

ปัจจัยการทำงานที่มีผลต่อการเกิดรอยแผลบนผิวในรื่องนำบอลของตลับลูกปืน
ในกระบวนการล้างโดยใช้คลื่นเหนือเสียง

21616



นางสาวจิตติมา วรวงศ์ไกรศรี

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-5749-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OPERATING PARAMETERS AFFECTING FORMATION OF FLAWS ON SURFACE OF
BEARING RACEWAY IN WASHING PROCESS USING ULTRASOUND



Ms. Chittima Worawongkraisee

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-17-5749-2

นางสาวจิตติมา วรวงศ์ไกรศรี : ปัจจัยการทำงานที่มีผลต่อการเกิดรอยแผลบนผิวในร่องนำบอลของดัลบูลูกปืนในกระบวนการล้างโดยใช้คลื่นเหนือเสียง (OPERATING PARAMETER AFFECTING FORMATION OF FLAWS ON SURFACE OF BEARING RACEWAY IN WASHING PROCESS USING ULTRASOUND) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. รัชชัช ชรินพาณิชกุล , 90 หน้า. ISBN 974-17-5749-2.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการใช้คลื่นเหนือเสียงต่อการเกิดรอยแผลที่ผิวของร่องนำบอล (raceway) ที่เกิดจากกระบวนการล้างดัลบูลูกปืน เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการล้างเพื่อลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิต

โดยในการวิจัยได้รวบรวมปัจจัยต่างๆของเครื่องล้างดัลบูลูกปืน เช่น อุณหภูมิ อัตราการไหลของสารละลายในถังล้าง ความเข้มข้นของอนุภาคในสารละลาย และจำนวนงานเสียเนื่องจากรอยแผลที่ผิวร่องนำบอล เป็นต้น จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อค้นหาปัจจัยหลักที่มีผลต่อจำนวนงานเสีย สำหรับใช้อธิบายกลไก และสาเหตุของการเกิดงานเสียเนื่องจากปัจจัยดังกล่าว

ผลการวิจัยทำให้ทราบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเกิดรอยแผลที่ผิวร่องนำบอล ได้แก่ อุณหภูมิ และอัตราการไหลของสารละลายในถัง กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิ และอัตราการไหลของสารละลายในถังเพิ่มขึ้นจำนวนงานเสียซึ่งเป็นรอยแผลที่ผิวร่องนำบอลมีจำนวนลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้น ทำให้อุณหภูมิและความดันเมื่อควาเวเทชั่นแตกตัวมีค่าลดลง ในขณะที่เมื่ออัตราการไหลของสารละลายเพิ่มขึ้นความสามารถในการพาอนุภาค และสิ่งสกปรกออกจากผิวหน้าของร่องนำบอลมากขึ้น ดังนั้นการที่อนุภาค และสิ่งสกปรกดังกล่าว กระแทกที่ผิวของร่องนำบอลจึงลดลง

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อนิสิตจิตติมา วรวงศ์ไกรศรี.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2548

4571410921 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD : ULTRASONIC / WASHING / BEARING / RACEWAY / CAVITATION

CHITTIMA WORAWONGKRAISEE : OPERATING PARAMETERS AFFECTING
FORMATION OF FLAWS ON SURFACE OF BEARING RACEWAY IN WASHING
PROCESS USING ULTRASOUND. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF.

TAWATCHAI CHARINPANICHAKUL, Ph.D., 90 pp. ISBN 974-17-5749-2.

This research aims to study affecting parameters of flaws formation on surface of bearing raceway. The effort will provide advantage for reduction of defective on raceway in an actual production process.

In this study the concerned parameters of ultrasonic washing process are collected. Temperature, circulation flow rate, particle concentration in washing solution and defective bearing from ultrasound were comprehensively gathered and analyzed. Then a statistical analysis was conducted to evaluate the relationship of flaws on bearing raceway and these operating parameters. Finally the mechanism and reason of flaws formation were proposed.

Based on an experimental results it was formed that a high temperature and circulation flow rate lead to a decrease in the number of flaws on surface of bearing raceway. Due to the increase in the solution temperature, cavitation explosion temperature and pressure could be expected to decrease. While the increase of circulation flow rate play a role in the transport of particle away from the raceway surface following detachment that can reduce the impact of particle on raceway surface.

Department of ~~Chemical Engineering~~

Field of study ~~Chemical Engineering~~

Academic year 2005

Student's signature

Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพานิชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะแนวทางในการทำวิจัย แนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ ระหว่างการทำวิจัยตลอดจนช่วยปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร ประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. มล. ศุภกนก ทองใหญ่ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริรุ่ง ปรีชานนท์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ข้อคิดเห็นที่มีคุณค่า ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณครรรชิต สันติวัฒนกุล คุณจิรนนท์ ปรีดาอนันตสุข พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ที่บริษัททุกท่านที่ให้ความร่วมมือ คำแนะนำ และคอยสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาที่เป็นกำลังใจจนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ปัญหาที่พบในกระบวนการล้างต้บลูกปัดด้วยคลื่นเหนือเสียง.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.7 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่นเหนือเสียง.....	5
2.2 ปรัชญาการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงในตัวกลาง.....	7
2.3 ตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อความยากง่ายในการเกิดควาวิเทชัน.....	9
2.3.1 ก๊าซและอนุภาคของแข็งที่ปรากฏในของเหลว.....	9
2.3.2 ความดันภายในของเหลว.....	10
2.3.3 ความหนืดของของเหลว.....	10
2.3.4 ความถี่ของคลื่นเหนือเสียง.....	10
2.3.5 อุณหภูมิ.....	13
2.3.6 ความเข้มของคลื่นเหนือเสียง.....	14
2.4 การประยุกต์ใช้คลื่นเหนือเสียง.....	15
2.4.1 ใช้ในกระบวนการทางเคมี.....	15

2.4.2 ใช้ในกระบวนการทางกายภาพ.....	15
2.4.3 ใช้ในกระบวนการทางชีวภาพ.....	15
2.5 ตัวกำเนิดคลื่นเหนือเสียง.....	16
2.6 การทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง.....	17
2.7 ความถี่ของคลื่นเหนือเสียง กับการกำจัดฝุ่นขนาดเล็ก.....	19
2.8 การทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงในตัวทำละลายน้ำ และ semi-aqueous.....	19
2.9 ระบบของการล้างด้วยคลื่นเหนือเสียงคลื่นเหนือเสียง และกลไกการทำความสะอาด	20
2.10 การกลับมายึดเกาะของอนุภาค.....	23
2.11 เทคนิคการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา.....	24
2.12 การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Experiment).....	27
2.13 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	31
3.1 ประชากร.....	31
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	32
3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	32
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	33
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	34
4.1 ผลการวิเคราะห์.....	34
4.1.1 การวิเคราะห์ภาพรวมสาเหตุของปัญหาด้วยแผนภูมิเหตุและผล (Cause and Effect Analysis).....	35
4.1.2 การใช้ FMEA (Failure mode and effective analysis).....	37
4.1.3 การตรวจหารอยแผลบนผิวร่องนำบอลเนื่องจากการล้างด้วยคลื่นเหนือเสียง.....	39
4.1.4 สรุปข้อมูลปัจจัยต่างๆของเครื่องล้าง โดยใช้คลื่นเหนือเสียง.....	44
4.2 ผลการเปรียบเทียบ.....	52

บทที่ 5 สรุปลผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	58
รายการอ้างอิง.....	60
บรรณานุกรม.....	63
ภาคผนวก.....	64
ภาคผนวก ก ภาพเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	65
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง.....	69
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	90



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การตั้งคำถามแบบ 5W1H.....	25
2.2 การใช้ 4 M ในการตั้งคำถาม.....	26
4.1 การวิเคราะห์ด้วย FMEA เพื่อหาลำดับความสำคัญของสาเหตุการเกิดรอยแผลบน ผิวร่อนนำบอลในกระบวนการล้างด้วยคลื่นเหนือเสียง.....	38
4.2 ค่าของอุณหภูมิของสารละลายในถังที่ 1 และค่าเฉลี่ยของงานเสียที่อุณหภูมิต่างๆ.....	45
4.3 ค่าอัตราการไหลของสารละลายในถังที่ 2 และค่าเฉลี่ยของงานเสียที่อัตราการไหล ต่างๆ.....	46
4.4 ค่าของอุณหภูมิของสารละลายในถังที่ 2 และค่าเฉลี่ยของงานเสียที่อุณหภูมิต่างๆ.....	48
4.5 ค่าของอุณหภูมิของสารละลายในถังที่ 3 และค่าเฉลี่ยของงานเสียที่อุณหภูมิต่างๆ.....	50
4.6 ข้อมูลการทดลองของจำนวนงานเสียที่ขึ้นกับอุณหภูมิ และอัตราการไหลของ สารละลายต่างๆ.....	51
4.7 ค่าเฉลี่ยของจำนวนงานเสียที่ขึ้นกับอุณหภูมิ และอัตราการไหลของสารละลาย ต่างๆ.....	52
4.8 ผลของอุณหภูมิของสารละลายต่ออุณหภูมิสูงสุด และความดันสูงสุดของควาวิเทชั่น.	54
4.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเกิดรอยแผลบนผิวของร่อนนำบอล.....	57
ข.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเครื่องล้างชิ้นงานถังที่ 1.....	70
ข.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเครื่องล้างชิ้นงานถังที่ 2.....	71
ข.3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเครื่องล้างชิ้นงานถังที่ 3.....	72
ข.4 จำนวนงานเสียที่ผิวร่อนนำบอลเนื่องจากการล้างด้วยคลื่นเหนือเสียง.....	73
ข.5 แบบฟอร์มตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA).....	88

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 ตัวอย่างลักษณะของรอยแผลที่เกิดบนร่องนำบอลของ Inner Ring.....	2
2.1 คลื่นเสียงที่ความถี่ต่างๆ.....	5
2.2 ลักษณะของคลื่นเหนือเสียงกับเส้นโค้งไซน์.....	6
2.3 ฟองก๊าซที่อยู่บนผิวของแข็ง.....	7
2.4 ลักษณะของการเกิดคาวิตีชันที่ความถี่คลื่นเหนือเสียงต่างๆ.....	12
2.5 ส่วนประกอบของชุดทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง.....	18
2.6 กลไกการทำความสะอาดพื้นผิวด้วยคาวิตีชันที่ใช้คลื่นเหนือเสียง.....	18
2.7 โครงสร้างมอโนเมอร์และโพลีเมอร์.....	21
2.8 ลักษณะของมุมสัมผัสของหยดของเหลวบนพื้นผิว.....	22
2.9 แบบจำลองของอนุภาค Soil ที่เกาะอยู่บนพื้นผิว.....	23
2.10 แบบจำลองการป้องกันการกลับมาเกาะของสิ่งสกปรก.....	24
2.11 กราฟแสดงอิทธิพลร่วมหรืออันตรกิริยาของปัจจัย A และ B.....	28
4.1 แผนภูมิเหตุและผล (Cause and Effect Analysis) หรือแผนผังก้างปลา.....	35
4.2 คลื่นเสียงขณะทดสอบลูกปืนหมุนเมื่อวัดด้วย Anderson meter.....	40
4.3 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ลักษณะผิวของร่องนำบอลที่เกิดรอยแผลเนื่องจาก กระบวนการล้าง.....	41
4.4 ภาพจาก SEM ลักษณะผิวของร่องนำบอลที่เกิดรอยแผลเนื่องจากกระบวนการล้าง.....	41
4.5 ภาพจาก SEM ลักษณะผิวของร่องนำบอลที่เกิดรอยแผลหมายเลข 1.....	42
4.6 ภาพจาก SEM ลักษณะผิวของร่องนำบอลที่เกิดรอยแผลหมายเลข 2.....	43
4.7 ภาพจาก SEM ลักษณะผิวของร่องนำบอลที่เกิดรอยแผลหมายเลข 3.....	43
4.8 ผลการวิเคราะห์ด้วย SEM-EDX แสดงส่วนประกอบทางเคมีที่รอยแผลทั้ง 3 รอย.....	44
4.9 แผนภูมิฮิสโตแกรมแสดงความถี่ของอุณหภูมิของสารละลายในถังที่ 1.....	45
4.10 ปริมาณงานเสียที่อุณหภูมิต่างๆของสารละลายในถังที่ 1.....	46
4.11 แผนภูมิฮิสโตแกรมแสดงความถี่ของอัตราการไหลของสารละลายในถังที่ 2.....	47
4.12 ปริมาณงานเสียที่อัตราการไหลของสารละลายต่างๆในถังที่ 2.....	47

รูปที่	หน้า
4.13 แผนภูมิฮีสโตแกรมแสดงความถี่ของอุณหภูมิของสารละลายในถังที่ 2.....	48
4.14 ปริมาณงานเสียที่อุณหภูมิต่างๆของสารละลายในถังที่ 2.....	49
4.15 แผนภูมิฮีสโตแกรมแสดงความถี่ของอุณหภูมิของสารละลายในถังที่ 3.....	50
4.16 ปริมาณงานเสียที่อุณหภูมิต่างๆของสารละลายในถังที่ 3.....	51
4.17 ผลของอุณหภูมิของสารละลายในถังต่อจำนวนงานเฉลี่ยที่เกิดรอยแตกบนผิวร่องนำ บอล ที่แต่ละค่าของอัตราการไหลของสารละลาย.....	53
4.18 ผลของอุณหภูมิของสารละลายในถังต่อจำนวนงานเฉลี่ยที่เกิดรอยแตกบนผิว ร่องนำบอล.....	53
4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของสารละลายกับความดันสูงสุดของควิเทชัน	55
4.20 ผลของอัตราการไหลวนของสารละลายที่อุณหภูมิต่างๆ ต่อจำนวนงานเฉลี่ยที่พบ รอยแตก.....	55
4.21 ผลของอัตราการไหลวนของสารละลายในถังต่อจำนวนงานเฉลี่ยที่พบรอยแตก.....	56
ก.1 เครื่องตรวจนับอนุภาคในสารละลาย (Liquid particle counter).....	66
ก.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุ ด้วยรังสีเอกซ์ (Scanning Electron Microscope and X-Ray Microanalysis).....	66
ก.3 Ultrasonic sound pressure meter.....	67
ก.4 กล้องจุลทรรศน์.....	67
ก.5 เครื่องล้างชิ้นงานแบบใช้คลื่นเหนือเสียง.....	68
ก.6 Anderon Meter.....	68
ข.1 ผลของอุณหภูมิของสารละลายในถังที่ 1 ต่อ จำนวนงานเสียเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เกิดขึ้น ใน 1 เดือน.....	74
ข.2 ผลของอุณหภูมิของสารละลายในถังที่ 2 ต่อ จำนวนงานเสียเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เกิดขึ้น ใน 1 เดือน.....	75
ข.3 ผลของอุณหภูมิของสารละลายในถังที่ 3 ต่อ จำนวนงานเสียเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เกิดขึ้น ใน 1 เดือน.....	76
ข.4 อัตราการไหลของสารละลายในถังที่ 2 กับ จำนวนงานเสียเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เกิดขึ้นใน 1 เดือน.....	77

รูปที่	หน้า
ข.5 อัตราการไหลของสารละลายในถังที่ 3 กับ จำนวนงานเสียเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เกิดขึ้นใน 1 เดือน.....	78
ข.6 ความเข้มข้นของอนุภาคขนาด 0.5 um ในสารละลายในถังที่ 1 กับจำนวนงานเสีย เป็นเปอร์เซ็นต์ที่เกิดขึ้น.....	79
ข.7 ความเข้มข้นของอนุภาคขนาด 0.5 um ในสารละลายในถังที่ 2 กับจำนวนงานเสีย เป็นเปอร์เซ็นต์ที่เกิดขึ้น.....	80
ข.8 ความเข้มข้นของอนุภาคขนาด 0.5 um ในสารละลายในถังที่ 3 กับจำนวนงานเสียเป็น เปอร์เซ็นต์ที่เกิดขึ้น.....	81
ข.9 อัตราการไหลของสารละลายกับ ความเข้มข้นของอนุภาคขนาด 0.5 um ใน สารละลายในถังที่ 1.....	82
ข.10 อัตราการไหลของสารละลายกับ ความเข้มข้นของอนุภาคขนาด 0.5 um ใน สารละลายในถังที่ 2.....	83
ข.11 อัตราการไหลของสารละลายกับ ความเข้มข้นของอนุภาคขนาด 0.5 um ใน สารละลายในถังที่ 3.....	84
ข.12 อัตราการไหลของสารละลายกับ ความเข้มข้นของอนุภาคขนาด 0.5 um ใน สารละลายในถังที่ 4.....	85