



E46935



**ELECTROPOLISHING OF 316L STAINLESS STEELS:
EFFECTS OF ELECTRODE GAP, AREA RATIO AND POLISHING TIME ON
SURFACE ROUGHNESS**

MISS SUPARANAN SUKASAME

**A SPECIAL RESEARCH PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING (FOOD ENGINEERING)
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONCKUT'S UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THONBURI
2010**

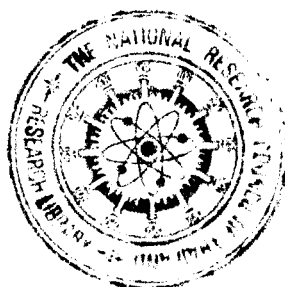
600246560



E46935



**ELETROPOLISHING OF 316L STAINLESS STEELS:
EFFECTS OF ELECTRODE GAP, AREA RATIO AND POLISHING TIME ON
SURFACE ROUGHNESS**



MISS SUPARANAN SUKASAME

**A SPECIAL RESEARCH PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING (FOOD ENGINEERING)
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THONBURI**


2010

Electropolishing of 316L Stainless Steels:
Effects of Electrode Gap, Ratio Area and Polishing Time on Surface Roughness.

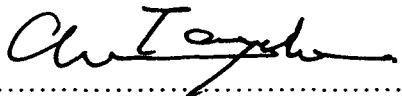
Miss Suparanan Sukasame B.Sc. (Food Science and Technology)

A Special Research Project Submitted in Partial Fulfillment
of the Requirements for
the Degree of Master of Engineering (Food Engineering)
Faculty of Engineering
King Mongkut's University of Technology Thonburi
2010

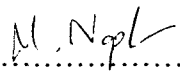
Special Research Project Committee


.....
(Assoc.Prof. Suwit Siriwanayothin, M.Eng)


Chairman of Special Research
project Committee


.....
(Asst. Prof. Chirath Tangduangdee, D.Eng.)

Member and Special Research
Project Advisor


.....
(Asst. Prof. Montira Nopharatana, Ph.D.)

Member


.....
(Sirinee Thaiwatthana, Ph.D.)

Member

Special Research Project Title	Electropolishing of 316L Stainless Steels: Effects of Electrode Gap, Area Ratio and Polishing Time on Surface Roughness
Special Research Project Credits	6
Candidate	Miss Suparanan Sukasame
Special Research Project Advisor	Asst. Prof.Dr. Chirath Tangduangdee
Program	Master of Engineering
Field of Study	Food Engineering
Department	Food Engineering
Faculty	Engineering
B.E.	2553

E46935

Abstract

Electropolishing (EP) is a useful electrochemical process for finishing metal surface and is widely used in pharmaceutical and food industries for easy cleaning and promoting corrosion resistance purposes. Optimum condition of the process depends on many parameters, i.e., sizes of cathode (-) and anode (+), electrode gap, type and concentration of electrolyte, temperature and current density. In this study, the effects of the process parameters, i.e., electrode gap, area ratio of the electrodes and electropolishing time, on the surface roughness of 316L stainless steel were studied. The workpiece (anode) material was 316L stainless steel type 2B, whereas the cathode material used in this work was copper with constant sizes of 4×4 cm. The anode size was varied to obtain the area ratios of cathode to anode of 1:1, 1.3:1, and 4:1. Other variables were the electrode gap (5, 10, 25, and 50 mm) and the polishing time (1, 5, 10, and 15 min). The electrodes were immersed in an electrolyte, which was composed of citric acid (55% w/v), phosphoric acid (85% w/v), and glycerol at the ratio of 2.5:6.5:2.5 by volume; the temperature was kept constant at 85 °C in a water bath. The experiments could be divided into 2 parts. Firstly, the electrode gap and the area ratio that gave the plateau region of I-V curve were determined. It was found that the passive film tended to occur at 5 mm of the electrode gap and 1:1 of the area ratio. Secondly, the optimum condition of the EP process was determined by measuring the surface roughness using Mahr PS1 pocket surf and optical microscope. The results showed that electropolishing condition of 0.5A/cm² (12.8 V) for 10 min improved the surface roughness significantly as compared with the other treatments ($p<0.05$).

Keywords: Citric Acid / Electropolishing / I-V curve / Surface Roughness/ 316L
Stainless Steel

หัวข้อโครงการศึกษาวิจัยพิเศษ

การขัดผิวเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ด้วยวิธี

Electropolishing: ผลของระยะห่าง อัตราส่วนพื้นที่
ขั้วไฟฟ้าและเวลาต่อความหยาบผิว

หน่วยกิต

6

ผู้เขียน

นางสาวศุภรานันท์ สุขเกษม

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ดร.ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมอาหาร

ภาควิชา

วิศวกรรมอาหาร

คณะ

วิศวกรรมศาสตร์

พ.ศ.

2553

E46935

บทคัดย่อ

Electropolishing เป็นกระบวนการเคมีไฟฟ้าที่ใช้ขัดผิวโลหะให้มีความเรียบเป็นเงาเพื่อง่ายต่อการล้างทำความสะอาดและต้านทานการกัดกร่อนในอุตสาหกรรมอาหารและยา สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการขึ้นกับหลายตัวแปร ได้แก่ ขนาดของขั้วแอโนด (+) และขั้วคาโทด (-) ระยะห่างระหว่างขั้ว ชนิดและความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ อุณหภูมิ และความหนาแน่นกระแสต่อพื้นที่ โครงการศึกษาวิจัยพิเศษนี้ทำการศึกษาผลของระยะห่างระหว่างขั้ว อัตราส่วนของพื้นที่ของขั้ว และเวลาในการขัดต่อความหยาบของผิวเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 316L ชนิด 2B ซึ่งใช้เป็นชิ้นงานและขั้วแอโนดสำหรับขั้วคาโทดทำจากแผ่นทองแดงขนาด 4×4 ซม. โดยมีการปรับเปลี่ยนเพื่อให้ได้อัตราส่วนพื้นที่ของคาโทดต่อแอโนดเป็น 1:1, 1.3:1, และ 4:1 ตัวแปรอื่นๆ ที่ทำศึกษา ได้แก่ ระยะห่างระหว่างขั้ว (5, 10, 25, และ 50 มม.) และเวลาในการขัดผิว (1, 5, 10 และ 15 นาที) ในการทดลองจุ่มขั้วทั้งสองลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึ่งประกอบด้วย กรดซัลฟริก (ร้อยละ 55 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) กรดฟอสฟอริก (ร้อยละ 85 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) และกลีเซอรอล ที่อัตราส่วน 2.5:6.5:2.5 โดยปริมาตร สำหรับอุณหภูมิของสารละลายควบคุมให้คงที่ที่ 85 °C ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ในแง่ของการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การหาระยะห่างระหว่างขั้วและอัตราส่วนของพื้นที่ของขั้วที่ให้ค่าความหนาแน่นกระแสคงที่เมื่อพิจารณาจากเส้น I-V curve โดยจากผลการทดลองพบว่า ระยะห่าง 5 มิลลิเมตรและอัตราส่วนพื้นที่ 1:1 มีแนวโน้มในการเกิดแพสซีฟฟิล์ม ในการทดลองส่วนที่สองเป็นการหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการขัดผิวโดยวัดจากอุปกรณ์วัดค่าความหยาบของผิวชนิด Mahr PS1 และจากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์เชิงแสง จากผลจากการทดลอง พบว่า ความหนาแน่นกระแส 0.5 A/cm² (12.8V) และเวลาในการขัดผิว 10 นาที ให้ความเรียบผิวดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

E46935

คำสำคัญ: กรดซिटริก/ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และความหนาแน่นกระแส/ การขัด
ผิว// ค่าความหยาบผิว เหล็กกล้าไร้สนิม

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to express the sincerest gratitude to my advisors, Asst. Prof. Dr. Chairath Tangduangdee for valuable support, guidance and encouragement throughout the complete this project. I am very grateful to Assoc. Prof. Suwit Siriwatanayotin, Asst. Prof. Dr. Montira Nopharatana and Dr. Sirinee Thaiwatthana for encouraging comments, suggestions, and valuable time as members of the examination committee. Special thanks go to technicians and laboratory staff of the Food Engineering Department especially Mrs. Walaiporn Srichumpoung, Mrs. Ratchaneeporn Ai-Tang and Mr. Tis Ai-Tang for their helping and providing the laboratory equipment. Furthermore, I would like to thank Pasteur Millennium Company for giving me raw material and knowledge. Finally, I would like to thank my family and all friends for their assistance and encouragement.

CONTENTS

	PAGE
ENGLISH ABSTRACT	ii
THAI ABSTRACT	iii
ACKNOWLEDGEMENT	v
CONTENTS	vi
LIST OF TABLES	viii
LIST OF FIGURES	x
CHAPTER	
1. INTRODUCTION	1
1.1 Background	1
1.2 Objectives	2
1.3 Scopes	2
1.4 Expected Benefits	3
 2. THEORY AND LITERATURE REVIEW	 4
2.1 Electropolishing	4
2.2 Stainless steels	13
2.3 Electropolishing equipment	17
2.4 Roughness measurement	21
2.5 ASTM standard for pharmaceutical grade	27
 3. MATERIALS AND METHODS	 30
3.1 Raw materials	30
3.2 Apparatus	30
3.3 Methodology	30
 4. RESULTS AND DISCUSSION	 35
4.1 Effect of distance between anode and cathode on I-V curve	35
4.2 Effect of anode area to cathode area on I-V curve	36
4.3 Effect of process time on surface roughness	37

4.4	Effect of process time on sample weight	41
4.5	Effect of process time on electrolyte properties	42
5. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS		43
5.1	Conclusions	43
5.2	Recommendations	44
REFERENCE		45
APPENDIX		49
	A Experimental Data	49
	B Statistical analysis	66
CURRICULUM VITAE		73

LIST OF TABLES

TABLE	PAGE
2.1 Commercial electropolishing method	7
2.2 Metal conductivity chart in amperes	20
2.3 Roughness parameter and description.	23
2.4 Surface roughness produced by common production methods	28
4.1 Electrolyte properties before and after electropolishing.	42
A.1 I-V curve for electrode gap 5 mm	49
A.2 I-V curve for electrode gap 10 mm	52
A.3 I-V curve for electrode gap for 25 mm	54
A.4 I-V curve for electrode gap 50 mm	56
A.5 I-V curve for cathode:anode ratio 1:1	58
A.6 I-V curve for cathode: anode ratio 1:1.3	60
A.7 I-V curve for cathode: anode ratio 1:4	62
A.8 Surface roughness before and after electropolishing	64
A.9 Electrolyte conductivity	65
B.1 ANOVA for the effect of electropolishing time on average roughness (R_a), Maximum roughness depth (R_{max}), Root mean square roughness (R_q), Maximum height of the profile (R_t) and Average maximum height of the profile (R_z)	67
B.2 Duncan for the effect of electropolishing tome on average roughness (R_a)	68
B.3 Duncan for the effect of electropolishing time on Maximum roughness depth (R_{max})	69

B.4	Duncan for the effect of electropolishing time on Root mean square roughness (R_q)	70
B.5	Duncan for the effect of electropolishing time on Maximum height of the profile (R_t)	71
B.6	Duncan for the effect of electropolishing time on Average maximum height of the profile (R_z)	72

LIST OF FIGURES

FIGURE	PAGE
2.1 Light reflected from metal surface.	5
2.2 I-V curve for electropolishing.	9
2.3 Iron-carbon equilibrium diagram.	13
2.4 Fe-Cr phase diagram.	15
2.5 Mar PS1 pocket surf.	22
2.6 Optical microscope.	25
2.7 Optical path in a typical microscope	27
3.1 Electropolishing step	32
3.2 Electropolosing set up	33
4.1 I-V curve for specific electrode gap: cathode area: anode area 1:1.	35
4.2. I-V curve for specific cathode area to anode area: electrode gap 5 mm.	37
4.3. Surface roughness after electropolishing (electrode gap 5 mm, anode: cathode 1:1).	38
4.4 Sample surface before electropolishing (100X).	39
4.5 Stainless steel surfaces after electropolishing for 1 minute (100X).	39
4.6 Stainless steel surfaces after electropolishing for 5 minutes (100X).	40
4.7 Stainless steel surfaces after electropolishing for 10 minutes (100X).	40
4.8 Stainless steel surfaces after electropolishing for 15 minutes (100X).	41
4.9 effect of process time on sample weight during electropolishing process	41