic Year 2002

Student's signature.....T. Dudduern.....
Advisor's signature.....
Co-advisor's signature.....

# ACKNOWLEDGEMENT

Appreciation is given to my thesis advisor, Assistant Professor Prasert Akkharaprathomphong and also my thesis co-advisor, Mr. Wichit Wiwidhaworarat. Their guidance and suggestions are very helpful for this thesis research.

Thank also goes to Professor Dr. Sirichan Thongprasert and Associate Professor Jirapat Ngaprasertwong for their kind recommendations and very helpful to the thesis.

I would like to thank all concerned persons who supported me in everything to perform experiments smoothly until this research had been completed.

Finally, I would like to express my thanks to my parents and my family for their support and encouragement throughout my study and my thesis research.

# CONTENTS


| | Pages |
|---|---|
| ABSTRACT (THAI) | iv |
| ABSTRACT (ENGLISH) | v |
| ACKNOWLEDGEMENT | vi |
| CONTENTS | vii |
| LIST OF FIGURES | ix |
| LIST OF TABLES | xi |
| CHAPTER 1 : INTRODUCTION | 1 |
| 1.1 Background of Problem | 1 |
| 1.2 Statement of Problem | 2 |
| 1.3 Objective | 4 |
| 1.4 Scope of the Study | 5 |
| 1.5 Expected Results | 5 |
| 1.6 Procedure and Methodologies of Thesis | 5 |
| CHAPTER 2 : THEORY AND LITERATURE SURVEYS | 6 |
| 2.1 Cause and Effect Diagram | 6 |
| 2.2 Statistical Techniques | 8 |
| 2.3 Literature Surveys | 18 |
| CHAPTER 3 : AUTOMOBILE FLEXIBLE PRINTED CIRCUITS AND MANUFACTURING PROCESS | 21 |
| 3.1 Automobile Flexible Printed Circuits | 21 |
| 3.2 Manufacturing Process | 22 |
| 3.3 Image Printing Process | 23 |
| CHAPTER 4: PRELIMINARY EXPERIMENT | 27 |
| 4.1 Factor-affecting Selection | 27 |

# CONTENTS (continued)

Pages

4.2 Selection Affecting Factor..... 30

4.3 Selected the Experiment..... 32

4.4 Conducting the Experiment..... 34

4.5 Collected Data..... 40

4.6 Data Analysis of Experiment..... 41

CHAPTER 5 : EXPERIMENT FOR APPROPRIATE CONDITION..... 46

5.1 Finding Appropriate Condition Experiment..... 46

5.2 Experiment and Data Collection..... 46

5.3 Data Analysis of Experiment..... 51

5.5 Confirmation Experiment..... 54

CHAPTER 6 : CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS..... 60

6.1 Conclusions..... 60

6.2 Recommendations..... 61

REFERENCES..... 63

BIOGRAPHY..... 65

# LIST OF FIGURES

Pages

Figure 1.1 The defective parts per million of Automobile Flexible Printed Circuit... 3

Figure 2.1 The cause and effect diagram..... 6

Figure 2.2 General model of a process..... 9

Figure 2.3 Taguchi's Methodology for implementing robust design..... 10

Figure 3.1 Automobile Flexible Printed Circuits..... 21

Figure 3.2 The manufacturing processes of the Automobile Flexible Printed Circuits..... 22

Figure 3.3 The screen-printing technique ..... 23

Figure 3.4 The image printing machine..... 25

Figure 3.5 The etching resist ink..... 26

Figure 4.1 Cause and effect diagram of the image printing defects..... 28

Figure 4.2 Squeegee hardness..... 34

Figure 4.3 Squeegee angle..... 35

Figure 4.4 Squeegee cut angle..... 35

Figure 4.5 Emulsion thickness..... 36

Figure 4.6 Printing pressure..... 36

Figure 4.7 Printing speed..... 37

Figure 4.8 Table clearance..... 37

Figure 4.9 The range of mean effects of the influencing factors..... 41

Figure 4.10 The mean effects of the influencing factors..... 42

Figure 4.11 The means effect of the machine factor..... 42

Figure 4.12 The means effect of the method factor..... 44

Figure 5.1 The result of this experiment when fixed printing speed..... 51

Figure 5.2 The result of this experiment when fixed printing pressure..... 52

Figure 5.3 The result of this experiment when fixed emulsion thickness..... 53

Figure 5.4 The ink thickness measuring area..... 54

Figure 5.5 The Normal Probability Plot of the ink thickness before improvement process..... 56

# LIST OF FIGURES (continued)

Pages

Figure 5. 6 The Normal Probability Plot of the ink thickness after improvement process..... 56

Figure 5.7 The test for equal variances..... 57

Figure 5.8 The test for means..... 58

Figure 5.9 The ink thickness improvement..... 59

# LIST OF TABLES

Pages

Table 1.1 The defective parts per million of Automobile Flexible Printed Circuit..... 3

Table 2.1 Some orthogonal array tables..... 12

Table 2.2 Orthogonal array table $L_{18}$ ($2^1$x $3^6$)..... 13

Table 2.3 The mean effects of the parameter..... 14

Table 2.4 Compares the number of trials..... 16

Table 3.1 End properties of etching resist ink..... 26

Table 4.1 Non-chosen factors..... 31

Table 4.2 The main factors and levels..... 38

Table 4.3 The layout sheet of the experiment..... 39

Table 4.4 The data of the experiment..... 40

Table 4.5 The means effects of the influencing factors..... 41

Table 5.1 The layout sheet of OFAT experiment for printing speed..... 48

Table 5.2 The data of OFAT experiment for printing speed..... 48

Table 5.3 The layout sheet of OFAT experiment for printing pressure..... 49

Table 5.4 The data of OFAT experiment for printing pressure..... 49

Table 5.5 The layout sheet of OFAT experiment for emulsion thickness..... 50

Table 5.6 The data of OFAT experiment for emulsion thickness..... 50

Table 5.7 The layout sheet of the confirmation experiment..... 54

Table 5.8 The ink thickness measuring data..... 55

Table 5.9 The collected data from the confirmation experiment..... 59