การศึกษาประสิทธิภาพของตัวทำละลายอินทรีย์เพื่อนำมาใช้แทน AK-225 ในขบวนการล้างตลับลูกปืนของฮาร์ดดิสก์ไดรท์

นางสาวจุฬาลักษณ์ นาคสังข์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-14-2746-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A STUDY OF EFFECTIVE ORGANIC SOLVENT TO REPLACE AK-225 IN BALL BEARING WASHING PROCESS OF HARDDISK DRIVE

MISS CHULALAK NAKSANG

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 2006

ISBN 974 – 14 – 2746 – 8

Copyright of Chulalongkorn University

491753

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาประสิทธิภาพของตัวทำละลายอินทรีย์เพื่อนำมาใช้แทน AK-225 ในขบวนการล้างตลับลูกปืนของฮาร์ดดิสก์ไดรท์
โดย	นางสาวจุฬาลักษณ์ นาคสังข์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์.ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. สุรัตน์ อารีรัตน์)

นางสาวจุฬาลักษณ์ นาคสังข์ : การศึกษาประสิทธิภาพของตัวทำละลายอินทรีย์เพื่อนำมาใช้แทน AK-225 ในขบวนการล้างตลับลูกปืนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ท (A STUDY OF EFFECTIVE ORGANIC SOLVENT TO REPLACE AK-225 IN BALL BEARING WASHING PROCESS OF HARDDISK DRIVE)

อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. อุรา ปานเจริญ, 136 หน้า. ISBN 974-14-2746-8

การสกัดสารปนเปื้อนออกจากตัวชิ้นงานถือเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างมากสำหรับอุตสาหกรรมทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความสะอาดสูง การเลือกใช้สารเคมีที่เหมาะสมจึงถือเป็นปัจจัยสำคัญของกระบวนการในการทำความสะอาดผิวของชิ้นงานเพื่อชะล้างสิ่งสกปรกที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต การใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีอยู่เดิมคือ AK-225 ซึ่งจัดเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ประเภทไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอน(Hydrochlorofluorocarbon) พบว่าทำให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเนื่องจากเป็นสารเคมีที่ทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ จึงมีกฎหมายที่ห้ามมิให้มีการใช้สารเคมีตัวนี้ในอนาคตอันใกล้ในอุตสาหกรรมการผลิตรวมถึงปัญหาด้านการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้น และปัญหาด้านต้นทุนเนื่องจาก AK-225 เป็นสารเคมีที่มีราคาค่อนข้างแพง ดังนั้นการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของตัวทำละลายอินทรีย์ 3 ชนิดคือ HC-250 , High Clean Al และ Solkane 365โดยที่ HC-250 , High Clean Al จัดเป็นสารจำพวกไฮโดรคาร์บอน ในขณะที่ Solkane 365 เป็นสารจำพวกไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC) เนื่องจากตัวทำละลายอินทรีย์ 3 ชนิดมีราคาถูกกว่าจึงถูกนำมาใช้ทำการทดลองเปรียบเทียบกับตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีอยู่เดิมคือ AK-225 เพื่อดูถึงประสิทธิภาพของสกัดสารปนเปื้อนออกจากผิวของชิ้นงานและสามารถลดปัญหาเรื่องต้นทุนการผลิต

ในการทดลองครั้งนี้เป็นการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการสกัดสารปนเปื้อนคือ อุณหภูมิที่ค่าต่างๆกัน และ อิทธิพลของการใช้คลื่นเหนือเสียง โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างกรณีที่มีการใช้คลื่นเหนือเสียง กับกรณีที่ไม่มีการใช้คลื่นเหนือเสียง ซึ่งผลสรุปที่ได้คือ ประสิทธิภาพของการสกัดสารปนเปื้อนแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิของการใช้งาน แต่ต้องคำนึงถึงเรื่องอุณหภูมิที่ใช้ต้องไม่มากกว่าจุดเดือดของสาร และการสกัดสารปนเปื้อนจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อมีการใช้คลื่นเหนือเสียง

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อนิสิต.....จุฬาลักษณ์ นาคสังข์.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2549

4670272521 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: EFFECTIVE ORGANIC SOLVENT / HYDROCARBON CONTAMINANT

CHULALAK NAKSANG : A STUDY OF EFFECTIVE ORGANIC SOLVENT TO REPLACE AK-225 IN BALL BEARING WASHING PROCESS OF HARDDISK DRIVE . THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. URA PANCHAROEN, D.Eng.Sc., 136 pp.

ISBN 974-14-2746-8.

Contaminant extraction on part is the importance process for electronics industry due to extremly cleaning required of these products .The proper selection of chemical reagent usage is the key process for part cleaning. The AK-225 is the current chemical usage and it is hydrochlorofluorocarbon compound which is effect to the environment since it is ozone depleting and it will be against a law in near future including waste treatment problem and also costly due to it's expensive . A study of chemical and physical property of HC-250 and High Clean Al are hydrocarbon compound and Solkane 365 is hydrofluorocarbon which are lower price were evaluated and compared with AK-225 in term of cleaning effectiveness and cost reduction .

This experiment is to study variables affect to the extraction are temperatures and ultrasonic with comparing the performance between with ultrasonic and without ultrasonic . The result was indicated that cleaning performance is directly vary to the temperature . But using such temperature must not beyond the boiling point of solvent . And also with using ultrasonic , the cleaning will be more efficiency .

Department....CHEMICAL ENGINEERING...Student's signature.....

Field of study..CHEMICAL ENGINEERING...Advisor's signature.....

Academic year 2006

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำปรึกษาตลอดจนคำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ทำวิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมาณ.ที่นี้ ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.สุรัตน์ อารีรัตน์ กรรมการ รวมทั้งขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม ประธานกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณบริษัทไซโก้ อินสทรูเมนท์ ที่ได้สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดาและครอบครัวของข้าพเจ้าที่ได้สนับสนุนทุนการศึกษาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาตลอดจนสำเร็จการศึกษา ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่สอนให้ความรู้ตั้งแต่วัยเยาว์จนถึงปัจจุบัน และสุดท้ายขอบคุณเพื่อน ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเคมี (ภาคนอกเวลาราชการ) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ให้ความช่วยเหลือจนการเรียน และข้อมูลงานวิจัย จนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญรูปภาพ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 ปัญหาที่พบในกระบวนการ 14

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 15

1.4 ขอบเขตของการศึกษา/วิจัย..... 15

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 16

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย 16

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 17

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการสกัด 17

2.2 การป้องกันการกัดกร่อนของตัวชิ้นงาน..... 20

2.2.1 การป้องกันหรือยับยั้งการเกิดสนิม (Corrosion Inhibitor) 20

2.2.2 การห่อหุ้มด้วยฟิล์มบาง 20

2.2.3 การใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนแบบระเหยได้

(Volatile corrosion Inhibitors) 20

2.2.4 การจัดเก็บในบรรยากาศแห้ง (Dry-air store) 21

2.3 การทำความสะอาดชิ้นงานอย่างประณีต(Precision Cleaning) 21

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่นเหนือเสียง 25

2.5 การประยุกต์ใช้คลื่นเหนือเสียง..... 26

2.5.1 ใช้ในกระบวนการทางเคมี 26

2.5.2 ใช้ในกระบวนการทางกายภาพ 27

2.5.3 ใช้ในกระบวนการทางชีวภาพ 27

หน้า

2.6 ตัวกำเนิดคลื่นเหนือเสียง 27
2.6.1 ตัวกำเนิดคลื่นเหนือเสียงจากพลังงานกล (mechanical transducer)... 27
2.6.2 ตัวกำเนิดคลื่นเหนือเสียงจากพลังงานไฟฟ้า (electromechanical transducer)..... 27
2.7 กลไกการทำความสะอาด 30
2.8 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 32
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 38
3.1 ประชากร..... 38
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย 42
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... 44
3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล..... 48
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล..... 49
บทที่4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 51
4.1 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของตัวทำละลายอินทรีย์ ด้วยการตรวจสอบถึงส่วนประกอบทางเคมีของสารและตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสารก่อนการใช้งาน..... 51
4.1.1 การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FT-IR ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ศึกษาธรรมชาติทางเคมีของสาร 51
4.1.2 การศึกษาโดยใช้เทคนิค Gas Chromatography –Mass Spectrometer (GC-MS) ซึ่งเป็นการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวทำละลายอินทรีย์ที่สามารถระเหยกลายเป็นไอในรูปของการวิเคราะห์ที่เรียกว่า Outgassing Test 57
4.2 การศึกษาเพื่อวิเคราะห์ถึงความทนทานต่อตัวทำละลายอินทรีย์ 4 ชนิด , ความทนทานต่ออุณหภูมิที่ใช้งานของชิ้นส่วนงาน..... 61
4.3 การศึกษาเพื่อวิเคราะห์ถึงความทนทานต่อการเกิดสนิมของการใช้ตัวทำละลาย

หน้า

อินทรีย์ และการตรวจสอบชิ้นงานเพื่อดูสารปนเปื้อนอินทรีย์ที่เหลืออยู่ เป็นการดูถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่พร้อมระเหยที่พร้อมระเหยกลายเป็นไอ (Outgassing) ที่เหลืออยู่ในตัวชิ้นงาน (ตลับลูกปืน) 63

4.4 การทำการวิเคราะห์ด้วย Anderon Test เพื่อเป็นการตรวจสอบเสียงของตลับลูกปืนขณะหมุน 64

4.5 สรุปข้อมูลปัจจัยต่างๆของการสกัดสารปนเปื้อนออกจากตัวชิ้นงานและผลการเปรียบเทียบ 65

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย วิจารณ์ผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 97

5.1 สรุปผลการวิจัย 97

5.1.1 ผลของการเลือกใช้ชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์ต่อประสิทธิภาพการล้าง 97

5.1.2 ผลของการใช้อุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการล้าง 98

5.1.3 ผลของการใช้คลื่นเหนือเสียงต่อประสิทธิภาพการล้าง 98

รายการอ้างอิง..... 100

ภาคผนวก..... 103

ภาคผนวก ก (ข้อมูลดิบและผลการคำนวณ) 104

ภาคผนวก ข. (ตัวอย่างการคำนวณ) 116

ภาคผนวก ค. 1 122

ภาคผนวก ค. 2 126

ภาคผนวก ค. 3 129

ภาคผนวก ง 132

ภาคผนวก จ. 135

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 136

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 1.1	แสดงคุณสมบัติของ AK-225 และตัวทำละลายอินทรีย์ 3 ชนิด (HC-250 , High Clean Al , Solkane 365)	13
ตารางที่ 1.2	แสดงส่วนประกอบของวัสดุ (Raw material)ของส่วนประกอบแต่ละชนิดของBall Bearing (ตลับลูกปืน).....	14
ตารางที่ 3.1	ตารางจำนวนรูปแบบการทดลอง กรณีใช้ AK-225 เป็นตัวทำละลายอินทรีย์..	38
ตารางที่ 3.2	ตารางจำนวนรูปแบบการทดลอง กรณีใช้ HC-250 เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ .	39
ตารางที่ 3.3	ตารางจำนวนรูปแบบการทดลอง กรณีใช้ High Clean Al เป็นตัวทำละลายอินทรีย์	40
ตารางที่ 3.4	ตารางจำนวนรูปแบบการทดลอง กรณีใช้ Solkane 365 เป็นตัวทำละลายอินทรีย์.....	41
ตารางที่ 3.5	ตารางจำนวนรูปแบบการทดลอง เพิ่ม กรณีเพิ่มอุณหภูมิของการใช้ HC-250 เป็นตัวทำละลายอินทรีย์.....	42
ตารางที่ 3.6	ตารางเก็บรวบรวมข้อมูลของปริมาณสารปนเปื้อนที่เหลืออยู่ก่อนการสกัดสารสกัดสารออกด้วยตัวทำละลายอินทรีย์	48
ตารางที่ 3.7	ตารางเก็บรวบรวมข้อมูลของปริมาณสารปนเปื้อนที่เหลืออยู่ภายหลังจากการสกัดสารออกด้วยตัวทำละลายอินทรีย์	49
ตารางที่ 4.1	แสดงย่านการดูดกลืนรังสี IR ที่เป็นลักษณะพิเศษของหมู่ฟังก์ชันในสารประกอบอินทรีย์	56
ตารางที่ 4.2	แสดงถึงความทนทานต่อทำละลายอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิดและความทนทานต่ออุณหภูมิที่ใช้งานของชิ้นส่วนประกอบย่อยสำหรับตลับลูกปืน	61
ตารางที่ 4.3	แสดงถึงความทนทานต่อการเกิดสนิมและปริมาณสารอินทรีย์ที่พร้อมระเหยกลายเป็นไอ (outgassing) ที่เหลืออยู่ในตัวชิ้นงาน(ตลับลูกปืน)เมื่อมีการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิด	63
ตารางที่ 5.1	ตารางสรุปเปรียบเทียบการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ HC-250 เทียบกับตัวทำละลายอินทรีย์ 3 ชนิด	99

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 1.1 แสดงส่วนประกอบต่างๆภายใน Hard Disc Drive (HDD) Component..... 1

รูปที่ 1.2 ผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆที่มีการผลิตในบริษัทไซโก้อินสทรูเมนท์ ไทยแลนด์ จำกัด..... 3

รูปที่ 1.3 แสดงชิ้นส่วนข่อยของตลับลูกปืน 5

รูปที่ 1.4 แสดงขบวนการล้างชิ้นงานสำหรับวิธีการปัจจุบัน (Current Process) 6

รูปที่ 1.5 แสดงขบวนการล้างชิ้นงานสำหรับวิธีการทดแทนวิธีการที่ 1 (The Substitution Process I) 6

รูปที่ 1.6 แสดงขบวนการล้างชิ้นงานสำหรับวิธีการทดแทนวิธีการที่ 2 (The Substitution Process II) 7

รูปที่ 1.7 แสดงขบวนการล้างชิ้นงานสำหรับวิธีการทดแทนวิธีการที่ 3 (The Substitution Process III) 8

รูปที่ 1.8 แสดงโครงสร้างทางเคมีของตัวทำละลายอินทรีย์ AK-225 10

รูปที่ 1.9 แสดงโครงสร้างทางเคมีของตัวทำละลายอินทรีย์ HC-250 11

รูปที่ 1.10 แสดงโครงสร้างทางเคมีของตัวทำละลายอินทรีย์ High Clean AI 12

รูปที่ 1.11 แสดงโครงสร้างทางเคมีของตัวทำละลายอินทรีย์ Solkane 365 mfc (HFC-365 mfc)..... 12

รูปที่ 2.1 คลื่นเสียงที่ความถี่ต่างๆ..... 26

รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของชุดทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง..... 29

รูปที่ 2.3 กลไกการทำความสะอาดพื้นผิวด้วยคาวิเทชันที่ใช้คลื่นเหนือเสียง..... 30

รูปที่ 2.4 ฟองก๊าซที่อยู่บนผิวของแข็ง..... 31

รูปที่ 3.1 การทำการทดลองจริง..... 43

รูปที่ 3.3.1 เครื่องล้างชิ้นงาน (washing machine)..... 44

รูปที่ 3.3.2 เครื่องตรวจวัดเสียง(Anderon)..... 45

รูปที่ 3.3.3 เครื่องทำลายสนามแม่เหล็ก (Demagnet) 46

รูปที่ 3.3.4 เครื่องชั่งแบบละเอียด (Microbalance)..... 47

รูปที่ 3.3.5 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FT-IR 47

รูปที่ 3.3.6 เครื่อง Gas Chromatography – Mass Spectrometer : GC-MS 48

รูปที่ 4.1 (a) กราฟแสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของ AK-225 51

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.1 (b) กราฟแสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของ AK-225 (โดยการขยายสเกลของแกน % transmittance) 52
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของ HC-250 53
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของ High Clean Al 54
รูปที่ 4.4 (a) กราฟแสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของ Solkane 365..... 55
รูปที่ 4.4 (b) กราฟแสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของ Solkane 365 (โดยการขยายสเกลของแกน % transmittance) 55
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณของสารปนเปื้อนที่ตกค้างใน ตัวทำละลายอินทรีย์ AK-225 โดยใช้เทคนิค Gas Chromatography –Mass Spectrometer (GC-MS) 57
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณของสารปนเปื้อนที่ตกค้างใน ตัวทำละลายอินทรีย์ HC-250 โดยใช้เทคนิค Gas Chromatography –Mass Spectrometer (GC-MS) 58
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณของสารปนเปื้อนที่ตกค้างใน ตัวทำละลายอินทรีย์ HC-250 โดยใช้เทคนิค Gas Chromatography –Mass Spectrometer (GC-MS) 58
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณของสารปนเปื้อนที่ตกค้างใน ตัวทำละลายอินทรีย์ HC-250 โดยใช้เทคนิค Gas Chromatography –Mass Spectrometer (GC-MS) 59
รูปที่ 4.9 คลื่นเสียงขณะที่ตลับลูกปืนหมุนเมื่อวัดด้วยเครื่อง Anderon 64
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานณ.อุณหภูมิต่างๆของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ AK-225 , HC-250 , High Clean Al และ Solkane 365 โดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง (Ultrasonic)..... 65
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานณ.อุณหภูมิต่างๆของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ AK-225 , HC-250 , High Clean Al และ Solkane 365 โดยใช้คลื่นเหนือเสียง (Ultrasonic) ที่ความถี่ที่ 38 KHz..... 68

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.12 กราฟแสดงปริมาณสารปนเปื้อนของตัวทำละลายอินทรีย์คือ AK-225 , HC-250 , High Clean Al และ Solkane 365ณ.อุณหภูมิต่างๆกันโดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง(Ultrasonic) 71

รูปที่ 4.13 กราฟแสดงปริมาณสารปนเปื้อนของตัวทำละลายอินทรีย์คือ AK-225 , HC-250 , High Clean Al และ Solkane 365ณ.อุณหภูมิต่างๆกัน โดยใช้คลื่นเหนือเสียง(Ultrasonic) 74

รูปที่ 4.14 กราฟแสดงปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานณ.อุณหภูมิต่างๆกันเปรียบเทียบระหว่างการใช้คลื่นเหนือเสียง (Ultrasonic) ที่ความถี่ 38 KHz และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิด คือ AK-225 , HC-250 , High Clean Alและ Solkane 365..... 76

รูปที่ 4.15 กราฟแสดงปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานณ.ช่วงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นระหว่างการใช้คลื่นเหนือเสียง(Ultrasonic)ที่ความถี่ 38 KHz และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์คือ HC-250 79

รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานต่อผลต่างของเวลาในแต่ละช่วง ($\Delta C_A/\Delta t$) ณ.เวลาต่างๆกันของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดต่างๆ 4 ชนิด ที่มีการเลือกใช้ปัจจัยด้านอุณหภูมิและคลื่นเหนือเสียง 80

รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล ณ.อุณหภูมิต่างๆของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ AK-225 , HC-250 ,High Clean Al และ Solkane 365 โดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง(ultrasonic) 86

รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล ณ.อุณหภูมิต่างๆของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ AK-225 , HC-250 ,High Clean Al และ Solkane 365 โดยใช้คลื่นเหนือเสียง(ultrasonic)ที่ความถี่ที่ 38 KHz 89

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดคือ AK-225 , HC-250 ,High Clean Al และ Solkane 365 ณ.อุณหภูมิต่างๆกัน โดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง(ultrasonic) 92

รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดคือ AK-225 , HC-250 ,High Clean Al และ Solkane 365 ณ.อุณหภูมิต่างๆกัน โดยใช้คลื่นเหนือเสียง(ultrasonic) ที่ความถี่ 38 KHz 94

รูปที่ 4.21 กราฟเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของสารปนเปื้อน ณ.อุณหภูมิ60°C ระหว่างการใช้คลื่นเหนือเสียง(ultrasonic)ที่ ความถี่ 38KHz และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงของตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดคือ AK-225 , HC-250 ,High Clean Al และ Solkane 365..... 96