

DEFECT REDUCTION IN ALLOY CASTING INDUSTRY



Mr. Thiti Rajsirisongsri

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Engineering Management

The Regional Centre of Manufacturing System Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

การลดของเสียในอุตสาหกรรมหล่อโลหะผสม



นาย ธิติ ราชศิริสงศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม ศูนย์ระดับภูมิภาคทางวิศวกรรมระบบการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

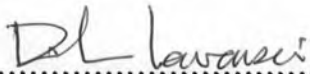
ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

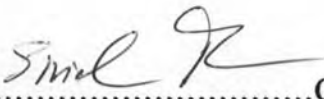
501564

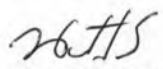
Thesis Title DEFECT REDUCTION IN ALLOY CASTING INDUSTRY
By Mr. Thiti Rajsirisongsri
Field of Study Engineering Management
Thesis Advisor Assistant Professor Napassavong Osothsilp

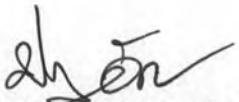
Accepted by the Faculty of Engineering, Chulalongkorn University in Partial
Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree


..... Dean of the Faculty of Engineering
(Professor Direk Lavansiri, Ph.D.)

THESIS COMMITTEE


.....Chairman
(Professor Sirichan Thongprasert, Ph.D.)


.....Thesis Advisor
(Assistant Professor Napassavong Osothsilp)


.....Member
(Assistant Professor Prasert Akkharapathomphong)

ริติ ราชศิริสงครี : การลดของเสียในอุตสาหกรรมหล่อโลหะผสม (DEFECT REDUCTION IN ALLOY INDUSTRY) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.นภัตตวงค์ ไชยสถิตศิลป์, 75 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในผลิตภัณฑ์งานหล่อโลหะผสม ผลิตภัณฑ์ที่เลือกเพื่อเป็นแนวทางการศึกษา คือ ขาเก้าอี้ เนื่องจากเป็นสินค้าที่มีจำนวนผลิตเป็นจำนวนมากที่สุดของบริษัทที่เป็นกรณีศึกษา ของเสียที่พบมากเป็นอันดับต้นๆ มีด้วยกัน 3 อย่างคือ ครีบ (METALLIC PROJECTION) รูพรุน (CAVITIES) และ ความไม่สมบูรณ์ของผิวหน้า (DEFECTIVE SURFACE) ปัญหาดังกล่าวนี้ส่งผลเสียในเชิงต้นทุนการซ่อมของเสีย

ขั้นตอนการวิจัยจะเริ่มจากการหาปัจจัยที่มีโอกาสที่จะเป็นสาเหตุของของเสีย โดยขั้นตอนเหล่านี้ถูกหาโดยการระดมความคิดของทีมงานและโดยพิจารณาจากงานวิจัยที่ผ่านมาพร้อมด้วย ซึ่งพบว่าปัจจัยที่คาดว่าจะมีนัยสำคัญมีอยู่ 6 ปัจจัยที่มีผลต่อของเสียทั้ง 3 ประเภทคือ ความสูงของช่องเท จำนวนของช่องเท จำนวนของผงสโน เวลาที่ใช้ในการแข็งตัวของอลูมิเนียมอัลลอย ส่วนผสมของอลูมิเนียมอัลลอย และขนาดของช่องเท จากนั้นจึงนำปัจจัยทั้ง 6 นี้ มาทำการออกแบบการทดลอง และใช้ ANOVA เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยและผลของระดับของปัจจัยที่มีผลต่อของเสียทั้ง 3 ประเภท ผลลัพธ์ของการทดลองแสดงว่าปัจจัยบางเรื่องให้ผลที่ขัดแย้งกันในผลต่อค่าตอบสนอง ดังนั้น ค่าใช้จ่ายของการซ่อมชิ้นงาน ได้ถูกนำมาใช้เพื่อเป็นเกณฑ์ตัดสินใจในการที่จะเลือกปัจจัยและระดับของปัจจัย ซึ่งพบว่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัยคือ ความสูงของช่องเทเป็น 10 เซนติเมตร จำนวนของช่องเทเป็น 1 ช่อง จำนวนของผงสโนเป็น 10 กรัม เวลาที่ใช้ในการแข็งตัวของอลูมิเนียมอัลลอยเป็น 10 นาที ส่วนผสมของอลูมิเนียมอัลลอยชนิดแข็งต่อชนิดเหนียวเป็น 18:2 แห่ง และขนาดของช่องเทเป็น 2x7 เซนติเมตร จากนั้นจึงนำไปทดสอบเพื่อยืนยันผล ก่อนนำไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิต

จากข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการพบว่า สัดส่วนของเสียที่ลดลงทำให้เวลาที่ใช้ในการซ่อมของเสียลดลงซึ่งทำให้ เวลาของการผลิตโต๊ะเก้าอี้ 1 ชุดลดลงจาก 6 ชั่วโมง 1 นาที เป็น 5 ชั่วโมง 40 นาที หรือลดลงไป 6 % และถ้าคำนวณถึงจำนวนสินค้าที่บริษัทจะสามารถผลิตได้เพิ่มหลังจากปรับปรุงกระบวนการ บริษัทจะสามารถผลิตสินค้าเพิ่มขึ้นอีก 26.43 ชุดต่อปี และรายได้จะเพิ่มขึ้นอีก 330,313 บาท ต่อปี อย่างไรก็ตามการปรับปรุงกระบวนการเป็นของขาเก้าอี้เท่านั้น และถ้านำวิธีการทดลองที่ได้พัฒนาขึ้น ไปใช้กับส่วนอื่นๆของผลิตภัณฑ์ บริษัทก็จะสามารถเพิ่มรายได้ได้มากขึ้นอีก

ศุนย์ระดับภูมิภาคทางวิศวกรรมระบบการผลิต

สาขาวิชา การจัดการทางวิศวกรรม

ปีการศึกษา 2550

ลายมือชื่อผู้ผลิต :

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา :

4771630821 : MAJOR ENGINEERING MANAGEMENT

KEY WORD : DEFECTS IN ALUMINUM ALLOY / CASTING / DESIGN OF EXPERIMENT

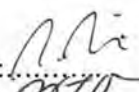

THITI RAJSIRISONGSRI : DEFECT REDUCTION IN ALLOY
CASTING INDUSTRY THESIS ADVISOR :
ASST.PROF.NAPASSAVONG OSOTHSILP, PH.D., 75 pp

The objective of this research is to reduce the defect rate in aluminum alloy casting process. The selected product is chair's leg of a garden set, which has the most production volume in the case study company. There are three defect types that mostly occur in the casting process, which are Metallic Projection, Cavities, and Defective Surface. These defect types cause rework costs for the case study company.

The research was started from defining potential factors that might be the causes of three defect types by using brainstorming and research. There are six potential factors that found. The six potential factors are pouring height, number of gates, snow powder quantity, solidification time, aluminum combination, and gate size. These six potential factors were tested using DOE techniques, where the three types of defects were used as three responses. Then, ANOVA was used to test for significant factors. The result shows that the effects of some factors are not consistent between some responses. Thus, the total cost of rework was then used as the decision criteria for factor level selection. The chosen levels are pouring height at 10 centimeters, 1 number of gate, 10 grams of snow powder, 10 minutes for solidification time, aluminum combination of 18 bars of solid type and 2 bars of resilient type, and gate at size 2x7 centimeters. The findings are confirmed by follow-up runs.

After improving the process, the production time for a garden set has reduced from 6 hours and 1 minute to 5 hours and 40 minutes, or it reduces by 6 % as a result of the reduction of rework time. If calculate it in term of products that the company can gain after implementing this new setting. The company can actually produce the products 26.43 extra garden sets from the original setting and gain the income by about 330,313 baht. However, the new setting only applies to the chair's legs. If this experiment expands to the rest of the chair parts, the income will likely increase.

The Regional Centre for Manufacturing Systems Engineering
Field of study : Engineering Management
Academic year 2007

Student's signature: 
Advisor's signature: 

Acknowledgments

The author would like to express his truly gratitude to those who are the author's supports for the thesis completion. First and foremost, grateful thanks are dedicated to the thesis advisor, Assistant Professor Napassavong Osothsilp for her invaluable comments and constant guidance. Grateful thanks also are conveyed to the committees, Professor Sirichan Thongprasert and Assistant Professor Prasert Akkharapathomphong for their invaluable recommendations.

Special thanks to the team members for their contribution throughout the thesis accomplishment.

Last but not least, his most sincere appreciations are dedicated to his beloved parents, family members, and friends indeed for their moral encouragements and kind assistants as a part of thesis fulfillment.

Contents

	Page
Thai Abstract.....	iv
English Abstract.....	v
Acknowledgements.....	vi
Contents.....	vii
List of Tables.....	ix
List of Figures.....	x
Chapter I Introduction.....	1
1.1 Company Background.....	1
1.2 Statement of Problem.....	2
1.3 Objective.....	5
1.4 Scope of the Study.....	5
1.5 Research Methodology.....	5
1.6 Schedule.....	6
1.7 Expected Results.....	6
1.8 Expected Benefits.....	6
Chapter II Theory and Literature Surveys.....	7
2.1 Design of Experiments (DOE).....	7
2.1.1 Guideline for Design of Experiments.....	7
2.1.2 The Factorial Design.....	8
2.1.3 Split-plot Design.....	10
2.1.4 Data Transformation.....	11
2.2 Alloy Casting.....	12
2.2.1 Casting.....	12
2.2.2 Type of Alloy.....	12
2.2.3 Alloy Casting Method.....	13
2.2.4 Casting Defects.....	15
2.2.5 Type of Inspection methods.....	17
2.3 Literature Surveys.....	17
Chapter III Analysis of the Cause of Defects.....	20
3.1 A Study of the Casting Process.....	20
3.2 Team Set up.....	21
3.3 Cause Analysis.....	21
3.3.1 Defect: Metallic Projection (Joint Flask or Fins).....	21
3.3.2 Defect: Cavities (Blowholes, Pinholes).....	22
3.3.3 Defect: Defective Surface (Rough Surface).....	22
3.4 Factor Level Selection.....	25
Chapter IV Testing the Significance of Causes of Defects using the Design of Experiment (DOE) Technique.....	27
4.1 Design selection.....	27
4.1.1 Factors and Level.....	27
4.1.2 Type of Design.....	27
4.2 Results.....	29
4.3 Analysis of results.....	31
4.3.1 Analysis methodology.....	31
4.3.2 Response Analysis.....	31
4.4 Factor Level Selection.....	53
4.4.1 Selection Criteria.....	53

	Page
4.4.2 Rework Method.....	54
4.4.3 Calculation for Rework Cost.....	54
4.4.4 Gate Size Analysis.....	57
4.5 Analysis of the Effect of New Setting.....	58
4.5.1 Effect on production time.....	58
4.5.2 Effect on Maximum Load.....	58
4.6 Opportunity Gain from Defect Reduction.....	60
Chapter V Conclusion and Recommendation.....	63
5.1 Conclusion.....	63
5.2 Lesson Learned.....	64
5.3 Recommendation.....	64
Reference.....	65
Appendices.....	67
Appendix A Data before Improvement.....	68
Appendix B 2 ⁶ Experiment Record.....	76
Appendix C Follow-up run Record.....	78
Biography.....	80

List of Tables

	Page
Table 1.1 Defective report of Production process.....	3
Table 1.2 Number of Defect in the casting process.....	4
Table 1.3 Level of severity of top three defect types.....	4
Table 1.4 Gantt chart of thesis schedule.....	6
Table 2.1 The Analysis of Variance Table for the Two-factor factorial.....	9
Table 2.2 ANOVA Table for arrangement.....	11
Table 3.1 Potential Factor Classification.....	23
Table 3.2 Factors Levels.....	25
Table 4.1 Experimental Factors.....	27
Table 4.2 Factors level for Calculation Responses.....	27
Table 4.3 Alias structure for the 2^{6-1}_{VII} Design with I = ABCDEF.....	28
Table 4.4 Response of the Experiment on Front Leg.....	29
Table 4.5 Response of the Experiment on Back Leg.....	30
Table 4.6 Metallic Projection's ANOVA for Front Leg.....	32
Table 4.7 Metallic Projection's ANOVA for Back Leg.....	32
Table 4.8 Cavities' ANOVA for Front Leg.....	39
Table 4.9 Cavities' ANOVA for Back Leg.....	39
Table 4.10 Defective Surface's ANOVA for Front Leg.....	46
Table 4.11 Defective Surface's ANOVA for Back Leg.....	46
Table 4.12 Significant Factors.....	53
Table 4.13 Rework cost for Metallic.....	53
Table 4.14 Rework cost for Cavities.....	53
Table 4.15 Rework cost for Defective Surface.....	53
Table 4.16 Rework cost for F = +.....	57
Table 4.17 Rework cost for F = -.....	57
Table 4.18 Rework Cost Summary.....	58
Table 4.19 Best Factors Levels.....	58
Table 4.20 Maximum Load of Chair Front Leg.....	59
Table 4.21 Maximum Load of Chair Back Leg.....	59
Table 4.22 Production time before new setting.....	61
Table 4.23 Production time after new setting.....	62
Table 4.24 Income gaining.....	62
Table 5.1 Best Factor Level.....	63
Table 5.2 Income gaining.....	64

List of Figures

	Page
Figure 1.1 Production Process.....	2
Figure 1.2 Flamingo garden set.....	5
Figure 2.1 Fishbone Diagram.....	8
Figure 2.2 Sand Mold.....	13
Figure 2.3 Die Casting.....	14
Figure 2.4 Metallic Projection.....	15
Figure 2.5 Cavities.....	15
Figure 2.6 Discontinuities.....	16
Figure 2.7 Defective Surface.....	16
Figure 2.8 Incomplete Casting.....	16
Figure 2.9 Incorrect Dimensions or Shape.....	17
Figure 2.10 Inclusion or Structural Anomalies.....	17
Figure 3.1 Casting Mold.....	20
Figure 4.1 Metallic Projection's Normal Probability Plot for Front Leg.....	33
Figure 4.2 Metallic Projection's Normal Probability Plot for Back Leg.....	33
Figure 4.3 Metallic Projection's Pareto Chart for Front Leg.....	34
Figure 4.4 Metallic Projection's Pareto Chart for Back Leg.....	34
Figure 4.5 Metallic Projection's Main Effects Plot for Front Leg.....	35
Figure 4.6 Metallic Projection's Main Effects Plot for Back Leg.....	35
Figure 4.7 Metallic Projection's Interaction Plot for Front Leg.....	36
Figure 4.8 Metallic Projection's Interaction Plot for Back Leg.....	36
Figure 4.9 Metallic Projection's Residual Plots for Front leg.....	37
Figure 4.10 Metallic Projection's Residual Plots for Back leg.....	38
Figure 4.11 Cavities' Normal Probability Plot for Front Leg.....	40
Figure 4.12 Cavities' Normal Probability Plot for Back Leg.....	40
Figure 4.13 Cavities' Pareto Chart for Front Leg.....	41
Figure 4.14 Cavities' Pareto Chart for Back Leg.....	41
Figure 4.15 Cavities' Main Effects Plot for Front Leg.....	42
Figure 4.16 Cavities' Main Effects Plot for Back Leg.....	42
Figure 4.17 Cavities' Interaction Plot for Front Leg.....	43
Figure 4.18 Cavities' Interaction Plot for Back Leg.....	43
Figure 4.19 Cavities' Residual Plots for Front leg.....	44
Figure 4.20 Cavities' Residual Plots for Back leg.....	45
Figure 4.21 Defective Surface's Normal Probability Plot for Front Leg.....	47
Figure 4.22 Defective Surface's Normal Probability Plot for Back Leg.....	47
Figure 4.23 Defective Surface's Pareto Chart for Front Leg.....	48
Figure 4.24 Defective Surface's Pareto Chart for Back Leg.....	48
Figure 4.25 Defective Surface's Main Effects Plot for Front Leg.....	49
Figure 4.26 Defective Surface's Main Effects Plot for Back Leg.....	49
Figure 4.27 Defective Surface's Interaction Plot for Front Leg.....	50
Figure 4.28 Defective Surface's Interaction Plot for Back Leg.....	50
Figure 4.29 Defective Surface's Residual Plots for Front leg.....	51
Figure 4.30 Defective Surface's Residual Plots for Back leg.....	52